



En Cotutelle avec

THÈSE

Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat en Informatique de l'Université de la Manouba (ENSI) et de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I

Par

Rim DRIRA

ASSISTANCE A LA MODELISATION ET A LA CONTEXTUALISATION DE DISPOSITIFS PEDAGOGIQUES COMPLEXES

Réalisée au sein de



Laboratoire de Recherche en Informatique Arabisée
et Documentique Intégrée-Génies
Documentiel et logiciel



Laboratoire d'Informatique Fondamentale
de Lille (Equipe Noce)

Thèse dirigée par :

PROF. Henda HADJAMI BEN GHEZALA (RIADI)
PROF. Alain DERYCKE (LIFL)

Et co-encadrée par :

DR. Mona LAROUSSI (RIADI)
DR. Xavier LE PALLEC (LIFL)

Soutenue le 16 Décembre 2010 devant le jury composé de :

Président : Abdelfatteh BELGHITH
Rapporteur : Christophe CHOQUET
Rapporteur : Rafik BRAHEM
Directeur de thèse : Alain DERYCKE
Directeur de thèse : Henda BEN GHEZALA

Professeur à l'Université de la Manouba
Professeur à l'Université du Maine
Professeur à l'Université de Sousse
Professeur à l'Université de Lille I
Professeur à l'Université de la Manouba

A tous ceux qui ont participé à ma formation.....

A tous ceux qui m'ont aidé à accomplir ce rêve.....

Toute ma reconnaissance.....

Remerciements

C'est avec un grand plaisir que j'apporte ce témoignage écrit de ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont gratifié de leur soutien et de leur confiance tout au long de ce travail.

*Tout d'abord, je tiens à exprimer l'honneur que me fait Monsieur **Abdelfattah BELGHITH**, Professeur à l'Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI), d'avoir accepté d'être mon président du jury.*

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance à :

*Monsieur **Christophe CHOQUET**, Professeur à l'Université du Maine (France) et à Monsieur **Rafik BRAHEM**, Professeur à l'Université de Sousse (Tunisie) d'être rapporteurs de ce travail, pour leurs remarques sur le fond et sur la forme de ce mémoire qui m'ont permis d'apporter des améliorations à sa qualité.*

*Mon directeur de thèse Madame **Henda BEN GHEZALA**, Professeur à l'ENSI, qui m'a initié à la recherche et qui m'a toujours motivé, soutenu et encouragé.*

*Mon directeur de thèse Monsieur **Alain DERYCKE**, Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille I (USTL) pour avoir suivi de près mes travaux depuis mon master et m'avoir apporté une aide précieuse grâce à sa disponibilité, sa rigueur scientifique, ses conseils et ses encouragements.*

*Ma co-encadrante Madame **Mona LAROUSSE**, Maître assistante à l'INSAT, qui n'a épargné aucun effort pour me soutenir sur le plan technique et moral tout au long du déroulement de cette thèse à Tunis comme à Lille. Je lui ai très reconnaissante pour sa disponibilité, pour m'avoir guidé et supporté sans se limiter à aucun cadre ni temporel ni spatial.*

*Mon co-encadrant Monsieur **Xavier LE PALLEC**, Maître de conférences à l'USTL, pour son aide, support et pour la rigueur qu'il m'a toujours imposée. Je lui ai reconnaissante pour les nombreuses réunions et les fastidieuses discussions que nous avons eues.*

*Monsieur **Mohamed BEN AHMED**, Professeur à l'ENSI, pour ses relectures du mémoire, ses corrections minutieuses et ses conseils pertinents. Ses remarques très constructives m'ont permis d'avoir plus de recul sur certains aspects que j'ai abordés et d'améliorer la qualité du travail.*

*Monsieur **Bruno WARIN**, Maître de conférence à l'Université du Littoral Côte d'Opale, Monsieur **Frédéric HOOGSTOEL**, Maître de conférence à l'USTL et Monsieur **Pierre André CARON**, Maître de conférence à l'USTL de m'avoir fait partager l'expérience du projet MetaWep. Je les remercie pour toutes les discussions que nous avons eues. A travers eux, je voudrais remercier tous les enseignants qui ont participé à l'évaluation de ce travail.*

*Madame **Monique GRANDBASTIEN**, Professeur à l'Université de Nancy, pour ses précieux conseils dans les orientations à prendre. A travers Monique je voudrais également remercier toute la communauté des chercheurs en EIAH pour leur esprit de collaboration et de travail en groupe.*

*Madame **Carine SOUVEYET**, Professeur à l'Université de Paris I, pour les nombreuses réunions et discussions constructives dans le cadre du projet Same2 qui a beaucoup influencé mes orientations et qui a aussi financé mes déplacements. Je remercie aussi chaleureusement*

Monsieur Yassine JAMOSSI, Maître assistant à l'ENSI et Monsieur Naoufel KRAIEM, Maître assistant à l'Institut Supérieur d'Informatique (Tunisie) ainsi que tous les chercheurs qui ont participé au projet Same2.

Mes collègues aux laboratoires RIADI qui m'ont beaucoup encouragé et supporté.

Mes collègues aux laboratoires LIFL qui m'ont assuré un agréable environnement de travail à Lille et qui m'ont fourni un bon niveau de support technique et logistique en particulier mes collègues de bureau : Raphael, José et Jean Claude, mes collègues Mariusa, Benjamin, Thomas, Yvan, Cédric et tous les autres.

Mes collègues de l'IPEIT qui m'ont beaucoup aidé pour faire les stages à Lille : Hayet, Lamia, Mohamed, Narjes et Nesrine.

Mes collègues du master eService pour leur compréhension et leur soutien.

Mes stagiaires qui en croyant en ce travail y ont contribué ainsi que mes étudiants à l'IPEIT et au master eServices.

Mes amis Haj. Salma, Ham. Salma, Mariem, Hela, Youra, Imène, Nabila, Dorsaf, Riadh.

Je ne peux clore cette page de remerciements sans les adresser à:

Mes parents qui ont toujours respecté mes choix et qui m'ont toujours encouragé à aller de l'avant.

Mon très cher mari qui m'a toujours soutenu et aidé à surpasser les moments de stress et de doute avec une infinie patience et amour.

A mon cher petit fils Youssef qui a partagé avec nous pendant dix mois l'aventure de la thèse et qui a su me rassurer à sa manière et me donner de la force pour accomplir ce rêve.

Mes deux frères pour leur complicité, humour et amour.

Mes beaux parents qui m'ont beaucoup aidé dans la dernière ligne droite ainsi qu'à tous les membres de la famille.

Résumé

Nos travaux s'intéressent à l'ingénierie des EIAH dans le cadre d'une approche dirigée par les modèles (MDA) et aux plateformes de formation à distance comme environnement informatique support à l'exécution des dispositifs pédagogiques. Ainsi, nos travaux sont centrés sur l'approche par dispositif pour l'explicitation de l'articulation entre les intentions pédagogiques et les capacités d'une plateforme de formation à distance. Dans le cadre de cette approche, la modélisation pédagogique est centrée sur la définition des moyens d'exécution des intentions pédagogiques. Nos travaux ciblent les concepteurs pédagogiques qui veulent bénéficier des avantages de l'approche dirigée par les modèles et qui sont débutants dans l'usage des techniques et outils se rapportant à cette approche. En effet, l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles entraîne de nouvelles pratiques de conception qui amènent les concepteurs pédagogiques à porter une attention particulière aux solutions qui les aident dans leur travail.

Dans ce contexte, les travaux de cette thèse visent à assister les concepteurs pédagogiques dans la modélisation de leurs intentions pédagogiques et dans leur concrétisation dans les termes d'une plateforme de formation à distance. Les travaux de la thèse visent aussi l'apport d'une solution permettant une meilleure maîtrise lors de la conception de la complexité des dispositifs pédagogiques qui se manifeste lors de l'usage. Les aspects de la complexité étant nombreux, nous nous concentrons sur le contexte institutionnel qui est défini comme l'ensemble de règles organisationnelles et de pratiques contextuelles qui influencent la conception et l'exécution des dispositifs pédagogiques.

Nous proposons dans cette thèse un cadre conceptuel s'inspirant de l'approche multi-échelle et basée sur des études pratiques définissant le contexte institutionnel, explicitant ses interdépendances avec le dispositif et détaillant les besoins de contextualisation.

Nous proposons une démarche assistée s'inspirant du MDA et qui va de la modélisation des intentions pédagogiques à la spécification du modèle d'un dispositif pédagogique dans les termes d'une plateforme de formation à distance choisie tout en respectant les caractéristiques du contexte institutionnel. Pour l'étape de la modélisation du modèle indépendant de la plateforme, une approche d'assistance à la réutilisation de templates de scénarios pédagogiques et à leur contextualisation est proposée. Pour l'étape de la transformation, un processus de transformation contextualisée est proposé. Il permet aux concepteurs d'exprimer eux-mêmes leurs règles de transformation tout en les guidant par les pratiques et règles contextuelles d'usage de la plateforme de formation à distance cible. Une solution est aussi proposée pour la modélisation de ces pratiques de façon exploitable lors de la transformation.

Afin de montrer la faisabilité technique des propositions, une plateforme nommée ACoMoD (pour Assistance for Contextualized Modeling of learning systems) constituée de trois prototypes logiciels à savoir Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM est développée.

Les propositions de la thèse sont évaluées à travers trois études de cas en lien avec des terrains opérationnels de formation à distance : le projet MetaWep (METAmodelizing to build Web Environment to support learning by Project), le master professionnel IPM (Ingénierie Pédagogique Multimédia) de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I et le master professionnel e-Service issu d'une collaboration entre les universités de Lille I, de Carthage, de Saint Joseph à Beyrouth et de notre dame de la paix Namur.

Plan de la thèse

PLAN DE LA THESE	I
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	XII
INTRODUCTION GENERALE	1
1 CADRE GENERAL	1
2 ELEMENTS DE LA PROBLEMATIQUE	1
3 OBJECTIFS DE LA THESE	4
4 ORIENTATIONS ET JUSTIFICATIONS	4
5 ORGANISATION DU MEMOIRE	5
PREMIERE PARTIE	7
INTRODUCTION PARTIE I	8
CHAPITRE I : ETAT DES STANDARDS EN INGENIERIE DIRIGEE PAR LES MODELES	10
I.1 INTRODUCTION	10
I.2 GENESE DE L'INGENIERIE DIRIGEE PAR LES MODELES	10
I.3 STANDARDS DE L'OMG	12
I.3.1 META-OBJECT FACILITY (MOF)	13
I.3.2 UNIFIED MODELING LANGUAGE (UML)	14
I.3.2.1 PROFIL UML	14
I.3.2.2 TEMPLATE UML	14
I.3.3 OBJECT CONSTRAINT LANGUAGE (OCL)	18
I.3.4 XML METADATA INTERCHANGE (XMI)	19
I.4 ARCHITECTURE DIRIGEE PAR LES MODELES	20
I.4.1 APERÇU DE L'ARCHITECTURE	20

I.4.2 MODELISATION DES PLATEFORMES D’EXECUTION	21
I.4.3 TRANSFORMATION DE MODELES	22
I.4.3.1 TYPES DE TRANSFORMATION	22
I.4.3.2 PRINCIPALES APPROCHES DE TRANSFORMATION	23
I.5 CONCLUSION	24
<hr/>	
CHAPITRE II : MODELISATION PEDAGOGIQUE POUR LES PLATEFORMES DE FORMATION A DISTANCE	25
<hr/>	
II.1 INTRODUCTION	25
<hr/>	
II.2 MODELISATION PEDAGOGIQUE EN INGENIERIE DES EIAH	25
<hr/>	
II.2.1 EIAH : DEFINITION	25
II.2.2 INGENIERIE DES EIAH	25
II.2.3 ROLE DE LA MODELISATION PEDAGOGIQUE EN INGENIERIE DES EIAH	26
II.3 PLATEFORMES DE FORMATION A DISTANCE	27
<hr/>	
II.3.1 DEFINITION	28
II.3.2 CLASSIFICATION	29
II.4 TRAVAUX MENES SUR LA MODELISATION PEDAGOGIQUE	30
<hr/>	
II.4.1 TRAVAUX BASES SUR LES STANDARDS D’ELEARNING	31
II.4.1.1 APPROCHE CENTREE SUR LES RESSOURCES	31
II.4.1.2 APPROCHE CENTREE SUR LES ACTIVITES	33
II.4.1.3 DISCUSSION	35
II.4.2 TRAVAUX BASES SUR LES STANDARDS DU GENIE LOGICIEL	36
II.4.3 AUTRES TRAVAUX	39
II.5 DISCUSSION DES LIENS ENTRE LES CONCEPTS CLES DES TRAVAUX MENES SUR LA MODELISATION PEDAGOGIQUE	40
<hr/>	
II.5.1 LIEN ENTRE DISPOSITIF, SCENARIO ET OBJETS PEDAGOGIQUES	40
II.5.2 LIEN ENTRE DISPOSITIF PEDAGOGIQUE ET PLATEFORME DE FORMATION A DISTANCE	41
II.6 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE	41
<hr/>	
II.7 CONCLUSION	43
<hr/>	
CHAPITRE III : INGENIERIE DES EIAH DIRIGEE PAR LES MODELES : ETAT DE L’ART	45
<hr/>	
III.1 INTRODUCTION	45
<hr/>	
III.2 MODELISATION PEDAGOGIQUE BASEE SUR CPM	45

III.3 MODELISATION PEDAGOGIQUE BASEE SUR LDL	48
III.4 PROJET MDEDUC	50
III.5 PROJET BRICOLES	52
III.6 PROJET REDIM	55
III.7 MODELISATION PEDAGOGIQUE DE PPC	57
III.8 SYNTHESE ET DISCUSSION	59
III.9 CONCLUSION	63
CHAPITRE IV : COMPLEXITE DES DISPOSITIFS PEDAGOGIQUES	64
IV.1 INTRODUCTION	64
IV.2 NOTION DE DISPOSITIF	64
IV.2.1 DISPOSITIF DANS DIFFERENTES DISCIPLINES	64
IV.2.2 DISPOSITIF EN INGENIERIE DES EIAH	65
IV.2.2.1 DEFINITION	65
IV.2.2.2 APPROCHE PAR DISPOSITIF	65
IV.2.2.3 DISPOSITIF ET MODELES PEDAGOGIQUES	67
IV.3 SYSTEMES COMPLEXES	68
IV.3.1 DEFINITIONS	68
IV.3.2 SYSTEMES COMPLEXES ET MULTI ECHELLE	69
IV.4 DISPOSITIFS PEDAGOGIQUES ET COMPLEXITE	70
IV.5 NOTRE VISION DE LA COMPLEXITE DES DISPOSITIFS PEDAGOGIQUES	73
IV.6 CONCLUSION	76
CONCLUSION PARTIE I	77
DEUXIÈME PARTIE	81
INTRODUCTION PARTIE II	82
CHAPITRE V : PROPOSITION GLOBALE POUR L'ASSISTANCE A LA MODELISATION ET A LA CONTEXTUALISATION DE DISPOSITIFS PEDAGOGIQUES	83

V.1 INTRODUCTION	83
<hr/>	
V.2 CADRE MULTI-ECHELLE DE CONTEXTUALISATION	83
<hr/>	
V.2.1 PROJET METAWEP	83
V.2.1.1 STRATEGIE PEDAGOGIQUE MEPULCO	84
V.2.1.2 DISPOSITIF MEPULCO A L'IUT CALAIS	85
V.2.1.3 DISPOSITIF MEPULCO A POLYTECH'LILLE	86
V.2.2 CONCLUSION DE L'ETUDE : DEFINITION ET CARACTERISATION DU CONTEXTE INSTITUTIONNEL	86
V.2.3 INTERDEPENDANCE ENTRE LE DISPOSITIF ET SON CONTEXTE	88
V.2.3.1 ANALYSE MULTI-ECHELLE INTRA-PERSPECTIVE « EN ACTION »	89
V.2.3.2 ANALYSE MULTI-ECHELLE INTRA PERSPECTIVE « PROJECTION »	90
V.2.3.3 ANALYSE INTER-PERSPECTIVES «PROJECTION» ET «EN ACTION»	91
<hr/>	
V.3 APPROCHE PROPOSEE POUR L'ASSISTANCE A LA MODELISATION ET A LA CONTEXTUALISATION	92
<hr/>	
V.3.1 CATEGORISATION DU CONTEXTE INSTITUTIONNEL	92
V.3.2 DEFINITION DES BESOINS DE CONTEXTUALISATION	94
V.3.3 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DE L'APPROCHE PROPOSEE	95
<hr/>	
V.4 CONCLUSION	98
<hr/>	
CHAPITRE VI : FORMALISATION ET CONTEXTUALISATION ASSISTEES DE MODELES DE SCENARIOS PEDAGOGIQUES MALLEABLES	99
<hr/>	
VI.1 INTRODUCTION	99
<hr/>	
VI.2 CONTEXTUALISATION PEDAGOGIQUE	99
<hr/>	
VI.3 MODELISATION PEDAGOGIQUE PAR LES TEMPLATES UML	102
<hr/>	
VI.3.1 FORMES DE MALLEABILITE SUPPORTEES PAR LES TEMPLATES UML	103
VI.3.2 CONTEXTUALISATION PAR LES TEMPLATES UML	104
<hr/>	
VI.4 INADEQUATION DE L'USAGE DES OUTILS UML	106
<hr/>	
VI.5 DEPOT DE TEMPLATES PEDAGOGIQUES	106
<hr/>	
VI.6 ASSISTANCE A LA CREATION ET A LA CONTEXTUALISATION DE TEMPLATES UML	107
<hr/>	
VI.7 CONCLUSION	108
<hr/>	
CHAPITRE VII : TRANSFORMATION CONTEXTUALISEE ET ASSISTEE DE MODELES DE SCENARIOS PEDAGOGIQUES	109

<u>VII.1 INTRODUCTION</u>	109
<u>VII.2 DESCRIPTION DU PROCESSUS DE TRANSFORMATION PROPOSE</u>	109
<u>VII.3 ADEQUATION DES SPECIFICATIONS UML PAR RAPPORT AU PROCESSUS PROPOSE</u>	114
VII.3.1 ORDRE DE BINDING DES PARAMETRES	114
VII.3.2 COHERENCE DU BINDING	116
VII.3.3 BINDING DES ASSOCIATIONS	118
VII.3.4 GENERATION AUTOMATIQUE DU « BOUND ELEMENT »	121
<u>VII.4 ASSISTANCE PROPOSEE A LA TRANSFORMATION CONTEXTUALISEE</u>	121
VII.4.1 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ASSISTANCE PROPOSE	121
VII.4.2 ASSISTANCE A LA TRANSFORMATION	122
VII.4.3 ASSISTANCE A LA TRANSFORMATION CONTEXTUALISEE	123
VII.4.3.1 GESTION DES REGLES D'ASSISTANCE	123
VII.4.3.2 VALIDATION CONTEXTUELLE	123
<u>VII.5 CONCLUSION</u>	125
<u>CHAPITRE VIII : MODELISATION DES PRATIQUES CONTEXTUELLES D'USAGE DES PLATEFORMES DE FORMATION</u>	127
<u>VIII.1 INTRODUCTION</u>	127
<u>VIII.2 IDENTIFICATION DES ASPECTS D'USAGE D'UNE PLATEFORME</u>	127
<u>VIII.3 RAPPEL DES BESOINS DE MODELISATION</u>	128
<u>VIII.4 MODELISATION DES ASPECTS CONTEXTUELS D'USAGE D'UNE PLATEFORME</u>	129
VIII.4.1 PARTAGE ET REUTILISATION DES ASPECTS CONTEXTUELS	130
VIII.4.2 CATEGORIES GENERIQUES D'ASPECTS	130
VIII.4.3 MODELISATION DES ASPECTS	133
VIII.4.4 COHERENCE DES ASPECTS	134
VIII.4.4.1 EXPRESSION DES REGLES DE COHERENCE	134
VIII.4.4.2 VERIFICATION DE LA COHERENCE	135
<u>VIII.5 CONCLUSION</u>	136
<u>CHAPITRE IX : PROTOTYPES LOGICIELS D'ACOMOD : GEN-PTE, GEN-IC ET GEN-COM</u>	137
<u>IX.1 INTRODUCTION</u>	137

<u>IX.2 DESCRIPTION GLOBALE DES PROTOTYPES</u>	137
<u>IX.3 PROTOTYPE GEN-PTE</u>	138
IX.3.1 DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION DE GEN-PTE	138
IX.3.2 REALISATION TECHNIQUE DE GEN-PTE	138
<u>IX.4 PROTOTYPE GEN-IC</u>	140
IX.4.1 DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION DE GEN-IC	140
IX.4.2 REALISATION TECHNIQUE DE GEN-IC	141
<u>IX.5 PROTOTYPE GEN-COM</u>	142
IX.5.1 DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION DE GEN-COM	142
IX.5.2 REALISATION TECHNIQUE DU PROTOTYPE GEN-COM	143
<u>IX.6 CONCLUSION</u>	144
<u>CHAPITRE X : DESCRIPTION DES ETUDES DE CAS ET ANALYSE DES RESULTATS</u>	145
<u>X.1 INTRODUCTION</u>	145
<u>X.2 METHODOLOGIE D'EVALUATION</u>	145
<u>X.3 ETUDE DE CAS : LE PROJET METAWEP</u>	149
X.3.1 PROFIL DES PARTICIPANTS	149
X.3.2 DESCRIPTION DE L'ETUDE	149
X.3.2.1 IDENTIFICATION ET MODELISATION DES PRATIQUES D'USAGE DE MOODLE	149
X.3.2.2 DEROULEMENT DE L'ETUDE AVEC LES ENSEIGNANTS	150
X.3.3 INTERPRETATION DES RESULTATS	153
<u>X.4 ETUDE DE CAS : MASTER « INGENIERIE PEDAGOGIQUE MULTIMEDIA »</u>	154
X.4.1 PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE	155
X.4.2 PROFIL DES PARTICIPANTS	155
X.4.3 DESCRIPTION DU CONTEXTE INSTITUTIONNEL	155
X.4.4 MODELISATION DU CONTEXTE INSTITUTIONNEL	157
X.4.4.1 MODELISATION DE LA STRUCTURE DU MASTER	157
X.4.4.2 MODELISATION DES BONNES PRATIQUES	158
X.4.5 INTERPRETATION DES RESULTATS	158
<u>X.5 ETUDE DE CAS : MASTER ESERVICES</u>	159
X.5.1 PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE	159
X.5.2 PROFIL DES PARTICIPANTS	160
X.5.3 INTERPRETATION DES RESULTATS	160

X.6 CONCLUSION	160
CONCLUSION PARTIE II	162
CONCLUSION GENERALE	163
GLOSSAIRE	170
BIBLIOGRAPHIE	172
ANNEXES	182
ANNEXE A : APPROCHE MULTI-ECHELLE	183
ANNEXE B : GRILLE D'ENTRETIEN	188
ANNEXE C : ENTRETIEN RESPONSABLE FORMATION IPM	189
ANNEXE D : QUESTIONNAIRES D'EVALUATION	193
ANNEXE E : APPORT DES ONTOLOGIES A L'IDM	199
ANNEXE F : CAPTURES D'ECRAN DES FONCTIONNALITES PRINCIPALES DES PROTOTYPES GEN-PTE, GEN-IC ET GEN-COM	203

Liste des figures

Figure 1 : Contexte général de recherche et cadre spécifique de travail.....	4
Figure 2 : Organisation de la thèse en chapitres.....	6
Figure 3 : Lien entre modèle, méta-modèle et langage de modélisation [Favre et al. 2006] ...	11
Figure 4 : Variantes de l'IDM (adaptée de [Favre et al. 2006]).....	12
Figure 5 : Architecture à quatre niveaux de l'OMG (inspiré de [Miller et al. 2003]).....	13
Figure 6 : Binding d'une classe template	15
Figure 7 : Paquetage Template [Muller 2006]	16
Figure 8 : Méta-modèle des templates [OMG 2009]	16
Figure 9 : Méta-modèle du passage de paramètres d'un template [OMG 2009]	17
Figure 10 : Positionnement des templates UML par rapport à l'architecture à quatre niveaux du MDA.....	17
Figure 11 : Diagramme de classe support des exemples de contraintes OCL	19
Figure 12 : XMI et la structuration de balises XML[Blanc 2005]	19
Figure 13 : Niveaux et points de vue des modèles en MDA.....	21
Figure 14 : Hiérarchie typique de plateformes d'exécution.....	21
Figure 15 : Fonctionnalités offertes par les plateformes de formation	29
Figure 16 : Modélisation pédagogique à la SCORM [Drira 2006]	33
Figure 17 : Vue simplifiée du modèle EML	34
Figure 18 : Modèle conceptuel d'IMS Learning Design [IMS-LD 2010]	35
Figure 19 : MDA pour l'ingénierie des EIAH	37
Figure 20 : Liens entre scénario pédagogique, dispositif et institution [Daele et al. 2002].....	41
Figure 21 : Liens entre les concepts clés utilisés dans le rapport.....	43
Figure 22 : Concepts principaux de CPM	45
Figure 23 : Extraits de la table de définitions des stéréotypes du profil CPM.....	46
Figure 24 : Paquetage des composants CPL [Laforcade 2004]	47
Figure 25 : Démarche de spécification de composants CPL [Laforcade 2004].....	48
Figure 26 : Méta-modèle simplifié du langage LDL [Martel et al. 2007]	49
Figure 27 : Transformation d'un scénario LDL en un scénario exécutable [Martel et al. 2006a]	50
Figure 28 : Patron pédagogique « Challenge Understanding ».....	50
Figure 29 : Démarche outillée proposée dans MDEduc [De Moura 2007]	51
Figure 30 : Interface de PPEditor [De Moura 2007]	51

Figure 31 : Approche par fusion du méta-modèle pédagogique et du méta-modèle fonctionnel [Caron 2007a].....	54
Figure 32 : Approche de conception de Bricoles [Caron 2007c].....	55
Figure 33 : Approche constructive de la conception d'un scénario pédagogique [Choquet 2007].....	56
Figure 34 : Méta-méta-modèle dans ECoS [Choquet 2007].....	57
Figure 35 : ECoS : panneau d'édition d'un scénario pédagogique [Choquet 2007].....	57
Figure 36 : Méta-modèle général de la PPC [Abdallah 2009].....	58
Figure 37 : Transformation ATL de PPC à Moodle [Abdallah 2009].....	59
Figure 38 : Extrait de Code ATL de création de règles de transformation [Abdallah 2009]...	59
Figure 39 : Caractérisation d'un scénario utilisable pour définir un dispositif [Caron 2007a]	66
Figure 40 : Notre vision de la complexité d'un dispositif.....	74
Figure 41 : Vue multi-échelle d'un dispositif et son contexte	76
Figure 42 : Dispositif Moodle pour une équipe de projet à l'IUT Calais	85
Figure 43 : Dispositif Moodle pour une équipe de projet à Polytech'Lille.....	86
Figure 44 : Cadre multi-échelle d'interdépendance entre le dispositif et son contexte	88
Figure 45 : Eléments de définition de la contextualisation	91
Figure 46 : Intégration du contexte institutionnel au MDA.....	93
Figure 47 : Résumé de la décomposition du contexte institutionnel.....	94
Figure 48 : Architecture de la solution proposée	96
Figure 49 : Processus global de contextualisation	97
Figure 50 : Meta-modèles d'une stratégie de supervision dans deux contextes différents ...	100
Figure 51 : Modèles d'une stratégie de supervision dans deux contextes différents.....	101
Figure 52 : Template d'une stratégie d'encadrement.....	103
Figure 53 : Contextualisation du template de stratégies d'encadrement.....	105
Figure 54 : Implémentation partielle Vs implémentation complète.....	105
Figure 55 : Dépôt de templates	107
Figure 56 : Insertion des commentaires dans un template	107
Figure 57 : Structure d'un modèle UML réalisant une transformation.....	110
Figure 58 : Transformation de modèles basée sur la relation « bind » d'UML.....	111
Figure 59 : Méta-modèle de Moodle.....	112
Figure 60 : Exemple de transformation basée sur les templates	113
Figure 61 : Diagramme d'activité de la transformation	115
Figure 62 : Exemple de binding d'une association	118
Figure 63 : Exemple de binding d'une propriété d'une association.....	119

Figure 64 : Exemple expliquant le problème de la multiplicité pour la transformation vers la plateforme.....	119
Figure 65 : Algorithme de déduction des associations.....	120
Figure 66 : Modèle générique d'un système d'assistance (adapté de [Dufresne et al. 2003])	122
Figure 67 : Architecture fonctionnelle du système de transformation contextualisée proposé	122
Figure 68 : Vérificateur de contraintes propriétés d'instances.....	125
Figure 69 : Résultat d'une requête avec LIP REQUEST	128
Figure 70 : Modélisation d'un aspect contextuel	129
Figure 71 : Diagramme de classes des formations dans une institution.....	130
Figure 72 : Diagramme de classes des catégories d'aspects	131
Figure 73 : Diagramme de classe complet	133
Figure 74 : Diagramme de classe des règles de cohérence	135
Figure 75 : Prototypes de la plateforme ACoMoD	137
Figure 76 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-PTE.....	138
Figure 77 : Plug-ins d'Eclipse RCP	139
Figure 78 : Architecture de Gen-PTE	140
Figure 79 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-IC.....	141
Figure 80 : Architecture technique de l'assistance à la modélisation en se basant sur un méta-modèle	142
Figure 81 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-COM.....	143
Figure 82 : Modèle de Mepulco	151
Figure 83 : Modèle transformé conformément à Moodle	153
Figure 84 : Contexte général du master IPM	156
Figure 85 : Partie de l'arborescence du Master IPM.....	158
Figure 86 : Résumé des contributions	165
Figure 87 : Architecture générale de l'approche ODM	201
Figure 88 : Scénario détaillé de l'approche ODM	201
Figure 89 : Page d'accueil de Gen-PTE	203
Figure 90 : Capture d'écran de paramétrage d'un template	204
Figure 91 : Stockage d'un template dans un dépôt de templates	204
Figure 92 : Capture d'écran de réutilisation d'un template à partir d'un dépôt.....	205
Figure 93 : Capture d'écran de contextualisation d'un paramètre d'un template	206
Figure 94 : Capture d'écran de contextualisation de cardinalités	206
Figure 95 : Capture d'écran de sélection d'une contextualisation	207
Figure 96 : Capture d'écran de réutilisation d'une contextualisation	207

Figure 97 : Capture d'écran de l'interface principal de Gen-IC.....	207
Figure 98 : Capture d'écran du paramétrage des plateformes.....	208
Figure 99 : Capture d'écran du paramétrage de la structure du contexte institutionnel.....	208
Figure 100 : Capture d'écran du paramétrage d'une catégorie d'aspects	209
Figure 101 : Capture d'écran de l'ajout d'une règle de cohérence	210
Figure 102 : Capture d'écran de l'ajout d'une pratique contextuelle.....	211
Figure 103 : Capture d'écran « Mapping des classes » avec coloration des choix effectués.	212
Figure 104 : Capture d'écran « Mapping des attributs ».....	213
Figure 105 : Capture d'écran « Traitement des associations »	214
Figure 106 : Capture d'écran « Mapping des classes » avec journal de contextualisation	215

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes des transformations de modèles [Combemale et al. 2007].....	23
Tableau 2 : Travaux EIAH par étape du MDA	38
Tableau 3 : Tableau comparatif entre l’approche basée sur les standards d’eLearning et celle basée sur les standards du génie logiciel.....	42
Tableau 4 : Règles de transformation de Ecore vers une application Web [Moura 07].....	52
Tableau 5 : Tableau comparatif entre les approches de modélisation pédagogique	60
Tableau 6 : Deux processus menant au déploiement d’un dispositif sur une plateforme (adapté de [Caron 2007a])	66
Tableau 7 : Tableau résumant les travaux d’analyse systémique des dispositifs pédagogiques	72
Tableau 8 : Types, objets et résultats de la contextualisation selon la décomposition du contexte institutionnel	95
Tableau 9 : Aspects contextuels de la stratégie d’encadrement dans deux contextes différents	104
Tableau 10 : Implémentation proposée de chaque restriction des spécifications UML.....	117
Tableau 11 : Décomposition de la validation contextuelle en étapes	124
Tableau 12 : Exemple d’une catégorie d’aspects contextuels.....	132
Tableau 13 : Caractéristiques d’une catégorie de contraintes propriétés d’instances	132
Tableau 14 : Caractéristiques d’une catégorie de contraintes propriétés de modèles.....	133
Tableau 15 : Résumé des fonctionnalités de base offertes par les prototypes	144
Tableau 16 : Objets de l’évaluation et leurs codes.....	147
Tableau 17 : Questions des questionnaires catégorisées en fonction des codes et des critères d’évaluation.....	148
Tableau 18 : Profil des participants à l’étude MetaWep	149
Tableau 19 : Décisions finales de transformation	152
Tableau 20 : Associations déduites et validées	152
Tableau 21 : Principales caractéristiques de deux bonnes pratiques.....	158
Tableau 22 : Profil des participants à l’étude eServices.....	160
Tableau 23 : Ontologie vs Métamodèle (1).....	199
Tableau 24 : Ontologie vs Métamodèle (2).....	200
Tableau 25 : Correspondances entre quelques éléments UML et OWL	202

Introduction générale

Depuis quelques années, les modèles sont passés de simples éléments descriptifs de conception à de réels éléments productifs de codes logiciels en ingénierie des systèmes d'information. Poussée notamment par l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), cette tendance s'est accentuée avec les techniques actuelles de méta-modélisation. En ingénierie des EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), les modèles ont toujours joué un rôle central dans la conception. Quelques travaux se sont intéressés à rendre les modèles de scénarios pédagogiques productifs et opérationnalisables sur des plateformes de formation. Ces travaux se basent sur les standards de l'IDM notamment l'architecture MDA (Model Driven Architecture) de l'OMG. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux de cette thèse. Pourquoi ? Quelle est notre apport ? C'est ce que nous allons développer dans la suite.

1 Cadre général

Cette thèse est réalisée au sein du Laboratoire RIADI en cotutelle avec l'équipe NOCE du laboratoire LIFL. Elle est inscrite dans le cadre d'un projet de recherche intitulé SAME2 « *e-Services, Approches Multi-Echelle et E-formation* » conjoint entre la Tunisie (le laboratoire RIADI) et la France (le laboratoire LIFL-Noce de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I et le laboratoire CRI de l'Université Paris I). Ce contexte de collaboration au travers du projet SAME2 a guidé les objectifs de la thèse, ses orientations et ses produits. Cela sera expliqué tout au long de ce document.

Le cadre général porte sur l'ingénierie des EIAH. Le terme EIAH, pris dans son acception la plus large, couvre une diversité de travaux et de systèmes. Leur point commun est la mise en relation d'une intention didactique et d'un environnement informatique. [Tchounikine 2002a]

En effet, un EIAH est un environnement informatique dont la finalité est de susciter ou d'accompagner un apprentissage humain, il embarque alors une intention didactique. Le premier problème de la conception d'un EIAH est la modélisation de cette intention et son articulation avec les spécifications de l'environnement support qui va l'accueillir (par exemple un système hypermédia, un système tuteur intelligent ou une plateforme de formation). En tant que système complexe, la conception d'un EIAH amène également à prendre en compte ses interdépendances avec son contexte.

Les travaux d'EIAH qui relèvent de la recherche en informatique sont les travaux associés à la conception d'artefacts informatiques prenant en compte les objectifs et contraintes liés à un apprentissage et qui, en cela, posent des problèmes d'ingénierie. L'objet des travaux sur l'ingénierie des EIAH est d'étudier leurs principes de construction et de produire un ensemble de méthodes, de techniques et d'outils visant à encadrer et systématiser leur processus de conception. [Tchounikine 2006]

2 Eléments de la problématique

Les travaux de la thèse s'intéressent à la réutilisation et la contextualisation de dispositifs pédagogiques en ingénierie des EIAH. Nous nous intéressons aux EIAH dans le cadre de la formation à distance et aux **plateformes de formation à distance** comme environnement informatique support à l'exécution de dispositifs pédagogiques. Le cadre conceptuel de nos

recherches en ingénierie des EIAH est l'architecture MDA (Architecture dirigée par les modèles) qui est une variante de **l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM)**.

Nous avons choisi les plateformes de formation à distance à cause de leur utilisation fréquente pour la livraison de dispositifs pédagogiques. Cette fréquence est justifiée par le fait de pouvoir s'affranchir de la réalisation de nouveaux environnements informatiques supports aux dispositifs pédagogiques.

Notre intérêt s'est porté sur l'ingénierie dirigée par les modèles car par rapport aux autres approches d'ingénierie recensées de l'état de l'art (notamment celles basées sur les standards d'eLearning), elle offre aux concepteurs les moyens nécessaires pour modéliser leurs intentions pédagogiques en se basant sur des langages de modélisation qui répondent à leurs besoins spécifiques en termes d'expressivité pédagogique¹ et contextuelle². Cette approche offre aussi aux concepteurs les moyens nécessaires pour s'affranchir du problème de l'interopérabilité³ des modèles représentant leurs intentions pédagogiques à travers différentes plateformes de formation à distance. L'interopérabilité « *consiste à permettre l'utilisation de contenus et composants développés par une organisation pour une plateforme donnée par d'autres organisations pour d'autres plateformes* ». [Simard 2002]

Nous nous intéressons à une **approche par dispositif** pour l'explicitation de l'articulation entre le modèle d'un scénario pédagogique et le modèle d'une plateforme de formation. Dans le cadre de cette approche, [Caron 2007a] définit un dispositif pédagogique comme « *un agencement particulier de composants, de fonctionnalités et de services qui est au service d'une intention pédagogique et d'une communauté d'apprentissage* ». En ce sens, un dispositif est un ensemble d'éléments déployés sur une plateforme de formation à distance offrant le *moyen* d'exécuter des scénarios pédagogiques. Un dispositif comporte par essence les intentions qui ont motivé sa création mais il est aussi considéré comme un espace de potentialité permettant aux usagers d'improviser leur apprentissage.

Le fondement théorique sous-jacent à l'approche par dispositif est basé sur les travaux théoriques sur la notion de dispositif. Sur la base de ces travaux, les recherches dans le cadre de l'approche par dispositif en ingénierie des EIAH ont une préoccupation pratique en voulant fournir des outils de modélisation et de déploiement de ces dispositifs. Caron [Caron 2007a] a montré l'adéquation d'une approche dirigée par les modèles pour concrétiser l'approche par dispositif à travers la proposition d'une approche pour l'automatisation du déploiement de dispositifs sur des plateformes de formation à distance.

Dans le projet SAME2, nous nous sommes intéressés, en général, à l'étude de systèmes complexes à travers une approche multi-échelle et nous avons porté un intérêt particulier aux dispositifs pédagogiques comme continuité des travaux déjà effectués dans le contexte des EIAH ([Laroussi 2001, Caron 2007a]). L'étude de la complexité des dispositifs pédagogiques que nous avons menée notamment via une analyse multi-échelle nous a amené à constater l'importance de prendre en compte la complexité d'un dispositif lors de sa conception. La confrontation de ce constat avec l'état de l'art de l'ingénierie dirigée par les modèles appliquée aux EIAH a montré que les travaux actuels s'intéressent, pour la plupart, à la modélisation des intentions pédagogiques et à leur transformation en des dispositifs

¹ L'expressivité pédagogique est la capacité du langage de modélisation à décrire la situation d'apprentissage voulue par le concepteur.

² L'expressivité contextuelle d'un langage de modélisation est sa capacité à respecter des règles spécifiques du contexte de la modélisation.

³ Selon le dictionnaire LAROUSSE, c'est la compatibilité des équipements, des procédures ou des organisations permettant à plusieurs systèmes ou organismes d'agir ensemble

exécutables sur des plateformes de formation à distance et font une abstraction des aspects de la complexité d'un dispositif.

Dans ce contexte, le premier problème de recherche porte sur l'extension de l'approche par dispositif afin de tenir compte de la complexité d'un dispositif lors de sa conception. Nous nous concentrons sur le contexte institutionnel comme aspect de la complexité et nous portons notre intérêt sur la proposition d'une approche pour la **contextualisation** de dispositifs pédagogiques. Nous définissons le contexte institutionnel comme l'ensemble de règles organisationnelles et de pratiques contextuelles qui influencent la conception et l'exécution des dispositifs pédagogiques. Nous entendons par contextualisation d'un dispositif son adaptation aux spécificités de son contexte institutionnel. Cet intérêt porté au contexte est motivé d'une part par les objectifs de SAME2 et d'autre part par l'extension de nos travaux sur les systèmes sensibles au contexte.

En outre, la mise en place d'un processus de type MDA pour la conception de dispositifs fait intervenir des acteurs ayant des compétences pédagogiques (essentiellement des concepteurs pédagogiques ou des enseignants-concepteurs) et d'autres ayant des compétences techniques (essentiellement des ingénieurs pédagogiques et des informaticiens). Le rôle de ce deuxième type d'acteurs consiste souvent à assister les concepteurs dans la réalisation des tâches techniques du processus tels que la définition du langage de modélisation, l'écriture et l'application de règles de transformation vers la plateforme choisie. En revanche, cette assistance limite l'autonomie des concepteurs pédagogiques.

Notre travail cible les concepteurs pédagogiques voulant bénéficier des avantages de l'approche dirigée par les modèles et qui sont débutants dans l'usage des techniques et outils se rapportant à cette approche. Il s'agit le plus souvent d'enseignants qui conçoivent eux-mêmes leurs dispositifs de formation à distance appelés dans la littérature francophone les enseignants-concepteurs. Dans ce contexte, le deuxième problème de recherche porte sur **l'assistance de ces concepteurs pédagogiques** à la modélisation de leurs intentions pédagogiques et à l'articulation du modèle représentant leurs intentions pédagogiques avec le modèle d'une plateforme de formation à distance tout en tenant en considération les spécificités de leur contexte institutionnel.

Le contexte général de notre recherche et le cadre spécifique de travail sont présentés dans la Figure 1.

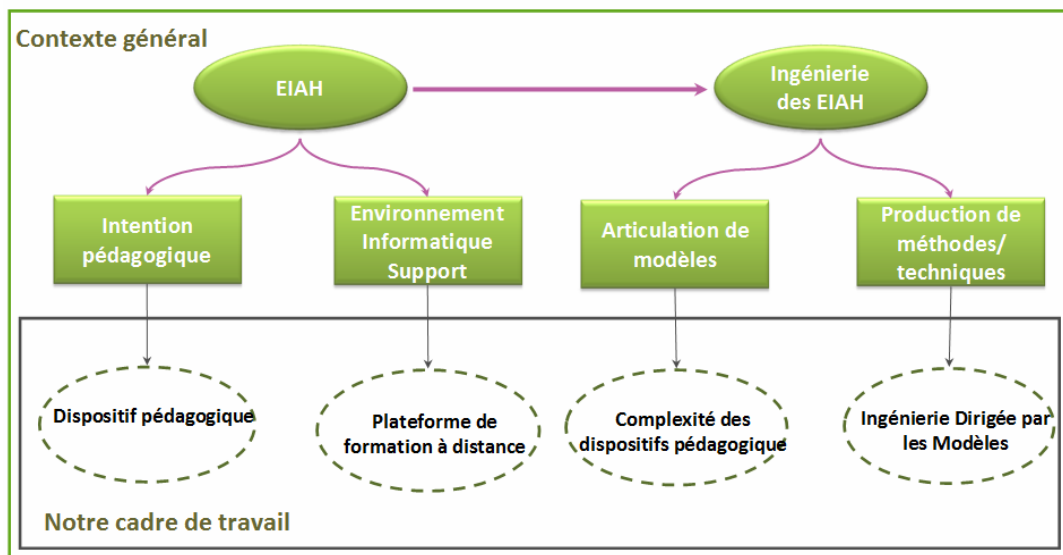


Figure 1 : Contexte général de recherche et cadre spécifique de travail

3 Objectifs de la thèse

Notre première réflexion concerne l'extension de l'approche par dispositif afin de tenir en compte du contexte institutionnel comme un des aspects de la complexité. Notre réflexion se base sur les travaux relatifs à l'étude de systèmes complexes et sur les travaux en sciences de l'éducation sur les dispositifs.

Notre seconde réflexion concerne, d'une part, la réutilisation des modèles de scénarios pédagogiques en les rendant malléables par rapport aux spécificités du contexte de réutilisation, et d'autre part, la contextualisation de dispositifs afin de tenir compte des aspects contextuels et organisationnels des formations.

L'assistance des concepteurs pédagogiques à la production de dispositifs pédagogiques contextualisés et opérationnalisables sur des plateformes de formation à distance constitue une préoccupation centrale dans notre travail.

Nous résumons ainsi nos objectifs qui ont deux orientations, l'une théorique à travers le premier objectif et l'autre technique à travers le deuxième, le troisième et le quatrième objectif :

- Etendre l'approche par dispositif afin de tenir compte de la complexité inhérente à un dispositif pédagogique ;
- Définir le contexte institutionnel et les besoins de contextualisation ;
- Proposer une approche de réutilisation et contextualisation de modèles de scénarios pédagogiques ;
- Assister les concepteurs à la réutilisation, la contextualisation et la transformation des modèles de scénarios pédagogiques.

4 Orientations et justifications

Nos travaux nous ont conduits à proposer une extension de l'approche par dispositif formalisée dans un cadre conceptuel s'inspirant de l'approche multi-échelle et basé sur des expérimentations et sur une étude théorique analysant la complexité des dispositifs. Dans cette extension, nous définissons et caractérisons le contexte institutionnel et nous montrons ses

relations avec les dispositifs qui s'y rattachent. Nous montrons aussi comment il est possible d'améliorer la conception de dispositifs en tenant compte du contexte. Nous définissons les besoins de contextualisation et nous montrons l'existence de différents types de contextualisation.

Nos travaux nous ont menés à proposer une approche de modélisation pédagogique basée sur la réutilisation et la contextualisation de modèles de scénarios pédagogiques. L'approche de modélisation pédagogique est basée sur le standard UML et en particulier sur les templates UML pour exprimer de façon formalisée et standardisée des modèles malléables de scénarios pédagogiques. Le choix des templates est justifié d'une part par les avantages liés au langage orientée objet UML mais aussi à la capacité des templates à permettre la réutilisation et favoriser la contextualisation. Sur cette base, une approche de contextualisation fondée sur le mécanisme de « binding » des templates UML est proposée.

En ce qui concerne la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en des modèles spécifiques à une plateforme de formation à distance (modèles de dispositifs pédagogiques), l'essence de notre contribution est une approche de transformation contextualisée permettant à un concepteur de mener la transformation tout en tenant compte des pratiques et règles contextuelles d'usage de la plateforme. Dans chaque approche proposée, l'assistance des concepteurs pédagogiques est garantie.

Nous baptisons la plateforme logicielle proposée « ACoMoD » (pour Assistance for Contextualized MoDeling of learning systems). Elle est constituée de trois prototypes logiciels qui sont Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM et qui ont permis de s'assurer de la faisabilité technique de notre proposition. Le prototype Gen-PTE permet d'assister la modélisation de templates, leur réutilisation et leur contextualisation. Le prototype Gen-IC permet de modéliser des aspects contextuels liés à l'usage de plateformes de formation à distance. Le prototype Gen-COM permet d'assister les concepteurs à la transformation contextualisée de leurs modèles de scénarios pédagogiques.

L'évaluation de nos contributions est réalisée à travers trois études de cas. La première entre dans le cadre du projet MetaWep (METAmodelizing to build Web Environment to support learning by Project). La deuxième étude concerne le master 2 Professionnel Sciences Humaines et Sociales, Spécialité « Ingénierie Pédagogique Multimédia (IPM) » de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I (USTL). La dernière étude porte sur le master professionnel e-Service issue d'une collaboration entre quatre universités (l'USTL, l'Université de Carthage de la Tunisie, l'Université Saint Joseph à Beyrouth et l'Université notre dame de la paix de Namur).

5 Organisation du mémoire

Ce mémoire est composé par deux parties comme illustré par la Figure 2 :

La première partie regroupe les chapitres consacrés à l'état de l'art de la complexité, la modélisation et l'opérationnalisation de dispositifs pédagogiques :

Le premier chapitre est dédié à la présentation de l'IDM. Nous commencerons par définir les termes clés et à présenter les différentes approches de l'IDM. Nous nous concentrerons ensuite sur les standards de l'OMG en particulier le standard UML et sur l'architecture MDA. Dans ce cadre, la méta-modélisation UML au travers des profils UML ainsi que la modélisation UML à travers les templates sont étudiées. Enfin, nous nous intéresserons aux différentes approches actuellement proposées pour supporter la transformation de modèles.

Le deuxième chapitre étudie le rôle des modèles en Ingénierie des EIAH et présente les différentes approches de modélisation pédagogique dont les dispositifs produits seront

exécutés par des plateformes de formation. Ceci nous amène alors à étudier plus en détail les plateformes de formation à distance. L'approche dirigée par les modèles est positionnée par rapport à l'approche basée sur les standards d'eLearning. Ce chapitre est clôturé par une synthèse qui positionne les travaux de la thèse par rapport au domaine de l'ingénierie des EIAH.

Le troisième chapitre détaille l'état de l'art des travaux d'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles et explique leurs limites.

Le quatrième chapitre étudie d'une part l'approche par dispositif de pré-structuration de plateformes de formation, synthétise d'autre part les travaux théoriques sur les systèmes complexes, le multi-échelle et la complexité des dispositifs pédagogiques et confronte enfin les deux études afin de dégager les insuffisances de l'approche par dispositif.

La deuxième partie de ce mémoire regroupe les chapitres consacrés à nos contributions et à son évaluation.

Le premier chapitre de cette partie présente l'extension proposée de l'approche par dispositif ainsi que notre proposition globale pour la contextualisation assistée de dispositifs pédagogiques basée sur la démarche MDA.

Le deuxième chapitre est consacré à l'explicitation de la solution proposée pour formaliser et contextualiser des modèles de scénarios pédagogiques malléables ainsi que la solution proposée pour l'assistance des concepteurs.

Le troisième chapitre présente la solution proposée pour la transformation contextualisée de modèles de scénarios pédagogiques ainsi que la solution proposée pour l'assistance des concepteurs à cette transformation.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation de notre solution pour la modélisation des aspects d'usage des plateformes de formation à distance dans différents contextes institutionnels.

Le cinquième chapitre présente notre plateforme ACoMoD constituée de trois prototypes logiciels à savoir Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM.

Le sixième chapitre détaille les différentes études de cas et l'analyse des résultats.

Le mémoire se termine par un chapitre de conclusion qui résume notre contribution et présente ses perspectives. Nous clôturons ce mémoire par cinq annexes.

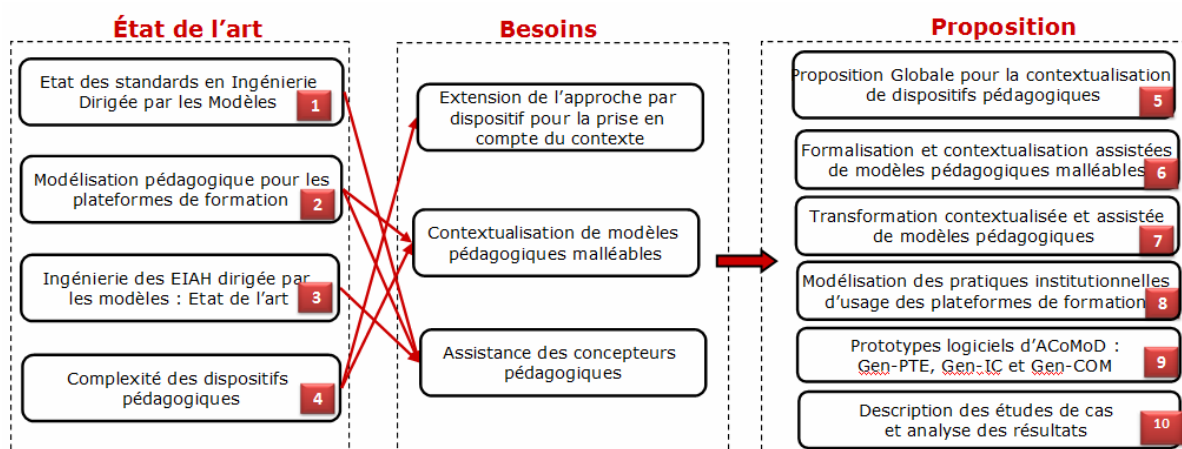


Figure 2 : Organisation de la thèse en chapitres

Première partie

Analyse de la complexité,
modélisation et opérationnalisation de
dispositifs pédagogiques

Introduction Partie I

Dans cette première partie du mémoire, nous allons présenter l'état de l'art qui se rapporte aux différentes thématiques abordées par ce travail ainsi que nos synthèses et constats qui ont abouti à la problématique qui sera détaillée dans la conclusion de cette partie.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche SAME2 pour « e-Services, Approches Multi-Echelle et E-formation » conjoint entre la Tunisie (le laboratoire RIADI) et la France (l'équipe NOCE⁴ du laboratoire LIFL et le laboratoire CRI-Paris I). SAME2 s'intéresse essentiellement à deux questions de recherche. Le premier problème concerne la résolution de la complexité des systèmes d'information par des approches multi-échelle par analogie avec les approches du même nom dans d'autres disciplines. Le deuxième problème concerne l'adaptation contextuelle, locale à une échelle, et des incidences qu'elles peuvent avoir à une autre échelle.

Les objectifs du projet ainsi que le contexte de collaboration avec les laboratoires CRI et LIFL ont largement cadré la problématique de la thèse. Nous essayerons d'expliquer cet aspect tout en énonçant le plan de cette première partie.

Les travaux de l'équipe NOCE s'intéressent, pour la plupart, aux EIAH et à l'interopérabilité de systèmes malléables [Hoogstoël 1995, Bourguin 2000, Le Pallec 2002, Vantroys et al. 2005]. Ainsi, le domaine de recherche dans le cadre de cette collaboration est les EIAH. Nous nous sommes intéressés à l'ingénierie des EIAH et plus particulièrement à une ingénierie dirigée par les modèles (IDM). Ce choix était motivé par ce qui suit. D'une part, cette approche permet de mettre en place des solutions personnalisées et en même temps interopérables. L'un des résultats des travaux de master [Drira 2006] était la conclusion que l'adaptation de standards de eLearning pour les personnaliser à des besoins spécifiques donne lieu à des solutions propriétaires. D'autre part, les travaux de cette thèse s'inscrivent dans la continuité des travaux de [Le Pallec 2002, Caron 2007a] qui ont déjà contribué au domaine par des résultats significatifs qui ont ouvert plusieurs perspectives. Ces travaux seront présentés dans les chapitres deux et trois.

L'objectif du premier chapitre de cette partie est de donner un aperçu sur le domaine de l'IDM. Nous nous concentrerons sur les concepts nécessaires à la compréhension des chapitres qui suivent vu la richesse du domaine. Nous détaillons dans le deuxième et le troisième chapitre l'état de l'art des travaux de l'ingénierie des EIAH en focalisant dans le troisième chapitre sur l'approche dirigée par les modèles. Nous consacrons le deuxième chapitre pour donner les différentes approches de modélisation de dispositifs pédagogiques interopérables sur des plateformes de formation à distance. Nous expliquons les apports d'une approche IDM par rapport aux autres approches. Nous enchaînons dans le troisième chapitre avec l'état de l'art détaillé des travaux d'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles et nous dégagerons les insuffisances de ces travaux.

Dans le quatrième chapitre, nous changerons de thématique pour explorer des travaux théoriques notamment en sciences de l'éducation qui s'intéressent à la complexité des dispositifs pédagogiques. Nous dégagerons à partir de ces travaux quelques aspects de la complexité qu'il faudra prendre en compte. Nous focaliserons sur un aspect central de la complexité à savoir le contexte comme continuité des travaux du laboratoire RIADI [Laroussi 2001, Drira et al. 2006b, Malek et al. 2008] sur l'adaptativité au contexte. Nous revenons

⁴ Nouveaux Outils pour la Coopération et L'Education

dans le même chapitre aux travaux présentés dans le chapitre trois afin de les analyser de point de vue de la prise en compte de la complexité notamment de l'aspect contextuel.

La synthèse globale des quatre chapitres vient dans la conclusion de cette première partie du mémoire où nous énoncerons les fondements des solutions apportées à notre problématique.

Chapitre I : Etat des standards en Ingénierie Dirigée par les Modèles

I.1 Introduction

Le développement logiciel dirigé par les modèles vise à concevoir des applications en séparant les préoccupations métiers des préoccupations techniques en plaçant les notions de modèles, méta-modèles et transformations de modèles au centre du processus de développement. S'inscrivant dans ce contexte de l'ingénierie dirigée par les modèles (IDM), nous consacrons ce chapitre à la présentation des principes fondamentaux de cette approche. Nous étudions d'abord les variantes de l'IDM et nous nous concentrons sur l'architecture MDA (Model Driven Architecture) et les standards de l'OMG (Object Management Group). Nous présentons les approches de méta-modélisation et de modélisation proposées ainsi que les approches de transformation de modèles. Nous traitons aussi la modélisation des plateformes d'exécution en IDM.

I.2 Genèse de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles

En génie logiciel, plusieurs approches de développement logiciel, essentiellement procédurale, objet, composants et services, se sont succédées. L'objectif commun de ces approches était de faciliter la mise en œuvre de systèmes informatiques sur des plateformes d'exécution tout en assurant la qualité des systèmes produits. Ces plateformes d'exécution ne cessent d'évoluer, de se diversifier et de se complexifier. Afin de séparer la partie métier de la partie spécifique à la plateforme d'exécution, une montée en puissance des modèles a été proposée. Désormais, les modèles ne sont plus contemplatifs c'est-à-dire utilisés pour représenter et documenter les systèmes mais sont devenus productifs c'est-à-dire qu'ils servent à générer le code des systèmes. Un modèle productif est donc interprétable et manipulable par une machine [Bézivin 2006]. C'est l'essence de la nouvelle approche appelée Ingénierie Dirigée par les modèles (IDM) (en anglais Model Driven Engineering (MDE)).

Ainsi, l'IDM est une approche spécifique du génie logiciel qui invite à centrer le développement logiciel sur les modèles. Elle définit un cadre théorique pour générer du code en utilisant des transformations successives de modèles. Le but principal de cette approche est de séparer la partie métier d'un système de sa mise en œuvre technologique et de garantir ainsi l'interopérabilité des modèles métiers à travers différents choix d'implémentation.

Dans l'IDM, un modèle peut être défini comme « *une description (d'une partie) d'un système écrite dans un langage bien défini* » [Favre et al. 2006]. Un méta-modèle c'est « *le modèle qui définit le langage d'expression d'un modèle* » [Favre et al. 2006]. Ainsi, un méta-modèle est un moyen concret de définir un langage tout en n'étant pas un langage. Il s'agit d'un modèle d'un langage de modélisation qui sert à exprimer les concepts communs à l'ensemble des modèles d'un même domaine. La relation EstConformeA « *permet de définir la notion de modèle par rapport à celle de méta-modèle* » [Favre et al. 2006]. On dit qu'un modèle est conforme à son méta-modèle. Cette relation permet d'assurer d'un point de vue théorique mais surtout opérationnel qu'un modèle est correctement construit et donc qu'il est envisageable de lui appliquer des transformations automatisées.

Une deuxième relation fondamentale en IDM est la relation *RepresentationDe* qui lie un modèle au système qu'il représente. Il est couramment admis qu'un modèle est la

simplification subjective d'un système existant ou qui existera, cette simplification est alors sous-tendue par une intention et le modèle obtenu est alors capable de répondre à des questions à la place du système qu'il représente. [Bézivin 2006].

La Figure 3 résume les concepts que nous venons de rappeler à savoir méta-modèle, modèle, système modélisé et langage d'expression de modèle ainsi que les relations « représentation de » et « estConformeA ».

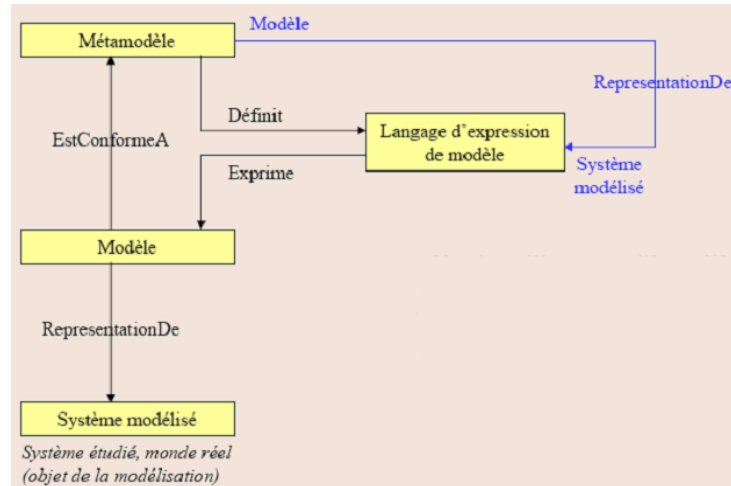


Figure 3 : Lien entre modèle, méta-modèle et langage de modélisation [Favre et al. 2006]

Une famille d'approches a vu le jour autour de l'IDM comme MDA (Model-Driven Architecture) de l'OMG (Object Management Group), l'approche de Microsoft et l'approche d'IBM (International Business Machines). Ces approches partagent les concepts mais pas forcément les standards comme illustré par la Figure 4.

La vision de l'IDM par l'OMG se base sur les standards MOF (Meta-Object Facility), UML (Unified Modeling Language) et QVT (Query View Transformation) qui seront présentés en détail dans la section I.3.

L'approche de l'IBM se base sur un méta-modèle appelé *Ecore* [Budinsky et al. 2003] plutôt que sur le MOF. La vision d'IBM est mise en œuvre dans l'outillage Eclipse⁵ en particulier dans le projet MDT (Model Development Tools) qui comporte, entre autres, EMF⁶ (Eclipse Modeling Framework), GMF⁷ (Graphical Modelling Framework) et une implémentation du méta-modèle UML conformément à Ecore. EMF permet la modélisation et la génération de code principalement la génération d'éditeurs avec des menus arborescents basés sur des méta-modèles conformes à Ecore tandis que GMF permet de générer des éditeurs graphiques plus sophistiqués.

La déclinaison de l'IDM chez Microsoft s'appelle Software Factories [Greenfield et al. 2003] et elle est intégrée progressivement dans Visual Studio⁸. Elle est basée sur des technologies XML (Extensible Markup Language) et des langages de domaine (DSL pour

⁵ Eclipse est un IDE (Integrated Development Environment) c'est-à-dire une plateforme de développement intégrée. Plus que de se focaliser sur un environnement de développement Java les concepteurs d'Eclipse se sont efforcés avant tout de créer un socle applicatif. Le cœur d'Eclipse est en fait composé d'un socle capable de charger des modules (plugins), de modules de base permettant de gérer des ensembles de ressources par exemple des projets, des fichiers, des répertoires et de gérer un ensemble de modules permettant la création d'interfaces graphiques.

⁶ <http://www.eclipse.org/modeling/emf/>

⁷ <http://www.eclipse.org/modeling/gmf/>

⁸ www.microsoft.com/visualstudio

Domain Specific Language) ayant une portée limitée, facilement manipulables, transformables et composables. La plateforme IDM Microsoft DSL Tools⁹ a pour vocation de créer des éditeurs graphiques et des générateurs de code personnalisés pour Visual Studio.

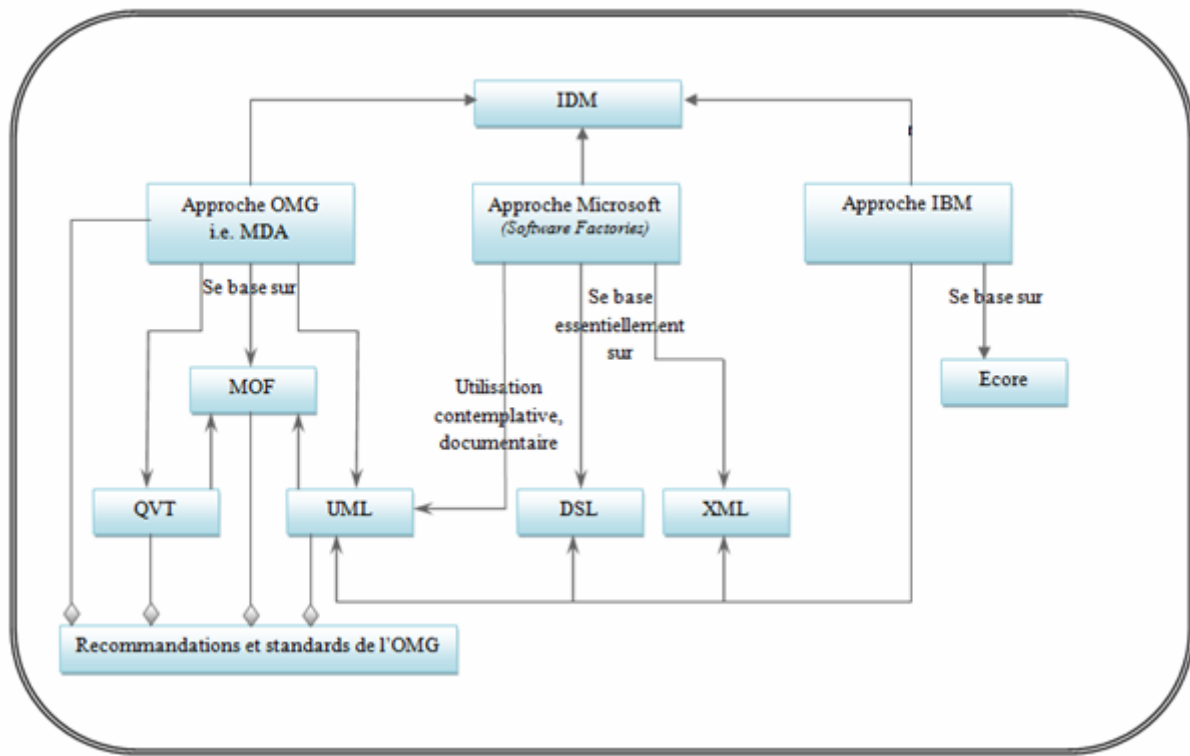


Figure 4 : Variantes de l'IDM (adaptée de [Favre et al. 2006])

L'IDM suscite d'importantes activités de recherche depuis Novembre 2000 quand l'OMG a rendu publique son initiative MDA. Nous nous intéressons à MDA dans notre travail. Nous la présentons dans ce qui suit avec les standards de l'OMG.

I.3 Standards de l'OMG

L'OMG est un consortium à but non lucratif créée en 1989 regroupant des industriels, des fournisseurs d'outils et des académiques. L'objectif principal de l'OMG est d'établir des standards pour résoudre différents problèmes tel que celui de l'interopérabilité entre les systèmes d'information. Les groupes de travail de l'OMG développent des standards pour un éventail de technologies incluant les systèmes temps réel et embarqués, l'analyse et la conception et le MDA. [OMG 2010]

Dans le cadre des travaux de l'OMG autour de l'IDM, l'idée initiale consistait à s'appuyer sur le standard UML pour assurer la séparation des préoccupations métiers et technologiques. Après, les travaux sont devenus plus ambitieux et ont donné lieu à MDA dont le socle est le MOF.

Dans cette section, nous présentons essentiellement les standards de l'OMG utilisés pour les techniques générales de méta-modélisation et qui sont pertinents par rapport à notre recherche. Nous présentons successivement MOF, UML, OCL (Object Constraint Language) et XMI (XML Metadata Interchange).

⁹ <http://msdn.microsoft.com/vstudio/dsltools/default.aspx>

I.3.1 Meta-Object Facility (MOF)

Devant le développement et l'évolution d'une grande variété de méta-modèles différents et incompatibles, il y avait un besoin urgent de fournir un cadre d'intégration pour tous les méta-modèles. La réponse était d'offrir un langage de définition de méta-modèles ou un méta-méta-modèle.

Le MOF [OMG 2006a] est le méta-méta-modèle de l'OMG qui permet d'établir des méta-modèles permettant eux-mêmes d'exprimer des modèles. Le MOF permet de spécifier l'interopérabilité entre les méta-modèles et permet de faire coexister plusieurs méta-modèles différents. Il permet aussi d'étendre ou de modifier les méta-modèles existants. Il définit pour chaque méta-modèle :

- Un modèle abstrait d'objets MOF génériques et leurs associations ;
- Un ensemble de règles pour exprimer des méta-modèles et modèles MOF en XML ce qui fournit un support d'échange ;
- Un ensemble de règles pour créer des instances des objets génériques spécifiant un méta-modèle (abstract mapping). Ceci permet de définir des modèles conformes à ce méta-modèle ;
- Une hiérarchie d'interfaces réflexives permettant de découvrir et de manipuler des modèles basés sur des méta-modèles MOF dont l'interface n'est pas connue.

Nous soulignons que MOF est réflexif parce qu'il s'auto-décrit ce qui permet de limiter l'architecture pyramidale de l'OMG à quatre niveaux comme illustré par la Figure 5.

Le méta-méta-modèle du plus haut niveau (niveau M3) de la pyramide est MOF. Les méta-modèles sont donc conformes à MOF et appartiennent au niveau M2. Le niveau M2 définit le langage de modélisation et la grammaire de représentation des modèles M1. Le méta-modèle UML qui définit la structure interne des modèles UML, fait partie du niveau M2. Les profils UML, qui étendent le méta-modèle UML, appartiennent aussi à ce niveau M2. Le niveau M1 (ou modèle) est composé de modèles d'information qui décrivent les informations du niveau M0. Les modèles UML, les PIM (Platform Independant Model) et les PSM (Platform Specific Model) appartiennent à ce niveau. Les modèles M1 sont conformes au méta-modèle de M2. Le niveau M0 (ou instance) est le plus bas de l'architecture et correspond au monde réel.

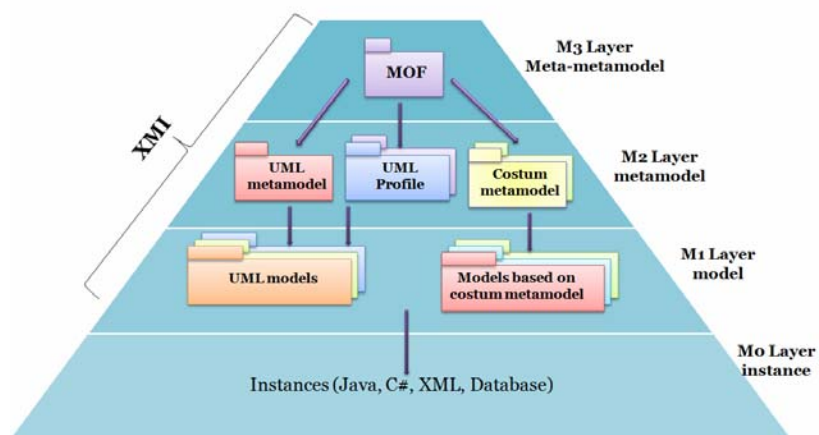


Figure 5 : Architecture à quatre niveaux de l'OMG (inspiré de [Miller et al. 2003])

A l'origine, UML était le standard promu par l'OMG pour la modélisation des systèmes d'information. C'est ce standard qui a largement inspiré le MDA et MOF. En effet, MOF a été

issu du constat qu'UML était un méta-modèle possible dans le domaine du développement logiciel et n'était pas le seul. UML est détaillé dans la section suivante.

I.3.2 Unified Modeling Language (UML)

UML est un langage de modélisation standard pour visualiser, spécifier, construire et documenter les systèmes logiciels [Miller et al. 2003] dont l'évolution est contrôlée par l'OMG.

Dans la pratique, UML concerne tout système, non seulement les systèmes logiciels, construit en utilisant l'approche orientée objet (OO).

L'ambition d'UML, dont la première version a été publiée en 1997 par l'OMG, est d'unifier en une seule notation les meilleures caractéristiques d'autres langages de modélisation graphique orientés objets. En modélisation orientée objet, il est devenu un standard de facto. La clé de son succès réside dans sa généralité qui lui permet de s'adapter à tous les domaines et problèmes de conception.

UML est un langage de modélisation dont les éléments ne peuvent pas être simplement transposés pour un domaine spécifique sans une réflexion sur leur sémantique d'où l'idée de créer des profils UML.

I.3.2.1 Profil UML

Un profil s'applique sur la spécification d'un langage afin de créer un nouveau langage en ajoutant de nouveaux types d'éléments ou/et de restrictions. Les profils constituent un mécanisme d'extension d'UML qui permettent de l'adapter à un domaine spécifique. Un profil UML est défini aux travers de stéréotypes, de valeurs marquées et de contraintes.

Un stéréotype est une sorte d'étiquette qui se colle sur un élément d'un modèle UML pour lui donner une nouvelle signification et ajouter ainsi de nouveaux éléments au méta-modèle. Grâce aux stéréotypes, il devient possible d'associer des traitements spécifiques au domaine couvert par le profil. Ces traitements permettent de rendre les modèles UML profilés plus productifs, car disposant d'informations supplémentaires grâce aux stéréotypes.

Les valeurs marquées (tagged values) permettent l'ajout de propriétés à une méta-classe et les contraintes permettent l'ajout ou la modification de règles. Il est possible d'associer les stéréotypes, les valeurs marquées et les contraintes à tout concept UML y compris classe, attribut, association, cas d'utilisation et d'autres. Ces éléments permettent d'établir une correspondance entre les concepts UML et les concepts du domaine représentés par le profil. Le profil est aussi composé d'un ensemble de règles de présentation, de conception ou de transformation. Ce sont ces règles qui rendent le profil opérationnel. [OMG 2009]

Tout modèle qui se base sur un profil UML est un modèle UML qui peut être exploité avec un outil UML ne supportant pas le profil. Dans ce cas, les extensions du profil ne seront pas considérées.

UML offre aussi la possibilité de définir des modèles paramétrés appelés « template UML » pour décrire des fonctionnalités réutilisables de systèmes. Nous allons nous attarder dans la section suivante sur les templates UML.

I.3.2.2 Template UML

Différentes définitions et spécifications techniques existent pour le terme « template ». L'idée commune est qu'un template définit une structure bien particulière. La norme UML

définit un template UML comme un élément de modélisation paramétré par exemple « package template » et « class template ».

Un template est caractérisé par sa signature « TemplateSignature » où sont définis ses paramètres formels « TemplateParameter » sélectionnés parmi les éléments du template « ParametrableElements ». Cette signature est représentée graphiquement par un rectangle en pointillé dans le coin supérieur droit du template. La Figure 6 montre un exemple de « class template » et la Figure 7 présente un exemple de « package template ». Les paramètres formels peuvent être des classes, des attributs, des associations et des expressions.

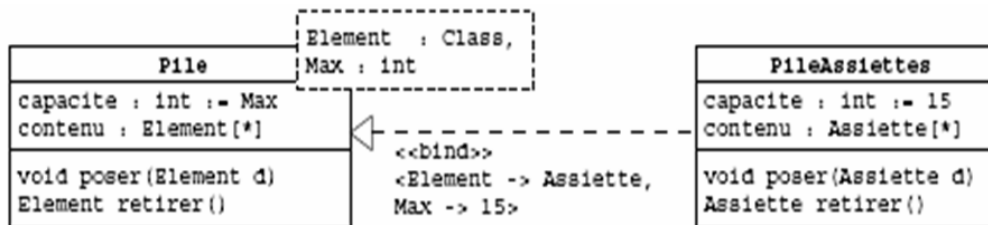


Figure 6 : Binding d'une classe template

La création d'un modèle à partir d'un template se fait par une liaison de substitution des paramètres formels par des éléments effectifs. Cette série de substitutions « TemplateParameterSubstitution » sera contenue dans le résultat appelé « TemplateBinding ». Un template UML permet donc de générer d'autres modèles du même type que le template grâce à l'utilisation de la relation « Binding ». C'est une relation dirigée du modèle à créer « boundElement » vers le template et qui est représentée par une relation stéréotypée «<bind>».

Ainsi, l'attache d'un « boundElement » implique que son contenu se fonde sur le contenu du template cible. Les éléments « formal » exposés comme paramètres formels sont alors substitués par les éléments « actual » effectifs spécifiés par le paramétrage de la relation « bind ». Les éléments qui n'ont pas été énoncés comme paramètres formels seront copiés comme tels à partir du template dans le modèle résultat. L'OMG définit la notion de « Binding » comme suit :

"The presence of a TemplateBinding relationship implies the same semantics as if the contents of the template owning the target template signature were copied into the « bound element », substituting any elements exposed as formal template parameters by the corresponding elements specified as actual parameters in this binding." [OMG 2009]

On peut dire donc que la présence d'une relation « TemplateBinding » implique la même sémantique que si le contenu d'un template est copié dans le « BoundElement » en remplaçant les paramètres formels avec leurs valeurs effectives spécifiées dans le binding.

La Figure 6 montre un exemple d'un template et son utilisation. La partie gauche de la Figure 6 montre une classe template. Cette classe, Pile, est représentée graphiquement comme une classe standard UML munie d'un rectangle en pointillé contenant sa signature. Ici, la signature est constituée de deux éléments comme paramètres formels : Element de type classe et Max de type entier. La partie droite de cette figure montre la classe PileAssiettes qui est reliée au template Pile au travers d'une relation « bind ». Cette classe est le résultat de la substitution des paramètres formels du template, Element et Max par les valeurs Assiette et 15 respectivement. Cette substitution est établie par la relation « bind ».

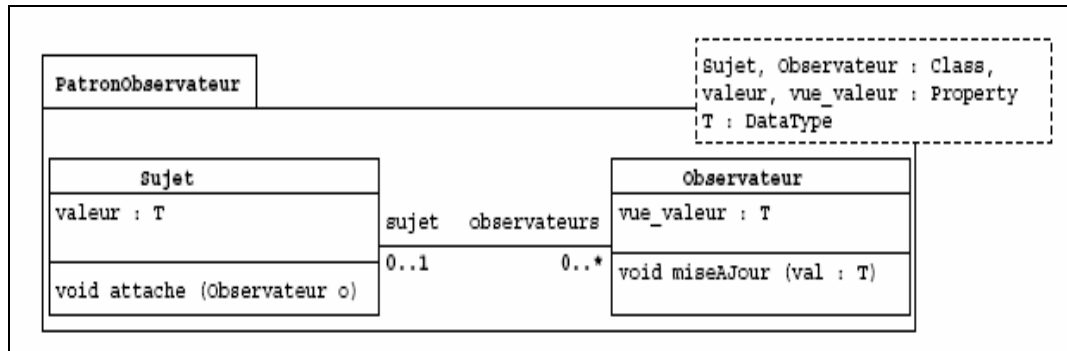


Figure 7 : Paquetage Template [Muller 2006]

En résumé, la norme UML2 [OMG 2009] définit cette notion de template à l'aide de quatre méta-classes `TemplateSignature`, `TemplateableElement`, `TemplateParameter` et `ParameterableElement` comme illustré par la Figure 8. Le paramétrage est défini à l'aide des deux concepts `TemplateBinding` et `TemplateParameterSubstitution` comme le montre la Figure 9.

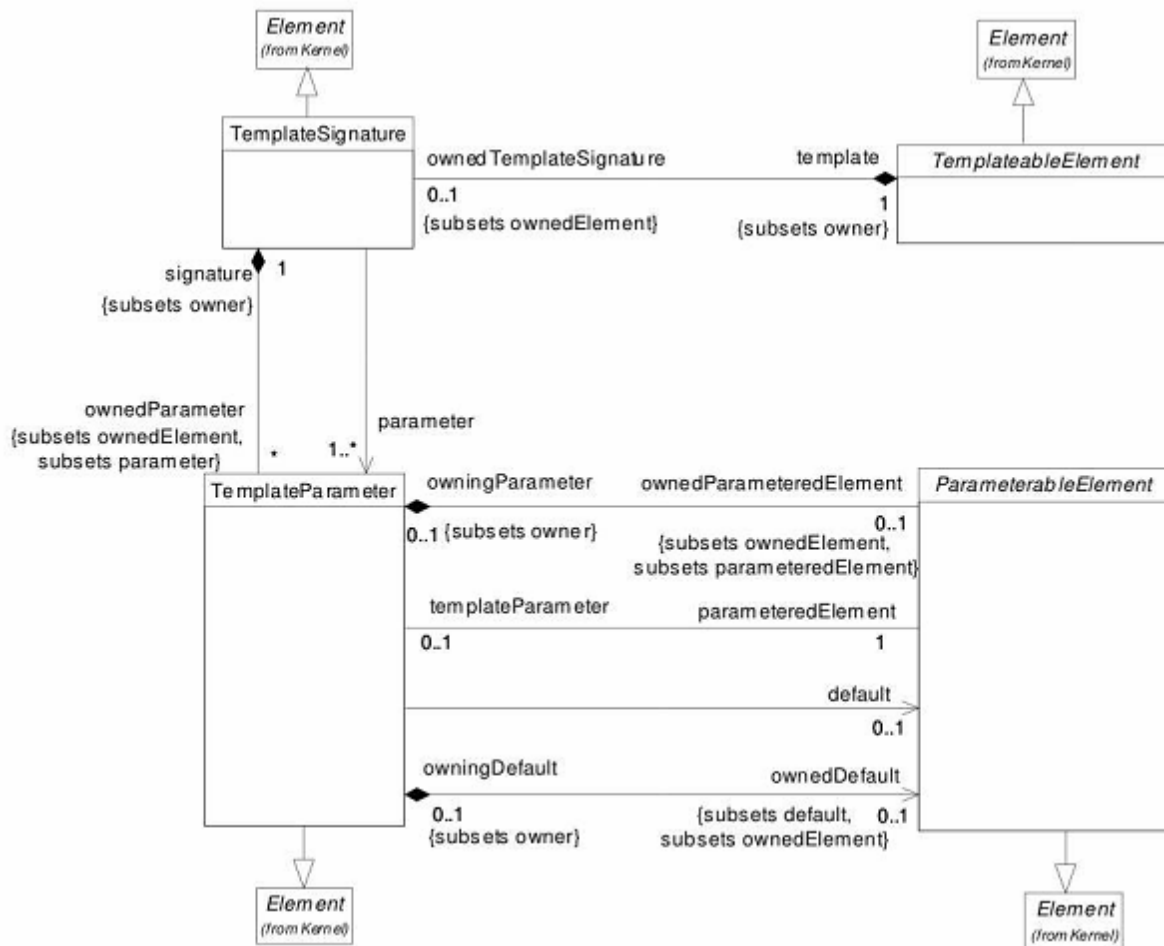


Figure 8 : Méta-modèle des templates [OMG 2009]

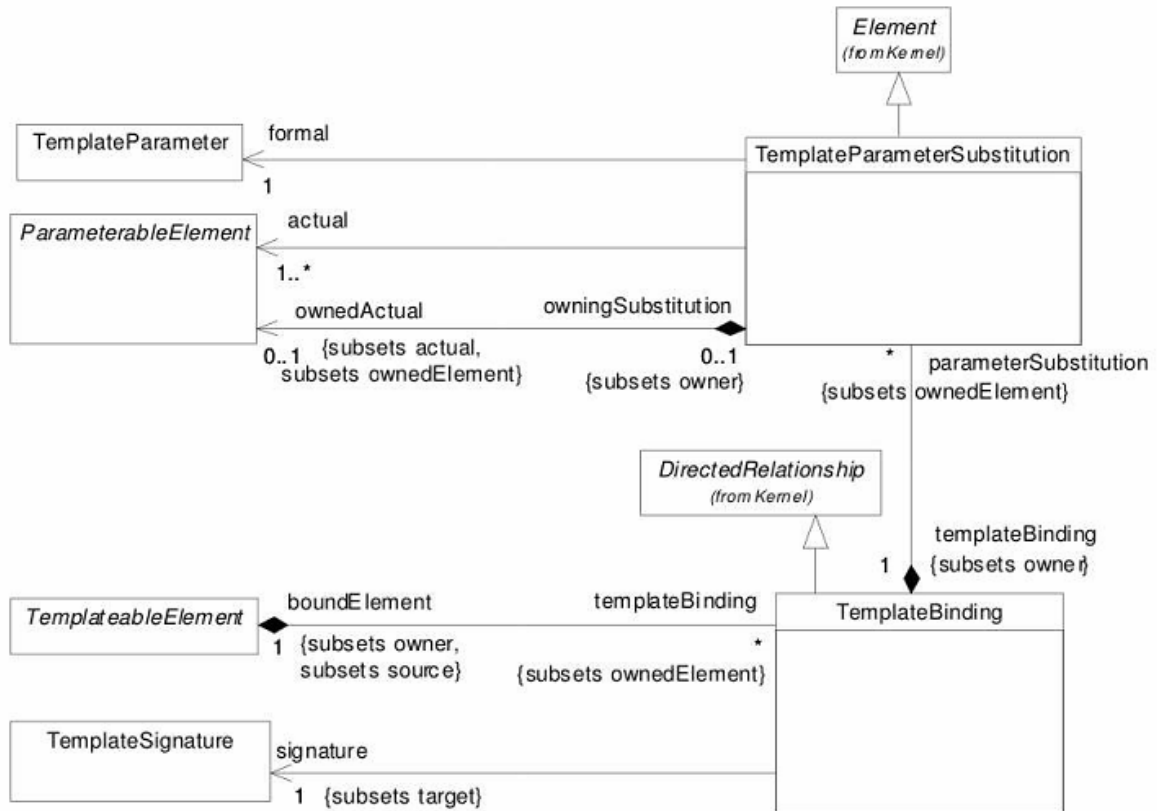


Figure 9 : Méta-modèle du passage de paramètres d'un template [OMG 2009]

Par rapport à l'architecture à quatre niveaux de l'OMG, nous notons que l'implémentation d'un template UML qui est du niveau 1 ne donne pas des objets du monde réel (niveau 0) mais donne lieu à un nouveau modèle du niveau 1 à partir duquel on peut créer les objets du niveau 0. La Figure 10 montre l'architecture de modélisation basée sur les templates UML.

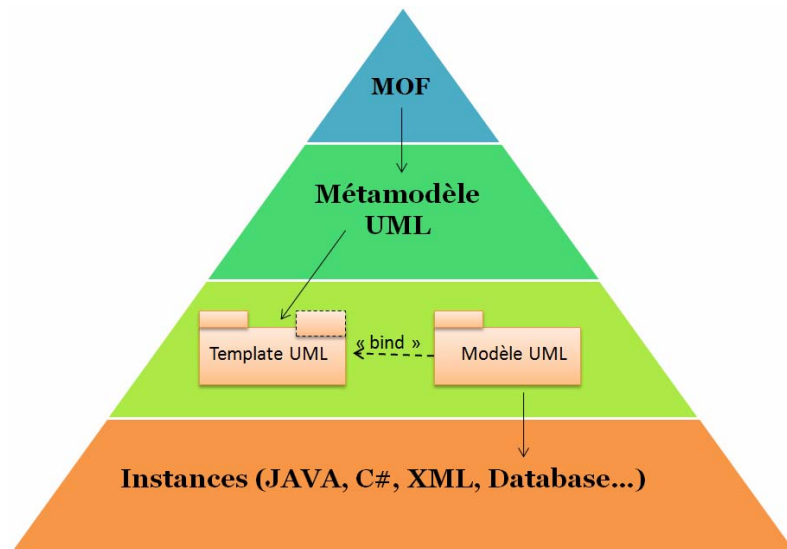


Figure 10 : Positionnement des templates UML par rapport à l'architecture à quatre niveaux du MDA

D'après [OMG 2009], UML permet d'exprimer différents types de contraintes tels que des contraintes structurelles¹⁰, des contraintes de type¹¹, des contraintes prédéfinies sur les associations¹² et diverses autres contraintes comme les contraintes de visibilité, des classes abstraites et de portée des méthodes. Néanmoins, certaines contraintes ne peuvent pas être formalisées avec UML. Afin de combler cette lacune, l'OMG a proposé un langage d'expression de contraintes (OCL) qui est présenté dans la section suivante.

I.3.3 Object Constraint Language (OCL)

OCL [OMG 2006b] est le standard de l'OMG permettant d'exprimer la sémantique statique des modèles et des méta-modèles. Il s'agit d'un langage de contraintes formel orienté objet. Il est volontairement simple d'accès, possède une grammaire élémentaire et peut être interprété par des outils. Il permet ainsi de limiter les ambiguïtés, tout en restant accessible. Il a été inclus dans UML afin de faciliter l'expression de contraintes dans les différents modèles de la norme. Une contrainte OCL est une expression booléenne, sans effet de bord, portant sur des éléments tels que les types de base, les classificateurs et leurs propriétés.

OCL peut s'appliquer sur la plupart des diagrammes d'UML et permet de spécifier des contraintes sur l'état d'un objet ou d'un ensemble d'objets comme :

- des invariants sur des classes ;
- des préconditions et des postconditions à l'exécution d'opérations :
 - les préconditions doivent être vérifiées avant l'exécution ;
 - les postconditions doivent être vérifiées après l'exécution ;
- des gardes sur des transitions de diagrammes d'états-transitions ou des messages de diagrammes d'interaction ;
- des ensembles d'objets destinataires pour un envoi de message ;
- des attributs dérivés.

Une contrainte est toujours associée à un élément d'un modèle, il est appelé le contexte de la contrainte. Pour le spécifier, il existe deux manières. La première manière consiste à écrire la contrainte entre accolades dans une note qui pointe vers son contexte. La deuxième manière consiste à mettre la contrainte dans un document qui accompagne le diagramme et qui a comme extension *ocl*. Dans ce cas, le mot-clef *context* spécifie le contexte de chaque contrainte.

La Figure 11 présente un extrait d'un diagramme de classe pour une application bancaire. Une banque peut gérer plusieurs comptes et un compte ne peut appartenir qu'à une seule banque. Une banque possède plusieurs clients et de même un client peut avoir plusieurs comptes. Chaque personne peut avoir plusieurs comptes mais un compte ne peut appartenir qu'à une seule personne.

¹⁰ Par exemple : les attributs dans les classes, les différents types de relations entre classes (généralisation, association, agrégation, composition, dépendance), cardinalités.

¹¹ Par exemple : le typage des attributs.

¹² Par exemple : {frozen}, {subset}, {xor}, {ordered}, {addOnly}.

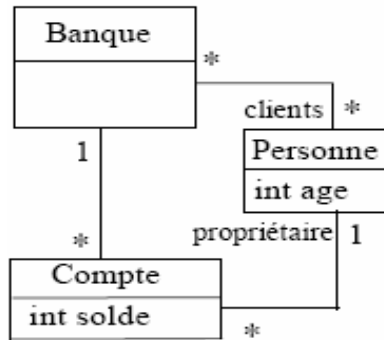


Figure 11 : Diagramme de classe support des exemples de contraintes OCL

Exprimer le fait que le solde d'un compte doit être positif ne peut pas être fait avec UML mais peut être formalisé avec la contrainte OCL suivante :

Context Compte

Inv : solde > 0

Nous passons dans la section suivante à présenter le standard XMI.

I.3.4 XML Metadata Interchange (XMI)

XMI [OMG 2009] est le standard de l'OMG qui permet de représenter les modèles sous forme de documents XML afin de permettre leur interopérabilité. En effet, il sert de pont entre le monde des modèles et le monde XML. La représentation des modèles en XML se fait grâce aux mécanismes appelés sérialisation et génération. La génération consiste à transformer un méta-modèle en une DTD (Document Type Definition) tandis que la sérialisation permet de représenter les modèles sous forme de document XML comme illustré par la Figure 12. Ainsi, il est possible d'encoder un méta-modèle dans un document XML, mais aussi, à partir d'un document XML il est possible de reconstruire des méta-modèles. Par exemple, les méta-modèles conformes à MOF ou à Ecore et leurs modèles respectifs peuvent être portables en utilisant XMI.

L'utilisation du standard XMI pour la sérialisation des modèles compatibles avec le MOF devient incontournable dans les outils industriels. Cette représentation facilite les échanges de données (ou méta-données) entre les différents outils ou plateformes de modélisation.

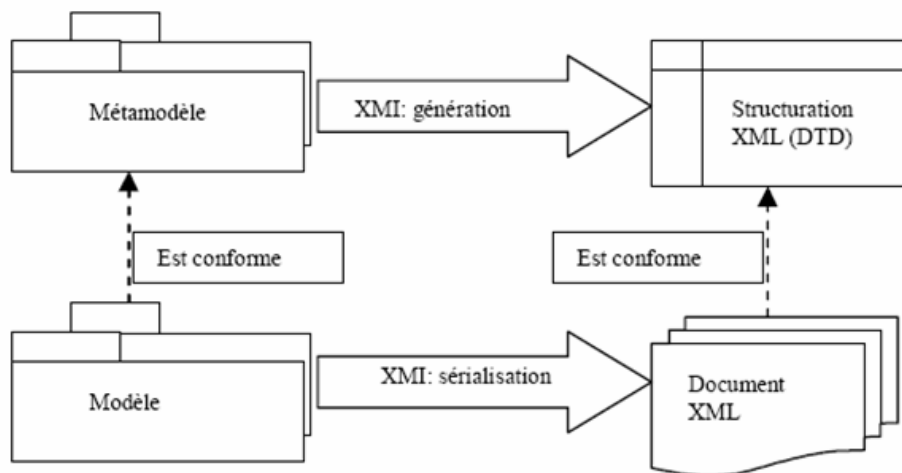


Figure 12 : XMI et la structuration de balises XML[Blanc 2005]

L'OMG a adopté ces standards qui permettent ensemble la mise en œuvre de l'architecture dirigée par les modèles qui sera présentée dans la section suivante.

I.4 Architecture dirigée par les modèles

Tel que expliqué au début de ce chapitre, MDA (Model Driven Architecture) [OMG 2003] est une variante particulière de l'IDM qui est proposée par l'OMG en 2001. Il s'agit d'une approche pour l'utilisation des modèles en développement logiciel.

I.4.1 Aperçu de l'architecture

Les trois buts primaires du MDA sont la portabilité, l'interopérabilité et la réutilisabilité par la séparation des préoccupations. Le MDA part de l'idée de séparer la spécification d'un système des détails de son implémentation sur une plateforme spécifique et fournit une approche pour :

- spécifier un système indépendamment de la plateforme qui le soutient ;
- spécifier des plateformes ;
- choisir une plateforme particulière pour un système ;
- transformer la spécification d'un système en une nouvelle spécification spécifique à la plateforme choisie.

Les techniques employées sont principalement des techniques de modélisation et des techniques de transformation de modèles. [OMG 2003]

Ainsi, le MDA propose conceptuellement trois points de vue, associés à leurs modèles respectifs comme illustré par la Figure 13 :

- Le CIM (Computer Independent Model) correspond aux modèles du « domaine » (domain/business model) indépendants de toute implémentation informatique et recensant les besoins des utilisateurs en utilisant le vocabulaire du praticien ;
- Le PIM (Platform Independant Model) correspond à la spécification de la partie « métier » d'une application, conformément à une analyse informatique cherchant à répondre aux besoins métiers indépendamment de la technologie de mise en œuvre ;
- Le PSM (Platform Specific Model) correspond à la spécification d'une application après transformation vers une plateforme technologique.

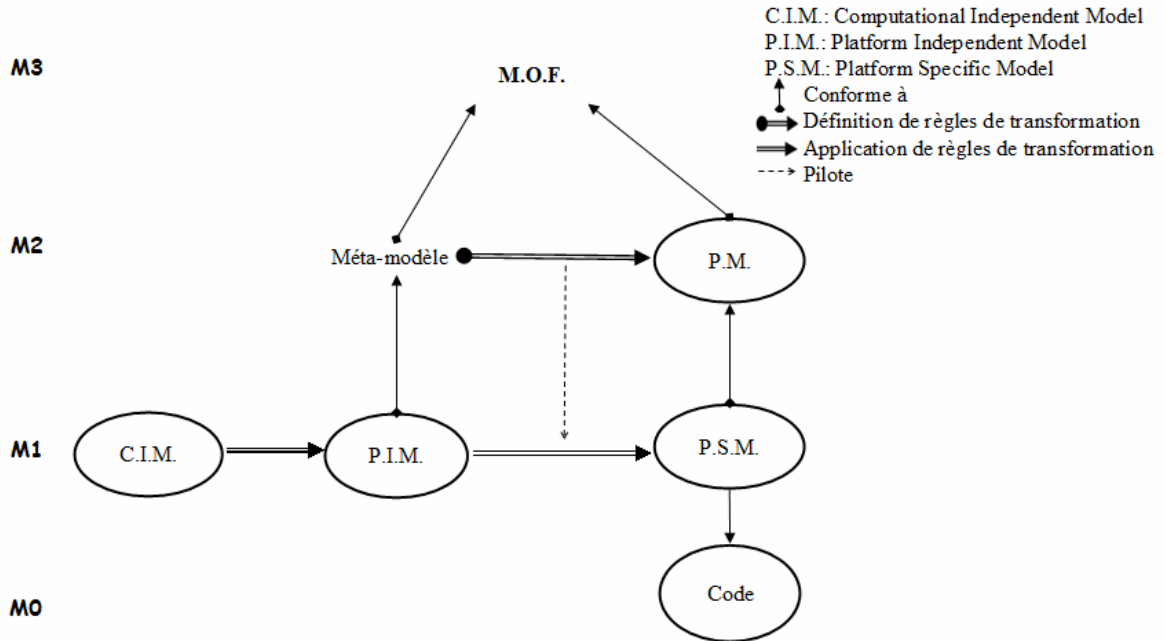


Figure 13 : Niveaux et points de vue des modèles en MDA

Dans ce qui suit nous allons détailler la modélisation des plateformes d'exécution (PM).

I.4.2 Modélisation des plateformes d'exécution

Selon MDA, la modélisation des plateformes d'exécution dans le cadre du MDA a été abordée dans plusieurs travaux de recherche.

A cause du nombre important d'entités identifiées actuellement comme étant des plateformes d'exécution, les définitions sont souvent dépendantes du domaine d'application.

La Figure 14 illustre une proposition de Atkinson [Atkinson et al. 2005] qui décrit une hiérarchie typique des plateformes d'exécution : les infrastructures matérielles, les systèmes d'exploitation, les machines virtuelles et les intergiciels. La distinction entre plateforme et application dépend du point de vue où l'on se place : toute plateforme peut être considérée comme une application pour une plateforme de plus bas niveau d'abstraction [Marvie et al. 2006].

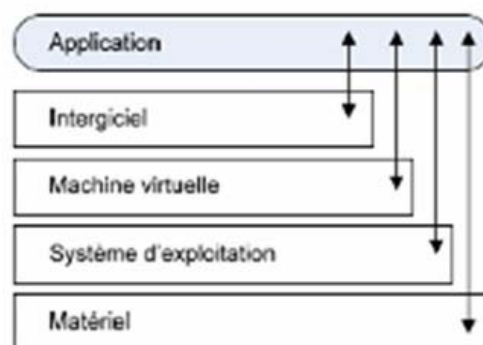


Figure 14 : Hiérarchie typique de plateformes d'exécution

En IDM, une plateforme est définie par l'OMG en ces termes : « un ensemble de sous-systèmes et de technologies qui fournissent un ensemble cohérent de fonctionnalités au travers d'interfaces et la spécification de patrons d'utilisation que chaque sous système qui

dépend de la plateforme peut utiliser sans être concerné par les détails et sur la façon dont les fonctionnalités sont implantées ». [OMG 2003]

Cette définition a été discutée dans plusieurs travaux ([Sangiovanni-Vincentelli et al. 2004] [Atkinson et al. 2005] [Almeida 2006]). En synthèse, les plateformes d'exécution sont au sens de la définition du MDA des serveurs qui par l'intermédiaire de mécanismes offrent des services à d'autres systèmes clients appelés applications. Tant que ces services ne sont pas fournis, il n'est pas possible de spécifier une application exécutable [Bran 2005]. Un modèle de plateforme d'exécution est un modèle des mécanismes et des services offerts par la plateforme (et donc un modèle de ce serveur).

Contrairement à la modélisation d'une application (un client), un modèle de l'implantation des mécanismes et des services d'une plateforme n'est pas nécessaire. La modélisation de leurs signatures et de leurs comportements visibles depuis l'interface de programmation des applications (« Application Programming Interface », API) suffit.

Un modèle d'une plateforme d'exécution peut être donc une représentation de son API [Thomas et al. 2007]. La problématique de modélisation des API de plateformes d'exécution a été abordée par plusieurs travaux [Atkinson et al. 2005, Bran 2005, Marvie et al. 2006, Thomas et al. 2007].

Les modèles de plateformes d'exécution sont nécessaires pour la transformation des modèles indépendants de ces plateformes en des modèles dépendants de ces plateformes afin de faciliter la génération de code. La place de la transformation de modèles qui sera présentée dans la section suivante est ainsi primordiale et même stratégique dans le MDA.

I.4.3 Transformation de modèles

L'essentiel du MDA réside dans la capacité de passer d'un modèle à un autre grâce aux transformations de modèle ([Czarnecki et al. 2003, Bézivin et al. 2004, Diaw et al. 2010]). Une *transformation de modèles est la génération d'un ou de plusieurs modèles cibles à partir d'un ou de plusieurs modèles sources*. [Bézivin et al. 2004]

I.4.3.1 Types de transformation

Les transformations peuvent être endogènes (modèle source et modèle cible sont conformes aux mêmes méta-modèles) ou exogènes (modèle source et modèle cible sont conformes à des méta-modèles différents). De plus, elles peuvent être horizontales (PIM vers PIM ou PSM vers PSM) ou verticales (PIM vers PSM ou PSM vers PIM) comme le montre le Tableau 1.

	<p>Diagram illustrating horizontal transformations: PIM → PIM and PSM → PSM, with a callout bubble labeled 'Horizontale'.</p>	<p>Diagram illustrating vertical transformations: PIM → PSM, with a callout bubble labeled 'Verticale'.</p>
<p>Transformation endogène</p>	<p>Restructuration Normalisation intégration de patrons</p>	<p>Raffinement</p>
<p>Transformation exogène</p>	<p>migration de logiciel Fusion de modèles</p>	<p>PIM vers PSM Rétro-conception</p>

Tableau 1 : Classes des transformations de modèles [Combemale et al. 2007]

Les transformations PIM vers PIM visent à enrichir, filtrer ou spécialiser le modèle pendant le cycle de développement sans nécessiter d'informations dépendantes d'une plateforme. Les transformations PIM vers PIM sont généralement utilisées pour le raffinement des modèles.

Les transformations PSM vers PSM s'appliquent sur un modèle spécifique et produisent un autre modèle spécifique pour la même plateforme. Elles sont utilisées pour la réalisation et le déploiement de composants. La génération de code, la compilation, la mise en paquets, l'initialisation et la configuration font partie de ce type de cette transformation. [Bézivin 2001]

Les transformations PSM vers PIM doivent permettre d'obtenir un modèle indépendant à partir d'une implantation existante sur une plateforme spécifique. Ce sont certainement les transformations les plus difficiles à automatiser. Idéalement, le résultat de cette transformation devrait correspondre à la transformation inverse PIM vers PSM.

Les transformations PIM vers PSM sont utilisées quand le PIM est suffisamment raffiné pour être projeté vers une plateforme d'exécution. Cette projection est basée sur les caractéristiques de cette plateforme et produit un modèle qui lui est spécifique à partir d'un modèle qui lui est indépendant.

I.4.3.2 Principales approches de transformation

Les règles de transformation peuvent être décrites selon trois approches à savoir l'approche par programmation, l'approche par template et l'approche par modélisation. [Blanc 2005]

L'approche par programmation consiste à utiliser les langages de programmation pour écrire les transformations sous la forme de programmes à l'image de n'importe quelle application informatique. Cette approche reste utilisée car elle ne nécessite pas de nouvelles expertises spécifiques à la transformation et elle réutilise des langages existants.

L'approche par template consiste à définir des canevas pour les modèles cibles souhaités. Ces canevas sont des modèles cibles paramétrés ou modèles templates. L'exécution d'une transformation consiste à prendre un modèle template et à remplacer ses paramètres par les valeurs d'un modèle source. Cette approche est implémentée par exemple dans l'approche

SOFTEAM [Ammour et al. 2005]. L'avantage de cette approche réside dans la possibilité d'exprimer les transformations sans avoir à écrire des lignes de code ce qui facilite l'élaboration et la maintenance des règles de transformation.

L'approche par modélisation se base sur l'application des concepts de l'IDM à la transformation de modèles. Elle se fait en deux étapes. En premier lieu, les règles de transformation décrivant la correspondance entre les concepts des méta-modèles sources et les méta-modèles cibles doivent être spécifiées. En second lieu, une application des règles de transformation permet de générer un modèle cible (conforme au méta-modèle cible) en partant d'un modèle source (conforme au méta-modèle source). Cette étape est assurée par un moteur d'exécution de transformations.

Dans ce cadre, l'OMG a proposé le standard QVT (Query View Transformation) [OMG 2008] qui définit un méta-modèle permettant l'élaboration de modèles de transformation de modèles. Son objectif consiste à définir et à établir une manière standard pour interroger les modèles MOF, pour créer des vues et pour définir les transformations de modèles. Pour cela, trois éléments fondamentaux ont été proposés :

- Une requête (Query) est bien formée dans le but d'avoir des instances de modèle satisfaisant la condition formulée dans la requête ;
- Une vue (View) est un modèle obtenu à partir d'un autre modèle selon des aspects bien spécifiques et qui peut être obtenue en appliquant des transformations sur ce modèle ;
- Une transformation permet de décrire le rapport entre un modèle source et un modèle cible.

Dans la littérature, il existe plusieurs autres langages de transformation de modèles. Nous citons ATL (ATLAS Transformation Language) et Kermeta. Nous allons détailler ATL parce que nous allons y revenir dans la suite du rapport. ATL [Bézivin et al. 2003] est un langage de transformation de modèles hybride (déclaratif et impératif). Une règle déclarative d'ATL (Matched Rule), est spécifiée par un nom, un ensemble de patrons sources (InPattern) mappés avec les éléments sources, et un ensemble de patrons cibles (OutPattern) représentant les éléments créés dans le modèle cible. Le pattern source de la règle déclarative est défini après le mot clé "from". Il permet la détection d'un ensemble d'éléments particulier dans le modèle source. Le pattern cible est introduit par le mot clé "to". Il représente les éléments de modèles résultant de l'application d'une règle de transformation.

Le style impératif d'ATL est supporté par deux constructions différentes qui sont soit des règles impératives appelées Called Rule, soit un bloc d'instructions impératives (ActionBlock) utilisé avec les deux types de règles. Pour accéder aux éléments d'un modèle, ATL utilise des requêtes sous forme d'expressions OCL. Une requête permet de naviguer entre les éléments d'un modèle et d'appeler des opérations sur ceux-ci.

I.5 Conclusion

La littérature de l'IDM est riche et abondante. Dans ce chapitre, nous avons synthétisé l'essentiel à la compréhension de ce rapport. Nous avons noté que les travaux et les standards liés à cette ingénierie ne cessent de se multiplier et d'évoluer. L'IDM fait l'objet de plusieurs travaux dans différents domaines de recherche. Ces travaux cherchent à tirer profit des avancées liées à cette ingénierie notamment dans un objectif de pouvoir séparer les préoccupations métiers et technologiques des systèmes et les intégrer efficacement ce qui a suscité l'intérêt pour l'IDM appliquée aux EIAH.

Chapitre II : Modélisation pédagogique pour les plateformes de formation à distance

II.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de préciser notre positionnement dans le domaine vaste de l'ingénierie des EIAH. Nous introduisons, d'abord, la définition et le rôle de la modélisation pédagogique en Ingénierie des EIAH. Dans nos travaux, nous nous intéressons aux plateformes de formation à distance pour déployer et exécuter des scénarios pédagogiques. Le terme plateforme de formation à distance couvre des significations différentes que nous clarifions dans ce chapitre. Dans le reste du chapitre, nous nous attardons sur les différentes approches de modélisation pédagogique. Nous analysons principalement les deux approches qui se basent sur les standards d'eLearning et sur les standards du génie logiciel. Nous montrons comment nos recherches antérieures nous ont conduits à se situer dans l'approche dirigée par les modèles. Nous consacrerons une partie de ce chapitre pour clarifier les liens entre la notion de « dispositif pédagogique » et les notions de « scénario pédagogique » et de « plateforme de formation à distance »

II.2 Modélisation pédagogique en Ingénierie des EIAH

II.2.1 EIAH : Définition

EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain) est la dénomination générique actuelle des applications de l'informatique conçues dans le but de favoriser l'apprentissage humain. Le terme EIAH, pris dans son acception la plus large, couvre une diversité de travaux et de systèmes. Leur point commun est la mise en relation d'une intention didactique et d'un environnement informatique.

La définition de référence et la plus complète d'un EIAH est donnée par Pierre Tchounikine [Tchounikine 2002a] qui définit un *EIAH* comme *un environnement conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant. Ce type d'environnement mobilise des agents humains (élève, apprenant, tuteur) et artificiels (agents informatiques), qui peuvent eux aussi tenir des rôles différents et leur offre des situations d'interaction, localement ou à travers des réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées)* ».

L'EIAH est un domaine de recherche pluridisciplinaire : pédagogie, didactique, psychologie cognitive, sciences de l'éducation et informatique sont les disciplines directement concernées, ainsi que l'ergonomie ou les sciences de l'information et de la communication. Les travaux d'EIAH qui relèvent de la recherche en informatique sont les travaux associés à la conception d'artefacts informatiques prenant en compte les objectifs et contraintes liés à un apprentissage et qui, en cela, posent des problèmes d'ingénierie. [Tchounikine 2006]

II.2.2 Ingénierie des EIAH

L'objet des travaux sur l'ingénierie des EIAH est d'étudier les principes de construction des EIAH et de produire un ensemble de méthodes, de techniques et d'outils visant à encadrer et systématiser leur processus de conception.

Selon Tchounikine [Tchounikine 2002a], **l'ingénierie des EIAH** couvre l'ensemble des travaux visant à définir des concepts, méthodes et techniques reproductibles et /ou

réutilisables facilitant la mise en place (conception – réalisation – expérimentation – évaluation – diffusion) d’environnements de formation ou d’apprentissage (dans leur articulation avec les dispositifs informatiques d’aujourd’hui) en permettant de dépasser le traitement *ad hoc*¹³ des problèmes.

Le terme « **conception des EIAH** » renvoie aux problématiques liées à la conception des artefacts informatiques qui embarquent des fonctionnalités spécifiques liées à l’objectif de susciter ou d’accompagner un apprentissage humain et aux problèmes particuliers que pose la conception de ces artefacts [Tchounikine 2002b]. Parmi ces problèmes, Tchounikine considère que la conception d’un EIAH *est un processus complexe (au sens de la théorie de la complexité), qui ne peut se réduire à un point de vue ou à la simple juxtaposition de points de vue cloisonnés et réducteurs.* [Tchounikine 2006]

Tchounikine [Tchounikine 2006] partage la même idée avec Blandin [Blandin 2006] qui considère que la plupart des approches d’ingénierie développées actuellement suivent une démarche réductionniste et conduisent à des solutions qui ne prennent en compte qu’une partie des niveaux de l’ingénierie et des objets auxquels elle doit s’appliquer. Il insiste sur la nécessité de prendre en compte comme un processus spécifique une ingénierie globale dont l’objet est d’assurer la cohérence du projet et d’articuler entre eux les différents objets à différentes échelles.

Nous retenons de ces propos qu’un problème central de la conception d’un EIAH est la définition et la modélisation des intentions pédagogiques et au moins leur articulation avec les spécifications de l’environnement support qui va l’accueillir tel qu’une plateforme de formation à distance (**la modélisation pédagogique**¹⁴). Dans une vision plus globale, la complexité d’un EIAH pourra introduire d’autres éléments pour la modélisation qu’il faudra articuler avec la modélisation pédagogique. Ce dernier point mérite l’exploration en étudiant plus en détail la complexité des EIAH que nous traiterons dans le chapitre IV. Nous allons nous concentrer dans la suite de ce chapitre sur la modélisation pédagogique.

II.2.3 Rôle de la modélisation pédagogique en Ingénierie des EIAH

La modélisation est centrale dans la plupart des disciplines et de même pour les EIAH.

Le dictionnaire de la langue française en ligne TLFi (Trésor de la langue française informatisé) donne les définitions suivantes du mot « modèle »¹⁵ :

Arts et métiers : représentation à petite échelle d’un objet destiné à être reproduit dans des dimensions normales.

Épistémologie : système physique, mathématique ou logique représentant les structures essentielles d’une réalité et capable à son niveau d’en expliquer ou d’en reproduire dynamiquement le fonctionnement.

¹³ Dépasser le traitement *ad hoc* des problèmes signifie que, pour faire face à la construction d’un EIAH répondant à des contraintes identifiées (domaine, niveau, contexte, objectif pédagogique, etc.), l’équipe de conception pourra faire appel à un ensemble de connaissances (et éventuellement d’outils) capitalisés (« éléments de méthodes et de techniques ») qui guideront le processus de conception, de réalisation, d’évaluation et d’expérimentation du système. Ceci sous-entend que cet ensemble de connaissances aura été capitalisé (identifié, décrit) car reconnu comme utile dans un spectre d’application donné. [Tchounikine 2002]

¹⁴ L’expression scénarisation pédagogique est couramment utilisée mais nous trouvons que cette expression représente plus l’approche d’ingénierie basée sur les activités qui sera présentée dans la section II.4.1.2 tandis que l’expression modélisation pédagogique est neutre et peut rester valable quelque soit l’approche d’ingénierie.

¹⁵ <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

En informatique, un modèle a pour objectif de structurer les données, les traitements, et les flux d'informations entre entités.

Les modèles sont également au cœur de discussions en EIAH portant principalement sur les formalismes à utiliser, l'expressivité, la complétude des modèles proposés et les usages à faire de ces modèles [Nodenot 2006]. En EIAH, on peut citer plusieurs travaux qui font usage de modèles tels que le modèle d'interaction [Baker 2000], le modèle de l'apprenant¹⁶ [Laroussi 2001] et les modèles pédagogiques [Morandi 2006].

Baker propose trois rôles des modèles en EIAH :

1. modèle comme outil scientifique : les modèles (interprétables ou non par la machine) sont utilisés comme support de compréhension, communication et prédiction de certains aspects de situations d'apprentissage ; le terme simulation est parfois employé (par exemple un modèle décrivant les interventions d'un tuteur pour une situation d'apprentissage).
2. modèle comme composant d'un système : ces modèles interprétables sont utilisés comme composants de l'artefact éducatif (qui peut être un composant du dispositif informatique d'un EIAH; par exemple un modèle de l'apprenant embarqué dans le dispositif).
3. modèle comme une base pour la conception : il s'agit de modèles décrivant un processus éducatif (accompagnés de leur théorie d'enseignement/apprentissage) formant la base pour la conception d'un artefact informatique pour l'éducation (par exemple un modèle représentant le système d'information d'un EIAH).

Notre travail concerne le rôle des modèles dans le processus de conception d'EIAH. Nous focalisons dans la suite de ce chapitre sur les modèles comme base pour la conception (troisième rôle) utilisés ainsi comme base de la modélisation pédagogique.

Avant de présenter les différentes approches de modélisation pédagogique, nous présentons les plateformes de formation à distance.

II.3 Plateformes de formation à distance

L'utilisation des plateformes de formation à distance s'est répandue au cours de ces dernières années. Cette expansion est due essentiellement à l'accroissement de l'offre de formation à distance, à la multiplication des plateformes, à l'apparition de nouveaux outils, ainsi qu'à l'essor des applications open source. Selon le portail « Thot-Cursus »¹⁷, en 2010, on compte 213 plateformes de formation à distance. En réalité, ce nombre peut être augmenté parce qu'il existe de nombreux outils qui sont utilisés en tant que plateformes de formation à distance sans être référencés en tant que tel, par exemple près de 600 "Content Management System" sont référencés (CMS).

Dans ce qui suit nous allons étudier plus en détail ces plateformes en essayant de les classer.

¹⁶ Le modèle de l'apprenant est une structure de données (au sens de l'informatique) qui caractérise les connaissances acquises par l'apprenant. Il contient des informations sur les agilités de l'utilisateur (ce qu'il sait faire), sur son profil (ses traits personnels), son but, ses préférences, ses idiosyncrasies [Laroussi 2001].

¹⁷ Le répertoire de plateformes e-learning du portail Thot-Cursus est une ressource de référence en e-learning <http://thot.cursus.edu/>

II.3.1 Définition

Selon l'Office de la langue française¹⁸, Une plateforme de formation à distance est un « système informatique destiné à automatiser les diverses fonctions relatives à l'organisation des cours, à la gestion de leur contenu, au suivi des progrès des participants et à la supervision des personnes responsables des différentes formations ». Actuellement, les activités pédagogiques sont davantage mises en avant, ce qui conduit à compléter la définition ci-dessus : une plateforme peut être vue comme un système qui permet de gérer et de donner accès à un ensemble d'activités et de ressources pédagogiques. [George et al. 2005]

Les plateformes de formation à distance regroupent plusieurs fonctionnalités. A l'origine, ces fonctionnalités se résument au suivi des parcours pédagogiques avec des outils de communication asynchrone et synchrone. Ensuite, elles se sont développées vers d'autres domaines notamment :

- La gestion de la formation comme la gestion des inscriptions, l'organisation de la formation et la gestion de l'offre ;
- La gestion de contenus comme la création, l'importation et l'exportation des ressources pédagogiques.

La Figure 15 résume les fonctionnalités offertes par une plateforme d'apprentissage. Le but d'une plateforme de formation à distance est ainsi de procurer à ses usagers une série d'outils leur permettant de mettre en œuvre de façon rationnelle des activités d'apprentissage collectives ou individuelles. Il ressort de cette définition qu'une plateforme de formation à distance est un environnement social qui fait interagir plusieurs acteurs tels que les apprenants, les tuteurs et les administrateurs et qui regroupe :

- Des outils de communication synchrone par exemple les chats et les forums de discussion et des outils de communication asynchrone comme l'e-mail ou encore les groupes de discussion ;
- Des outils d'évaluation par exemple les exercices, les devoirs et les questionnaires ;
- Des outils de travail collaboratif comme les glossaires et les wikis ;
- Des outils de réalisation d'un contenu normalisé (conforme au standard SCORM par exemple) ;
- Des interfaces pour la consultation des ressources partagées.

Elle offre également des services d'administration permettant, entre autres, la gestion des utilisateurs, le contrôle d'accès, la gestion des ressources et l'organisation de formations. Elle permet le stockage des ressources humaines, pédagogiques et événementielles dans une base de données.

¹⁸ <http://www.granddictionnaire.com/>

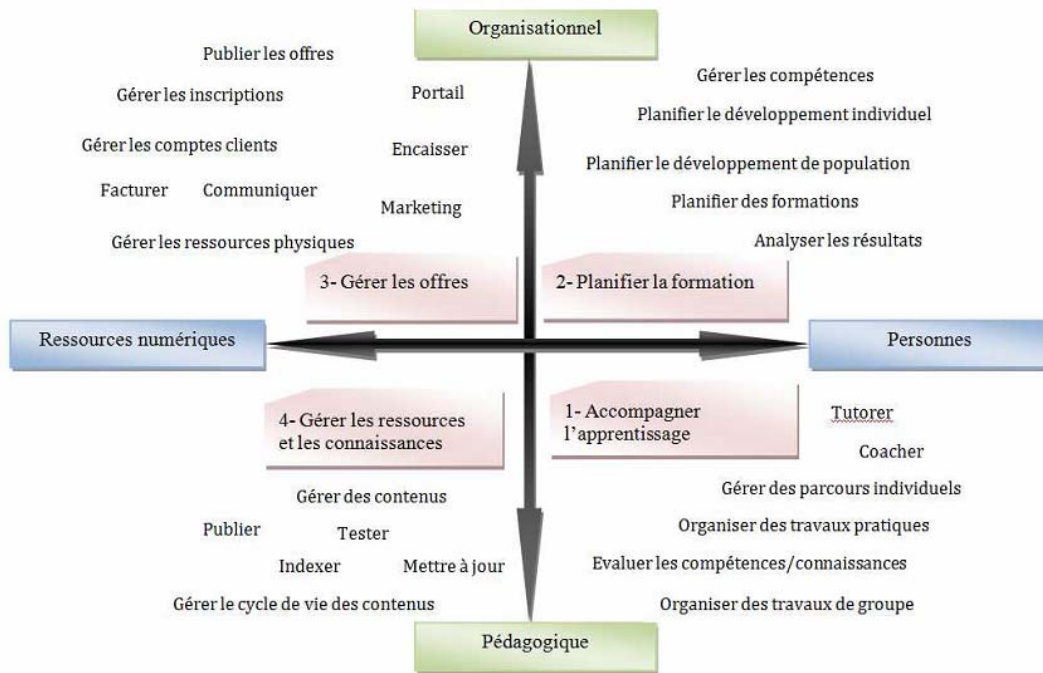


Figure 15 : Fonctionnalités offertes par les plateformes de formation¹⁹

II.3.2 Classification

Les plateformes de formation à distance peuvent être classées selon leurs natures open-source ou propriétaire. En effet, c'est la classification la plus simple vu l'hétérogénéité du contenu des différentes plateformes. Parmi les plateformes propriétaires, nous pouvons citer les plus connues E-doceo²⁰, MyTeacher²¹ et EduZone²². Parmi les plateformes open source, nous citons les plus répandues Claroline²³, Dokeos²⁴, Ganesha²⁵ et Moodle²⁶.

Nous notons aussi que dans la littérature nous trouvons différentes dénominations anglo-saxonnes des plateformes de formation à distance qui sont LMS (pour Learning Management System), CMS (pour Content Management System) et LCMS (pour Learning Content Management System). Dans la pratique, elles sont semblables, en tant qu'outil, par leur usage toutefois elles diffèrent par leurs définitions.

Un LMS est un système de gestion de cours qui permet à des apprenants d'accéder à des cours mis à disposition par les formateurs au moyen d'un navigateur. WebCT²⁷, Ganesha, Claroline, Moodle sont des exemples de LMS.

¹⁹ <http://www.refad.ca/nouveau/concertation/concertech.html>

²⁰ www.e-doceo.net/

²¹ <http://myteacher.net/>

²² www.eduzonesolution.com/

²³ <http://www.claroline.net>

²⁴ www.dokeos.com

²⁵ www.ganesha.fr/

²⁶ <http://moodle.org/>

²⁷ <http://www.webct.com>

Un CMS est un système de gestion de contenus qui permet une publication de contenus multimédia sur un réseau local ou distant dans lequel une base de données sert à stocker les contenus. SPIP²⁸ (système de publication pour Internet), Joomla²⁹, Typo 3³⁰ sont des exemples de systèmes de gestion de contenus assez répandus.

Un LCMS est un système intégré de formation à distance utilisant toutes les fonctionnalités d'un LMS et d'un CMS. Il inclut également une interface permettant la production de cours à partir de catalogues d'objets pédagogiques. TopClass³¹, SimplyLearn³² sont des exemples de telles suites intégrées.

Il convient de noter que d'autres types d'outils sont également utilisables comme plateformes de formation à distance, il s'agit d'applications Web 2.0 [O'Reilly 2005] basées sur un nombre de fonctionnalités réduites : Wiki³³, dépôt de documents, Blog³⁴. L'usage de ces applications en enseignement est désigné par le sigle eLearn 2.0 [Downes 2005].

Aujourd'hui le Web 2.0 permet le passage d'un Web statique à un Web dynamique où la gestion de contenu est plus dynamique et où chaque acteur du Web peut être contributeur. En effet, contrairement au Web 1 où l'utilisateur a une position de consommateur, le Web 2.0 permet à l'internaute de s'impliquer, entraînant ainsi l'apparition de communautés, regroupées par centres d'intérêt. Tout ceci est rendu possible grâce à de nouveaux modes d'appropriation de ces techniques par l'utilisateur final en lui permettant de collaborer et de coopérer avec d'autres internautes rencontrés dans cet espace virtuel.

Le détournement et le paramétrage de ces applications permettent leurs usages en enseignement grâce essentiellement au pouvoir de création qu'elles offrent à leurs utilisateurs. Cette création concerne par exemple la production de documents et l'évaluation de documents.

Pour clôturer cette section sur les plateformes de formation à distance, nous notons que nous ne situons pas notre recherche dans une perspective centrée sur le processus de production ou de choix d'une plateforme mais que nous considérons les plateformes de formation à distance dans une perspective centrée sur la modélisation de dispositifs pédagogiques par des concepteurs pédagogiques.

Nous poursuivons dans la section suivante l'analyse de la notion de plateforme de formation à distance de point de vue de la modélisation pédagogique que des concepteurs pédagogiques peuvent mener sur ces plateformes.

II.4 Travaux menés sur la modélisation pédagogique

Nous allons nous pencher dans cette section sur la présentation des travaux menés au sujet de la modélisation pédagogique. Nous allons présenter ces travaux en distinguant

²⁸ www.spip.net/

²⁹ www.joomla.fr/

³⁰ <http://typo3.org/>

³¹ www.wbtsystems.com/

³² www.simplylearn.co.uk/

³³ Site Web dynamique permettant à tout individu d'en modifier le contenu. Il permet de communiquer et diffuser des informations rapidement et de structurer l'information afin d'y naviguer facilement.

³⁴ Blog : Site Web sur lequel une ou plusieurs personnes s'expriment de façon libre, sur la base d'une certaine périodicité. Le flux d'actualités est décomposé en unités chronologiques, susceptibles d'être commentées par les lecteurs et le plus souvent enrichies de liens externes.

principalement deux approches : celle basée sur les standards d'eLearning et celle basée sur les standards du génie logiciel parce que nous voulons nous concentrer sur l'interopérabilité à travers différentes plateformes de formation à distance. Dans la littérature, nous trouvons d'autres classifications des mêmes travaux par exemple Pernin [Pernin et al. 2004a] définit trois types d'approches de la modélisation pédagogique : l'approche documentaire (centrée ressources), l'approche centrée sur les activités et l'approche centrée Processus. Caron [Caron 2007a] ajoute à cette classification l'approche par dispositif. Nous présentons le positionnement de nos travaux par rapport à cette classification en quatre approches dans la section II.5.

II.4.1 Travaux basés sur les standards d'eLearning

La problématique de la normalisation de l'apprentissage en ligne est apparue sous l'effet conjugué et complémentaire de deux nécessités : le besoin d'une meilleure efficacité économique des investissements en eLearning et celui d'une amélioration de l'efficacité pédagogique de ses produits.

En effet, les outils, les technologies et les produits de l'eLearning étaient initialement conçus et développés d'une façon propriétaire. Dans cette approche, chaque produit développé se veut autonome. L'utilisation de ce produit par un nouvel utilisateur ou son intégration dans une plateforme de formation à distance différente suppose une adaptation majeure coûteuse en termes de temps et d'effort. Or, des solutions globales ne peuvent exister sans le recours à des façons communes de faire, soit des normes³⁵ et des standards³⁶ ([Dira 2006] propose un état de l'art détaillé des travaux de normalisation). A cet effet, plusieurs acteurs de normalisation sont apparus et plusieurs travaux ont été élaborés et d'autres sont en cours.

Ces standards ont donné lieu à deux approches de modélisation pédagogique : celle centrée sur les ressources et celle centrée sur les activités. L'objectif de l'approche centrée sur les ressources est d'aboutir à des contenus pédagogiques réutilisables. L'objectif de l'approche sur les activités est d'aboutir à la spécification d'un processus d'apprentissage, par la synchronisation de contenus réutilisables. Nous détaillons ces deux approches dans ce qui suit.

II.4.1.1 Approche centrée sur les ressources

L'approche centrée sur les ressources est liée à l'accroissement des possibilités offertes par Internet pour accéder à de grandes masses d'informations, notamment de nature pédagogique. Elle met en avant les avantages de l'approche par objets en informatique pour promouvoir de nouveaux usages fondés sur les principes de « partage et réutilisation » et de « composition ».

L'approche centrée sur les ressources propose d'encadrer par des standards la description, le référencement, l'agrégation et la livraison de documents sur des plateformes de formation. Cette approche permet donc à un concepteur d'adresser une plateforme en réfléchissant en termes d'objets pédagogiques.

Selon le LTSC-IEEE³⁷, un objet pédagogique (OP) désigne « ... toute entité, numérique ou non, qui peut être utilisée, réutilisée ou référée durant un apprentissage assisté par la

³⁵ **Une norme** est « un document établi par consensus, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné » (extrait du Guide ISO/CEI 2).

³⁶ **Un standard** : un ensemble de recommandations développées et préconisées par un groupe représentatif d'utilisateurs.

³⁷ <http://ltsc.ieee.org/>

technologie ». La définition de l'IEEE a été critiquée par Wiley [Wiley 2002]. Il l'a considéré « très vaste » et il a proposé une définition plus restreinte : « toute ressource numérique qui peut être réutilisée pour assister l'apprentissage ». D'autres auteurs tel que [Bourda 2001] se sont interrogés sur ce qu'est un objet pédagogique.

Une idée sous-jacente à ces définitions réside dans le fait qu'un objet pédagogique peut être utilisé de façon indépendante d'un contexte précis et qu'il peut être également réutilisé. Pour assurer le partage et la réutilisation des objets pédagogiques, ces derniers doivent être indexés. L'indexation des objets pédagogiques est réalisée grâce à des descriptions appelées métadonnées. Une métadonnée est littéralement une donnée sur une donnée. Plus précisément, c'est un ensemble structuré d'informations décrivant une ressource. Pour que les métadonnées remplissent leur rôle, il faut qu'elles soient standardisées

Les travaux de standardisation menés dans le domaine ont abouti, entre autres, à la spécification LOM (*Learning Object Metadata*). C'est un modèle de métadonnées créé par l'IEEE dans le but de définir les attributs requis pour la description complète d'un objet pédagogique en vue de son catalogage et sa réutilisation. Il propose également un modèle d'agrégation successive d'objets allant depuis des documents élémentaires par exemple une image jusqu'à des entités de très haut niveau par exemple un curriculum.

LOM comporte neuf catégories d'éléments de métadonnées : Général, Cycle de vie, Méta-métadonnées, Technique, Pédagogique, Droits, Relations, Annotation, Classification. Chaque catégorie comporte plusieurs éléments. Par exemple, la catégorie « Général » regroupe l'information générale qui décrit l'objet d'apprentissage dans son ensemble. La catégorie « Cycle de vie » décrit l'historique et l'état actuel de l'objet d'apprentissage et ceux qui l'ont affecté durant son évolution ([Drira 2006] présente une étude plus détaillée de ce standard). Selon l'IEEE, chaque élément de métadonnées de LOM est optionnel. Ainsi, lors de la création d'une instance de métadonnées, l'auteur de contenu peut arbitrairement sélectionner les éléments à remplir.

LOM constitue le noyau de SCORM (Shareable Courseware Object Reference Model) qui est le standard de référence dans l'approche centrée ressources. En effet, il intègre les meilleures spécifications proposées par les plus importants acteurs de la standardisation l'AICC³⁸, IMS³⁹ et l'IEEE dans un modèle unique de référence. Il décrit une mise en œuvre cohérente qui favorise la création de contenus d'apprentissage réutilisables par séquençement d'objets d'apprentissage. SCORM propose également l'environnement d'exécution qui permet de supporter la livraison de contenus sur des plateformes de formation à distance conformes à SCORM.

La modélisation pédagogique selon SCORM consiste en la création d'un paquetage de contenu composé de fichiers de contenu et un fichier XML appelé Manifest. Les fichiers de contenu représentent les ressources qui composent le contenu SCORM telles que les leçons et les exercices. Le Manifest décrit le contenu et son organisation de manière détaillée. Une organisation définit une hiérarchie d'items et de liens entre eux sous la forme d'un arbre. Elle permet d'agréger des ressources d'apprentissage dans des items. Les items feuilles font référence aux ressources d'apprentissage utilisées (des SCOs (Shareable Content Object) et des Assets selon la terminologie de SCORM).

³⁸ Aviation Industry Computer based training Committee (<http://www.aicc.org/>)

³⁹ IMS Global Learning Consortium, Inc. (<http://www.imsglobal.org/>)

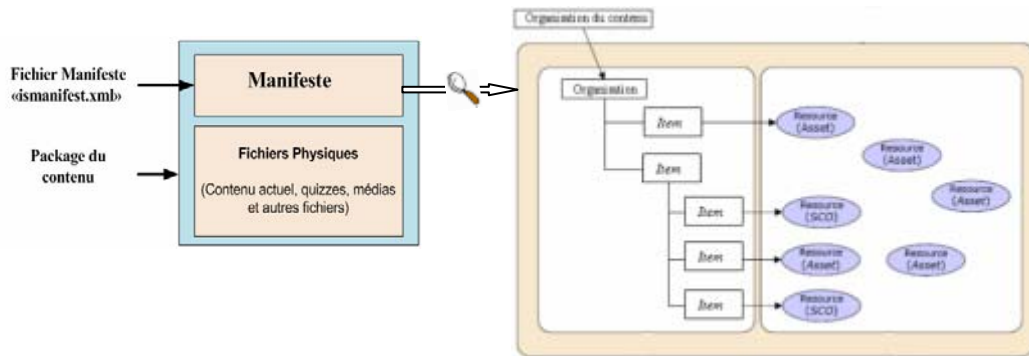


Figure 16 : Modélisation pédagogique à la SCORM [Drira 2006]

Au début des années 2000, un nouveau courant initié par [Koper 2001] s'est intéressé à la modélisation pédagogique et a proposé de centrer la modélisation pédagogique sur les activités et de considérer les objets pédagogiques comme les ressources utilisées pour réaliser ces activités.

II.4.1.2 Approche centrée sur les activités

Koper [Koper 2001] de l'Open University of the Netherlands (OUN) propose un point de vue qui se démarque radicalement de l'approche centrée ressources en affirmant que ce ne sont pas les ressources pédagogiques qui constituent le cœur de la modélisation pédagogique, mais les activités qui y sont associées. Reposant sur un méta-modèle conceptuel, il propose de décrire les situations d'apprentissage à l'aide de langages de modélisation pédagogique permettant de définir les relations entre :

- les objectifs en termes de connaissance ou d'habiletés ;
- les acteurs de l'apprentissage ;
- les activités réalisées ;
- l'environnement et les contenus nécessaires à la mise en place de la situation d'apprentissage.

Dans l'approche par activité, la notion de scénario d'apprentissage est centrale. Un débat semblable au débat autour de la définition d'un objet pédagogique a permis de proposer différentes définitions pour un scénario pédagogique. Nous proposons de nous attacher à décrire quelques définitions les plus complètes et les plus précises.

Une définition classique est celle de [Paquette et al. 2001]. Ces auteurs proposent de considérer un scénario pédagogique comme la conjonction d'un scénario d'apprentissage et d'un scénario de formation qui lui est associé avec l'expression des liens qui les unissent. *Un scénario d'apprentissage est l'« ensemble des activités destinées aux apprenants et organisées en un tout cohérent ; à ces activités, on greffe les instruments offerts comme supports aux activités (instruments-intrants) et les instruments à être réalisés par les apprenants (produits) ».* *Un scénario de formation est l'« ensemble des activités destinées au formateur et organisées en un tout cohérent ; à ces activités, on greffe les instruments offerts comme supports aux activités (instruments-intrants) et les instruments à être réalisés par le formateur (produits) ».*

Selon Pernin [Pernin et al. 2004b], un scénario d'apprentissage *représente la description, effectuée a priori ou a posteriori, du déroulement d'une situation d'apprentissage ou unité d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances, en précisant*

les rôles, les activités ainsi que les ressources de manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités.

Les travaux sur la modélisation pédagogique centrée sur les activités se sont concrétisés par la spécification d'un premier langage appelé EML (Educational Modelling Language). « *An EML is a semantic information model and binding, describing the content and process within a unit of learning from a pedagogical perspective in order to support reuse and interoperability.* » [Rawlings et al. 2002]

Le modèle EML illustré par la Figure 17 repose sur la structuration des situations d'apprentissage en "Unités d'étude" (Units of Study). Une Unité d'Étude (UE) peut être par exemple un cours, une leçon, une étude de cas ou encore un travail pratique. L'unité d'étude est composée d'activités réalisées par un ensemble d'acteurs dans un environnement donné. EML distingue plusieurs types d'activités par exemple les activités d'apprentissage, les activités d'accompagnement et les activités d'instrumentation. L'environnement dans lequel se déroule l'activité fournit l'ensemble des ressources nécessaires à l'accomplissement de l'activité. Une UE doit répondre aux contraintes suivantes :

- Une UE correspond à un objectif pédagogique précis et nécessite un certain nombre de prérequis ;
- Une UE est composée d'un ensemble d'activités ;
- Une activité est réalisée par un ou plusieurs acteurs tenant chacun un rôle ;
- Un acteur peut être un apprenant ou un membre de l'équipe pédagogique ;
- Une activité est réalisée à l'aide d'un ensemble de ressources (ou objets pédagogiques) accessibles au sein d'un environnement.

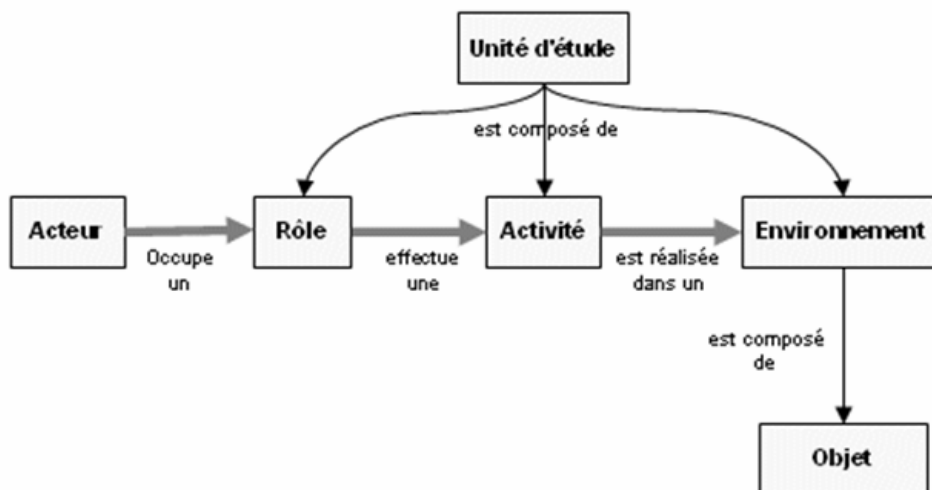


Figure 17 : Vue simplifiée du modèle EML

EML a largement inspiré la spécification IMS Learning Design (IMS-LD). IMS LD propose un cadre permettant de prendre en compte la diversité des approches pédagogiques tout en assurant l'échange et l'interopérabilité des matériaux d'apprentissage et des unités d'apprentissage les mettant en scène.

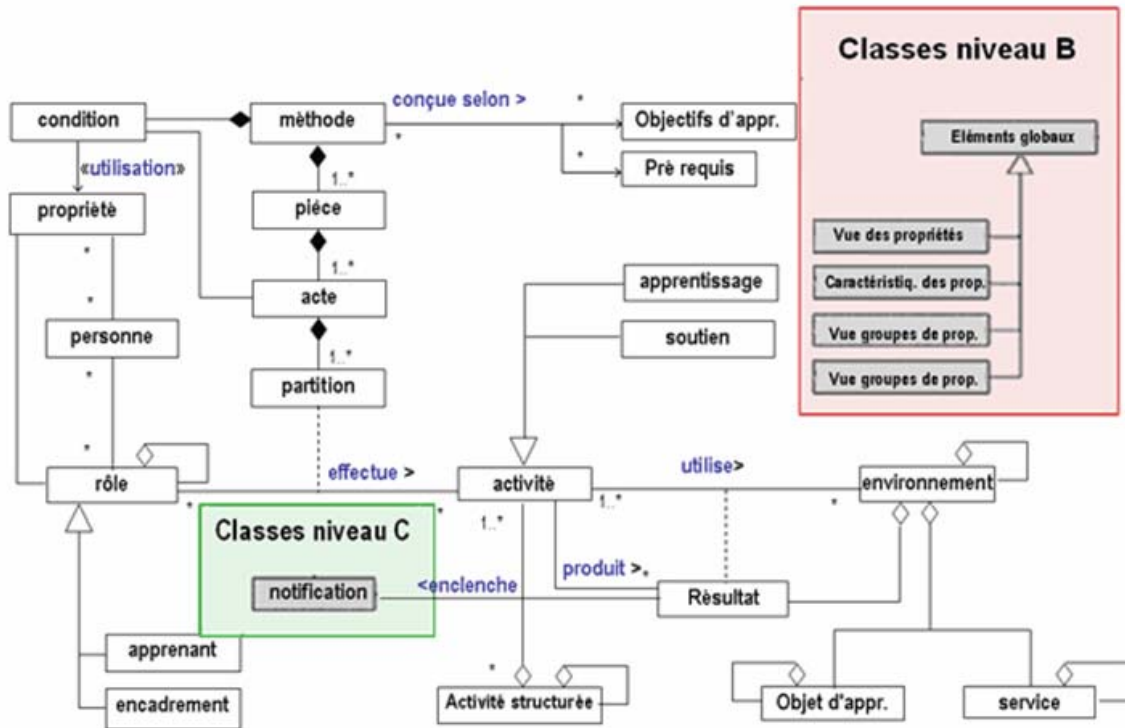


Figure 18 : Modèle conceptuel d'IMS Learning Design [IMS-LD 2010]

IMS LD se base sur la métaphore théâtrale pour définir la structure d'une unité d'apprentissage (UA). Une UA est un ensemble d'actes composés de partitions associant des rôles à des activités situées dans un environnement contenant des services tels que le chat, le forum et la messagerie et contenant des ressources de contenu tel qu'illustré par la Figure 18.

IMS LD propose également une modélisation pédagogique par niveau. Trois niveaux sont définis. Le niveau A correspond à des scénarios prescriptifs, le niveau B correspond aux scénarios de personnalisation de l'apprentissage et le niveau C correspond aux scénarios dynamiques comme le décrit la Figure 18.

II.4.1.3 Discussion

Comme nous venons de le montrer, l'approche basée sur les standards d'eLearning présente plusieurs avantages liés essentiellement à l'interopérabilité et au partage. Toutefois, la plupart des standards proposés ont fait l'objet de plusieurs critiques.

L'expression de modèles de scénarios pédagogiques à l'aide de standards tel que SCORM a été caractérisée de limitée par [Allert 2004] parce qu'elle ne permet pas une représentation fidèle des divers scénarios existants. Des standards comme SCORM permettent de décrire de simples séquences pédagogiques sans impliquer la régulation d'outils ou la synchronisation d'activités. Le standard IMS-LD est plus expressif dans le sens où il permet d'exprimer les différentes activités que des apprenants et des enseignants peuvent mener sous forme de séquencements multiples. Toutefois, quelques travaux ont montré la difficulté de traduire des situations d'apprentissage collaboratif à l'aide du langage IMS-LD [Martel et al. 2006b, Nodenot 2006]. Par exemple, Nodenot [Nodenot 2006] a montré la difficulté qu'il y a à modéliser une activité simple de type PBL (Problem Base Learning) en IMS-LD. Cette difficulté résulte d'un modèle d'information insuffisant lorsqu'on l'associe à des activités collaboratives.

De plus, malgré de nombreux travaux réalisés pour simplifier l'appréhension du standard, sa complexité le rend difficile à être un langage métier adapté aux concepteurs pédagogiques

[De la Teja et al. 2006]. La volonté affirmée du consortium de proposer un langage neutre quant aux théories de l'apprentissage et couvrant sur les modalités pédagogiques augmente sa complexité [Choquet 2007]. [Allert 2004] considère que les standards sous silence les références au contexte précis permettant la réalisation des activités afin de préserver l'indépendance vis-à-vis des plateformes. De plus, IMS-LD nécessite un temps d'apprentissage non négligeable pour les concepteurs. Pour utiliser un standard, les concepteurs doivent s'adapter à la syntaxe et la sémantique de ces standards par exemple la syntaxe concrète d'IMS-LD repose sur une notation textuelle et sa syntaxe abstraite s'appuie sur une métaphore théâtrale qui peut ne pas remporter facilement l'adhésion.

Dans ce contexte de la standardisation en eLearning, nous avons mené dans le cadre des travaux de master une recherche ayant pour objet l'étude des standards, en particulier SCORM, de point de vue de l'adaptativité à l'apprenant. Cette recherche nous a permis d'identifier les insuffisances de SCORM en matière d'adaptativité du contenu et de proposer des adaptations de ce standard lui permettant de supporter l'adaptativité au style d'apprentissage d'un apprenant et aux caractéristiques du terminal qu'il utilise (les résultats de ces recherches peuvent être consultés dans [Drira 2006, Drira et al. 2006a]). La conclusion de nos travaux montre qu'il est possible de palier les lacunes des standards en les adaptant à des besoins spécifiques. Toutefois, l'adaptation des standards implique de perdre en interopérabilité qui est la raison même d'adoption des standards. En effet, les extensions de standards qui ne sont pas approuvées par l'organisme créateur du standard reviennent à créer des solutions propriétaires et sortent ainsi du cadre de la standardisation.

En nous basant sur l'étude de la littérature et sur les résultats de nos recherches antérieures, nous concluons que les standards d'eLearning offrent des avantages liés principalement au partage, à la réutilisation et l'interopérabilité. Toutefois, la capacité de ces standards à supporter la description de différentes intentions pédagogiques et à s'adapter au contexte, à la syntaxe et la sémantique des concepteurs pédagogiques est limitée. Nous allons présenter dans la section suivante une approche qui propose de pallier ces lacunes en se basant sur les standards du génie logiciel.

II.4.2 Travaux basés sur les standards du génie logiciel

La communauté EIAH internationale a commencé à s'approprier cette approche basée sur les standards du génie logiciel depuis quelques années. D'après l'étude de [Choquet 2007], l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles est plus affirmée en France et elle a été initiée par A. Derycke lors de l'Action Spécifique du CNRS « Conception d'une Plateforme pour la recherche en EIAH » [Adam et al. 2005] où certains équipes de recherches dont l'équipe NOCE ont étudié l'intérêt d'adopter cette approche pour le développement d'un EIAH. En effet, cette approche offre les moyens et les techniques nécessaires pour surmonter les insuffisances des standards d'eLearning en modélisation pédagogique tout en garantissant l'interopérabilité vis-à-vis des plateformes de formation. En ce sens, elle améliore la capacité des concepteurs pédagogiques à définir et à utiliser des langages de modélisation pédagogique adaptés à leurs besoins, contextes et pratiques. Elle constitue une approche alternative à celle basée sur les standards d'eLearning dans la mesure où elle garantit l'interopérabilité.

Le scénario typique de conception dirigée par les modèles peut être décrit de la manière suivante [Caron et al. 2005]. D'abord, les intentions pédagogiques ainsi que les ressources et les moyens nécessaires à leur mise en œuvre sont définis informellement. Ensuite, ces intentions doivent être formalisées dans un modèle dit pédagogique en se conformant à un

méta-modèle pédagogique⁴⁰. Pour cela, le concepteur a besoin de s'appropriier un méta-modèle existant ou plus souvent de définir un méta-modèle avec les concepts et sémantiques qui lui sont propres.

Afin de pouvoir le déployer sur la plateforme de formation à distance choisie, le modèle d'un scénario pédagogique doit être transformé en un modèle fonctionnel opérationnalisable sur la plateforme. Enfin, le modèle fonctionnel doit être déployé sur la plateforme par un générateur de code.

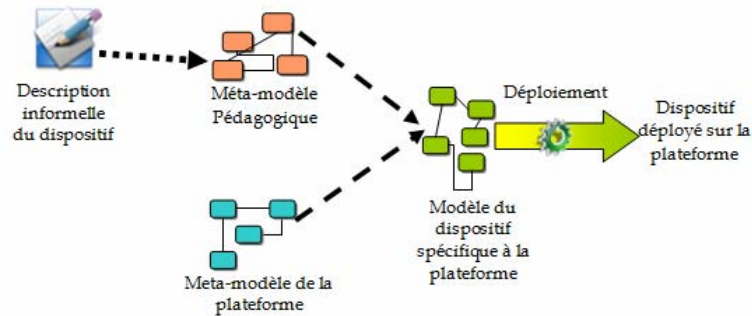


Figure 19 : MDA pour l'ingénierie des EIAH

L'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles a fait l'objet de plusieurs travaux. Dans le Tableau 2, nous résumons les contributions dans le cadre de ces travaux par étape du MDA.

⁴⁰ On utilise aussi l'expression langage de modélisation

Etape	Travaux
Modélisation pédagogique (CIM-PIM)	Méta-modèle pédagogique par méthode pédagogique [Laforcade 2004] [Martel et al. 2006c] [Abdallah 2009]
	Méta-modèle pédagogique par patron pédagogique [De Moura 2007]
	Méta-modèle pédagogique spécifique [El-Kechai 2008] [Choquet 2007]
Transformation de modèles de scénarios pédagogiques en modèles spécifiques à des plateformes de formation à distance (PIM-PSM)	Expression directe d'intentions pédagogiques conformément au méta-modèle de la plateforme [Caron 2007a]
	Transformation d'un modèle d'un scénario pédagogique (conforme au PIM) en un modèle technologique (conforme au PM) en appliquant des règles de transformation prédéfinies entre le PIM et le PM [Abdallah 2009]
Déploiement de dispositifs sur des plateformes de formation à distance (PSM-Code)	GenDep [Caron 2007a]

Tableau 2 : Travaux EIAH par étape du MDA

Dans un travail antérieur, Caron [Caron 2007a] a montré l'adéquation de l'approche dirigée par les modèles pour la mise en œuvre d'une approche par dispositif de conception. L'approche par dispositif constitue le fruit de plusieurs travaux antérieurs de l'équipe NOCE tel que celui de [Bourguin et al. 2005] et des chercheurs en sciences de l'éducation du laboratoire Trigone⁴¹ [D'Halluin et al. 2005] [Leclercq 2005]. Cette approche a été présentée lors de l'AS CNRS « Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH (Tchounikine, 2004). Le fondement théorique de cette approche repose sur les études théoriques sur la notion de dispositif.

Sur la base de ces travaux, les recherches dans le cadre de l'approche par dispositif en ingénierie des EIAH ont une préoccupation pratique en voulant fournir des outils de construction et de pilotage de ces dispositifs.

Selon Caron [Caron 2007a], un dispositif sur une plateforme de formation à distance est formé par un ensemble d'éléments qui représentent essentiellement les ressources, les outils et les acteurs construits sur celle-ci et permettant l'exécution du scénario pédagogique du concepteur. Grâce à une approche dirigée par les modèles et basée sur le MDA, Caron a montré qu'il est possible de construire des dispositifs pédagogiques sur n'importe quelle plateforme de formation. Le détail de cette approche sera donné dans la section III.5 du chapitre III.

⁴¹ Au début des travaux de cette thèse, l'équipe NOCE faisait partie du laboratoire Trigone avant de rejoindre le laboratoire LIFL

II.4.3 Autres Travaux

En appliquant des techniques d'ingénierie des connaissances au domaine de la modélisation pédagogique, le centre de recherche CIRTA du LICEF⁴² a proposé MISA (méthode d'ingénierie des systèmes d'apprentissage) [Paquette et al. 1997] ainsi que divers outils de support à cette méthode :

- MOT : Un éditeur graphique de modèles de connaissances [Paquette 1999]. Plus récemment, un nouvel éditeur graphique MOT+ a été proposé et qui permet de produire des modèles compatibles avec IMS-LD ;
- ADISA (Atelier distribué d'ingénierie de systèmes d'apprentissage) : Un environnement auteur pour les concepteurs [Paquette et al. 2005a] ;
- Explor@ : Une plateforme de formation à distance [Paquette et al. 2005b].

MISA se présente comme une méthode de soutien à la conception d'un système d'apprentissage composée de six phases chacune développant progressivement les quatre modèles de conception et les descriptions des objets. Les six phases sont les suivantes : définition du problème de formation, proposition d'une solution préliminaire, conception d'une architecture pédagogique, conception des matériels et leur diffusion, réalisation et validation des matériels, planification de la diffusion du système d'apprentissage.

MISA repose sur l'élaboration progressive de quatre modèles du système d'apprentissage :

- le modèle des connaissances est une représentation graphique du domaine de connaissances ciblé par le système d'apprentissage. Les pré-requis et les connaissances cibles sont associés à des unités d'apprentissage du modèle d'apprentissage ;
- le modèle d'apprentissage est essentiellement un réseau d'unités d'apprentissage (Learning Unit ou LU) et d'événements auxquels sont attachées les connaissances et compétences cibles. Chacune de ces unités est décrite par un scénario articulatif et définissant les activités d'apprentissage et de support, chacune étant associée à des ressources. Les ressources centrées sur le contenu d'apprentissage sont appelées « Instrument » et sont associées à un ensemble de connaissances du modèle de connaissances ;
- les modèles des matériaux d'apprentissage ou modèles médiatiques décrivent les instruments par des documents sources, des principes de présentation, et leurs composantes médiatiques ;
- le modèle de livraison rassemble l'ensemble des matériaux d'apprentissage et des ressources du modèle d'apprentissage tels que les outils, les liens de communication, les services et organise le workflow multi-utilisateurs des acteurs du système d'apprentissage.

L'ensemble de ces modèles est représenté par la notation graphique MOT. Cette notation dispose d'une traduction en XML, permettant de rendre les modèles interprétables par une machine.

Le modèle pédagogique de MISA représente un scénario pédagogique comme un réseau d'événements d'apprentissage (« learning event »). Ce concept est la base de toute représentation et est un élément fondamental du modèle. Tout réseau d'événements d'apprentissage est composé d'événements d'apprentissage, de ressources, de liens et de

⁴² www.liceef.ca/

règles. Les liens de composition (« C link ») spécifient la hiérarchie entre les événements d'apprentissage tandis que les liens de précedence (« P link ») décrivent leurs pré-requis. Les ressources utilisées ou produites par les événements d'apprentissage sont reliées avec des liens d'utilisation/production (« I/P link ») et les règles agencent l'utilisation des événements (« R links »). Chaque unité d'apprentissage fait référence à un unique scénario d'apprentissage qui décrit les relations entre les acteurs, les activités, les ressources et les liens. Chaque scénario a des objectifs et des pré-requis d'apprentissage, définis dans le modèle des connaissances.

Nous pensons comme [Choquet 2007] que MISA se positionne dans une approche industrielle de l'apprentissage en ligne. Sa mise en œuvre n'est pas facile car elle nécessite des concepteurs une maîtrise de MISA et des outils et techniques qui lui sont associés.

II.5 Discussion des liens entre les concepts clés des travaux menés sur la modélisation pédagogique

Nous avons présenté dans la section précédente les travaux réalisés en modélisation pédagogique en distinguant principalement deux approches : celle basée sur les standards d'eLearning et celle basée sur les standards du génie logiciel. Dans cette section nous allons expliquer les liens entre les différents concepts clés couramment utilisés par les travaux menés dans le domaine de la modélisation pédagogique à savoir : l'objet pédagogique qui est le concept clé de l'approche centrée sur les ressources, le scénario pédagogique qui est le concept clé de l'approche centrée sur les activités et le dispositif pédagogique qui est concept clé de l'approche par dispositif.

Les définitions de ces concepts ont été discutées dans la section précédente, les questions auxquelles nous allons essayer de répondre sont les suivantes : Quelle relation existe entre un dispositif, un scénario et un objet pédagogiques ? Quelle relation existe entre un dispositif, un scénario et une plateforme de formation à distance ?

II.5.1 Lien entre Dispositif, Scénario et Objets pédagogiques

Selon [Daele et al. 2002], « *le scénario pédagogique est considéré comme la partie d'un dispositif de formation qui décrit le déroulement des activités d'enseignement et d'apprentissage [...] Le dispositif met à la disposition du scénario des moyens logistiques et des ressources (techniques, humaines, administratives, etc.) pour être mis en œuvre* ». Cette définition est illustrée par la Figure 20.

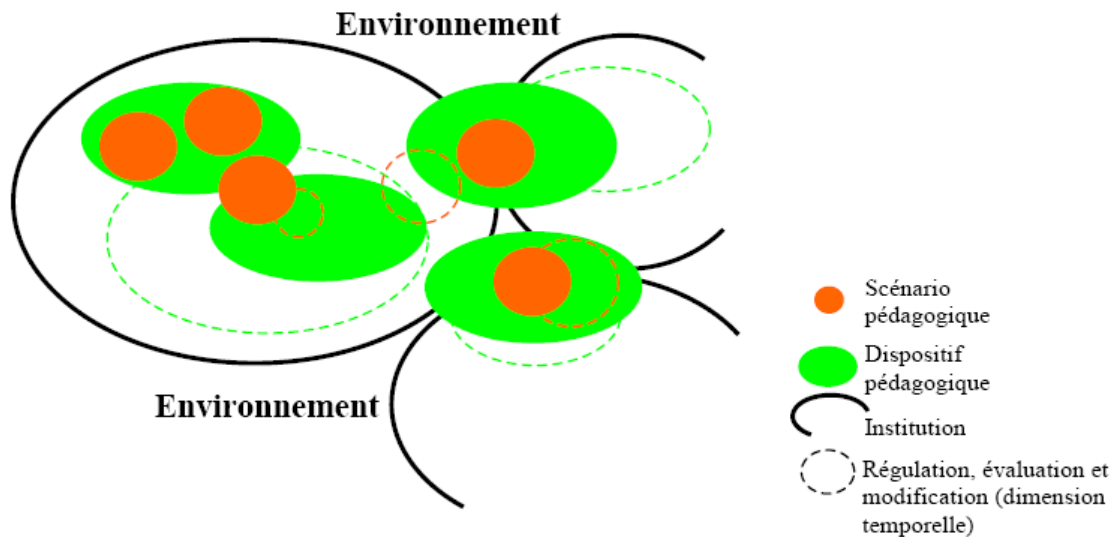


Figure 20 : Liens entre scénario pédagogique, dispositif et institution [Daele et al. 2002]

Pour souligner davantage les liens qui unissent dispositif et scénarios pédagogiques, [Peraya 1998] explique que « un dispositif implique un scénario pédagogique (déroulement spatio-temporel de l'activité d'apprentissage), des technologies (outils et instruments) et des relations entre des acteurs (apprenants et formateurs) ».

Caron [Caron 2007a] indique qu'un dispositif pédagogique n'est pas une simple entité permettant uniquement de mettre en œuvre un scénario pédagogique. Caron considère qu'un dispositif représente la concrétisation d'un dispositif abstrait représentant des intentions pédagogiques sans préjuger de l'ordonnancement des activités qui vont s'y dérouler.

En ce sens, « Le dispositif est une œuvre ouverte qui invite l'enseignant, l'apprenant à l'interpréter dans son usage. Le dispositif est ainsi un espace de **potentialisation** par opposition au scénario qui est un espace de **planification** ». [Paquelin 2005]

Afin d'être réalisé, un scénario requiert un ensemble de ressources rassemblées au sein d'un environnement d'apprentissage. Les objets pédagogiques sont parmi ces ressources. À la lumière de la relation entre un scénario et un dispositif, les objets pédagogiques sont des composants d'un dispositif pédagogique.

II.5.2 Lien entre Dispositif pédagogique et plateforme de formation à distance

Dans le contexte d'une plateforme de formation, Caron [Caron 2007a] définit un dispositif comme « un agencement particulier de composants, de fonctionnalités et de services, cet agencement est au service d'une intention pédagogique et d'une communauté d'apprentissage ». Selon cette définition, un dispositif sur une plateforme de formation à distance est formé par un ensemble d'éléments construits sur celle-ci et permettant l'exécution d'un scénario pédagogique du concepteur.

Le principe de base qui sous-tend l'approche par dispositif stipule qu'un dispositif est un espace de potentialité où les usagers peuvent construire et improviser leur apprentissage. Ainsi, la conception d'un dispositif s'achève par les usagers dans l'usage.

II.6 Positionnement scientifique

Choisir une plateforme de formation à distance pour déployer et exécuter un dispositif pédagogique offre au concepteur l'avantage de s'affranchir du besoin de réaliser de nouveaux

environnements informatiques. Le nombre de ces plateformes ne cesse d’augmenter et leurs fonctionnalités ne cessent de s’enrichir et d’évoluer. Pour un concepteur pédagogique, l’interopérabilité de ses scénarios pédagogiques à travers différentes plateformes de formation à distance peut être garantie en adoptant une approche basée sur les standards d’eLearning. Elle peut aussi être assurée en se basant sur les standards du génie logiciel en particulier ceux se rapportant à l’IDM.

Dans ce chapitre, nous avons étudié ces deux approches. Cette étude, synthétisée dans le Tableau 3 comparatif des deux approches, a montré que les deux catégories d’approches apportent une solution au problème central de l’interopérabilité de modèles de scénarios pédagogiques. Toutefois, de point de vue concepteur pédagogique, **l’avantage principal qu’offre l’IDM par rapport aux solutions d’ingénierie basées sur les standards réside dans la possibilité de définir des langages de modélisation spécifiques.** Ces langages se basent sur une syntaxe et une sémantique répondant aux besoins spécifiques du concepteur. Cette spécificité se traduit au moins par le choix des noms des concepts métiers de modélisation, dans le choix des concepts eux-mêmes, leurs attributs ainsi que les relations qui les relient.

Dans le cas de l’utilisation des standards d’eLearning, c’est le concepteur qui doit s’adapter à la syntaxe et à la sémantique prédéfinies par le standard pour mener à bien sa modélisation. De plus, dans un objectif de réutilisation, ces standards se veulent génériques et passent sous silence toute référence au contexte précis de modélisation. La portée de ces standards à décrire différentes intentions pédagogiques est ainsi importante mais leur expressivité reste limitée.

La solution qui consiste à adapter les standards pour répondre à des besoins spécifiques a inspiré beaucoup de travaux dans la littérature par exemple [Drira 2006, Drira et al. 2006a]. Toutefois, **l’adaptation d’un standard fournit une solution propriétaire parce que toute modification doit être approuvée par les spécifications du standard pour permettre l’interopérabilité.**

Un deuxième avantage apporté par l’IDM réside dans la possibilité de choisir n’importe quelle plateforme. **En fait, l’exécution d’un scénario pédagogique réalisé en se conformant à un standard d’eLearning ne peut être faite que par une plateforme qui supporte ce standard.** Par exemple, un cours SCORM ne peut être exécuté que par une plateforme qui comporte un player conforme aux spécifications de l’environnement d’exécution de SCORM.

	Ingénierie basée les standards d’eLearning	Ingénierie basée sur les standards du génie logiciel
Interopérabilité	Garantie	Garantie
Expressivité Pédagogique	Générique	Spécifique
Expressivité Contextuelle	Très faible	Élevé
Personnalisation de la syntaxe et sémantique	Impossible	Garantie
Réutilisation	Garantie	Garantie mais plus limitée

Tableau 3 : Tableau comparatif entre l’approche basée sur les standards d’eLearning et celle basée sur les standards du génie logiciel

En résumé, l’approche dirigée par les modèles est une approche relativement récente qui offre les moyens et les techniques nécessaires pour surmonter les insuffisances des standards

d'eLearning que nous venons de présenter tout en garantissant l'interopérabilité grâce à l'utilisation de standards tels que ceux proposés par l'OMG.

Nous avons choisi de nous intéresser à une approche dirigée par les modèles pour la modélisation pédagogique pour trois raisons principales. Premièrement, c'est une approche prometteuse pour les concepteurs pédagogiques, le public ciblé par nos travaux, dans le sens où elle leur permet de personnaliser leurs langages et outils de modélisation et elle leur permet d'utiliser n'importe quelle plateforme. Deuxièmement, grâce à ces avantages, une approche IDM semble combler la lacune que nous avons rencontrée dans nos recherches antérieures dans le contexte de la standardisation en eLearning relative à l'inadéquation de l'adaptation de ces standards. Troisièmement, en parallèle à nos recherches sur la standardisation en eLearning, des travaux ont été initiés dans l'équipe NOCE, depuis quelques années, dans le cadre de l'approche IDM [Le Pallec 2002] [Caron 2007a] et ont montré sa faisabilité et son adéquation. Nos travaux dans cette thèse constituent une continuité basée sur certains résultats de ces travaux.

Le frein majeur de cette approche dirigée par les modèles dans le domaine d'eLearning reste l'importance de l'expertise technique requise ce qui la rend difficilement accessible aux concepteurs pédagogiques qui ont, pour la plupart, le niveau débutant. Ces derniers ont souvent besoin d'assistance pour pouvoir réaliser les différentes tâches qui se rapportent à l'utilisation de cette approche. Quelques travaux se sont intéressés à proposer des solutions pour guider ces concepteurs. Toutefois ce guidage est souvent apporté par des ingénieurs pédagogiques ou informaticiens. Nous allons revenir à ces travaux en détail dans le prochain chapitre.

Par ailleurs, par rapport à la classification des travaux de l'ingénierie des EIAH donnée par [Pernin et al. 2004a] et complétée par [Caron 2007a] : centrée ressource, activité, processus ou dispositif, nous nous intéressons à une approche par dispositif pour l'explicitation de l'articulation entre les intentions pédagogiques et le modèle d'une plateforme de formation à distance. Cette orientation, a été prise dans un objectif de poursuivre les travaux et les expérimentations de cette approche née dans l'équipe NOCE.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons positionné les travaux de la thèse dans le cadre général de l'ingénierie des EIAH. Nous avons discuté les définitions pertinentes par rapport à notre recherche notamment concernant l'ingénierie des EIAH, la modélisation pédagogique et les plateformes de formation à distance. La Figure 21 résume les liens entre les différents concepts utilisés dans ce rapport.

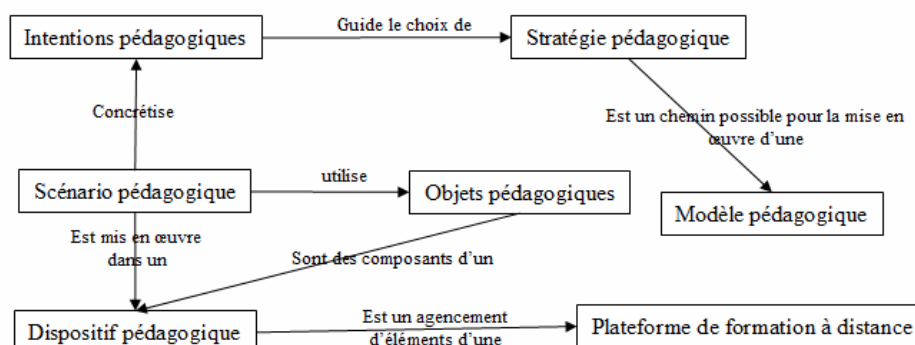


Figure 21 : Liens entre les concepts clés utilisés dans le rapport

Dans ce chapitre, nous avons aussi présenté les approches actuelles de modélisation pédagogique en mettant l'accent sur deux approches d'ingénierie à savoir celle basée sur les standards d'eLearning et celle basée sur les standards du génie logiciel se rapportant à l'ingénierie dirigée par les modèles. Nous avons comparé ces deux approches en nous basant, d'une part, sur la littérature, et d'autre part, sur les résultats de nos travaux antérieurs. Nous avons positionné les travaux de cette thèse dans le contexte d'une approche dirigée par les modèles dans le cadre d'une approche par dispositif.

Ainsi, nous avons identifié les thématiques qu'il est pertinent d'explorer afin de cerner notre problématique. Il s'agit de l'état de l'art des travaux de l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles ainsi qu'une étude des dispositifs et leur complexité. Dans ce chapitre, nous avons juste survolé l'essentiel sans entrer dans les détails, l'état de l'art de l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles sera détaillé dans le chapitre suivant. L'étude des dispositifs pédagogiques et leur complexité fera l'objet du quatrième chapitre.

Chapitre III : Ingénierie des EIAH dirigée par les modèles : Etat de l'art

III.1 Introduction

Nous abordons dans ce chapitre l'état de l'art des travaux s'inscrivant dans une approche dirigée par les modèles d'ingénierie des EIAH, puis nous les analysons. Nous présentons les résultats des travaux autour des langages de modélisation CPM (Cooperative Problem Based Learning Metamodel), LDL (Learning Design Language) et PPC (Pédagogie par Projet Collectif). Nous nous intéressons par la suite aux travaux des projets MDEduc, Bricoles ainsi que REDiM. Dans la synthèse de ce chapitre nous analysons ces travaux en vue de dégager leurs insuffisances et énoncer les premiers éléments de notre problématique.

III.2 Modélisation pédagogique basée sur CPM

Nous présentons ici les travaux de [Laforcade et al. 2005, Laforcade et al. 2007b] autour du langage CPM (Cooperative Problem Based Learning Metamodel). C'est un langage basé sur UML qui a été créé pour modéliser des situations problèmes coopératives. L'approche préconisée dans [Laforcade 2004] consiste à spécialiser UML via le mécanisme de méta-modélisation en définissant un profil UML⁴³ (la notion de profil UML a été détaillée dans la section I.3.2.1 du chapitre I) pour la conception des situations-problèmes coopératives en vue de leur exécution sur des plateformes à base de composants.

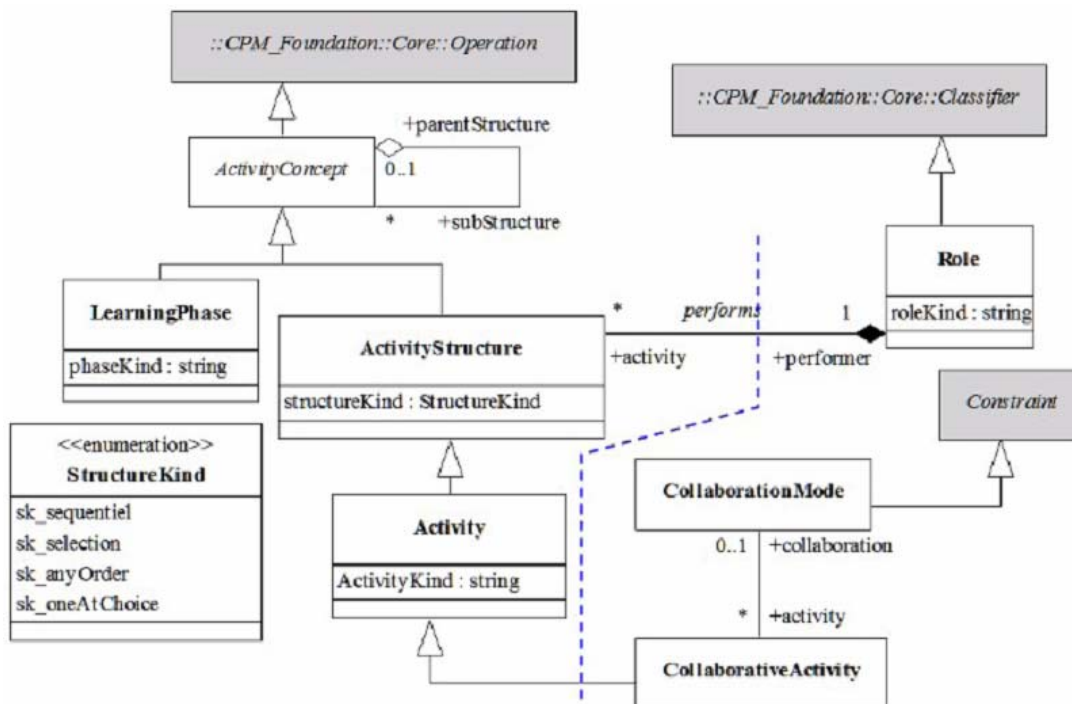


Figure 22 : Concepts principaux de CPM

⁴³ La spécification UML 1.5 donne la définition suivante d'un profil : « a profile is a stereotyped package that contains model elements that have been customised for a specific domain by extending the metamodel using stereotypes, tagged definitions, and constraints. A profile may specify model libraries on which it depends and the metamodel subset that it extends. ».

Le profil CPM illustré par la Figure 22 est mis en œuvre à partir d'une syntaxe abstraite, une syntaxe concrète et une sémantique.

La syntaxe abstraite est représentée par le méta-modèle CPM qui définit les concepts et relations spécialisant UML. Le méta-modèle CPM repose principalement sur deux paquetages. Le paquetage de fondation qui représente le Core du méta-modèle d'UML et le paquetage des extensions qui regroupe tous les concepts, relations et contraintes du langage du CPM. Le paquetage des extensions est décomposé à son tour en quatre sous-paquetages interdépendants afin de faciliter la présentation de la terminologie qui sont le paquetage des éléments de base, le paquetage pédagogique, le paquetage structurel et le paquetage social.

La syntaxe concrète définit la notation des concepts et de leurs relations ainsi que les principes d'utilisation de ces concepts dans des diagrammes UML. La Figure 23 présente un extrait des définitions des stéréotypes pour le profil CPM. A chaque stéréotype correspondent des méta-classes UML de référence. Des icônes sont associées aux stéréotypes les plus utilisés afin de simplifier leur interprétation sémantique dans les diagrammes où ils apparaissent.




Stéréotype	Méta-classe	Icône
LearningPhase	Core::Operation ActivityGraphs::ActionState ActivityGraphs::SubactivityState UseCases::UseCase Core::Classifier	
Activity	Core::Operation ActivityGraphs::ActionState ActivityGraphs::SubactivityState UseCases::UseCase Core::Classifier	
Role	UseCases::Actor ActivityGraphs::Partition	

Figure 23 : Extraits de la table de définitions des stéréotypes du profil CPM

La sémantique est définie au niveau de la terminologie sous la forme de contraintes OCL et de règles en langage naturel et au niveau de la notation sous la forme de propositions d'usage des diagrammes UML.

Les techniques utilisées pour l'exploitation des modèles produits avec CPM consistent à traiter de manière automatique ces modèles de façon à les faire correspondre à des formalismes de représentation cibles. Les premiers développements ont porté sur un outil de transformation, basée sur XSLT, de modèles CPM en modèles IMS-LD du niveau A afin de pouvoir les exploiter sur des plateformes de formation à distance disposant d'un interpréteur IMS-LD. [Laforcade 2004]

D'autres développements ont porté sur la proposition d'un modèle de composant éducatif CPL (Composant Pédagogique Logiciel) basé sur une modélisation UML et qui est illustré par la Figure 24. Il permet de décrire et spécifier ces CPL [Laforcade 2004]. Ces composants logiciels métiers gèrent des activités élémentaires réutilisables dans les modèles de conception en proposant de relier les besoins pédagogiques de conception et les fonctionnalités standards proposées par les plateformes. Plutôt que d'essayer d'intégrer les fonctionnalités des plateformes dans les modèles de conception, la proposition est basée sur l'ajout de nouvelles fonctionnalités aux plateformes. Cela permet ainsi de réduire l'écart entre les besoins de la

conception et les fonctionnalités des plateformes. Un modèle CPL est indépendant d'une plateforme particulière mais doit être implémenté pour chaque plateforme cible par un développeur de composants logiciels et doit être aussi intégrée à celle-ci comme le montre la Figure 25.

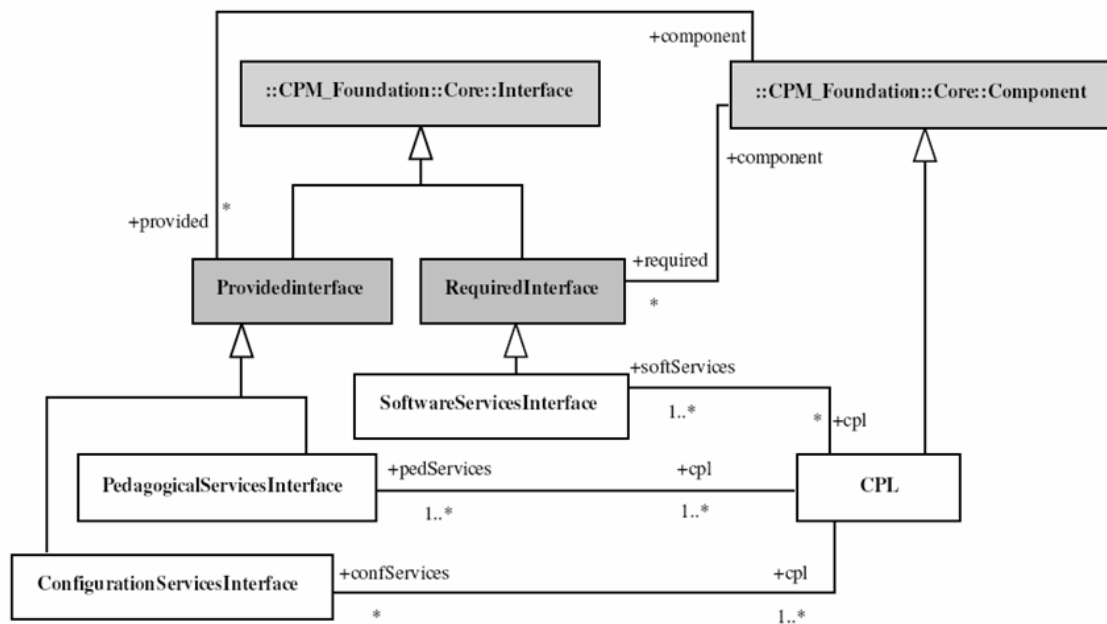


Figure 24 : Paquetage des composants CPL [Laforcade 2004]

Afin d'aider à la spécification de composants CPL, la démarche proposée s'adresse autant aux concepteurs de PBL (Problem Base Learning) qu'aux développeurs de composants et consiste à [Laforcade 2004] :

1. L'équipe de conception de PBL, en particulier l'ingénieur pédagogique, exprime les besoins en termes d'activités pédagogiques élémentaires réutilisables. En parallèle, les développeurs de composants qui sont experts en matière des plateformes doivent faire l'abstraction des fonctionnalités rendues par les plateformes. Cela donne lieu à une description de composants logiciels encapsulant les fonctionnalités sous la forme de services.
2. Définition et spécification des composants CPL, via le modèle décrit dans la Figure 24 en se basant sur les résultats de la première étape. Cette étape concerne l'ingénieur pédagogique comme le développeur de composants.

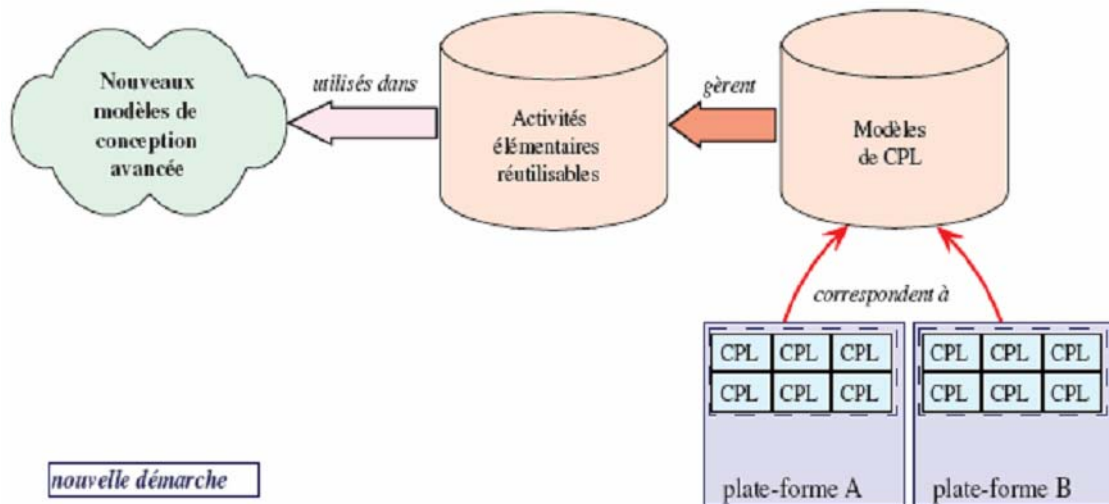


Figure 25 : Démarche de spécification de composants CPL [Laforcade 2004]

III.3 Modélisation pédagogique basée sur LDL

LDL (Learning Design Language) est un langage issu des travaux dans le domaine de l'apprentissage coopératif assisté par ordinateur [Martel et al. 2006c]. Ce langage a été défini pour pallier les insuffisances du langage IMS-LD dans la modélisation d'activités pédagogiques coopératives [Ferraris et al. 2007]. « Il concerne tout ce qui a trait à l'organisation du groupe : constitution et vie des groupes, définition de droits et devoirs au sein du groupe, de règles de fonctionnement ; mise en œuvre de ces règles, droits et devoirs » [Ferraris et al. 2005] [Martel et al. 2007]. LDL repose sur quatre piliers fondamentaux à savoir l'organisation des activités, l'apprentissage, l'observation des activités et l'évaluation [Martel et al. 2007].

1. L'organisation : préparation, mise en place des moyens nécessaires et mobilisation des acteurs impliqués dans l'activité;
2. L'apprentissage : ensemble d'activités à finalité didactique, expérimentale, productive ou d'entraînement qui déterminent l'objet, la stratégie et le niveau des apprentissages;
3. L'observation : activité qui, de façon concomitante à l'apprentissage, permet à l'enseignant de vérifier la bonne exécution des travaux, de détecter les difficultés éventuelles rencontrées par les apprenants;
4. L'évaluation : activité dans laquelle les effets des apprentissages sont constatés, ou dans laquelle les besoins des apprenants sont diagnostiqués.

La production d'un scénario LDL consiste à définir un modèle conceptuel conforme au méta-modèle de LDL qui établit l'ensemble des concepts et des relations inter-concepts utiles à la description et à la modélisation d'activités d'apprentissage comme le montre la Figure 26. Ces concepts sont [Martel et al. 2007] :

- **Interaction** : Une interaction est définie par l'action réalisée par un acteur à destination d'un ou de plusieurs autres acteurs, par les résultats qu'elle produit et par l'enceinte dans laquelle elle se déroule ;
- **Enceinte** : L'enceinte est le "lieu" dans lequel se déroule l'activité ;
- **Position** : Une position traduit le point de vue d'un acteur sur un autre acteur ou sur une de ses productions par exemple un élève juge qu'un exercice est difficile, que le document proposé par un camarade est intéressant ;

- **Rôle** : Les rôles sont définis par les interactions que les acteurs ont entre eux ;
- **Structure** : Les structures décrivent l'enchaînement des interactions qui peut être par exemple séquentielle ou en parallèle ;
- **Observables** : Ce sont les valeurs sélectionnées par le scénario résultant de l'observation de ses différents composants par exemple le nombre d'intrusions dans une enceinte ou la durée d'une interaction ;
- **Règles** : elles permettent lors de leur application de vérifier la complétion des actions et l'état des positions au cours de l'activité par exemple si un apprenant dépasse le temps prescrit alors l'enseignant doit l'aider.

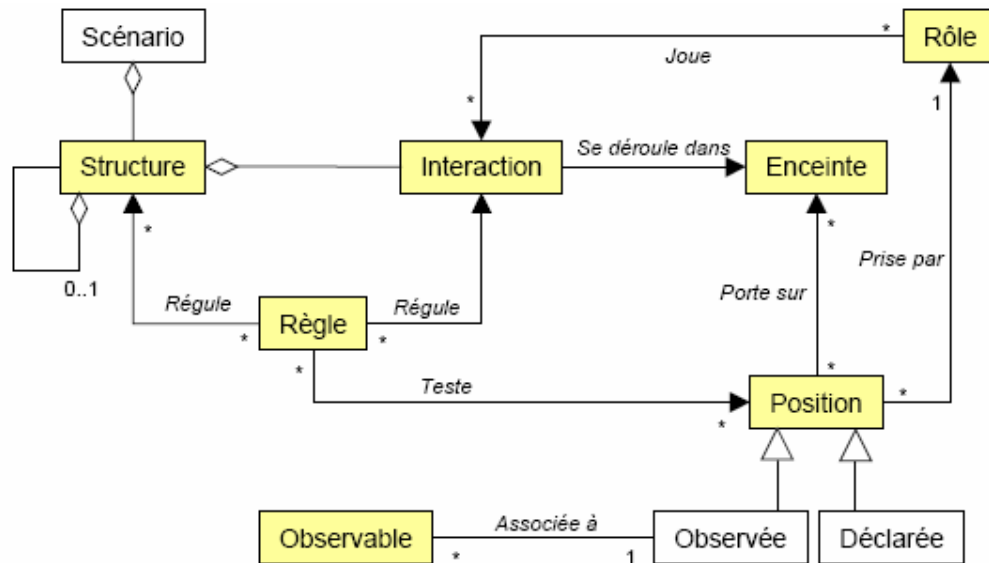


Figure 26 : Méta-modèle simplifié du langage LDL [Martel et al. 2007]

Une infrastructure nommée LDI (Learning Design Infrastructure) permet l'importation, l'opérationnalisation et l'exécution d'un scénario LDL. LDI permet l'importation d'un fichier XML représentant un scénario LDL. Une fois importé, le scénario doit être opérationnalisé avant d'être exécuté. L'opérationnalisation consiste à associer les participants aux rôles du scénario et associer les outils aux enceintes manipulées par le scénario. Lors de l'exécution du scénario, le « *player* » LDI ordonnance le déroulement des activités en se servant d'une base de règles (Rules de LDL). Le « *player* » permet à chaque participant d'interagir avec ses partenaires à travers Internet en utilisant les services et les contenus d'un Espace Numérique de Travail (ENT⁴⁴) comme le montre la Figure 27. [Martel et al. 2006a]

⁴⁴ Un espace numérique de travail désigne un dispositif global fournissant à un usager un point d'accès unifié, à travers les réseaux, à l'ensemble des outils, contenus et services applicatifs en rapport avec son activité. Il est un point d'entrée unifié pour accéder au système d'information de l'administration de l'établissement ou de l'école.

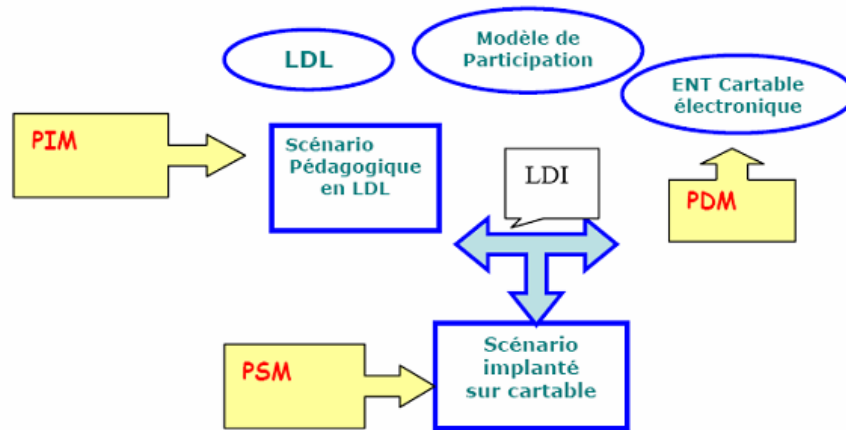


Figure 27 : Transformation d'un scénario LDL en un scénario exécutable [Martel et al. 2006a]

III.4 Projet MDEduc

MDEduc [De Moura 2007] est réalisé au sein de l'équipe NOCE. Moura [De Moura 2007] a proposé un environnement auteur appelé MDEduc qui permet aux concepteurs de générer des applications correspondantes à leurs scénarios pédagogiques dans un processus qui démarre avec les descriptions informelles (CIM) basés sur les patrons pédagogiques⁴⁵ (PP) [Sally et al. 2002] à partir desquelles les modèles formels (PIM) peuvent être dérivés.

La définition d'un patron adoptée par [De Moura 2007] est basée sur celle de Bergin [Bergin et al. 2001]: "The intent [of pedagogical patterns] is to capture the essence of the practice in a compact form that can be easily communicated to those who need the knowledge.". En ce sens, l'intention des patrons pédagogiques est de capturer l'essence de la pratique sous une forme compacte qui peut être facilement communiquée à ceux qui en auront besoin. La Figure 28 présente un extrait du patron Challenge Understanding⁴⁶.

CHALLENGE UNDERSTANDING ** (This pattern was written by Helen Sharp.)
 You are teaching a course or seminar. You want students' understanding to be challenged so that you and they will know how well they have learned a topic.
 □□□
Students may think they understand a topic when in fact they do not. If they think they understand, they will not ask questions and will not know the gaps in their knowledge. In addition it is not possible to cover all nuances of a topic in notes ...One way in which students learn is to ask questions of you and their peers, but...
 □□□
Therefore, give the participants exercises, tasks or activities that challenge their understanding. These can be in the form of exercises, which help the student to apply techniques by Try it Yourself, or Groups Work [EBS] during...
 □□□
 This pattern is quite abstract, and other patterns are needed to refine, extend, and implement it. However we do not refine it in this language, although it is

Figure 28 : Patron pédagogique « Challenge Understanding »

⁴⁵ Dans la littérature, un patron est souvent défini comme « une solution à un problème dans un contexte donné ». Depuis quelques années, la portée des patrons s'est étendue à de nombreux domaines de la conception, dans des domaines aussi divers que le Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO), le génie logiciel et même à l'ingénierie des EIAH. Dans ce dernier domaine, il s'agit de patrons pédagogiques.

⁴⁶ Tiré du site www.pedagogicalpatterns.org qui propose, entre autres, un catalogue de patrons pédagogiques

MDEduc est composé d'outils synchronisés : PPEditor (Pedagogical Patterns Editor), EduModel et EduGen.

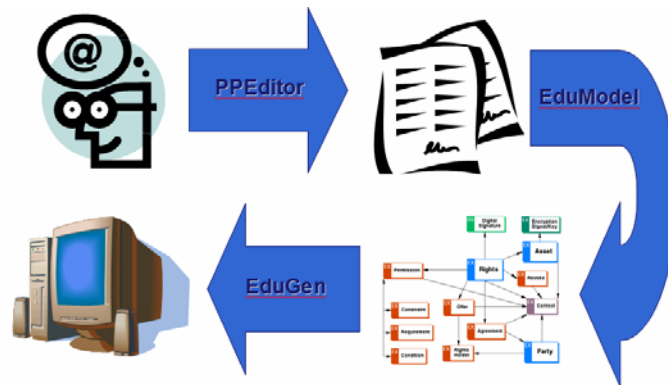


Figure 29 : Démarche outillée proposée dans MDEduc [De Moura 2007]

Au début de la chaîne illustrée par la Figure 29, le PPEditor est un éditeur de textes spécialisé permettant de créer une description informelle d'un scénario pédagogique en respectant la syntaxe des PP comme la montre le cadre numéro 1 de la Figure 30. PPEditor facilite l'édition de patrons en offrant la coloration du texte d'un PP. Sur la Figure 30, quelques mots ou membres de phrases possèdent une apparence visuelle différente en accord avec les conventions syntaxiques usuelles des PP, par exemple, les liens vers d'autres PP sont encerclés sur la Figure 30 et le début de la section Solution est en gras.

Ensuite, le module EduModel prend le relais du PPEditor pour permettre d'extraire un langage de modélisation conforme à Ecore que nous avons défini dans la section I.2 du chapitre I à partir de la description informelle. Le cadre numéro 2 sur la Figure 30 montre le méta-modèle défini suite à quelques interactions avec le concepteur, grâce à un menu proposant les actions possibles : la création d'un nouveau concept, ses attributs et références en utilisant les mêmes termes mis en valeur dans le texte du PP.

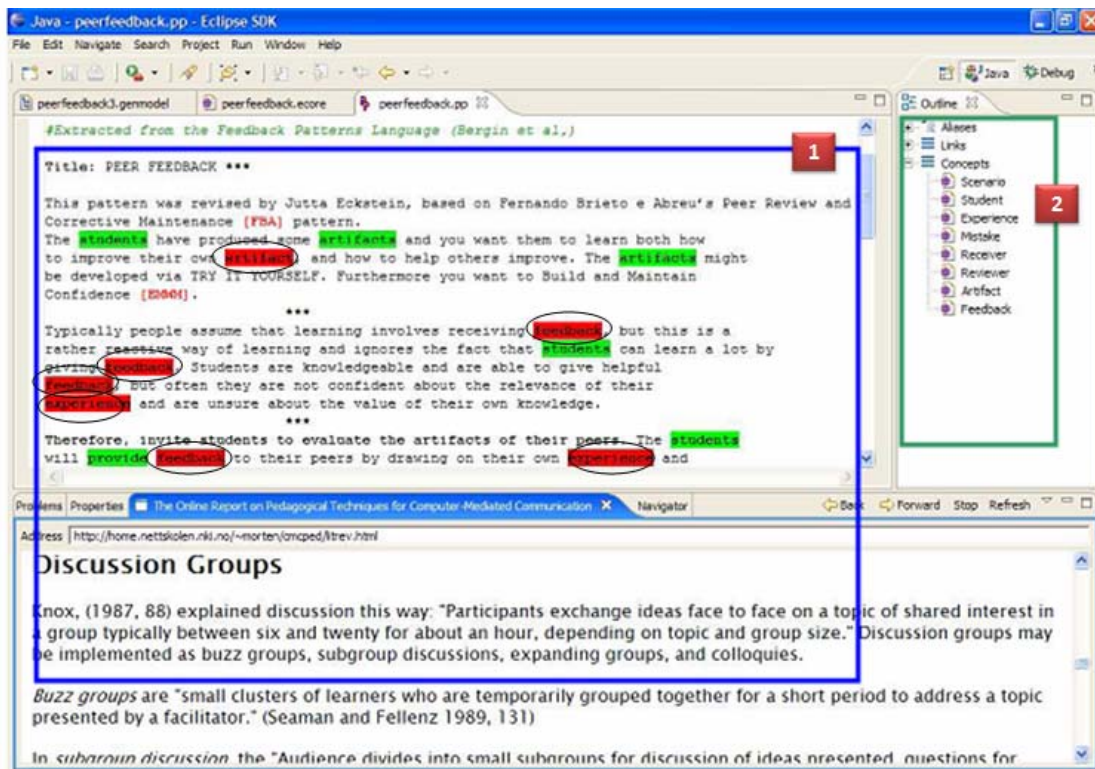


Figure 30 : Interface de PPEditor [De Moura 2007]

EduGen est le générateur d'applications du projet MDEduc [De Moura 2007]. EduGen supporte essentiellement la génération d'applications Web et non pas le déploiement sur des plateformes de formation à distance existantes. La génération de code avec EduGen se base sur des spécifications de plateforme dans la technologie Java Emitter Templates⁴⁷ (JET).

EduGen utilise le concept de stéréotype pour distinguer le sens les éléments d'un modèle pédagogique. Par exemple, une classe appelée « Etudiant » n'a pas le même statut qu'une classe appelée « Créer_Artefact » (la première correspond à l'idée d'une « entité » alors que l'autre une « opération »).

Le Tableau 4 montre les règles de transformation permettant de générer une application Web constituée de pages JSP (Java Servlet Page) à partir d'un modèle Ecore. Il s'agit en fait d'une correspondance sémantique, par exemple, un attribut dans un méta-modèle est essentiellement un élément pour stocker des informations ce qui correspond dans un JSP à un champ texte utilisé par les usagers pour entrer des informations. Il existe beaucoup d'autres mapping tels que des servlets, des objets pour simplifier l'accès aux bases de données (DAOs), des objets de transfert de données (les DTOs), des descripteurs de déploiement et des pages HTML.

<i>Méta-modèle</i>	<i>Stéréotype</i>	<i>Code généré</i>
EClass	Session	Servlet, JSP
EClass	Entity	DAO, DTO
EPackage	-	Page HTML (de navigation)
EPackage	Descriptor	Web descriptor, ANT Script
EReference	-	<a href> (JSP), RequestDispatcher (servlet).
EAttribute	InputField	<input type="text"> (JSP), String (servlet).
EAttribute	TextArea	<textarea> (JSP), String (servlet),
EAttribute	Password	<input type="password"> (JSP), String (servlet)
EOperation	-	<form>+<input type="submit">(JSP), méthode (servlet)

Tableau 4 : Règles de transformation de Ecore vers une application Web [Moura 07]

III.5 Projet Bricoles

Bricoles [Caron 2007a] est un projet réalisé dans l'équipe NOCE destiné à des petites organisations d'enseignants utilisant des plateformes conçues et administrées de façon indépendante de la pédagogie qu'ils désirent mettre en place. Cette situation est qualifiée du

⁴⁷ C'est le mécanisme de transformation proposé par Eclipse permettant de générer des classes Java à partir de modèles EMF

bricolage⁴⁸ pédagogique sur des plateformes de formation à distance parce qu'elle s'apparente, selon les auteurs, plus au bricolage qu'à l'ingénierie.

Des expérimentations réalisées dans le cadre du projet PCDAI⁴⁹ (Pratique Collective Distribuée d'Apprentissage sur Internet) [PCDAI 2006] avec des enseignants et qui sont détaillées dans [Caron et al. 2007a] ont montré que la transformation du modèle d'un dispositif pédagogique en un modèle spécifique à une plateforme relève un problème de contextualisation des intentions pédagogiques avec les capacités des plateformes. En effet, il existe souvent une distance entre les intentions pédagogiques des enseignants et les fonctionnalités offertes par la plateforme à utiliser. Pour cette raison, les enseignants se trouvent souvent désorientés à l'étape de la transformation de leurs modèles de dispositifs pédagogiques en des modèles spécifiques. Les modèles spécifiques générés sont complètement différents de leurs modèles sources.

Partant du constat de l'inadéquation de la transformation automatique, la solution proposée consiste à exprimer les intentions pédagogiques directement avec les concepts de la plateforme en se basant sur un méta-modèle intégré fusionnant les concepts de la plateforme avec ceux de la pédagogie comme illustré par la Figure 31. Ce méta-modèle est défini par un ingénieur pédagogique par la fusion du méta-modèle pédagogique (PIM) avec le méta-modèle de la plateforme (PM).

Afin d'élaborer le méta-modèle d'une plateforme de formation à distance, Caron [Caron 2007a] a étudié la modélisation des plateformes de formation à distance en tant que plateformes d'exécution au sens de l'IDM. Dans le domaine des EIAH, [Caron 2007a] considère une plateforme de formation à distance *comme une plateforme d'exécution permettant l'interprétation de dispositifs pédagogiques [...] Construire un dispositif sur une telle plateforme consiste à créer sur celle-ci des éléments en respectant la cohérence du système qu'ils forment*. En cela, l'étape de génération de code du MDA est plutôt une étape de déploiement du modèle d'un dispositif dans le contexte d'une plateforme de formation à distance comme c'est le cas des travaux concernant le déploiement de composants [Estublier et al. 2005] ou encore d'applications [Merle 2004].

Grâce au méta-modèle fusionné, les enseignants peuvent spécifier leurs dispositifs avec comme repère l'idée qu'ils ont construit de l'usage de la plateforme de formation à distance et repérer ainsi plus facilement les éléments du modèle de leurs intentions pédagogiques par rapport aux éléments de la plateforme.

⁴⁸ "Le bricoleur est apte à exécuter un grand nombre de tâches diversifiées ; mais, à la différence de l'ingénieur, il ne subordonne pas chacune d'entre elles à l'obtention de matières premières et d'outils, conçus et procurés à la mesure de son projet : son univers instrumental est clos, et la règle de son jeu est de toujours s'arranger avec les 'moyens du bord'" [Lévi-Strauss 1962] C. Lévi-Strauss, "La pensée sauvage", Paris: Plon, 1962.

⁴⁹ Ce projet vise à permettre des formes d'apprentissage plus actives sur Internet et plus particulièrement l'accompagnement collaboratif à distance de stages et de rédactions de mémoire professionnel. Pour réaliser cet accompagnement, une équipe d'enseignants et de chercheurs en Science de l'Education a souhaité concevoir un type de dispositif pédagogique adapté à ce genre d'activités qu'ils ont nommé Explorateur d'Actions Personnelles et Collectives (EAPC).

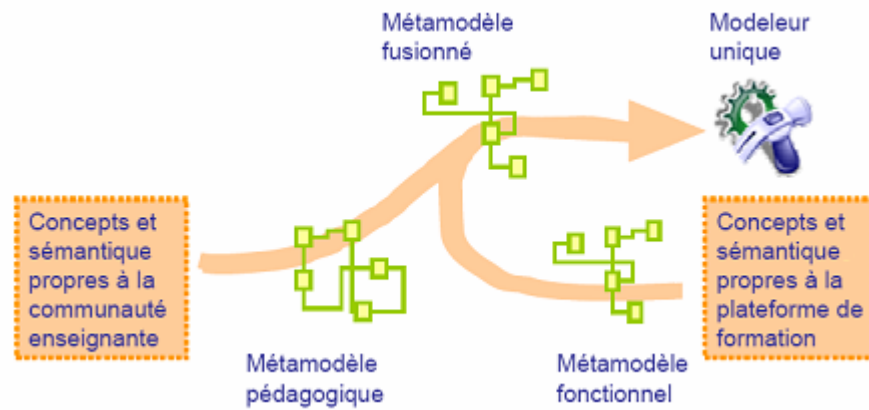


Figure 31 : Approche par fusion du méta-modèle pédagogique et du méta-modèle fonctionnel [Caron 2007a]

Cette solution illustrée par la Figure 32 privilégie ainsi la réalisation d'un outil de modélisation (modeleur) unique adapté à l'utilisation d'une plateforme de formation à distance dans un cadre pédagogique voulu par l'enseignant. Ce modeleur se base sur le méta-modèle fusionné et est créé par l'outil de méta-modélisation et de modélisation ModX⁵⁰ réalisé au sein de l'équipe NOCE [Le Pallec 2001].

ModX est un éditeur de méta-modèles et de modèles basés le standard MOF 1.4 de l'OMG. Avec ModX, la définition d'un méta-modèle est une activité à deux facettes : définir d'abord la syntaxe abstraite puis la syntaxe concrète. La syntaxe abstraite concerne les concepts du méta-modèle. La syntaxe concrète correspond au formalisme graphique ou textuel qui permettra de définir des modèles conformes au méta-modèle. L'avantage de ModX par rapport à d'autres outils tels qu'EMF et GMF présentés dans la section I.2 c'est qu'il est adapté à une utilisation par des non-spécialistes du génie logiciel.

Dans Bricoles, l'outil proposé pour le déploiement est appelé GenDep [Caron 2007a]. Comme le montre la Figure 32, connaissant le modèle du dispositif et le méta-modèle de la plateforme, GenDep permet de déployer le modèle sur la plateforme de formation à distance choisie via des Services Web.

GenDep se charge d'interpréter le modèle à déployer et de communiquer avec la plateforme connaissant son URL afin de le déployer sur celle-ci. GenDep réalise ce déploiement en se basant sur le méta-modèle de la plateforme et in fine en appelant les Services Web de la plateforme⁵¹ (l'interaction avec la plateforme se fait via le protocole SOAP⁵² (Simple Object Access Protocol)) qui réalisent effectivement le paramétrage de celle-ci. Lorsqu'une information lui manque, par exemple l'endroit où il peut trouver la liste des étudiants à inscrire automatiquement, l'outil GenDep s'interrompt et pose la question à l'utilisateur.

⁵⁰ ModX est une version évoluée de RAM3, Site du projet ModX, accessible à <http://noce.univ-lille1.fr/projets/ModX/>

⁵¹ En amont du déploiement, GenDep génère la partie SOAP cliente pour une plateforme connaissant son méta-modèle.

⁵² SOAP est un protocole de communication basé sur XML pour permettre aux applications de s'échanger des informations via HTTP. Il permet ainsi l'accès aux services Web et l'interopérabilité des applications à travers le Web.

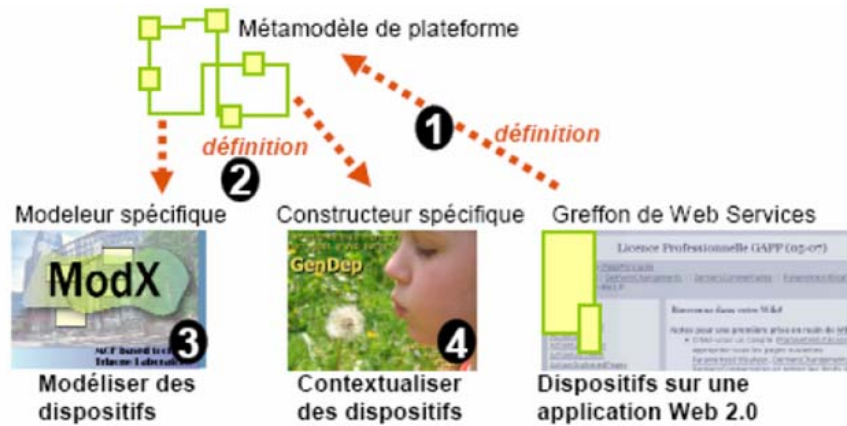


Figure 32 : Approche de conception de Bricoles [Caron 2007c]

Le déploiement, tel que proposé par Bricoles, comporte une phase de contextualisation du modèle qui est fondamentale. Elle implique de contextualiser le modèle du dispositif avec les éléments déjà existants sur la plateforme par exemple la liste d'étudiants déjà existants sur la plateforme. Dans cette phase, GenDep consulte les éléments existants sur la plateforme et les présente à l'utilisateur. Ce dernier peut décider soit de les lier à des éléments de son modèle soit de les inclure dans son modèle comme de nouveaux éléments soit de les ignorer. Plusieurs expérimentations de GenDep ont été menées sur différentes plateformes : Postnuke [Caron 2007a], Wikinimst [Caron 2007b], et Moodle [Caron et al. 2007b].

III.6 Projet REDiM

Dans le cadre du projet REDiM (Réingénierie des EIAHs Dirigée par les Modèles), un processus de conception et de réingénierie collectives d'un EIAH a été proposé [Corbière et al. 2004, Cottier 2006, Choquet 2007, El-Kechai 2008]. Nous allons détailler dans cette section leur approche pour la modélisation pédagogique.

Dans REDiM, comme dans MDEduc qui vient d'être présenté, les auteurs considèrent que les enseignants ont besoin de définir leurs méta-modèles d'expression de scénarios. Ils qualifient ces méta-modèles de « situés ». « *Un méta-modèle situé est créé pour décrire des situations dans des contextes d'apprentissage spécifiques, et n'a en principe pas vocation à décrire des situations en dehors de ce contexte* » [El-Kechai 2007]. Dans REDiM, cette approche qui est illustrée par la Figure 33 est dite constructive⁵³ dans le sens où « *le concepteur construit un méta-modèle, avec l'hypothèse que ce méta-modèle sera ancré dans son univers métier et que cela lui permettra de définir un scénario pédagogique conforme à ses intentions de conception.* » [Choquet 2007]

⁵³ Cette approche est opposée à une approche interprétative qui consiste à adopter, quitte à le faire évoluer, un langage de modélisation pédagogique existant. [Choquet 2007]

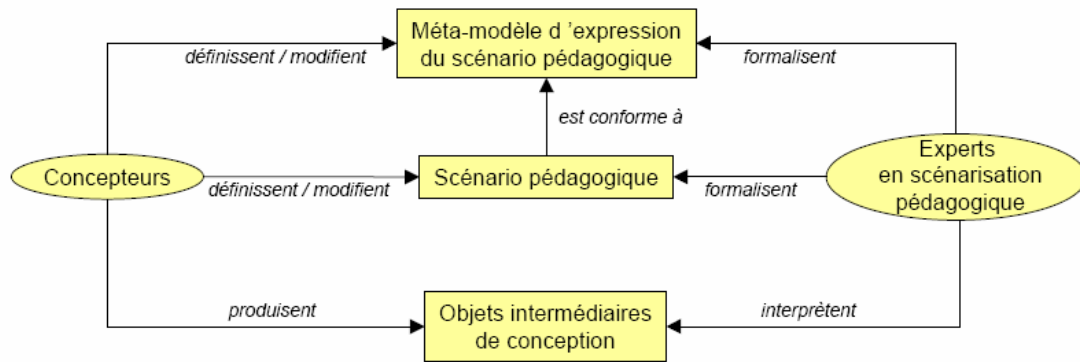


Figure 33 : Approche constructive de la conception d'un scénario pédagogique [Choquet 2007]

L'approche proposée dans REDiM possède comme particularité le fait que les méta-modèles sont extraits de l'activité même de conception des scénarios. Elle implique les utilisateurs finaux de l'EIAH essentiellement les enseignants considérés comme experts du domaine et désignés par usagers-concepteurs dans la définition des méta-modèles.

Pour obtenir un méta-modèle d'expression et un scénario pédagogique computationnels, le processus de conception comporte, deux sous-processus actifs : le processus de création et le processus de formalisation. C'est en créant le scénario pédagogique que les concepteurs définissent leur méta-modèle d'expression. Cette définition se fait par l'émergence d'un vocabulaire métier consensuel lors de la production d'objets intermédiaires⁵⁴ : n'étant pas guidés par un méta-modèle initial, les concepteurs doivent s'accorder sur la définition de leur méta-modèle d'expression pendant qu'ils construisent les scénarios pédagogiques. [Choquet 2007]

Le rôle des experts de la modélisation et de la méta-modélisation est fondamental pour expliciter et formaliser les scénarios et le méta-modèle d'expression pédagogique. Les concepteurs ne sont qu'indirectement impliqués dans le processus de formalisation.

Pour permettre aux concepteurs de participer plus activement à l'explicitation du méta-modèle métier et de scénarios pédagogiques conformes à ce méta-modèle, un éditeur collaboratif de scénarios pédagogiques ECoS est développé. ECoS permet l'édition graphique d'un méta-modèle d'expression pédagogique et de scénarios pédagogiques conformes à ce méta-modèle. Le méta-méta-modèle, sur lequel ECoS est basé, est décrit dans la Figure 34.

⁵⁴ " Toute entité, physique, graphique ou textuelle, se trouvant entre plusieurs acteurs ou comme production entre plusieurs étapes dans un cours d'action" [Vinck 2005]

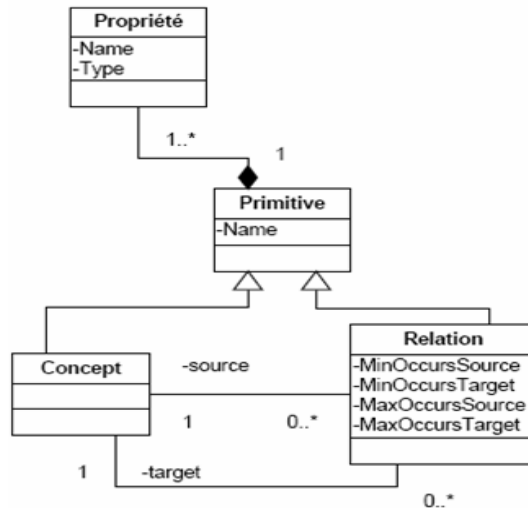


Figure 34 : Méta-méta-modèle dans ECoS [Choquet 2007]

La Figure 35 présente une capture d'écran d'ECoS qui concerne l'édition d'un scénario conformément à un méta-modèle.

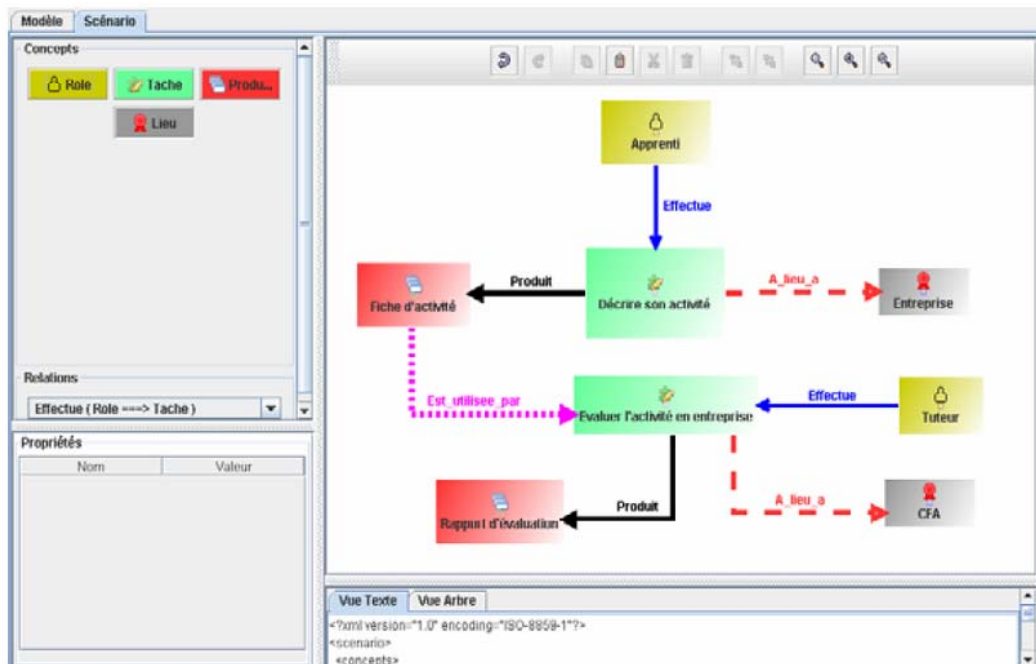


Figure 35 : ECoS : panneau d'édition d'un scénario pédagogique [Choquet 2007]

III.7 Modélisation pédagogique de PPC

Pour permettre la modélisation de scénarios de Pédagogie par Projet Collectif (PPC), Abdallah [Abdallah 2009] a proposé un méta-modèle dédié à la PPC.

La PPC est une méthode de la pédagogie active (Lebrun 2001) « regroupant » les deux méthodes actives : Pédagogie par Projet (PP) et Apprentissage Collectif (AC). Selon George [George 2001], l'essentiel dans cette méthode est que les apprenants travaillent collectivement en petites équipes à partir d'un cahier de charges visant une production effective.

Le méta-modèle PPC proposé permet de décrire différents scénarios de la PPC. Le méta-modèle proposé est présenté selon trois points de vue. Le but de la vue générale présentée dans la Figure 36 est de préciser la structure du projet dans le contexte d'une Pédagogie par Projet Collectif (niveau projet). Le but de la deuxième vue est de proposer un cadre

permettant la création d'une session de formation (niveau étape). La troisième vue est liée à la partie de production du projet (niveau tâche).

Comme le montre la Figure 36, un projet se décompose en plusieurs étapes de projet. Chaque étape de projet est décomposée en une ou plusieurs tâche(s). La tâche peut être une tâche individuelle, ou une tâche collective. Les apprenants peuvent accomplir soit des tâches individuelles soit des tâches collectives. Ils apprennent à travailler collectivement en se partageant des tâches, en organisant et planifiant ces tâches.

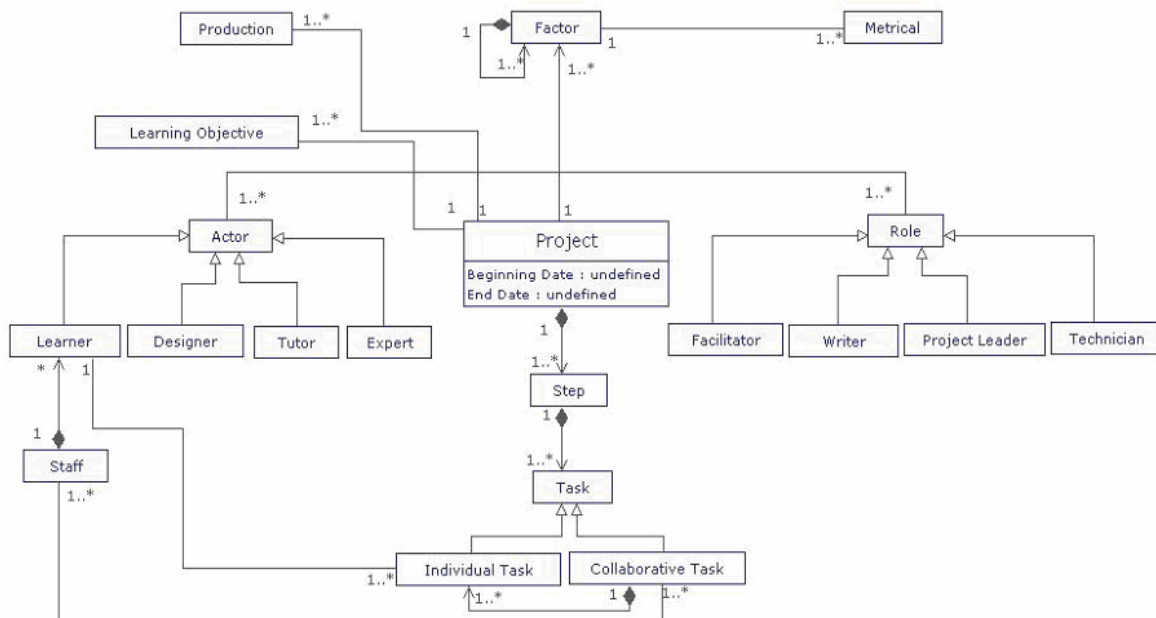


Figure 36 : Méta-modèle général de la PPC [Abdallah 2009]

La transformation des scénarios PPC en des scénarios spécifiques à une plateforme afin de les rendre opérationnalisables sur celle-ci se fait en se basant sur des règles de transformation ATL (détaillé dans la section I.4.3.2) prédéfinies entre le méta-modèle PPC et le méta-modèle de la plateforme cible.

Un Outil de Transformation de scénario PPC (OTCPPC) a été développé afin de faciliter l'exécution de règles de transformation. A l'heure actuelle, l'outil supporte les règles de transformations depuis le méta-modèle PPC vers celui de la plateforme Moodle. Pour que OTCPPC supporte une nouvelle plateforme, il faut faire appel à un expert pour développer les règles de transformation vers cette plateforme et les y intégrer.

La Figure 3 fournit un aperçu de la transformation ATL permettant de générer un modèle de scénario PPC opérationnalisable par la plateforme Moodle, qui est conforme au méta-modèle de Moodle, à partir du modèle de scénario PPC qui est conforme au méta-modèle PPC.

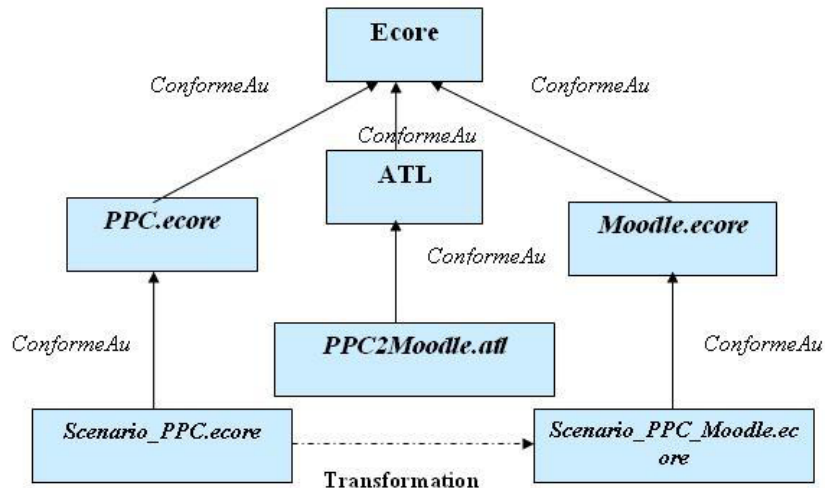


Figure 37 : Transformation ATL de PPC à Moodle [Abdallah 2009]

La Figure 38 présente un exemple de règles de transformation ATL. La règle (Etape2Cours) vise à produire un élément de modèle “Cours” à partir de l’élément de modèle “Etape”. Elle initialise les attributs Nom_complet, No_identification_du_cours, Date_de_debut, Date_de_fin et Resume du “Cours” généré. L’initialisation de la relation entre “Cours” et “Utilisateur” est faite dans la ligne 11. Le Nom_complet de “Cours” correspond au Projet_titre du “Projet” concaténé avec Etape_titre d’“Etape”. Les No_identification_du_cours, Date_de_debut, et Date_de_fin du “Cours” correspondent aux Etape_numero, Etape_date_debut, et Etape_date_fin d’“Etape”. Moodle n’a pas un élément équivalent à l’élément ObjectifApprentissage dans le méta-modèle PPC. Pour cela, un helper (correspondant à une fonction en Java) est utilisé dans la ligne 10 permettant de regrouper toutes les valeurs d’ObjectifApprentissage dans l’attribut Resume du “Cours”, sans aucune duplication.

```

rule Etape2Cours {
  from
    e : PPC!Etape
  to
    c : Moodle!Cours {
      Nom_complet <- e.x + '_' + e.Etape_titre,
      No_identification_du_cours <- e.w + '_' + e.Etape_numero,
      Date_de_debut <- e.Etape_date_debut,
      Date_de_fin <- e.Etape_date_fin,
      Resume <- e.getEtapeObjectifApprentissage(),
      UserAffectedCourse <- e.EtapeRegroupeActeur
    }
}

```

Figure 38 : Extrait de Code ATL de création de règles de transformation [Abdallah 2009]

III.8 Synthèse et Discussion

En ingénierie des EIAH, l’approche dirigée par les modèles garantit aux concepteurs les techniques de définition des langages de modélisation spécifiques qui répondent à leurs besoins. La puissance de ces langages réside dans leur aptitude à offrir l’expressivité pédagogique et contextuelle nécessaires. L’expressivité pédagogique est la capacité du langage de modélisation à décrire les intentions pédagogiques du concepteur. L’expressivité contextuelle d’un langage de modélisation est sa capacité à respecter des règles spécifiques du contexte de la modélisation.

Parmi les travaux présentés, certains ont opté pour des langages spécifiques [Caron 2007a] [De Moura 2007] [El-Kechaï 2007] et d'autres se sont orientés vers des langages de modélisation par méthode pédagogique [Laforcade 2004] [Abdallah 2009]. Certains travaux ont aussi étudié l'utilisation de méta-modèles plus génériques pour la modélisation d'activités collaboratives [Martel et al. 2006c] ou même l'utilisation d'IMS-LD comme langage de modélisation générique en IDM [Caron 2007a].

Ainsi, les langages de modélisation peuvent être plus spécifiques ou plus génériques. Ceux qui sont génériques sont applicables à un large spectre de domaines, mais ils permettent souvent de les décrire superficiellement. Par contre, les modèles spécifiques ont une portée plus limitée mais ils permettent souvent une expressivité importante. De ce fait, les degrés d'expressivité pédagogique et contextuelle varient selon le langage utilisé comme illustré par le Tableau 5. L'expressivité pédagogique d'un langage de modélisation est fondamentale pour le concepteur parce qu'elle lui garantit les moyens nécessaires pour exprimer ses intentions pédagogiques. L'expressivité contextuelle est aussi importante, elle permet de produire des dispositifs adéquats à leurs contextes. Toutefois, plus l'expressivité contextuelle est élevée, moins est la chance de réutilisation.

	Expressivité pédagogique	Expressivité contextuelle
Langage spécifique	+++	+++
Langage par méthode pédagogique	++	-
Langage générique	+	-

Tableau 5 : Tableau comparatif entre les approches de modélisation pédagogique

Comme le montre le Tableau 5, le plus adéquat c'est de disposer d'un méta-modèle spécifique aux besoins du concepteur. Ce type de méta-modèle abandonne la généralité au profit d'une plus grande expressivité. Ces méta-modèles offrent l'avantage de modéliser les systèmes dans les termes et selon les règles du métier (grâce à la relation de conformité) comme ils garantissent l'expressivité contextuelle exigée. Toutefois, la définition de ces méta-modèles reste une tâche qui nécessite une expertise qui dépasse souvent celle des concepteurs pédagogiques. Cette solution demande un travail important de méta-modélisation par un ingénieur pédagogique dont la possibilité de réutilisation reste limitée.

Les langages par méthode pédagogique offrent une expressivité pédagogique suffisante mais sont limités en termes d'expressivité contextuelle. Cette limite est souvent comblée par le potentiel de réutilisation de ces langages pour modéliser différentes intentions pédagogiques.

Les langages génériques ont les mêmes avantages notamment la réutilisation et limites notamment le manque d'expressivité contextuelle que les standards d'eLearning notamment IMS-LD que nous avons discutés dans les sections II.4.1.3 et II.5 du chapitre II.

Nous partageons avec [El-Kechaï 2007] [Caron 2007a] [De Moura 2007] la même position quant à la nécessité de permettre aux concepteurs une modélisation pédagogique basée sur des langages spécifiques. Nous partageons aussi avec les mêmes travaux le public cible qui sont les concepteurs débutant en matière de méta-modélisation, conceptualisation et développement. Néanmoins, dans ces travaux [El-Kechaï 2007] [Caron 2007a] [De Moura 2007], des experts sont supposés accompagner les concepteurs pédagogiques afin de définir les langages de modélisation qui seront par la suite la base de la modélisation des dispositifs pédagogiques. En pratique, il se trouve que pour des raisons souvent économiques, l'absence

de ces experts constitue un obstacle pour les concepteurs pédagogiques. Ces derniers ont besoin donc de plus d'indépendance dans la modélisation de leurs dispositifs.

Nous pensons comme [Choquet 2007] que les modèles sont capitalisables et partageables et que le partage cristallisera de réelles communautés de pratiques, dépassant le simple cercle de leurs auteurs. Ainsi, la réutilisation de modèles pourrait être une solution qui aide les concepteurs pédagogiques. Toutefois, ces derniers doivent être assistés dans la réutilisation et dans la contextualisation des modèles réutilisés c'est-à-dire dans la prise en compte des spécificités du contexte de réutilisation.

Nous faisons l'hypothèse que si la formalisation des scénarios pédagogiques se fait de façon à favoriser un haut degré de réutilisation, si les besoins de contextualisation sont bien définis et si la contextualisation est soutenue et assistée, il serait plus facile de réutiliser des modèles de scénarios pédagogiques et de les contextualiser adéquatement.

Ainsi, à la différence des travaux de [Caron 2007a] et [El-Kechaï 2007], nous cherchons à assurer la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques et à assister les concepteurs pédagogiques à la contextualisation. Ainsi, nous partageons avec les autres travaux [Laforcade 2004] [Abdallah 2009] [Martel et al. 2006c] leur orientation vers des solutions plus réutilisables par rapport à des solutions spécifiques.

Le manque que nous cherchons à combler dans ces travaux est lié à la formalisation de modèles de scénarios pédagogiques à la fois réutilisables et malléables⁵⁵ qu'il est donc possible de contextualiser.

Selon [Bourguin 2000], « *Un système malléable est un système permettant à ses utilisateurs de l'adapter à leurs éventuels nouveaux besoins* ». Un des problèmes liés à la malléabilité est de définir un élément de base permettant de la supporter. Cet élément doit être à la fois réutilisable, évolutif et compréhensible par les utilisateurs sensés le manipuler. Nous nous intéressons à la malléabilité de modèles. Un modèle possédant une telle propriété sera un modèle malléable et nous le définissons comme un modèle permettant aux concepteurs de l'adapter à leurs éventuels nouveaux besoins.

En conclusion, par rapport aux travaux étudiés, nous avons recensé le besoin d'une solution qui garantit un compromis entre la réutilisation et la contextualisation de modèles malléables de scénarios pédagogiques c'est-à-dire entre la généralité et la spécificité.

En ce qui concerne la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en modèles spécifiques à une plateforme de formation, en nous basant sur notre étude de la littérature, nous classifions les approches émergentes en trois catégories.

La première approche repose sur la proposition d'infrastructures ou d'outils spécifiques à des méta-modèles connus : LDI pour LDL [Martel et al. 2006a], CPL pour CPM [Laforcade 2004]. Ces solutions sont efficaces mais restent spécifiques aux utilisateurs de ces méta-modèles. Si le concepteur choisit d'utiliser son méta-modèle spécifique, ces solutions ne seront plus adéquates. Ce cas est traité par les deux autres approches qui sont applicables indépendamment du méta-modèle pédagogique.

⁵⁵ Nous avons choisi le terme malléabilité qui est à distinguer du terme adaptativité qui traduit l'adaptation dynamique à l'initiative du système en se basant sur un modèle de l'utilisateur. La malléabilité est à distinguer de l'adaptabilité

La deuxième approche se base typiquement sur les étapes du MDA et propose de transformer le modèle représentant les intentions pédagogiques (conforme au PIM) en un modèle technologique (conforme au PM) en appliquant des règles de transformation prédéfinies entre le PIM et le PM [Caron et al. 2007a] [De Moura 2007] [Abdallah 2009]. La première étape consiste donc à spécifier les règles de transformation par exemple en utilisant ATL [Abdallah 2009] ou Java [Caron et al. 2007a] décrivant la correspondance entre les concepts du PIM et du PM. La deuxième étape est une application de ces règles afin de générer le modèle fonctionnel en partant du modèle des intentions pédagogiques. L'avantage de cette approche réside dans la possibilité de générer automatiquement des modèles spécifiques à la plateforme de formation à distance cible une fois les règles de transformation définies. Toutefois, elle pose deux types de problèmes aux concepteurs pédagogiques. D'une part, le codage et l'application des règles de transformation restent des tâches d'experts en la matière. D'autre part, comme conclu dans [Caron et al. 2007a] suite à différentes expérimentations avec des enseignants-concepteurs, la distance entre les intentions et les capacités de la plateforme est problématique. En effet, les enseignants se trouvent souvent désorientés parce que les modèles générés automatiquement sont complètement différents de leurs modèles de scénarios pédagogiques de départ.

La troisième approche, qui avait été proposée pour combler les lacunes de l'approche précédente, propose d'exprimer directement les intentions pédagogiques conformément à un méta-modèle qui fusionne le méta-modèle pédagogique et le méta-modèle de la plateforme, il s'agit de l'approche par fusion [Caron 2007a]. L'expérimentation de cette dernière approche a montré qu'elle ne mène pas à la désorientation des concepteurs parce qu'elle leur évite une double modélisation l'une pédagogique et l'autre technologique. En revanche, cette solution ne permet pas l'interopérabilité du dispositif pédagogique sur d'autres plateformes parce qu'elle implique de mêler la logique métier avec la logique technologique.

La transformation de modèles de scénarios pédagogiques en modèles dépendants des plateformes de formation à distance nécessite dans toutes les approches recensées l'intervention d'un ingénieur pédagogique et/ou un informaticien afin d'assister les concepteurs pédagogiques.

En conclusion, le besoin d'offrir une solution plus adaptée à des concepteurs pédagogiques pour la transformation de leurs modèles de scénarios pédagogiques (quelque soit le méta-modèle utilisé) en modèles spécifiques à une plateforme se pose. Afin d'éviter la désorientation des concepteurs, cette solution doit éviter la séparation entre la définition des règles de transformation et leur application. Un vrai travail de contextualisation doit être facilité au concepteur pédagogique c'est-à-dire au fur et à mesure de la transformation, le concepteur doit être capable d'ajuster ses choix jusqu'à aboutir à un modèle fonctionnel qui satisfait ses besoins tout en étant conforme à la plateforme. Le fait que le concepteur construit lui-même de façon incrémentale et tout en ayant la possibilité de modifier ses choix facilement va lui permettre de se familiariser avec la plateforme et de mieux s'approprier ses outils.

Pour le déploiement, il relève dans la plupart des travaux des tâches d'un ingénieur pédagogique ou un administrateur. L'outil GenDep [Caron 2007a] a fourni une solution pour automatiser le déploiement sur n'importe quelle plateforme. Il suffit de fournir le méta-modèle de la plateforme ainsi qu'un modèle à déployer conforme à ce méta-modèle.

Par ailleurs, en confrontant les propositions d'approches d'ingénierie dirigée par les modèles par rapport aux attentes de l'ingénierie des EIAH, il ressort une réduction de la problématique de la modélisation des dispositifs à la modélisation des intentions pédagogiques suivie d'une transformation vers la plateforme de formation à distance alors que plusieurs aspects doivent être pris en considération. Un dispositif pédagogique est plus qu'un instrument technique, il s'agit d'un système complexe dont la conception implique la prise en considération de plusieurs aspects. Cela nécessite encore une exploration de la complexité d'un dispositif qui fera l'objet du chapitre suivant.

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux travaux de la littérature qui s'inscrivent dans une démarche dirigée par les modèles pour l'ingénierie des EIAH. A l'issue de cette étude, nous avons noté un manque de prise en compte du profil des concepteurs pédagogiques qui sont souvent non expert.

Les concepteurs pédagogiques ont besoin d'être assistés afin de pouvoir mettre en œuvre les différentes tâches se rapportant à la modélisation de scénarios pédagogiques et à leur transformation dans le monde de la plateforme de formation à distance qui assurera leur exécution.

A l'étape de la modélisation du dispositif pédagogique, nous avons discuté l'importance de garantir au concepteur la double expressivité pédagogique et contextuelle. Néanmoins, plus est l'expressivité contextuelle, moins est la chance de réutilisation. La réutilisation est à notre sens la solution qui garantira au concepteur l'indépendance des experts parce que définir un méta-modèle et modéliser en se lui conformant restent des tâches d'experts.

Toutefois, il faut aussi permettre aux concepteurs l'expressivité contextuelle. Une solution qui assiste les concepteurs à la réutilisation tout en permettant la contextualisation est inexistante d'après notre étude de la littérature.

A l'étape de la transformation, l'étude de la littérature a ressortit quelques limites que nous allons essayer de surmonter. Ces limites sont relatives notamment à l'assistance des concepteurs à la définition, l'application et la mise à jour de règles de transformation.

Nous avons noté aussi le fait que ces travaux ne prennent pas en considération la complexité des dispositifs pédagogiques. En effet, à l'étape de la modélisation pédagogique, le focus est sur la modélisation des intentions pédagogiques. A l'étape de transformation vers la plateforme, celle-ci est réduite à un modèle qui la représente alors que l'usage de la même plateforme d'une formation à une autre diffère. Certes, les intentions et leur concrétisation sur une plateforme sont centrales mais il faudra aussi prendre en considération d'autres aspects de la modélisation comme recommandé par les travaux fondateurs de l'ingénierie des EIAH présentés dans la section II.2.2 du chapitre II. Ce dernier constat doit être mieux exploré ce qui sera l'objectif du chapitre suivant. Nous focaliserons l'étude sur les dispositifs pédagogiques sur lesquels notre recherche est centrée.

Chapitre IV : Complexité des dispositifs pédagogiques

IV.1 Introduction

Un objet central de notre recherche est le dispositif pédagogique. La notion de dispositif était sujette à des variations de compréhension par des chercheurs de différentes disciplines. Néanmoins, elle paraît connaître aujourd'hui une certaine stabilisation autour de quelques traits significatifs. Les travaux théoriques sur la notion de dispositif visent à fournir des méthodologies d'analyse. Sur la base de ces travaux, les recherches dans le cadre de l'approche par dispositif en ingénierie des EIAH ont une préoccupation pratique en voulant fournir des outils de construction et de pilotage de ces dispositifs.

Nous allons nous attarder dans ce chapitre sur la notion de dispositif et l'analyse systémique de dispositifs.

IV.2 Notion de dispositif

IV.2.1 Dispositif dans différentes disciplines

Le terme dispositif n'appartient à l'origine ni au champ de l'éducation ni à celui de la communication, il provient de celui de la technique et désigne l'« *Ensemble de pièces constituant un mécanisme, un appareil quelconque* »⁵⁶.

Depuis l'apparition de l'ouvrage "*Surveiller et punir : naissance de la prison*" de Michel Foucault, la notion de dispositif a été popularisée. Selon Foucault [Foucault 1975], un dispositif renvoie aux « *procédures et technologies qui sous tendent l'organisation d'une société* ». Cette vision du dispositif a fait l'objet de plusieurs critiques notamment par De Certeau [Certeau et al. 1980] qui considère que cette approche des dispositifs, pour innovante qu'elle soit, renvoie à une seule catégorie : « *les dispositifs du contrôle, de l'aveu, de la surveillance, du pouvoir* ». De Certeau considère que toutes les procédures ordinaires, souvent minuscules et invisibles, sont porteuses d'actions individuelles, d'un « **art de faire** ».

André Berten [Berten 1999] analyse cette vision de Foucault du dispositif et souligne son **caractère coercitif**, "*le côté pouvoir normalisateur du dispositif le rend malveillant et inamical*". L'auteur souligne cependant les aspects positifs que peut prendre également un dispositif. Il propose de voir un dispositif comme un **espace de potentialité**, tolérant à l'erreur, permettant aux usagers de construire, **d'improviser** leur apprentissage tout en étant guidé par **l'intentionnalité flottante** résidant dans le dispositif. C'est dans ce sens que les dispositifs modernes, appuyés par les technologies de l'information et de la communication, fonctionnent surtout comme des **environnements producteurs de feedback immédiat** par rapport à l'action des usagers. Ils sont de ce point de vue qualifiés d'**environnements ouverts, adaptatifs et intelligents** [Peeters et al. 1999].

La notion de dispositif est souvent abordée comme un concept de l'entre-deux. En effet, au-delà des traditionnelles dichotomies, ce concept permet d'appréhender, dans toute leur complexité, les rapports entre le technique et le symbolique [Poitou 1998] [Verhaegen 1999]

⁵⁶ Selon le Petit Larousse 1996, http://www.editions-larousse.fr/Catalogue/Petit_Larousse.asp

[Weissberg 1998], entre le sujet et l'objet [Hert 1999], en mettant en évidence à la fois les logiques d'usages et le positionnement idéologique ambigu du dispositif, **entre liberté et déterminisme** [Certeau et al. 1980].

Certains auteurs [Berten 1999] [Nel 1999] font ressortir aussi son caractère de figure intermédiaire visant à « *trouver une position entre, d'une part, une approche totalisante mettant en avant l'idée d'une structure, d'un **ordre homogène**, et, d'autre part une approche « rhizomatique », mettant en évidence une fluence généralisée, des ensembles complexes ouverts plus proches de l'indifférencié ou du **chaos** ».* [Nel 1999]

Ces dualités se situent entre considérer le dispositif comme un système complexe où la liberté et la « rhizomatique » règnent ou un système non complexe où c'est l'ordre et le déterminisme qui règnent. Nous allons voir dans la section IV.4 qu'il en va de même pour les EIAH où la complexité ou la complication du dispositif dépend du modèle pédagogique sous-jacent.

Dans ce qui suit, nous allons spécialiser l'étude de la notion de dispositif au domaine de l'ingénierie des EIAH.

IV.2.2 Dispositif en ingénierie des EIAH

Dans le domaine de l'éducation, le concept de dispositif a surgit dans les années 1970, sous l'influence croissante de l'ingénierie de la formation. J.P. Poitou [Poitou 1998] considère que le concept même de dispositif relève de l'émergence et « *de l'apparition de nouveaux médiateurs du savoir, voire de formes nouvelles de savoir fondées sur des médiateurs* ».

IV.2.2.1 Définition

En EIAH, la définition la plus générale est celle de Peraya [Peraya 1998]. Ce dernier définit un dispositif comme « *une instance, un lieu social d'interaction et de coopération possédant ses intentions, son fonctionnement et ses modes d'interactions propres. L'économie d'un dispositif – son fonctionnement –, déterminé par les intentions, s'appuie sur l'organisation structurée de moyens matériels, technologiques, symboliques et relationnels, naturels et artificiels qui modélisent, à partir de leurs caractéristiques propres, les comportements et les conduites sociales, cognitives, affectives des sujets* ».

Ainsi, la relation qui lie intention et dispositif dans le cadre des EIAH a été en partie explorée par Daniel Peraya. L'auteur explique qu'un **dispositif comporte par essence les intentions qui ont motivé sa création**, mais qu'il possède **ses propres intentions, son fonctionnement et ses modes d'interactions propres**.

Gille Leclercq [Leclercq 2005] aborde aussi ce côté de l'analyse des dispositifs et considère qu'un dispositif pédagogique constitue une "*offre de signification proposée à des usagers*". Ainsi, il n'est pas neutre, sa description tend à souligner les intentions pédagogiques qui sous-tendent sa conception. A ce titre, le dispositif peut être défini comme la concrétisation d'une intention au travers de la mise en place d'environnements aménagés [Foucault 1975].

IV.2.2.2 Approche par dispositif

Nous avons discuté dans les chapitres précédents différents travaux de conception dirigée par les modèles sur des plateformes de formation. Afin d'expliquer le lien entre ces travaux et la notion de dispositif, nous reconsidérons dans ce qui suit ces travaux selon la manière avec laquelle ils aboutissent à des dispositifs déployés sur des plateformes de formation. Caron

[Caron 2007a] distingue deux possibilités. La première s'appuie sur un scénario pédagogique comme point de départ et la deuxième s'appuie sur un dispositif comme point de départ.

De point de vue conception, il est possible d'adopter une approche de conception basée sur un dispositif abstrait et d'aboutir à un dispositif déployé sur une plateforme de formation à distance ou une approche basée sur des scénarios pédagogiques et menant d'un scénario pédagogique au déploiement d'un dispositif sur une plateforme de formation. Nous résumons ces deux approches par le tableau extrait de [Caron 2007a].

Solutions... Expressions...	Passant par l'expression du scénario abstrait	Passant par l'expression du scénario abstrait
En langage naturel	Offre de signification, objectif, acteurs, activité	Séquencement, scénario abstrait, activités, ressources, acteurs
Formalisée	Dispositif abstrait, exprimé dans un langage formel	Scénario abstrait, automatisable, exprimé dans un langage formel
Spécifique	Dispositif spécifique obtenu par transformation du dispositif abstrait	Dispositif spécifique obtenu par analyse du scénario et confrontation avec les concepts de la plateforme
Concrète	Dispositif déployé sur une plateforme	

Tableau 6 : Deux processus menant au déploiement d'un dispositif sur une plateforme (adapté de [Caron 2007a])

Dans le cadre de la deuxième approche, la finalité d'un scénario est de prévoir les ressources et les moyens à utiliser sur la plateforme sans planification stricte de leur utilisation. Les caractéristiques d'un tel scénario selon la taxonomie proposée par [Lejeune et al. 2004] sont présentées dans la Figure 39. Il s'agit d'un scénario : formel et automatisable, concret, prédictif, de granularité activité ou séquence ou parcours, adaptatif, ouvert et adaptable.

Formalisation : <i>informel, formel, automatisable</i>
Abstraction : <i>abstrait, concret</i>
Finalité : <i>prédictif, descriptif</i>
Granularité : <i>activité, séquence, parcours</i>
Personnalisation : <i>générique, adaptatif</i>
Contrainte : <i>contraint, ouvert, adaptable</i>

Figure 39 : Caractérisation d'un scénario utilisable pour définir un dispositif [Caron 2007a]

Ainsi, selon [Lejeune et al. 2004], les caractéristiques d'un scénario selon la Figure 39 se déclinent comme suit :

Un scénario formalisé « *utilise un langage de modélisation pédagogique afin d'en favoriser le partage et la réutilisation entre communautés de pratique* ».

Un scénario automatisable est « *un scénario formalisé en utilisant un langage de modélisation pédagogique "calculable" afin d'en assurer l'automatisation partielle ou totale lors des différentes phases de son cycle de vie (création, exploitation, évaluation)* ».

Un scénario abstrait ou scénario-type « *décrit les composants de la situation d'apprentissage en termes abstraits. La distribution des rôles à des personnes physiques, l'affectation des ressources décrites de façon abstraite à des ressources concrètes ne sont assurées que lors de la contextualisation (instanciation) du scénario abstrait* ».

Un scénario concret « décrit précisément les composants réels associés au scénario abstrait en termes d'affectation des rôles à des personnes physiques, de planification, de mise à disposition des ressources de connaissances, services ou outils ».

Un scénario prédictif est « un scénario établi a priori par un concepteur en vue de la mise en place d'une situation d'apprentissage ».

Une activité élémentaire correspond à « la granularité la plus fine de situation d'apprentissage durant laquelle un ou plusieurs acteurs (apprenants, formateurs, tuteurs, etc.) agissent ou interagissent au sein d'un environnement défini et pour une durée déterminée, en générale courte ».

Une séquence d'activités correspond à « une granularité moyenne de situation d'apprentissage pendant laquelle plusieurs activités élémentaires sont organisées pour atteindre un objectif d'apprentissage déterminé en termes de connaissances ou compétences. Cette organisation doit permettre d'exprimer les relations de séquence et de parallélisme, de décrire les conditions d'enchaînement ainsi que de préciser le processus de flot des données associé ».

Une unité de structuration pédagogique correspond à « la granularité la plus élevée de situation d'apprentissage pour laquelle un ensemble de séquences pédagogiques sont assemblées pour former une unité logique autour d'un thème d'apprentissage donné et pour un public précis ».

Un scénario adaptatif est « un scénario prédictif prenant en compte des profils-type et permettant l'exécution conditionnelle de plusieurs scénarios personnalisés se distinguant par la nature des interactions proposées (rétroactions, parcours, etc.) ou par la nature des ressources de manipulation de connaissance mises à disposition ».

Un scénario ouvert « décrit dans les grandes lignes les activités à réaliser en laissant aux acteurs de la situation d'apprentissage des degrés de liberté importants pour organiser les activités ou déterminer leur parcours. [...] En règle générale, les scénarios ouverts sont associés à des approches constructivistes ou socioconstructiviste de l'apprentissage ».

Un scénario adaptable est « un scénario ouvert qui présente la caractéristique de pouvoir être modifié ou complété par les acteurs de la situation d'apprentissage puis de pouvoir être mémorisé pour une exploitation ultérieure ».

IV.2.2.3 Dispositif et modèles pédagogiques

Nous partageons avec Montandon [Montandon 2002] le fait que l'étude des dispositifs dépend des modèles pédagogiques. Avec le modèle transmissif, c'est de cours magistral qu'il s'agit, la notion de dispositif n'a pas lieu d'être. Avec le modèle comportementaliste, issu d'une conception béhavioriste de l'apprentissage, le dispositif prend une acception technique, d'instrument d'exécution au service d'objectifs définis préalablement, indépendamment des acteurs qui l'utiliseront comme outil d'acquisitions graduelles de connaissances. Le modèle socioconstructiviste d'une pédagogie des groupes interactive refuse de faire du dispositif un simple objet technique, un simple outil, neutre, institué et statique, en postulant que les acteurs, et les objectifs qu'ils se donnent font partie intégrante du dispositif ; c'est récuser une conception technique au profit d'une conception systémique. [Montandon 2002]

Nous présenterons quelques définitions des modèles pédagogiques évoqués. Une étude exhaustive des modèles pédagogiques est hors de la portée de cette thèse.

Le socio-constructivisme est issu du constructivisme. Le constructivisme met l'accent sur le rôle actif de l'apprenant en tant que premier agent de son apprentissage. L'approche

constructiviste considère que les nouvelles connaissances s'acquièrent graduellement par la mise en relation avec les connaissances antérieures. La compréhension d'une réalité s'élabore à partir des perceptions personnelles et non d'une réalité absolue. Par rapport au traitement de l'information, on parlera de restructuration des informations en fonction des réseaux de concepts propres à chaque apprenant.

Le socio-constructivisme ajoute au constructivisme la dimension interactionnisme social du contact avec les autres afin de construire ses connaissances. Ainsi, le socioconstructivisme met l'accent sur la dimension relationnelle de l'apprentissage. En pédagogie, on dira que l'élève élabore sa compréhension d'une réalité par la comparaison de ses perceptions avec celles de ses pairs et celles de l'enseignant. Les travaux du psychologue soviétique Vygotsky [Vygotsky 1978] et du psychologue, biologiste, logicien et épistémologue suisse Piaget [Piaget 1969] sont marquants dans le courant socioconstructiviste. Vygotsky postule que le développement cognitif se construit au contact d'interactions sociales et au sein d'un contexte socio-historique. Ainsi, la pensée n'est pas individuelle, mais sociale et culturelle. Elle se construit, s'enrichit, se transforme au sein d'interactions sociales et au contact d'outils symboliques ou techniques. Piaget s'intéresse comme Vygotsky au processus de construction du savoir. Toutefois, Piaget considère la pensée d'un point de vue individuel alors que Vygotsky la considère d'un point de vue social.

Ainsi, dans le cadre d'une approche constructiviste ou socioconstructiviste de l'apprentissage, le dispositif ne doit pas être considéré comme un instrument technique. Dans ce cas, la complexité des dispositifs doit être étudiée. L'approche systémique des dispositifs a été défendue dans plusieurs travaux en sciences de l'éducation. Nous analysons ces travaux dans le reste de ce chapitre. Nous commençons d'abord par présenter succinctement les systèmes complexes.

IV.3 Systèmes complexes

IV.3.1 Définitions

Pour Edgar Morin [Morin et al. 1999], la théorie de la complexité⁵⁷ est une approche scientifique récente qui s'oppose à la pensée scientifique classique reposant sur « l'ordre », « la séparabilité » et « la raison ». En effet, avec le développement des sciences contemporaines, cette approche classique a montré des limites : l'ordre universel a été remis en cause par plusieurs disciplines telle que la thermodynamique, la raison n'est plus considérée comme absolue et la séparabilité a été ébranlée par la systémique qui appelle à relier pour comprendre.

Selon Bar-Yam [Bar Yam 2003], un système est complexe « si ses parties sont interdépendantes ». L'interdépendance signifie « *qu'il n'est pas possible d'identifier le comportement du système par juste combiner ses parties* ». C'est cette caractéristique qui distingue les systèmes complexes des systèmes compliqués dont l'étude est réductible à l'étude de leurs constituants puisque le système est considéré comme étant leur somme. De plus, Bar-Yam considère que les systèmes complexes constituent « une nouvelle approche de la science qui cherche à définir comment les interactions entre les parties donnent lieu à des

⁵⁷ Certains auteurs considèrent la complexité comme une théorie, d'autres comme une science, quelques uns comme une pensée et certains l'assimilent à un paradigme

comportements collectifs d'un système et comment le système interagit et forme des interactions avec son environnement ».

Marashi et Davis considèrent un système complexe comme étant « *un système qui contient plusieurs composants et niveaux de sous-système avec des inter-connexions non linéaires multiples qui sont difficiles à reconnaître, gérer et prédire* ». [Johnson 2005]

« *Un système complexe peut être défini comme un système dans lequel les phénomènes émergent comme conséquence d'interactions multi échelle à travers les composants du système et leurs environnements* » [Abbott 2006]. En effet, les systèmes complexes tendent à montrer des phénomènes émergents c'est-à-dire « des phénomènes à un niveau global qui (a) résultent de et (b) sont une conséquence de, mais (c) peuvent être décrits indépendamment de la façon dont les interactions des différents éléments leur apportent ». [Abbott 2006]

Shalizi [Shalizi 2006] explore la notion d'émergence et distingue trois sens différents de l'émergence. *Au sens le plus faible, « Une propriété émergente est une propriété qui résulte de l'interaction d'entités de plus bas niveau, et qu'on n'observe pas chez ces entités »*. Au sens des approches de prédiction, il s'agit de *propriétés de haut niveau qui ne peuvent pas être prédites à partir de la connaissance des propriétés de bas niveau*. Au sens de Rétrodiction, *une propriété émergente est une propriété de haut niveau, qui ne peut pas être déduite ou expliquée à partir des propriétés des entités de bas niveau*. Dans la littérature, il existe beaucoup de discussions philosophiques faites au sujet de la définition exacte d'une propriété émergente (par exemple [Johnson 2005])

Actuellement, des outils existent pour aider à appréhender les systèmes complexes tels que des outils informatiques pour la description, la modélisation et la simulation [Bellamine 2007] mais aussi des outils analytiques permettant d'étudier ces systèmes plus en détail [Bar Yam 2002, Bar Yam 2005]. Les méthodologies de base pour la recherche concernant les systèmes complexes incluent la modélisation basée sur les agents, les processus stochastiques et markoviens, les équations différentielles non-linéaires, la théorie du chaos, l'optimisation numérique, la modélisation multi-échelle, l'identification de patrons statistiques, la fouille de données.

Nous allons nous intéresser particulièrement à la modélisation multi échelle pour les systèmes complexes. Il s'agit de la thématique centrale du projet franco-tunisien SAME2 auquel se rapportent les travaux de cette thèse.

IV.3.2 Systèmes complexes et Multi échelle

Au début des travaux du projet SAME2, nous avons exploré la littérature afin d'étudier le multi-échelle.

L'approche multi échelle de l'étude des systèmes complexes cherche à comprendre les interrelations entre les différentes échelles du système. L'absence de travaux expliquant le principe général de l'approche multi-échelle nous a conduits à étudier son utilisation dans différentes disciplines. Le multi-échelle apparaît actuellement au cœur de diverses disciplines (telles que la biologie [Hunter et al. 2006], le mécanique des structures [Kaxiras et al. 2005] et a donné des résultats satisfaisants dans la résolution de différentes problématiques. Par exemple, dans le domaine de la biologie, l'interprétation des interactions qui ont lieu à travers les échelles de l'organisme humain (allant des gènes et protéines aux cellules, tissus, organes et systèmes d'organe) se fait par une modélisation multi-échelle [Hunter et al. 2006]. L'annexe A présente l'essentiel de l'étude que nous avons menée pour étudier cette approche

dans le cadre du projet SAME2. Ainsi, dans la littérature, il n'existe pas de technique prête à l'emploi pour supporter cette approche. Son adoption pour l'ingénierie des EIAH a nécessité l'élaboration d'un support conceptuel à travers les définitions proposées dans [Drira 2008].

Une approche multi-échelle est un ensemble de principes méthodologiques structurant l'étude de systèmes, en particulier ceux complexes, à différentes échelles. Cette étude repose sur la modélisation multi-échelle qui consiste à modéliser les échelles du système et la création d'objets de passage explicitant les liens entre les différents modèles. Aborder la modélisation d'une échelle spécifique consiste à appliquer des méthodes, théories, techniques propres à cette échelle.

Un objet de passage est une entité intermédiaire qui représente les liens entre les modèles de plusieurs échelles selon un objectif d'intégration. La difficulté de la construction des objets de passage dépend souvent du fait de l'utilisation d'un paradigme de modélisation différent selon chaque échelle. L'objet de passage doit avoir une existence au sein des différents paradigmes impliqués par la modélisation et doit gérer la communication entre ces paradigmes dans l'objectif de résoudre un problème multi-échelle.

Un problème est multi échelle s'il fait intervenir plusieurs échelles d'un système et dont la résolution nécessite l'intégration de ces échelles. L'intégration d'échelle se propose de traiter simultanément différentes échelles soit en les couplant soit en dérivant la représentation de l'une à partir de l'autre. Ainsi, le sujet d'étude est le lien entre les différentes échelles et non pas les échelles l'une indépendamment de l'autre c'est ce qui justifie l'utilisation fréquente du multi-échelle dans l'étude des systèmes complexes.

La détermination des échelles d'un système complexe dépend nécessairement de l'objet d'étude et de la problématique à résoudre avec le multi-échelle.

Les résultats de la recherche dans le domaine des systèmes complexes ont été appliqués dans plusieurs disciplines tels que la biologie, la physique, les sciences humaines et sociales. Dans le domaine des EIAH, des travaux sont menés pour considérer cette complexité lors de l'étude des dispositifs pédagogiques et sont discutés dans la section suivante.

IV.4 Dispositifs pédagogiques et complexité

[Peraya 1998] définit un dispositif d'apprentissage comme un *objet complexe*⁵⁸ en justifiant par le fait que plusieurs phénomènes liés à cet objet sont encore non identifiés et donc difficile à cerner.

En se référant à une conception systémique, qui prend en compte l'aspect sémiologique des contenus mis en ligne et la dimension ergonomique apportée par le concept d'instruments (au sens de [Rabardel 1995] qui le définit *comme étant issu d'une construction par ses utilisateurs, à partir d'un artefact*), [Brodin 2004] considère que *le dispositif de formation peut être effectivement défini comme un objet complexe, intégrant un espace hétérogène de signes, d'instruments techniques, d'actes et d'interventions humaines, un « système de médiations de médiations, configuration hiérarchisée d'un ensemble de relations de relations »* [Montandon 2002]. Les médiations sont ce qui s'interpose entre l'apprenant et le monde, ou l'objet à connaître et qui remplissent une fonction de structuration et de facilitation de la construction des apprentissages.

⁵⁸ Intégrant un espace hétérogène de signes, d'instruments techniques, d'actes et d'interventions humaines

Dans la suite de cette section, nous allons traiter plus en détail la littérature relative à l'analyse de la complexité des dispositifs. Notre lecture de ces travaux est faite selon le point de vue de l'approche multi-échelle.

Dans une perspective systémique, un dispositif complexe se compose de plusieurs sous ensembles articulés en interaction permanente. Classiquement, en éducation, trois niveaux articulés [Bonami et al. 1996] ont été distingués afin de rendre compte de la complexité des phénomènes observés : macroscopique, mésoscopique et microscopique. Blandin [Blandin 2006] nomme ces trois niveaux les trois « focales » de compréhension et de construction des environnements d'apprentissage qui constituent des « cadres d'observation » complémentaires pour comprendre et construire les environnements d'apprentissage. L'affectation de ces niveaux diffère selon les auteurs ([Bonami et al. 1996] [Carre et al. 1997] [Pera et al. 2004] [Blandin 2006]).

Dans sa synthèse sur les sciences sociales, Dominique Desjeux [Desjeux 2004] a décrit un environnement d'apprentissage en se basant sur trois échelles :

- L'échelle « micro-individuelle » est celle du sujet, de l'agent, de l'individu, que ce soit dans sa dimension psychologique, cognitive ou inconsciente ;
- L'échelle « micro-sociale » est celle des acteurs sociaux en interaction les uns avec les autres, que ce soit à un niveau méso, celui des organisations, des entreprises et des systèmes d'action, ou à un niveau très micro, comme celui du quotidien et des rites d'interaction. Les acteurs y apparaissent encastrés dans un jeu social fait de symbolique, de matériel et de rapport stratégiques ;
- L'échelle « macro-sociale » est celle des régularités, des grandes tendances, des appartenances sociales et des valeurs. Les acteurs individuels y sont peu visibles.

Dans un but de compréhension des environnements d'apprentissage, Blandin [Blandin 2006] s'est intéressé à étudier ces échelles identifiées par [Desjeux 2004]. Au niveau micro, Blandin traite des aspects matériels et humains des environnements d'apprentissage, et en particulier ceux permettant de comprendre le système complexe de relations qui s'établit entre le sujet apprenant, les objets et les autres personnes avec lesquels le sujet apprenant interagit dans l'acte d'apprendre. Au niveau méso, Blandin traite des aspects contextuels et organisationnels des environnements d'apprentissage, et en particulier ceux traitant des relations entre les environnements d'apprentissage et le contexte (ou milieu) dans lequel ils s'insèrent. Au niveau macro, Blandin traite des aspects socio-économiques des environnements d'apprentissage, et en particulier ceux portant sur les typologies des environnements d'apprentissage, ainsi que les analyses qui découlent de ces modélisations.

Lors de la conception d'une formation à distance, [Pera et al. 2004] considèrent qu'il est essentiel de décrire le dispositif dans toute sa complexité. Pour faire une telle description, les auteurs de [Pera et al. 2004] considèrent qu'il existe « *trois niveaux articulés et de granularité différente qui peuvent être projetés sur la réalité observée à partir de points de référence différents selon les questions posées, la situation analysée, etc.* ». Il est possible d'identifier, par exemple, les niveaux suivants : ministères, agences gouvernementales, différentes organisations nationales, institutions, facultés, départements, unités d'enseignement, cours, classes, individus. Le choix des niveaux observés et leur importance relative pourra évoluer en fonction du projet lui-même, des objectifs qui sont les siens, de sa dynamique et de la phase à laquelle il se trouve. Dans le cadre de l'étude du Campus Virtuel Suisse (CVS), [Pera et al. 2004] considèrent que la dimension macro touche le contexte sociétal, les contraintes du programme du CVS et les acteurs qui gèrent ce programme. La dimension méso, quant à elle, intègre le contexte institutionnel : les programmes de

formation, les infrastructures de gestion et technologiques et les acteurs institutionnels. Enfin, la dimension micro correspond au dispositif de formation et à son contexte immédiat. Elle englobe tous les éléments médiatisés, les ressources (humaines et technologiques), les scénarios d'activités planifiés, les modalités d'évaluation, le processus de développement et, bien évidemment, les acteurs impliqués et le contexte dans lequel ils évoluent par exemple la classe, le laboratoire ou encore la maison.

Pour Jacquinet [Jacquinet et al. 2002], le micro-niveau est celui qui renvoie aux aspects motivationnels cognitifs et affectifs des acteurs. Le méso-niveau est celui du micro social, autrement dit des relations entre les acteurs et les normes et valeurs des collectifs impliqués. Le macro-niveau relève du monde social dans lequel s'insère le dispositif.

Pour Viens [Viens 2003], le micro niveau est celui du dispositif de formation, le méso, celui de l'institution de formation dans lequel s'insère le dispositif innovant, enfin le macro-niveau concerne le niveau sociétal au sens large.

	micro-niveau	méso-niveau	macro-niveau
[Charlier et al. 1998] Organisation fonctionnelle	L'apprenant	Le dispositif de formation	L'organisation
[Jacquinet et al. 2002]	aspects motivationnels cognitifs et affectifs des acteurs	micro social , autrement dit des relations entre les acteurs et les normes et valeurs des collectifs impliqués	monde social dans lequel s'insère le dispositif
[Viens 2003]	dispositif de formation	L'institution de formation	Le niveau sociétal
[Peraya et al. 2004] CVS	dispositif de formation et son contexte immédiat	le contexte institutionnel : les programmes de formation, les infrastructures de gestion et technologiques, les acteurs institutionnels.	le contexte sociétal , les contraintes du programme du CVS et les acteurs qui gèrent ce programme.
[Desjeux 2004]	Micro individuelle	Micro sociale	Macro Sociale
[Blandin 2006]	Aspects matériels et humains des environnements d'apprentissage	Aspects institutionnels et organisationnels	Aspects socio économique

Tableau 7 : Tableau résumant les travaux d'analyse systémique des dispositifs pédagogiques

Les travaux recensés à partir de la littérature d'analyse systémique de dispositifs résumés dans le Tableau 7 ne montrent pas de différences majeures sur les échelles d'étude. Toutefois l'organisation de ces échelles diffèrent, par exemple certains placent le dispositif au niveau micro [Viens 2003], d'autres le placent au niveau méso [Charlier et al. 1998]. [Peraya et al. 2004] pensent qu'il est préférable de considérer qu'il s'agit de trois niveaux articulés et de granularité différente qui peuvent être projetés sur la réalité observée à partir de points de référence différents selon les questions posées et la situation analysée.

Les échelles identifiées peuvent être résumées comme suit : L'individu et les relations entre individus, le dispositif, le contexte institutionnel et le contexte socio-économique en général. Selon les besoins de l'étude, certains de ces échelles peuvent être mobilisées. Parfois

deux parmi ces échelles ont été considérées dans la même échelle par exemple individu et relation entre individus [Blandin 2006], l'organisation et la société [Bonami et al. 1996]. Nous constatons, toutefois, des points communs :

- Au niveau micro, on trouve toujours l'apprenant parce que toute l'analyse est focalisée sur son apprentissage ;
- Le dispositif est souvent placé au niveau micro et parfois au niveau méso mais il n'est pas placé au plus haut niveau (macro) parce qu'il est toujours influencé par le contexte dans lequel il s'insère. La définition du contexte dépend des auteurs, certains considèrent le contexte social [Bonami et al. 1996] et d'autres considèrent le contexte organisationnel [Charlier et al. 1998] ;
- Le dispositif n'est pas influencé de la même manière par les composants de son contexte.

IV.5 Notre vision de la complexité des dispositifs pédagogiques

Dans le domaine des EIAH, comme dans d'autres domaines, le dispositif a été considéré par certains auteurs comme un système compliqué et a été considéré par d'autres comme un système complexe au sens de la théorie de la complexité. Pour nous, l'une des considérations n'exclue pas l'autre mais les deux considérations sont dialogiques pour le cas des dispositifs pédagogiques instrumentés. Nous allons argumenter ce propos dans ce qui suit.

Dans notre travail, nous partageons avec Montandon [Montandon 2002] l'idée que l'étude des dispositifs dépend des modèles pédagogiques. Avec le modèle socioconstructiviste, la vision réductionniste n'est plus satisfaisante pour l'étude d'un dispositif tandis qu'une vision systémique l'est. Nous nous intéressons à des dispositifs s'inscrivant dans un modèle constructiviste ou socioconstructiviste de l'apprentissage. Dans cette acception, nous considérons que le dispositif est un système à double facette, il suffit de distinguer et d'analyser deux perspectives pour le mettre en évidence. La première perspective concerne sa conception, puis sa construction sur une plateforme de formation, nous parlons de la perspective « projection ». La seconde concerne son usage, nous parlons dans ce dernier cas de la perspective « en action ». Nous faisons cette distinction parce que, à notre sens, **la complexité se manifeste dans l'usage** : acteurs en action⁵⁹, introduction des imprévus du réseau de communication, émergence. C'est lors de l'usage que l'interaction entre les composants se joue et que le dispositif devient plus que la somme de ses composants. La complexité des mécanismes qui sont mis en œuvre dans le dispositif rend difficile la compréhension de ce qui s'y passe à chaque instant comme illustré par la Figure 40.

⁵⁹ On ne peut pas prévoir comment les acteurs vont réagir, comment ils vont s'approprier les outils proposés, les relations qui vont les lier.

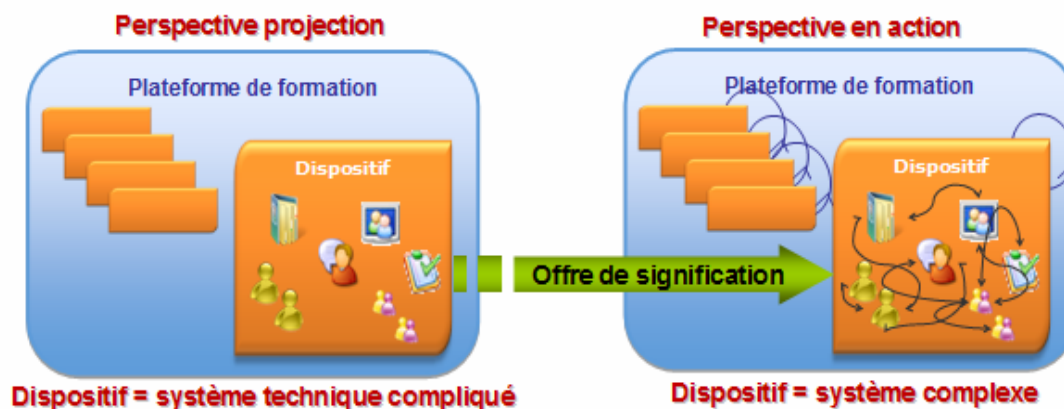


Figure 40 : Notre vision de la complexité d'un dispositif

Les propriétés émergentes et imprévisibles sont gérées à travers la régulation⁶⁰ des choix faits lors de la conception. Ces régulations sont indispensables afin que le dispositif contende les besoins de ses utilisateurs. Une régulation serait par exemple de réorganiser les groupes ou bien d'ajouter au dispositif un forum pour permettre les échanges asynchrones. Ainsi, la conception et l'usage ont inséparables parce que « **les usagers achèvent la conception dans l'usage** »

Lors de la conception, une part intégrante de **l'activité de conception d'un dispositif se base donc sur l'anticipation de son utilisation par autrui et aussi du fonctionnement de l'infrastructure sociotechnique (essentiellement les acteurs et la plateforme de formation)** qui sera au service de cette utilisation. En ce sens, il constitue **un système technique compliqué** comme illustré par la Figure 40.

Si cette *anticipation* tient compte des aspects de la complexité, les imprévus seront minimisés et la complexité sera mieux gérée. Malgré la richesse et la pertinence des travaux qui concernent les dispositifs pédagogiques et leur complexité présentés dans la section IV.4, nous avons constaté l'absence de cadres expliquant la manière de mener la conception d'un dispositif afin de tenir compte de sa complexité. Ces travaux ont focalisé sur l'analyse de la complexité. Dans notre travail, nous avons comme préoccupation la conception des dispositifs, il convient donc de poser la question : « **Comment prendre en considération la complexité lors de la conception ?** » et de trouver une réponse tout en se basant sur ces travaux qui nous apprennent différents aspects de la complexité d'un dispositif.

Dans la section IV.4, nous avons présenté ces travaux en organisant différents aspects de la complexité dans des échelles selon l'approche multi-échelle présentée dans la section IV.3.2. Comme résumé dans le tableau récapitulatif de ces travaux présentés dans la section IV.4, les échelles macroscopique, mésoscopique et microscopique sont affectées de différentes manières par les auteurs selon les questions posées, la situation analysée et selon aussi le point de vue de la discipline de l'auteur. Ces échelles montrent différents aspects de la complexité d'un dispositif. Nous avons constaté un point commun de ces travaux. Il s'agit du fait que le dispositif pédagogique est toujours englobé par une ou des échelles plus grossières nommées de différentes manières par les auteurs : le contexte social [Bonami et al. 1996], le contexte organisationnel [Charlier et al. 1998]), aspects institutionnels organisationnels et socio-économiques [Blandin 2006], contexte institutionnel et sociétal [Peraya et al. 2004].

Cela se confirme bien avec l'idée avancée par certains auteurs concernant l'importance de l'étude des interactions d'un système avec son contexte dans l'étude de sa complexité. A ce

⁶⁰ La régulation est un mécanisme qui permet l'autonomie d'un système [Morin 1999]

sujet, Edgar Morin [Morin et al. 1999] considère que l'un des défis de la pensée complexe est comment relier en général et en particulier comment relier un objet à son contexte. Bar Yam [Bar Yam 2003] considère que la définition de comment le système interagit et forme des interactions avec son environnement est parmi les utilités de la théorie de la complexité.

La prise en compte de tous les aspects de la complexité d'un dispositif nécessite un travail qui dépasse la portée d'une seule thèse. L'importance du contexte relevée par tous les travaux étudiant la complexité des dispositifs et dans le domaine des systèmes complexes d'une part et notre synthèse du chapitre trois traitant l'ingénierie dirigée par les modèles des EIAH où nous avons constaté le besoin de réutilisation et de contextualisation d'autre part nous a motivés à nous intéresser au contexte comme aspect de la complexité. Ce positionnement aura pour conséquence, sur les travaux de la thèse, de considérer la problématique de contextualisation dans un cadre plus général cherchant à généraliser l'étude de l'impact du contexte sur la pédagogie.

Dans la littérature étudiée dans ce chapitre, nous recensons **un manque de cadres explicitant comment les interdépendances entre un dispositif et son contexte peuvent améliorer la conception afin de mieux maîtriser la complexité de l'usage**. Un tel cadre permettra d'expliquer le moyen de concevoir des dispositifs qui répondent aux besoins de leurs utilisateurs et qui nécessitent les moindres ajustements lors de l'usage. Le fait de minimiser les ajustements est un moyen qui permet de maîtriser au plus la complexité parce que le système a été conçu en y intégrant l'impact de son contexte.

Plusieurs difficultés se rapportant à un tel cadre peuvent être tout de suite identifiées. **La première est certes liée à la définition de ce qui est exactement le contexte et comment le modéliser**.

Dans la littérature, la notion de contexte a fait l'objet de plusieurs recherches dans différents domaines liés ou non à l'informatique. Il n'existe donc pas une seule définition pour la notion de contexte. La définition dépend souvent du domaine de la recherche, [Brézillon 1999, Greenberg 2001, Strang et al. 2004, Bradley et al. 2005] sont parmi les travaux qui examinent en détail la notion de contexte. Notre travail s'intéresse au contexte d'un dispositif de formation à distance que nous désignons par l'expression « contexte institutionnel »⁶¹.

En se référant aux travaux présentés dans ce chapitre, le contexte institutionnel englobe (décomposition verticale) plusieurs autres sous contextes interdépendants essentiellement social, organisationnel, technologique, socio-économique comme illustré par la Figure 41. D'un deuxième point de vue, nous pouvons voir le contexte comme une structure multi-échelle en le décomposant horizontalement. L'une des visions multi-échelle peut être de le décomposer en trois échelles : micro, méso et macro. Le micro contexte désigne le contexte immédiat dans lequel le dispositif a une place active et directe c'est par exemple la formation à laquelle le dispositif est rattaché. Le méso contexte désigne le contexte dans lequel le dispositif n'est pas directement impliqué mais qui l'influence. Il peut être l'institution (ou les institutions) à laquelle le dispositif est rattaché. Le niveau macro du contexte désigne l'ensemble des conditions socio économiques, politiques nationales et internationales qui influence les formations comme le montre la Figure 41. Ces deux points de vue expliquent les composants du contexte si on veut l'appréhender horizontalement ou/et verticalement. Toutefois, ils ne donnent pas d'indications sur comment ce contexte peut jouer un rôle effectif dans un processus de conception de dispositifs pédagogiques. De point de vue conception de dispositifs, le contexte doit être défini et modélisé comme étant un ensemble d'aspects

⁶¹ Nous notons que pour un objectif de simplification nous utilisons dans notre travail le mot contexte pour désigner le contexte institutionnel.

contextuels qui influencent les décisions de conception et le déroulement des dispositifs qui s'y rattachent. Une réflexion doit être menée afin de définir exactement le contexte et comment le modéliser. **Ce qui augmente la difficulté de sa modélisation c'est le fait que ce type de contexte est implicite et peu formalisé.**

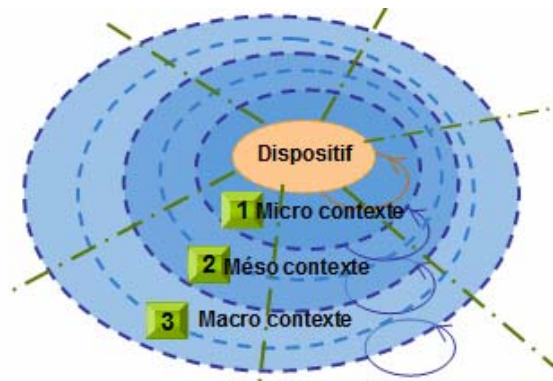


Figure 41 : Vue multi-échelle d'un dispositif et son contexte

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude approfondie des dispositifs en particulier pédagogiques et leur complexité. A travers ce chapitre, nous avons voulu expliquer le fondement théorique d'une part de notre travail autour de la notion de dispositif et d'autre part de la prise en compte de la complexité en ingénierie des EIAH pour le cas de l'approche par dispositif. La problématique de la prise en compte de la complexité lors de la conception est fréquemment relevée et très rarement abordée dans la littérature.

Dans les travaux étudiés dans ce chapitre, le dispositif est considéré soit un système compliqué soit un système complexe au sens de la théorie de la complexité. Dans l'approche par dispositif, le dispositif est conçu comme étant un système compliqué. Pour nous, un dispositif pédagogique instrumenté est compliqué lors de sa conception et manifeste une complexité lors de son usage sachant que nous lions la notion de dispositif à un modèle socioconstructiviste de l'apprentissage. Notre point de vue se base sur la séparation entre la conception et l'usage parce que les caractéristiques du dispositif ne sont pas les mêmes à chaque phase. En effet, lors de la conception, un dispositif peut être réduit en un ensemble d'outils, d'acteurs et de ressources déployés sur une plateforme permettant de faciliter la mise en œuvre de la pédagogie voulue par le concepteur. Lors de l'usage, le dispositif devient un espace ouvert qui donne place à l'improvisation des acteurs. Cela donne lieu à des interactions complexes entre les acteurs et entre les acteurs et les autres composants du dispositif ce qui induit la complexité qui est gérée par les régulations du dispositif.

Les travaux de la littérature étudiés s'intéressent à analyser la complexité et nous apprennent beaucoup de ses aspects. Toutefois, la question quant à la prise en compte de la complexité lors de la conception n'était pas traitée par ces travaux. En particulier, pour l'approche par dispositif qui nécessite l'extension afin de mieux prendre en compte la complexité des dispositifs. Ainsi, nous nous proposons de répondre à cette question à travers un cadre en focalisant sur le contexte comme l'aspect de la complexité que nous allons traiter. L'idée de base est que si la conception tient en considération les propriétés du contexte, les imprévus seront minimisés et la complexité sera mieux maîtrisée.

L'objectif de ce cadre est de spécifier les interdépendances entre le dispositif et son contexte en particulier les objets de passage pour mener la contextualisation lors de la conception.

Conclusion Partie I

Le cadre théorique relatif à nos travaux étant détaillé dans la première partie de ce rapport, nous résumons dans ce chapitre l'essentiel de ce que nous avons synthétisé d'après notre état de l'art. Nous expliquons les constats que nous avons fait, les besoins ainsi que les premiers éléments de réponse à notre problématique.

Résumé de la partie état de l'art et constats

Le cadre général de nos travaux se rapporte à la conception de dispositifs pédagogiques qui seront mis en œuvre sur des plateformes de formation. Notre travail cible les concepteurs pédagogiques et vise à les assister à mener à bien la conception de leurs dispositifs. S'inscrivant dans le cadre d'une approche dirigée par les modèles, nous avons présenté dans le premier chapitre un état des lieux des variantes, standards et techniques de cette approche.

L'étude que nous avons présentée dans le deuxième chapitre a été consacrée aux approches de modélisation pédagogique pour des plateformes de formation. Nous avons distingué et analysé principalement deux catégories d'approches : celles basées sur les standards d'eLearning et celles basées sur les standards du génie logiciel se rapportant à l'IDM. Les deux catégories d'approches apportent une solution au problème central de l'interopérabilité de modèles pédagogiques à travers différents choix d'implémentation. Toutefois, une approche basée sur les standards du génie logiciel offre aux concepteurs pédagogiques la possibilité de définir des langages de modélisation spécifiques adaptés à leurs besoins. En effet, la modélisation pédagogique basée sur les standards d'eLearning est limitée par l'expressivité de ces standards. Ces derniers sont conçus pour être volontairement génériques afin d'avoir une portée plus large dans la modélisation de plusieurs et différentes intentions pédagogiques. Cette portée étendue limite l'expressivité. En outre, les standards offrent des concepts prédéfinies par exemple modéliser avec IMS-LD nécessite de s'adapter à une métaphore théâtrale et donc de repenser les intentions pédagogiques à modéliser en termes de pièces, d'actes et de partitions. Ainsi, la modélisation en utilisant un standard nécessite de s'adapter à la syntaxe et la sémantique qu'il propose. Quelques travaux recensés de la littérature proposent d'adapter ces standards pour répondre à des besoins spécifiques (tel que nos travaux de master [Drira 2006]). Toutefois, cette solution donne lieu à des réalisations propriétaires car les adaptations de standards doivent être intégrées dans ses spécifications (approuvées par l'organisme proposant et soutenant le standard) pour assurer l'interopérabilité effective.

Nous nous intéressons dans nos travaux à la modélisation pédagogique basée sur l'IDM et en particulier sur le MDA. En effet, il s'agit d'une voie prometteuse qui offre les moyens pour mettre en œuvre des solutions interopérables tel que démontré par plusieurs travaux tels que [Caron 2007a, Laforcade et al. 2007a]. Cette solution garantit aux concepteurs pédagogiques les techniques nécessaires pour définir des langages de modélisation adaptés à leurs besoins. Néanmoins, la définition d'un langage de modélisation spécifique entraîne de nouvelles pratiques liées à la méta-modélisation pour lesquelles la majorité des concepteurs pédagogiques a besoin d'être accompagné par des experts.

C'est le cas de la suite des étapes du MDA tel que nous l'avons constaté dans le troisième chapitre où nous avons détaillé les travaux s'inscrivant dans une ingénierie des EIAH dirigée par les modèles.

En ce qui concerne la transformation vers la plateforme de formation, les travaux recensés permettent de transformation d'un modèle des intentions pédagogiques en un modèle

fonctionnel opérationnalisable sur une plateforme mais nécessitent l'écriture de traitements spécifiques tels que des règles de transformation ou des composants logiciels spécifiques pour chaque couple méta-modèle pédagogique et plateforme. L'écriture de tels traitements ne relève pas du travail d'un concepteur pédagogique et nécessite l'aide d'un expert. Nous notons aussi que cette étape pose un problème de contextualisation des intentions pédagogiques avec les capacités des plateformes. En effet, il existe souvent une distance entre les intentions pédagogiques des enseignants et les fonctionnalités qu'offre la plateforme à utiliser. Cette distance engendre un travail important de contextualisation des intentions par rapport à la plateforme. Cette contextualisation nécessite donc de mettre à jour les règles de transformation à chaque modification d'un choix de contextualisation et rend difficile la réutilisation des règles de transformation pour plusieurs dispositifs. Ainsi, les concepteurs pédagogiques ont besoin d'être assistés pour définir les règles de transformation ainsi que pour les mettre à jour facilement.

Pour ce qui est du déploiement, cette tâche est souvent confiée à un ingénieur pédagogique ou à un administrateur de la plateforme pour la réaliser manuellement en interprétant le modèle fonctionnel d'un dispositif. L'outil GenDep a fourni une solution pour automatiser le déploiement sur n'importe quelle plateforme. Il suffit de fournir le méta-modèle de la plateforme ainsi qu'un modèle à déployer conforme à ce méta-modèle. GenDep assure le déploiement automatique de modèles fonctionnels. Le concepteur n'intervient que pour choisir parmi les éléments existants sur la plateforme ceux qui l'intéressent ou pour préciser par exemple une ressource nécessaire au déploiement.

A l'issue des trois premiers chapitres, nous avons constaté l'importance de l'expertise technique requise par les concepteurs afin de pouvoir utiliser et profiter des avantages de l'approche dirigée par les modèles. Ainsi, les concepteurs doivent être accompagnés par des experts essentiellement à l'étape de la définition de leurs langages pédagogiques, de la modélisation pédagogique et de la transformation vers la plateforme. Il devient nécessaire de réfléchir à des solutions qui assistent les concepteurs dans leur travail afin de leur procurer plus d'autonomie par rapport aux experts.

Pour l'assistance à la modélisation pédagogique, la définition d'un langage de modélisation spécifique reste une tâche qui nécessite une expertise importante. Le fait de permettre la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques pourra assister les concepteurs pédagogiques en évitant de définir pour chaque dispositif un nouveau langage. Techniquement, un modèle conforme à un méta-modèle est toujours réutilisable. Pratiquement, la réutilisation de modèles conformes à des méta-modèles spécifiques reste limitée à cause de l'importance de l'expressivité contextuelle tel que discuté dans la section III.8 du chapitre III. En outre, les méta-modèles génériques n'offrent souvent pas l'expressivité pédagogique et contextuelle nécessaires au concepteur. Ainsi, garantir la réutilisation n'est pas suffisant, il faut trouver un compromis entre réutiliser la pédagogie et garantir une expressivité contextuelle. Il faudra se poser la question quant au format adéquat de modèles de scénarios pédagogiques pour réutiliser la pédagogie tout en favorisant la contextualisation.

L'assistance requise pour la transformation vers la plateforme consiste à permettre au concepteur pédagogique d'exprimer lui-même ses choix de transformation et de pouvoir les mettre à jour sans la nécessité d'être accompagné par un expert.

Nous avons constaté également que l'ingénierie des EIAH basée sur le MDA est relativement récente. Ainsi, la majorité des travaux se concentrent actuellement sur la modélisation de la pédagogie et la concrétisation de cette modélisation sur la plateforme. Une abstraction de plusieurs aspects influençant significativement la conception d'un dispositif

pédagogique est constatée. En revanche, la problématique de conception ne peut pas être réduite à ces deux aspects. Il faut tenir en considération d'autres aspects de modélisation comme l'a montré Tchounikine, Blandin et d'autres [Clénet et al. 2005, Blandin 2006, Tchounikine 2006].

Afin de mieux étudier ce dernier constat, nous avons entrepris dans le quatrième chapitre de la partie état de l'art une étude théorique de la notion de dispositif. Cette étude dépasse la vision réductionniste du dispositif vers une analyse systémique. Nous avons synthétisé de cette étude que le dispositif pédagogique est un système à double facette quand on distingue ses caractéristiques lors de la conception et lors de l'usage. Lors de la conception, c'est d'un système compliqué qu'il s'agit tandis que lors de l'usage c'est d'un système complexe qu'il s'agit. L'absence de cadres expliquant comment prendre en compte la complexité d'un dispositif lors de sa conception dans les travaux étudiés incite à mener des investigations dans cette direction.

Les travaux étudiant la complexité des dispositifs ont relevé plusieurs aspects de la complexité. Le point commun est de considérer le contexte du dispositif comme un aspect incontournable de la complexité à l'instar des travaux sur la théorie de la complexité tels que Morin [Morin et al. 1999] et Bar Yam [Bar Yam 2003]. Cette importance du contexte est la première raison pour laquelle nous avons choisi de traiter le contexte comme aspect de la complexité. La deuxième raison est relative au fait que nous nous sommes déjà fixés un objectif, à l'issue des constats faits dans le chapitre III, relatif à l'assistance des concepteurs lors de la définition du modèle d'un dispositif, en proposant de mettre en œuvre une solution pour la contextualisation suite à la réutilisation de scénarios pédagogiques. Ainsi, la problématique de la contextualisation sera résolue dans un cadre plus global c'est-à-dire par rapport à un contexte plus général englobant plusieurs aspects dont ceux nécessaires à la contextualisation d'une pédagogie à réutiliser.

Ainsi, un cadre expliquant les interdépendances entre le dispositif et son contexte dans la perspective d'améliorer la conception par une meilleure prise en compte de la complexité de l'usage doit être proposé. Une difficulté constatée et doit être surmontée est liée à la définition exacte du contexte que nous appelons « contexte institutionnel » afin de le distinguer d'autres types de contexte traités dans plusieurs travaux dans différents domaines. Le contexte institutionnel doit être défini et spécifié de façon qu'il soit possible de l'intégrer dans un processus de conception. Il faudra aussi proposer les techniques de réalisation qui supportent la contextualisation.

Résumé des besoins

En résumé, nous avons dégagé de notre état de l'art les besoins suivants :

1. Besoin de caractériser le contexte institutionnel et d'étudier la manière de son intégration effective dans un processus de conception dirigé par les modèles ;
2. Besoin de modéliser le contexte institutionnel ;
3. Besoin de proposer une approche de contextualisation de dispositifs pédagogiques basée sur MDA afin de tenir compte des spécificités du contexte institutionnel ;
4. Besoin de formaliser des dispositifs pédagogiques dans des modèles malléables favorisant la contextualisation ;
5. Besoin de produire l'assistance nécessaire aux concepteurs pédagogiques.

Premiers éléments de réponse aux besoins dégagés

En premier lieu, il s'agit de proposer un cadre permettant d'explorer la notion de contexte institutionnel afin de déterminer d'une part les aspects contextuels et organisationnels des formations qui influencent la conception de dispositifs et d'autre part la manière de les intégrer efficacement dans le processus de conception afin de produire des dispositifs contextualisés.

En second lieu, il s'agit de proposer une solution à la contextualisation de dispositifs pédagogiques s'appuyant sur des plateformes de formation à distance afin de tenir compte des aspects déterminés dans la première étape. Cette approche sera basée sur le MDA c'est pourquoi il convient d'étudier à quelle(s) étape(s) de cette démarche entreprendre la contextualisation.

En troisième lieu, il convient de s'intéresser aux formats qui favorisent la contextualisation des modèles en se basant d'une part sur l'état de l'art du MDA et d'autre part sur les résultats actuels de l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles.

En dernier lieu, il s'agit de proposer aux concepteurs l'assistance nécessaire dans la réalisation de(s) étape(s) du MDA concernés par la contextualisation et dans la contextualisation elle-même.

Deuxième Partie

La plateforme proposée :
ACoMoD (Assistance for
Contextualized MoDelling of learning
systems)

Introduction Partie II

La première partie de ce rapport a été consacrée à l'étude des travaux de la littérature se rapportant au domaine de l'ingénierie des EIAH et les différents concepts pertinents qui s'y rapportent ainsi que le domaine de l'ingénierie dirigée par les modèles. Dans cette première partie, les approches de l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles ont été présentées et synthétisées. Nous avons aussi étudié les travaux s'intéressant à l'étude de la complexité des EIAH pour le cas de l'approche par dispositif en se référant à une approche multi-échelle et nous avons déterminé le contexte institutionnel comme étant l'un des aspects de la complexité les plus importants. Nous avons énoncé à la fin de cette partie les premiers éléments de réponse à notre problématique qui concerne l'assistance des concepteurs à la modélisation pédagogique et à la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en des modèles de dispositifs pédagogiques spécifiques à la plateforme de formation à distance choisie tout en tenant en considération les influences du contexte institutionnel.

Nous présentons dans cette deuxième partie du rapport nos propositions permettant de résoudre cette problématique.

Dans le chapitre V, nous présentons le cadre conceptuel explicitant l'extension proposée de l'approche par dispositif. L'essence de cette extension, inspirée de l'approche multi-échelle et basée sur des expérimentations de terrain, est la catégorisation du contexte institutionnel, l'explicitation des relations entre le dispositif et son contexte et la définition des besoins de contextualisation.

Dans ce chapitre V, nous allons montrer que la prise en compte du contexte institutionnel se fait à chaque étape du MDA parce qu'à chaque étape, des aspects spécifiques du contexte institutionnel sont pertinents. Nous allons nous concentrer sur les deux premières étapes à savoir la modélisation pédagogique qui sera présentée dans le chapitre VI et la transformation vers la plateforme qui sera présentée dans le chapitre VII. Nous allons présenter aussi, dans ces deux chapitres nos propositions qui concernent l'assistance des concepteurs pédagogiques.

Les aspects contextuels liés à l'usage des plateformes de formation sont parmi les aspects contextuels que nous allons identifier dans le chapitre V. Ces aspects interviennent lors de la transformation par rapport à la plateforme qui fera l'objet du chapitre VII. Nous présentons notre proposition pour les modéliser dans le chapitre VIII.

Les prototypes développés dans notre travail seront détaillés dans le chapitre IX de cette partie. Enfin, le chapitre X est réservé à l'évaluation de nos propositions.

Chapitre V : Proposition Globale pour l'assistance à la modélisation et à la contextualisation de dispositifs pédagogiques

V.1 Introduction

Dans la conclusion de la partie état de l'art, nous avons relevé la nécessité de définir le contexte institutionnel, d'étudier ses interactions avec le dispositif et de proposer une solution pour l'intégrer dans le processus de conception d'un dispositif. Nous commençons ce chapitre par expliquer notre cadre d'extension de l'approche par dispositif qui nous aidera à maîtriser la complexité du contexte du dispositif et à proposer une approche de contextualisation basée sur le MDA. Ainsi, les questions auxquelles nous allons essayer de répondre dans ce chapitre sont les suivantes : Qu'est ce que le contexte institutionnel d'un dispositif et comment le modéliser ? Qu'est ce que la contextualisation ? Quelle étape du MDA concerne-t-elle ? Comment la mettre en œuvre ?

Ce chapitre se conclue par la présentation du processus proposé pour la contextualisation et par une architecture fonctionnelle support.

V.2 Cadre multi-échelle de contextualisation

Nous présentons dans cette section le cadre conceptuel de contextualisation que nous proposons. Les attentes de cadre, déjà définies dans la première partie du rapport, sont :

- Définir le contexte institutionnel de façon exploitable lors de la conception ;
- Expliciter les interactions entre le dispositif et son contexte ;
- Identifier les objets de passage entre le dispositif et son contexte.

Nous commençons tout d'abord par la définition du contexte institutionnel. A notre connaissance, aucun travail de la littérature n'a été investigué dans la modélisation de ce type de contexte. Afin de mieux le comprendre et pouvoir mettre en œuvre la contextualisation de dispositifs pédagogiques, nous avons effectué des entretiens auprès d'enseignants-concepteurs de formations à distance travaillant dans différents contextes institutionnels en France et en Tunisie (La grille d'entretien utilisée est présentée dans l'annexe B). Nous avons également choisi de nous baser sur un terrain pratique en participant à des expérimentations dans le cadre du projet MetaWep (METAmodelizing to build Web Environment to support learning by Project). Il s'agit d'une recherche action débutée en 2006 dont les participants sont des membres de l'équipe NOCE et du laboratoire d'Informatique de l'Université du Littoral. Ce projet vise l'amélioration d'une stratégie pédagogique appelée Mepulco par sa mise en œuvre dans différentes institutions. Notre participation à ce projet a été bénéfique pour notre travail parce que Mepulco est mise en œuvre dans différents contextes institutionnels réels.

V.2.1 Projet MetaWep

Le sujet des expérimentations décrites est la méthode d'encadrement de projets étudiants appelée Mepulco⁶². Ces expérimentations ont eu lieu dans deux universités différentes, l'une à

⁶² <http://Mepulco.net>

l'Institut Universitaire de Technologie de l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)⁶³ à Calais (IUT Calais) et l'autre à l'école d'ingénieurs Polytech'Lille⁶⁴ de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I (USTL). L'utilisation de Mepulco dans deux contextes institutionnels différents qui utilisent la même plateforme de formation à distance (Moodle) a rendu l'étude pertinente pour la catégorisation du contexte institutionnel et l'analyse des problèmes de la contextualisation.

Nous présentons dans ce qui suit la méthode Mepulco, les deux déploiements réalisés sur la plateforme Moodle [Warin et al. 2007] et enfin nous analysons et interprétons les différences recensées des deux déploiements.

V.2.1.1 Stratégie pédagogique Mepulco

Mepulco [Talon et al. 2007] est une stratégie pédagogique en mode projet avec un encadrement et un apprentissage assistés par les technologies de l'information et de la communication. Les projets sont des travaux réalisés en équipe dont le but est d'élaborer un logiciel d'une manière collective en disposant de ressources données et ce dans un temps limité. L'objectif pédagogique d'utiliser Mepulco consiste à aboutir à la production d'une œuvre commune et au développement de compétences de haut niveau chez les étudiants (analyse, synthèse, argumentation). En effet, l'étudiant est confronté à l'organisation de sa propre activité et à celle du groupe. Il est amené à exploiter les connaissances, qu'il a acquises au sein de sa formation, au centre d'une activité de production. Il va devoir apprendre à communiquer, organiser son activité, négocier, confronter des points de vue et à résoudre des conflits. Les étudiants vont ainsi pouvoir à la fois travailler en groupe pour apprendre et apprendre à travailler en groupe.

Elle permet également au tuteur de disposer d'un cadre pour mieux maîtriser le suivi des étudiants et favoriser une évaluation justifiable de ces derniers.

Les principes de Mepulco de point de vue étudiant et de point de vue tuteur ont été publiés dans deux documents à savoir le Kit destiné aux étudiants et le Kit d'assistance à l'encadrement destiné aux enseignants [Talon et al. 2005] [Talon et al. 2007].

Le kit des étudiants décrit l'organisation à mettre en place : la démarche du projet, l'organisation et le déroulement des réunions, et la répartition des rôles au sein de l'équipe. La répartition des rôles confirme le tuteur dans sa position de facilitateur. La tenue régulière de réunions permet d'organiser l'avancement et le contrôle du projet. La production d'écrits normalisés favorise la responsabilisation des étudiants. La planification favorise le respect des délais.

Le kit des étudiants donne également des indications pour la rédaction du rapport et la préparation de la soutenance qui clôt le projet. Il contient des dossiers pilotes. Chaque dossier est composé de fiches qui indiquent la marche à suivre pour une activité précise. Le kit fournit également un ensemble de modèles de documents tels qu'une demande de projet, un document de définition des besoins, un cahier des charges. Chaque projet, mené selon la méthode Mepulco, utilise des outils de communication pour le suivi du projet tels qu'un site Web de suivi de projet, un blog, une plateforme de formation à distance (par exemple Moodle) ou autres. Ces outils de communication constituent le principal vecteur de communication et de gestion des contenus.

⁶³ <http://www.univ-littoral.fr/>

⁶⁴ <http://www.polytech-lille.fr>

Le cas de Mepulco est pertinent par rapport à notre travail parce que Mepulco est utilisée dans différentes institutions rattachées à différentes Universités. Le cas de Mepulco permet donc une étude d'une même stratégie pédagogique dans des contextes fortement différenciés. En effet, les expérimentations précédentes [D'Halluin et al. 2008] ont montré que la mise en œuvre du dispositif requis par la méthode n'est pas la même d'un contexte à l'autre. Dans la suite, nous présentons les deux cas de l'IUT Calais et de Polytech'Lille et nous analysons les différences.

V.2.1.2 Dispositif Mepulco à l'IUT Calais

Dans le contexte de l'IUT Calais, les étudiants préparant la licence doivent effectuer un projet de synthèse. Chaque projet regroupe de deux à six étudiants. Il vise la réalisation d'un produit logiciel. L'étudiant doit mettre en œuvre, durant le projet, un ensemble de compétences indispensables à sa formation qui sont l'analyse, la conception, le développement et la communication. Les sujets des projets sont, en général, définis par les enseignants et parfois par des entreprises. Les sujets sont présentés aux étudiants lors d'une séance spécifique. Chaque groupe d'étudiants, constitué librement, doit choisir un sujet parmi ceux qui sont proposés et un tuteur (en général l'auteur du sujet) pour l'encadrement. Ce tuteur est chargé d'accompagner le groupe jusqu'à la fin du projet qui dure quatre mois. Le projet se termine par l'élaboration d'un rapport et une soutenance orale.

Pour implémenter le dispositif pédagogique requis par Mepulco (expliqué dans section V.2.1.1), Moodle⁶⁵ a été adoptée comme plateforme de formation. Le dispositif illustré par la Figure 42 met en jeu six ressources réparties en quatre types d'outils Moodle : trois documents pdf (Portable Document Format), un lien vers un site externe, un forum de discussion et un wiki.

Les documents pdf et le lien Internet sont prévus pour aider à comprendre et apprendre Mepulco. Le forum vise à encourager la collaboration entre les étudiants et le wiki vise à soutenir le suivi de projets. La puissance de l'outil wiki permet de satisfaire les principes de Mepulco : la présentation du projet, la définition des acteurs, les comptes rendus des réunions, la bibliothèque de documents et les liens Internet utiles. Chaque équipe doit utiliser son propre wiki selon les directives de Mepulco.

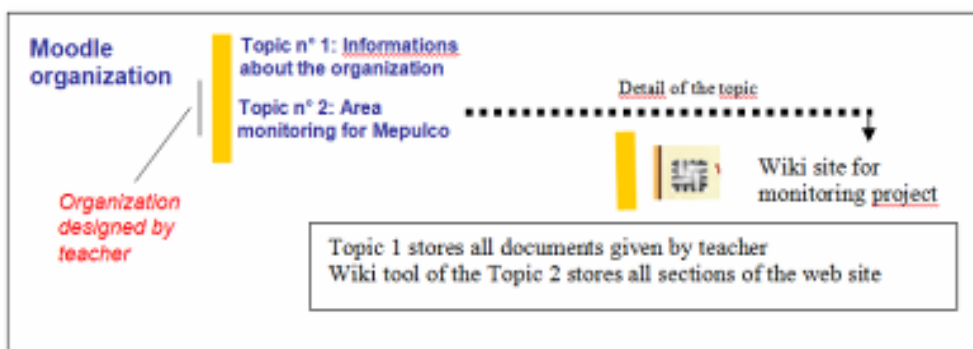


Figure 42 : Dispositif Moodle pour une équipe de projet à l'IUT Calais

⁶⁵ <http://pc122.univ-littoral.fr/moodle/>

V.2.1.3 Dispositif Mepulco à Polytech'Lille

Dans le cadre de leur matière Projet Système d'Information, les étudiants de 4^{ème} année de Polytech'Lille du département Génie Informatique et Statistiques (GIS) doivent réaliser un projet par équipe de cinq étudiants. Afin d'améliorer la qualité des projets rendus et la qualité des apprentissages, il a été décidé d'appliquer Mepulco. Les projets à Polytech'Lille diffèrent de ceux habituellement traités à l'IUT Calais. Premièrement, tous les étudiants ont le même sujet. Deuxièmement, quatre tuteurs assurent l'encadrement et les réunions sont prévues dans l'emploi du temps des étudiants.

Pour implémenter le dispositif requis par Mepulco, la plateforme Moodle déjà utilisée à Polytech'Lille⁶⁶ a été exploitée. Le dispositif présenté dans la Figure 43 met en jeu vingt quatre ressources réparties en huit types d'outils Moodle : trois forums de discussion, trois ressources pdf, cinq wikis, cinq devoirs en ligne, un sondage en ligne, quatre bases de données au sens Moodle, un lien externe et une autre ressource.

Ces choix sont différents de ceux de l'IUT Calais. Le concepteur du dispositif de Polytech'Lille préfère utiliser beaucoup plus d'outils. Il a choisi d'utiliser un forum pour le dépôt de documents (documents en tant que fichiers attachés aux discussions dans le forum). L'outil devoir de Moodle a été envisagé pour encourager les étudiants à produire leurs rapports d'activité hebdomadaires. Cinq wikis sont employés, chacun vise à satisfaire un des principes de Mepulco : la présentation du projet, la définition des acteurs, les comptes rendus des réunions, la bibliothèque de documents et les liens Internet utiles.

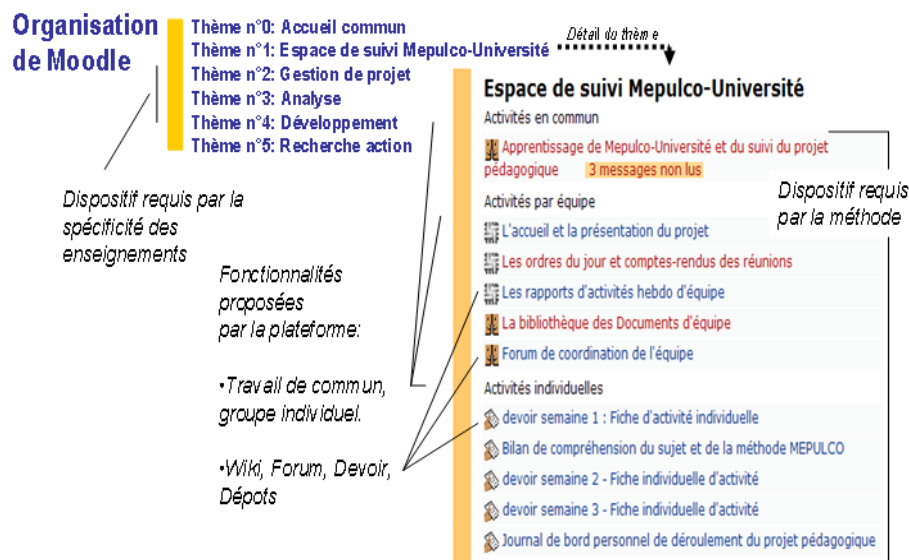


Figure 43 : Dispositif Moodle pour une équipe de projet à Polytech'Lille

V.2.2 Conclusion de l'étude : Définition et caractérisation du contexte institutionnel

Les deux dispositifs, celui de Polytech'Lille et celui de L'IUT Calais, se sont montrés différents bien qu'ils représentent l'implémentation de la même stratégie pédagogique à savoir Mepulco en utilisant la même plateforme Moodle.

Afin de mieux comprendre les différences et identifier leurs raisons, nous avons effectué des entretiens enregistrés avec les concepteurs qui ont conçu les deux dispositifs. En nous

⁶⁶ <https://moodle.polytech-lille.fr/>

basant sur ces entretiens et sur l'analyse des deux dispositifs, nous avons retenu que la différence de contexte a induit cette différence entre les deux dispositifs :

1. La mise en œuvre de Mepulco dépend des règles organisationnelles de la formation par exemple le nombre de tuteurs encadrant, le nombre d'étudiants par groupe et l'existence de sujets communs ou spécifiques aux groupes. En effet, à L'IUT Calais, un seul tuteur assure l'encadrement et chaque groupe qui doit être formé par deux à six étudiants possède un sujet différent tandis qu'à Polytech'Lille quatre tuteurs avec différentes compétences assurent le suivi et un seul sujet est commun à tous les groupes qui doivent être formés par cinq étudiants.
2. Le choix des outils de la plateforme à utiliser pour construire un dispositif Mepulco dépend des préférences des concepteurs par exemple le concepteur de Polytech'Lille préfère les forums tandis que celui de L'IUT Calais préfère les wikis. Toutefois, ces préférences sont régies par :
 - Des règles organisationnelles par exemple les chats sont désactivés ;
 - Le profil commun des étudiants par exemple : informaticiens, non informaticiens, ont eu déjà l'expérience de travailler à distance ou non dans leurs cursus. A Polytech'Lille, les étudiants sont des élèves ingénieurs informaticiens et qui sont habitués à prendre même des responsabilités techniques et administratives de la plateforme. Cela a encouragé le concepteur de Polytech'Lille à une utilisation étendue de la plateforme avec une diversification d'outils ce qui n'est pas le cas à L'IUT Calais ;
 - Les leçons tirées ou les pratiques réussites d'usage de la plateforme déduites des promotions précédentes guident les choix des concepteurs. Afin d'identifier les bonnes pratiques d'usage des outils de la plateforme à Polytech'Lille, une équipe d'enseignants [D'Halluin et al. 2008] s'est basée sur l'observation du déroulement des projets étudiants sur la plateforme, sur des questionnaires, sur des entretiens semi-directifs individuels auprès des étudiants et sur des entretiens semi-directifs auprès des enseignants. Les résultats ont été synthétisés sous la forme de recommandations d'usage des outils de Moodle dans un document destiné aux concepteurs pédagogiques.

En conclusion, la mise en œuvre de Mepulco dans chaque institution passe par la prise en compte de différents aspects contextuels. Certains aspects sont relatifs aux règles organisationnelles liées à la mise en œuvre de Mepulco d'autres sont relatifs aux règles et pratiques d'usage de la plateforme Moodle spécifiques à chaque institution.

Afin de mieux généraliser ces résultats, nous avons effectué des entretiens auprès d'enseignants-concepteurs de formations à distance travaillant dans différents contextes institutionnels en France et en Tunisie (la grille d'entretien est présentée dans l'annexe B). La synthèse de ces entretiens a donné presque les mêmes résultats c'est-à-dire les mêmes aspects contextuels qui influencent la conception des dispositifs pédagogiques. Ces entretiens ont révélé aussi que les règles organisationnelles des formations sont communiqués aux concepteurs, au meilleur des cas, dans des documents et souvent oralement. Ces entretiens ont révélé aussi la difficulté de retenir, par les nouveaux concepteurs, les différentes règles et le besoin de guidage en profitant des expériences précédentes. A l'encontre du cas de Mepulco qui était soutenu par des enseignants chercheurs qui ont pris le soin d'identifier les bonnes pratiques et de les mettre en commun dans un document, dans tous les autres contextes étudiés, ce travail doit être fait par le concepteur lui-même.

En synthèse, le contexte institutionnel désigne l'ensemble des règles organisationnelles et des pratiques contextuelles qui influencent la conception et l'exécution des dispositifs pédagogiques. [Drira et al. 2009a]

Déduire un ensemble général de règles et de pratiques contextuelles est difficile voire même impossible. Ces aspects contextuels échappent à une caractérisation générique et indépendante de formations ou même de stratégies pédagogiques spécifiques. Ainsi, une seule approche de modélisation de ces aspects est loin d'être réalisable.

Sur cette base, notre proposition pour la modélisation des aspects relatifs à un contexte institutionnel est liée aux étapes du processus de conception. A chaque étape du processus de conception d'un dispositif, un ensemble d'aspects devient pertinent et influence les décisions par exemple les règles et pratiques liées à la plateforme deviennent pertinentes lors de la spécification du dispositif dans les termes de la plateforme. Nous allons présenter dans la section V.3 le cas d'un processus de conception basée sur le MDA.

V.2.3 Interdépendance entre le dispositif et son contexte

L'élaboration de ce cadre est inspirée de l'approche multi-échelle. Comme nous l'avons expliqué dans la section IV.3.2 du chapitre IV, le principe de base qui sous-tend l'approche multi-échelle pour résoudre un problème qui fait intervenir différentes échelles consiste à définir les échelles puis étudier leurs interdépendances. Le problème que nous cherchons à résoudre est la contextualisation de dispositifs pédagogiques. La résolution de ce problème multi-échelle se base, à notre sens, sur l'étude des interdépendances de trois échelles qui sont représentées dans la Figure 44 et qui sont :

- L'échelle macroscopique est celui du contexte ;
- L'échelle mésoscopique est celui du dispositif ;
- L'échelle microscopique est celui des composants du dispositif.

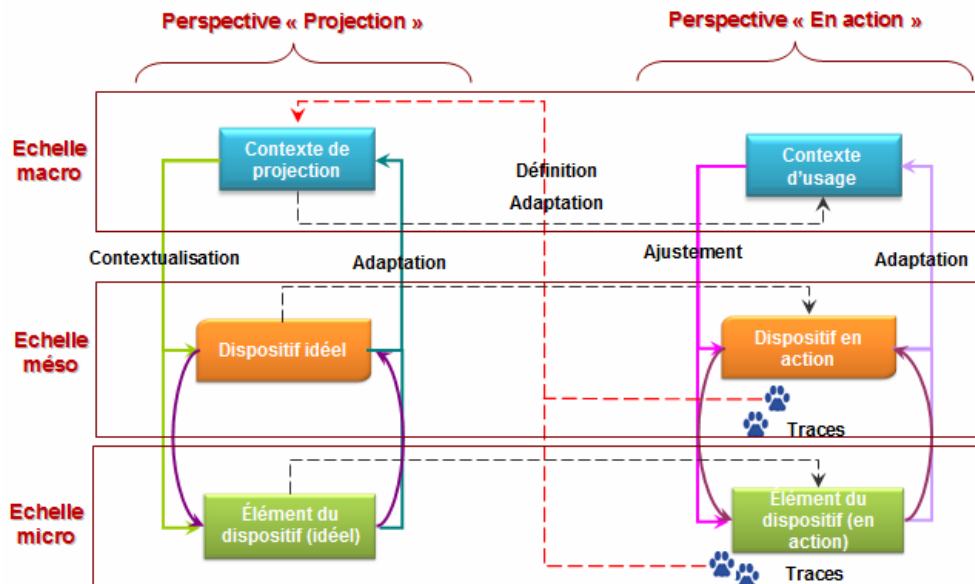


Figure 44 : Cadre multi-échelle d'interdépendance entre le dispositif et son contexte

Nos investigations pour l'étude de ces interdépendances nous ont menés à la nécessité de distinguer deux perspectives comme le montre la Figure 44.

En effet, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre IV, la complexité des dispositifs se manifeste lors de l'usage et nous cherchons à contextualiser les dispositifs lors de la conception pour une meilleure maîtrise de leur complexité. Ainsi, la première perspective « projection » concerne la conception et la construction du dispositif sur une plateforme de formation à distance tandis que la seconde perspective « en action » concerne son usage. Nous associons à chaque perspective, successivement, les dénominations de « dispositif idéal » (ou prévu) et de « dispositif en action ». Dans ce qui suit, nous allons faire d'abord une analyse multi-échelle lors de l'usage (intra-perspective « en action »), nous allons expliquer ensuite comment vont se refléter les échelles lors de la conception (intra-perspective « projection ») et nous allons expliciter enfin comment l'usage améliore la conception (inter-perspective « projection » et « en action »).

V.2.3.1 Analyse multi-échelle intra-perspective « en action »

Définition des échelles

Lors de l'usage, nous définissons **le dispositif en action** comme un système socio-technique complexe qui évolue dans un contexte avec lequel il entreprend des échanges permanents et qui s'autorégule continûment afin de garder un état d'auto organisation garantissant l'accomplissement du processus d'apprentissage des apprenants. [Drira 2008]

Le dispositif est auto-organisateur dans le sens où il est à la fois autonome et dépendant. Comme il a besoin de puiser des ressources et des informations dans son contexte, son autonomie est inséparable de cette dépendance. (inspiré de la définition de [Morin et al. 1999] de l'auto-éco-organisation⁶⁷)

Nous définissons **le contexte d'usage d'un dispositif** comme l'ensemble de facteurs qui influencent son exécution [Drira et al. 2009a]. Lors de l'usage, la mobilisation de l'infrastructure sociotechnique, constituée essentiellement par la plateforme de formation à distance et les acteurs, influence significativement l'exécution du dispositif.

Etude des interdépendances entre les échelles

Le dispositif et son contexte sont en co-évolution. « *La co-évolution traduit tant les ajustements continus, négociés et socialement situés des pratiques de la part des individus, que les ajustements apportés au comportement du système interactif considéré.* » [Bourguin et al. 2005]

Nous avons choisi le terme *co-évolution* pour traduire le fait que les dispositifs sont continûment évolutifs sans l'être toutefois de façon autonome car ils doivent s'adapter aux besoins émergents du contexte d'usage tel qu'illustré par la flèche 4 sur la Figure 44. Le contexte d'usage représente l'évolution des besoins ayant servis à l'analyse initiale, des technologies utilisées, des attitudes et des compétences des usagers, individuellement ou collectivement.

La régulation du dispositif en action complète l'offre de signification [Leclercq 2005] qui a guidé sa conception initiale. En effet, lors de l'usage, la conception se poursuit avec les régulations du dispositif pour gérer les émergences. Cela donne un premier lien entre la conception et l'usage d'un dispositif dans le sens où la conception du dispositif se poursuit dans l'usage avec les ajustements du dispositif lorsque le contexte change ou évolue.

⁶⁷ *Les êtres vivants sont des êtres auto-organiseurs qui sans cesse s'auto-produisent et par là même dépendent de l'énergie pour sauvegarder leur autonomie. Comme ils ont besoin de puiser de l'énergie, de l'information et de l'organisation dans leur environnement, leur autonomie est inséparable de cette dépendance, et il faut donc les concevoir comme êtres auto-éco-organiseurs.* [Morin et al. 1999]

Le contexte d'usage doit aussi s'adapter afin de répondre aux besoins évolutifs des dispositifs et doit mettre à la disposition des usagers les ressources nécessaires pour assurer le bon déroulement de l'apprentissage tel qu'illustré par la flèche 5 sur la Figure 44.

Ainsi, le dispositif est ajusté pour répondre aux besoins de son contexte d'usage qui doit s'adapter réciproquement afin de répondre aux besoins du dispositif. Il s'agit d'une boucle qui traduit une négociation dans les deux sens dans le but de faciliter le processus d'apprentissage des apprenants.

V.2.3.2 Analyse multi-échelle intra perspective « projection »

Définition des échelles

Lors de la conception, nous définissons le **dispositif idéal** comme une organisation de moyens interdépendants au service d'une intention pédagogique exprimée par son initiateur. Il *constitue une représentation contextualisée de la projection de cette intention sur une représentation* de l'infrastructure sociotechnique qui sera mobilisée lors de l'usage. [Drira 2008]

Il résulte de cette définition le fait qu'un dispositif prévu n'est qu'une « représentation » parmi d'autres de l'intention du pédagogue impliquant pratiquement toujours qu'une représentation réduite de l'infrastructure sociotechnique [Derycke et al. 2006] dans laquelle il est prévu qu'il s'insère.

Nous définissons le **contexte institutionnel de conception** comme l'ensemble de règles organisationnelles et de pratiques contextuelles qui influencent la conception des dispositifs pédagogiques. [Drira et al. 2009a]

Etude des interdépendances entre les échelles

Il découle des définitions du dispositif idéal et du contexte de conception qu'un dispositif renferme les intentions qui l'ont initié mais aussi des caractéristiques spécifiques relatifs au contexte institutionnel auquel il est rattaché. Les intentions pédagogiques doivent alors être contextualisées afin de donner lieu à un dispositif adéquat par rapport à son contexte tel que le montre la flèche 1 sur la Figure 44. Le dispositif peut imposer au contexte de s'adapter afin de répondre à certains besoins tel que l'expose la flèche 2 sur la Figure 44 par exemple la nécessité de revoir les ressources à mettre à la disposition du dispositif.

Au sens large, nous considérons que la **contextualisation** est définie par deux éléments à savoir un contexte (ensemble d'aspects⁶⁸ contextuels) et un objet à contextualiser. Elle consiste à appliquer l'influence du contexte sur l'objet afin qu'il incarne les caractéristiques de son contexte comme le montre la Figure 44. En d'autres termes, la contextualisation consiste à adapter un objet afin d'obtenir un nouvel objet respectant un contexte bien défini. L'objet à contextualiser peut appartenir à l'échelle du dispositif ou à l'échelle des composants d'un dispositif.

Afin de permettre la contextualisation, des objets de passage doivent être trouvés et modélisés. L'étude dans le cadre du projet MetaWep a permis d'identifier quelques objets de passage à savoir les règles et les bonnes pratiques contextuelles qui appartiennent à l'échelle

⁶⁸ Le mot « aspect » sera fréquemment utilisé dans cette partie du rapport et elle désigne en général un « aspect institutionnel » relatif à un sous contexte du contexte institutionnel. Cela ne fait référence en aucun cas au courant de modélisation orientée aspect du Génie Logiciel. [Kiczales et al 1997]

macro et doivent se retrouver à l'échelle méso et à l'échelle micro afin de permettre la contextualisation de ces deux échelles.

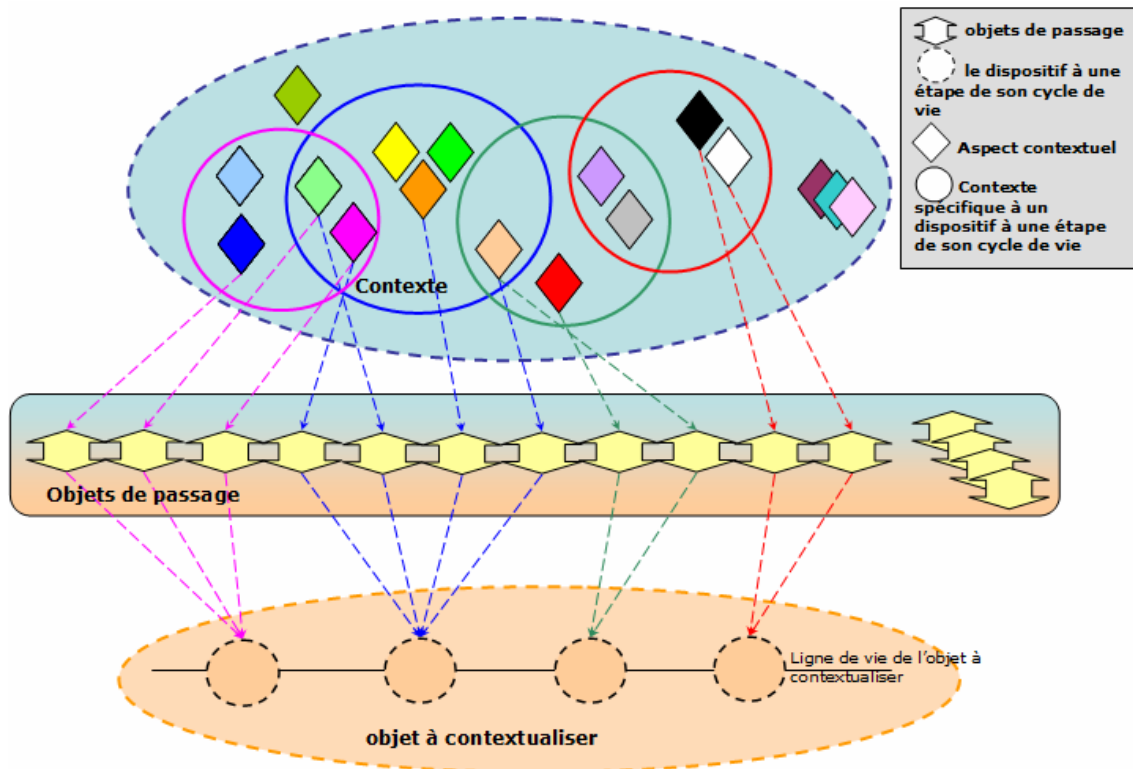


Figure 45 : Eléments de définition de la contextualisation

V.2.3.3 Analyse inter-perspectives «projection» et «en action»

Dans les paragraphes précédents, nous avons dissocié la conception et l'usage afin d'étudier les liens au sein de ces deux perspectives. En réalité, la conception et l'usage sont indissociables parce que le dispositif constitue une intermédiation plus qu'une séparation entre la conception et l'usage. D'une part, les usagers poursuivent la conception lors de l'usage tel que nous l'avons expliqué dans l'analyse intra-perspective « en action ». D'autre part, l'usage permet d'adapter le contexte de conception afin d'améliorer la contextualisation de dispositifs pour une meilleure maîtrise de la complexité.

Dans d'autres domaines de recherche, les systèmes complexes sont fréquemment modélisés et simulés afin de pouvoir améliorer leur conception. Dans le domaine des EIAH, c'est les usages qui permettent de donner une idée précise du déroulement de l'exécution des dispositifs. Les usages incarnent les propriétés émergentes, l'évolution des besoins des acteurs ainsi que les ajustements effectués du dispositif.

Afin de réduire la complexité du dispositif lors de l'usage, les ajustements constituent la solution. Lors de la conception, la prise en compte de l'évolution des besoins ainsi que des bonnes pratiques extraits de l'usage permet d'améliorer la contextualisation des dispositifs pour une meilleure maîtrise de la complexité.

Ces aspects contextuels extraits de l'analyse des traces de l'usage permettent de mettre à jour le contexte de conception initial comme le montre la flèche 3 de la Figure 44. Ce principe est inspiré de la théorie de l'activité telle que vue par [Bourguin et al. 2005] : l'historique de l'activité est une partie de son contexte. Ainsi, les traces permettent d'identifier des objets de

passage inter-perspectives qui adaptent le contexte de conception et améliorent les résultats de la contextualisation.

Les pratiques changent souvent parce qu'ils sont dépendants des caractéristiques spécifiques du contexte d'exécution y compris la plateforme de formation à distance utilisée ainsi que le profil des apprenants. Une bonne pratique simple qui peut être identifiée à partir des traces serait par exemple d'éviter l'utilisation des wikis. Toutefois, l'inconvénient d'exprimer des bonnes pratiques en se basant sur les outils de la plateforme est leur importante évolution. Certains outils de ces plateformes peuvent devenir obsolètes, quelque uns peuvent subir un changement dans leurs spécifications et d'autres peuvent être ajoutés. D'où notre proposition de cristallisation de catégories de bonnes pratiques qui sont indépendants des technologies et des profils des apprenants. La propriété de cristallisation de catégories de bonnes pratiques ou de bonnes pratiques génériques est importante car elle leur assure une pérennité beaucoup plus importante que celle des bonnes pratiques et elle assure la réutilisation de ces catégories génériques pour exprimer diverses bonnes pratiques. La catégorie de bonnes pratiques qui correspond à l'exemple précédent serait d'éviter l'utilisation d'un outil ou un service ou une ressource de la plateforme. Une autre catégorie serait par exemple de restreindre le nombre d'instances d'un outil ou d'un service ou d'une ressource de la plateforme.

Les catégories relèvent donc de l'échelle méso du dispositif tandis que les bonnes pratiques relèvent de l'échelle micro parce qu'ils sont dépendants d'éléments spécifiques d'un dispositif pédagogique. C'est la boucle conception-usage qui assure une meilleure maturité du contexte de conception par la cristallisation des catégories de bonnes pratiques d'une promotion d'apprenants à une autre.

Ainsi, nous avons expliqué le cadre multi-échelle de contextualisation. Dans les travaux de cette thèse, nous nous sommes positionnés dès le départ dans la perspective projection. Ainsi, nous allons présenter dans le reste de ce chapitre la solution que nous proposons aux concepteurs pédagogiques afin de les aider à modéliser et contextualiser leurs dispositifs. Comme nous l'avons évoqué dans la première partie de ce rapport, nous nous intéressons à une approche dirigée par les modèles de conception. Nous allons donc expliquer l'instanciation du cadre proposé dans le contexte du MDA.

V.3 Approche proposée pour l'assistance à la modélisation et à la contextualisation

V.3.1 Catégorisation du contexte institutionnel

Etant intéressés à un processus de conception basée sur le MDA, nous proposons de décomposer le contexte institutionnel en des sous-contextes à la lumière des étapes de cette démarche comme le montre la Figure 46.

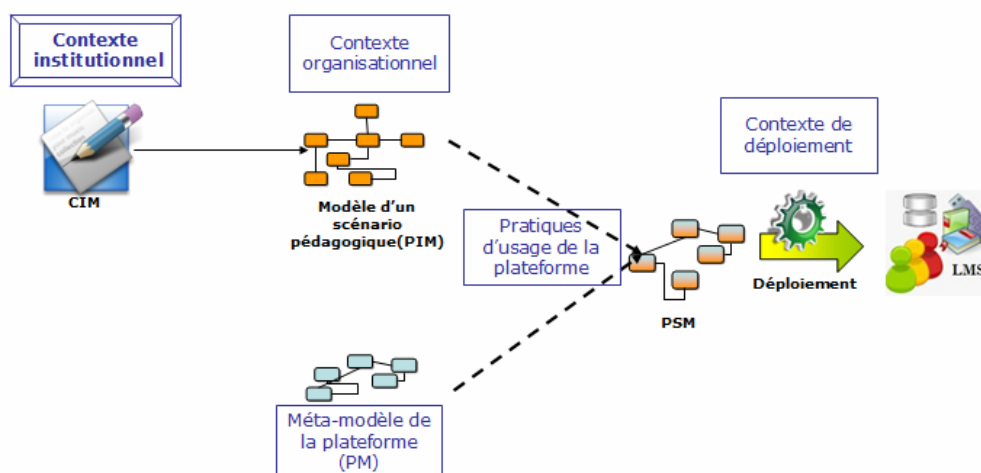


Figure 46 : Intégration du contexte institutionnel au MDA

A l'étape de la modélisation pédagogique, l'élaboration d'un modèle d'un scénario pédagogique dans un contexte spécifique implique la prise en compte des contraintes organisationnelles de la formation que nous appelons le **contexte organisationnel**. Par exemple, les règles organisationnelles que nous avons citées dans la section V.2.2 pour le cas de Mepulco concernant le nombre de tuteurs encadrants ou encore si le sujet est différent ou commun constituent les éléments du contexte organisationnel c'est-à-dire les paramètres de l'application de Mepulco qui peuvent différer d'un contexte à un autre. Chaque principe de base de la stratégie par exemple les différentes phases de l'encadrement est hors de la portée du contexte de Mepulco.

La projection d'un modèle des intentions pédagogiques sur la plateforme pose un problème de contextualisation des intentions pédagogiques avec les capacités de la plateforme. En effet, il existe souvent une distance entre les intentions pédagogiques et les fonctionnalités qu'offre la plateforme. La plateforme est la composante principale du **contexte technique**.

Les pratiques liées à l'usage d'une plateforme diffèrent d'un contexte institutionnel à un autre. Pour le cas de Moodle, bien qu'il s'agisse de la même plateforme, les pratiques de son usage à L'IUT Calais diffèrent de ceux de Polytech'Lille. Ces différences sont liées à plusieurs facteurs relatifs par exemple au profil des étudiants et aux leçons apprises des expériences précédentes d'usage de la plateforme. En plus de la plateforme, les pratiques liées à l'usage d'une plateforme font partie du contexte technique.

En nous basant sur nos expérimentations dans le cadre du projet MetaWep, nous avons identifié deux types d'aspects contextuels liés à l'usage d'une plateforme à savoir les règles et les bonnes pratiques. Une règle contextuelle donne lieu à une contrainte qui doit être respectée par les transformations par rapport à la plateforme. Une bonne pratique contextuelle représente une recommandation d'une pratique réussie liée à l'usage des outils de la plateforme.

Les bonnes pratiques et les règles d'usage d'une plateforme constituent un capital précieux d'une institution. Ces pratiques mobilisées à bon escient lors de la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en modèles technologiques pourraient aider les concepteurs à prendre les décisions adéquates.

Lors du déploiement d'un dispositif sur une plateforme et si la plateforme est déjà peuplée par d'autres dispositifs, un travail de contextualisation du modèle fonctionnel à déployer avec les éléments existants sur la plateforme doit être entrepris. Il s'agit du **contexte de déploiement**. L'outil GenDep de déploiement de dispositifs sur des plateformes de formation

à distance qui a été utilisé dans les expérimentations décrites précédemment permet de créer des liens entre le dispositif à déployer et les éléments existants sur la plateforme par exemple les étudiants ou les tuteurs qui sont déjà créés sur la plateforme.

La Figure 47 résume les différents composants proposés du contexte institutionnel que nous venons de définir.

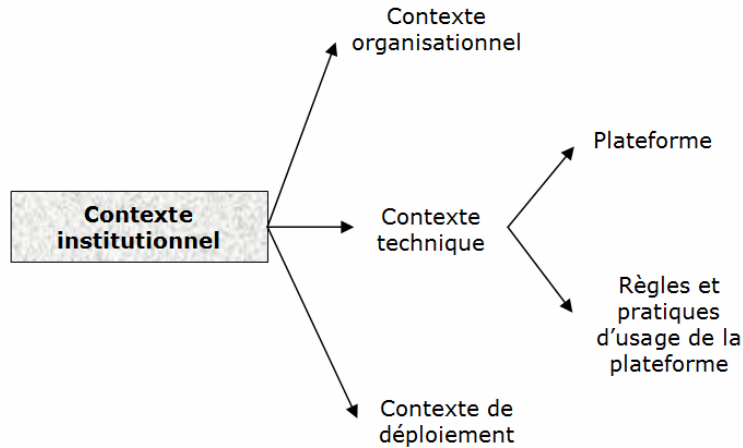


Figure 47 : Résumé de la décomposition du contexte institutionnel

Dans notre travail, l'objet à contextualiser est le dispositif pédagogique. Dans un processus de type MDA, le dispositif passe par différents états dans son cycle de vie. Il convient de traiter la contextualisation en répondant aux questions suivantes : Quand contextualiser ? Contextualiser quoi ? Contextualiser par rapport à quel contexte ? La réponse à ces questions est certes spécifique à chaque étape du MDA parce que des besoins particuliers de contextualisation se posent à chaque étape.

V.3.2 Définition des besoins de contextualisation

Selon l'étape du MDA et le contexte pertinent pour une étape, les besoins et l'objet de la contextualisation ne sont pas les mêmes. Nous présentons dans le Tableau 8 les types de contextualisation que nous proposons afin de mettre en œuvre un processus de contextualisation. Pour chaque type, nous présentons le contexte concerné, l'objet de la contextualisation dans le cadre du MDA c'est-à-dire le type de modèle qui constitue le modèle d'entrée de la contextualisation et le résultat c'est-à-dire le modèle de sortie résultant de la contextualisation.

Type de contextualisation	Contexte	Objet	Résultat
Contextualisation pédagogique	Contexte organisationnel	Modèle d'un scénario pédagogique abstrait	Modèle d'un scénario pédagogique contextualisé
Contextualisation technique (transformation contextualisée)	Contexte technique	Modèle d'un scénario pédagogique contextualisé	Modèle d'un dispositif pédagogique contextualisé (spécifique à un contexte technique donné)
Contextualisation de déploiement	Contexte de déploiement	Modèle d'un dispositif pédagogique	Modèle d'objets contextualisés

Tableau 8 : Types, objets et résultats de la contextualisation selon la décomposition du contexte institutionnel

La contextualisation pédagogique consiste à adapter un modèle correspondant à un scénario pédagogique abstrait au sens de [Lejeune et al. 2004]⁶⁹ en y intégrant les valeurs correspondantes aux éléments du contexte organisationnel. Le produit de cette contextualisation est un modèle représentant le scénario dans un contexte organisationnel spécifique. Ainsi, Le modèle d'un scénario est dit contextualisé s'il prend en considération les aspects spécifiques à son contexte organisationnel.

La contextualisation technique consiste à transformer un modèle d'un scénario pédagogique contextualisé en un modèle d'un dispositif pédagogique spécifique à un contexte technique donné. Nous rappelons que le contexte technique englobe la plateforme et les pratiques contextuelles d'usage des outils de cette plateforme. Le modèle d'un dispositif pédagogique contextualisé est le modèle d'un scénario concret⁷⁰ au sens de [Lejeune et al. 2004] opérationnalisable sur une plateforme de formation à distance. Nous utilisons aussi l'expression de **transformation contextualisée** comme synonyme de contextualisation technique.

La contextualisation de déploiement consiste à générer un modèle d'objets contextualisés à partir d'un modèle concret tout en y intégrant les éléments préexistants sur la plateforme.

Les besoins de contextualisation étant définis, nous allons détailler dans la section suivante l'approche que nous proposons pour mettre en œuvre ces besoins de contextualisation.

V.3.3 Architecture fonctionnelle de l'approche proposée

L'architecture fonctionnelle de l'approche que nous proposons afin de répondre à notre problématique pour l'assistance à la modélisation et à la transformation vers la plateforme tout en tenant compte du contexte institutionnel est présentée dans la Figure 48.

Nous proposons aux concepteurs pédagogiques une approche outillée qui va de la modélisation des intentions pédagogiques à la spécification du modèle d'un dispositif

⁶⁹ Nous avons présenté les définitions dans la section IV.7IV.2.2.2 du chapitre IV

⁷⁰ Dans la taxinomie proposée par [Lejeune et al. 2004], « scénario concret » est synonyme à un « scénario contextualisé » parce que la contextualisation est seulement liée à l'instanciation avec des acteurs, ressources, outils et services réels. Dans notre travail, les deux expressions ne sont pas synonymes tel que expliqué dans le Tableau 8.

pédagogique dans les termes d'une plateforme de formation à distance choisie tout en respectant les caractéristiques du contexte institutionnel. [Drira et al. 2010]

Pour l'étape de la modélisation indépendante de la plateforme, l'approche proposée se base sur la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques abstraits c'est-à-dire indépendants de toute plateforme de formation et sur la contextualisation des modèles réutilisés afin de les adapter aux spécificités du contexte organisationnel dans lequel ils seront mis en œuvre. En effet, dans la littérature ou encore sur le Web, il existe un nombre important de modèles qui décrivent des scénarios pédagogiques réutilisables. Plusieurs travaux se sont concentrés sur des solutions qui facilitent la réutilisation de scénarios pédagogiques notamment [Villiot-Leclercq 2007] [Pernin et al. 2007]. Nous nous concentrons sur la formalisation de scénarios pédagogiques réutilisables de façon qu'ils soient facilement malléables et nous proposons d'utiliser les templates UML pour formaliser tels scénarios.

Les templates UML ont été détaillés dans la section I.3.2.2 du chapitre I. Nous rappelons qu'un template UML est un modèle paramétré qui peut donner lieu à de multiples modèles personnalisés en substituant les paramètres par des valeurs effectives via la relation « bind » supportée par UML. En modélisation pédagogique, les éléments non paramètres représenteront les éléments propres à la pédagogie et les éléments paramètres représenteront les éléments personnalisables selon le contexte de réutilisation. La relation « bind » d'UML permettra de mettre en œuvre la relation de contextualisation d'un template UML pédagogique pour générer des modèles contextualisés comme le montre la partie 1 de la Figure 49.

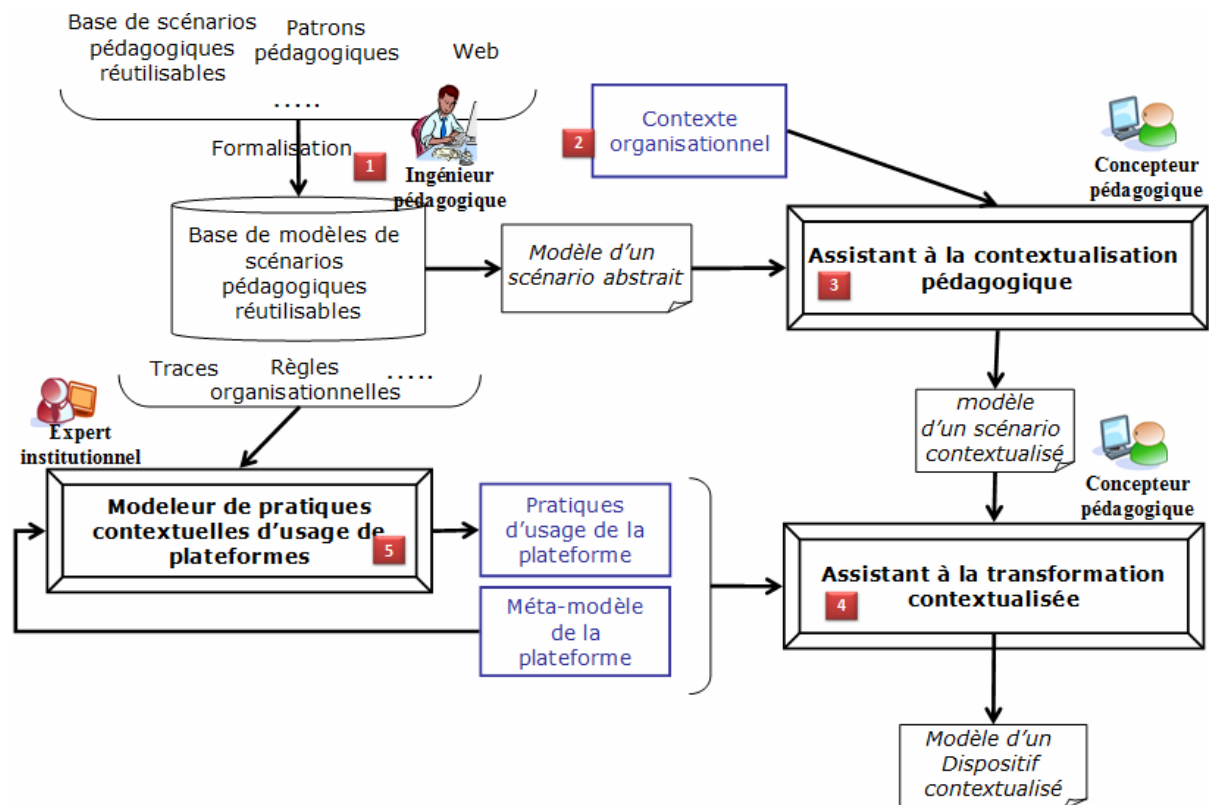


Figure 48 : Architecture de la solution proposée

L'assistant à la contextualisation pédagogique présenté sur la Figure 48 a pour rôle de :

- Gérer des dépôts de templates ;
- Assister la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en des templates pédagogiques ;

- Permettre la réutilisation de templates pédagogiques ;
- Permettre la réutilisation de modèles de scénarios contextualisés ;
- Assister la contextualisation pédagogique de templates.

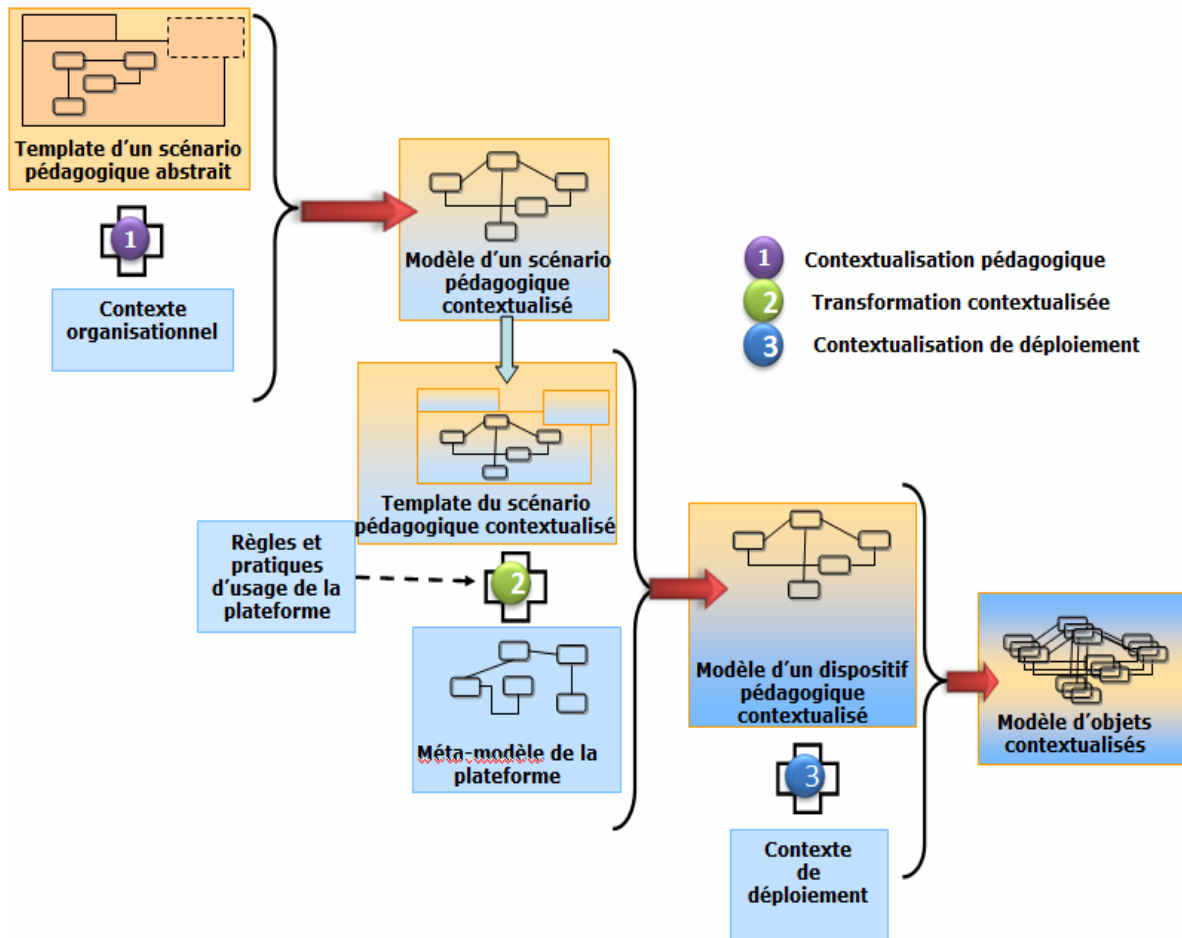


Figure 49 : Processus global de contextualisation

Pour l'étape de la transformation, un processus de transformation contextualisée qui permet aux concepteurs d'exprimer eux-mêmes leurs règles de transformation et qui leur permet de les mettre à jour a été proposé. Ce processus est basé sur la relation « bind » d'UML comme le montre la partie 2 de la Figure 49.

L'assistant à la transformation contextualisée présenté sur la Figure 48 a pour rôle de :

- Assister la transformation de modèles de scénarios contextualisés en des templates transformables par rapport à des plateformes de formation à distance ;
- Assister la transformation d'un template transformable en un modèle d'un dispositif pédagogique spécifique à une plateforme de formation à distance ;
- Assister et contrôler la prise de décisions de transformation qui respectent les règles et pratiques d'usage de la plateforme de formation à distance cible.

Afin de permettre ce dernier type d'assistance, il est indispensable de permettre la modélisation des règles et bonnes pratiques d'usage des plateformes de formation à distance pour différents contextes institutionnels. C'est le rôle du modelleur de règles et pratiques d'usage des plateformes présenté sur la Figure 48.

Nous venons de présenter globalement l'architecture fonctionnelle de l'approche proposée ainsi que le processus de contextualisation proposé et qui est basé techniquement sur les modèles paramétrés supportés par UML. Chaque composant de l'architecture proposée dans la Figure 48 et chaque étape du processus proposé sur la Figure 49 seront détaillés dans les chapitres suivants.

V.4 Conclusion

En nous inspirant de l'approche multi-échelle et nous basant sur des expérimentations et sur des entretiens auprès de concepteurs pédagogiques dans différentes institutions, nous avons élaboré un cadre exprimant l'extension de l'approche par dispositif pour la prise en considération des caractéristiques du contexte institutionnel. Ce dernier étant difficile à définir et à cerner, nous avons choisi de le catégoriser en le liant aux étapes du MDA auquel nous nous intéressons pour la conception de dispositifs. Il ressort qu'à chaque étape du MDA où le dispositif possède des caractéristiques spécifiques, un sous ensemble pertinents d'aspects contextuels influence le dispositif. Le contexte institutionnel se décline donc en un contexte organisationnel, un contexte technique et un contexte de déploiement. Le contexte organisationnel est pertinent à l'étape de la modélisation pédagogique et il influence les intentions pédagogiques de départ que le concepteur désire mettre en œuvre. Le contexte technique englobe la plateforme ainsi que les pratiques spécifiques de son usage. Il intervient donc lors de la transformation vers la plateforme. Le contexte de déploiement est relatif aux éléments préexistants sur la plateforme et il intervient lors du déploiement sur la plateforme.

A l'issue de ces clarifications du contexte, des besoins de contextualisation et des grands traits de l'approche proposée, il convient de montrer concrètement comment va se mettre en œuvre les différents types de contextualisation. Nous allons nous intéresser dans les chapitres VI et VII respectivement à la contextualisation pédagogique et à la contextualisation technique. La contextualisation de déploiement ne sera pas traitée parce qu'elle a été traitée par les travaux de [Caron 2007a] dont les travaux sont complémentaires aux nôtres. Dans le chapitre VIII, nous expliquons la modélisation des règles et pratiques d'usage des plateformes de formation à distance.

Chapitre VI : Formalisation et contextualisation assistées de modèles de scénarios pédagogiques malléables

VI.1 Introduction

Nous allons détailler dans ce chapitre la solution proposée pour formaliser des modèles de scénarios à la fois réutilisables et malléables. Nous allons discuter également les différentes formes de malléabilités offertes et comment la contextualisation pédagogique permet de générer des modèles contextualisés sur la base de modèles réutilisables. Nous présentons également la solution proposée pour aider les concepteurs à la réutilisation et à la contextualisation pédagogique.

VI.2 Contextualisation pédagogique

Afin de permettre la contextualisation pédagogique, nous avons étudié plusieurs approches.

La première approche consiste à assister les concepteurs à adapter des méta-modèles afin de les contextualiser [Drira et al. 2009b]. Cette adaptation concerne la syntaxe des méta-modèles c'est-à-dire les concepts de modélisation et leur sémantique par exemple les relations entre les classes et les cardinalités correspondantes. L'inconvénient cette solution est le manque d'une séparation claire entre les éléments de modèle qui concernent la pédagogie et ceux qui représentent le contexte ce qui rend la contextualisation difficile à entreprendre.

Nous avons aussi étudié la possibilité de réutiliser et contextualiser des modèles conformes à des méta-modèles spécifiques. La limite rencontrée est induit par la relation de conformité qui limite la malléabilité des modèles et rend difficile leurs contextualisations. En effet, la contextualisation de modèles est limitée par les méta-modèles qui leur sont conformes et nécessite souvent l'adaptation de ces méta-modèles.

A travers l'exemple qui suit, nous illustrons ces propos. Cet exemple concerne la réutilisation du méta-modèle d'une stratégie d'encadrement dans un contexte autre que celui pour lequel il a été conçu.

Le méta-modèle présenté dans la partie (a) de la Figure 50 et qui a été modélisé avec ModX permet la modélisation de stratégies d'encadrement de projets dans un contexte que nous appelons C1. Dans ce contexte, un projet fait l'objet d'un encadrement qui concerne un projet. Plusieurs utilisateurs sont associés à un projet et un seul sujet peut être associé à un utilisateur. Le modèle présenté dans la partie (a) de la Figure 51 représente l'encadrement d'un projet Java modélisé en se conformant à ce méta-modèle. La supervision est réalisée avec des échanges asynchrones réguliers entre un superviseur et les apprenants.

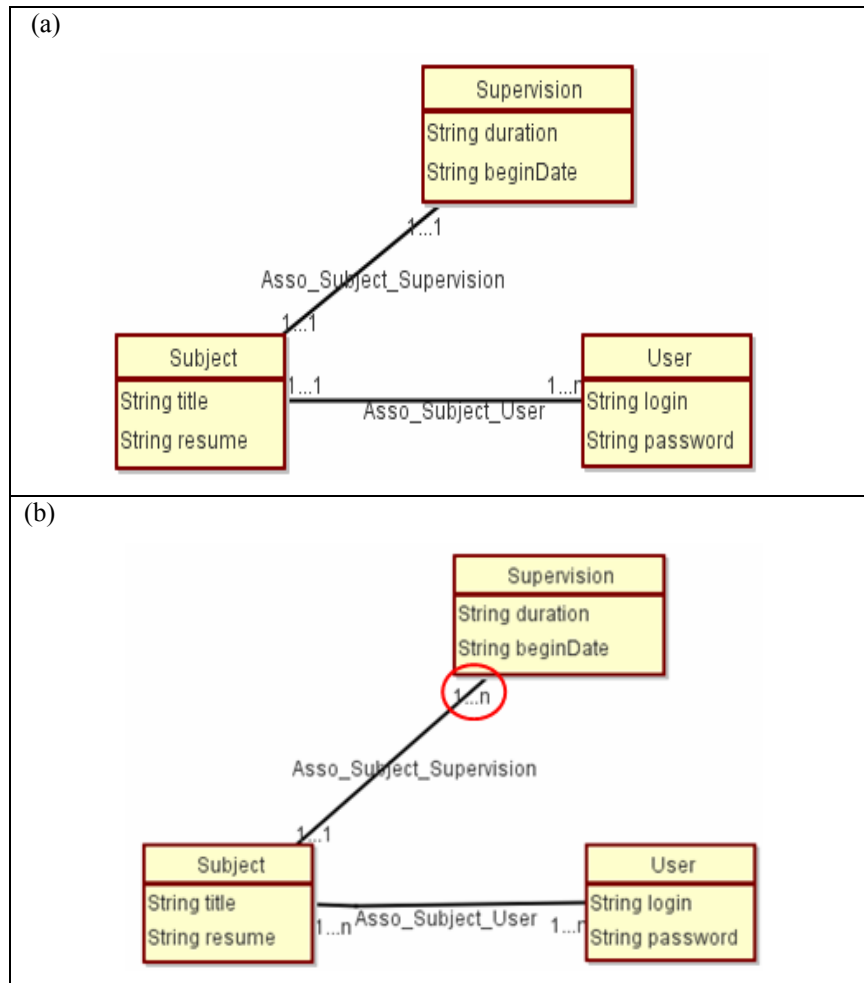


Figure 50 : Meta-modèles d'une stratégie de supervision dans deux contextes différents

Dans un nouveau contexte que nous appelons C2, la réutilisation de ce modèle pour la supervision d'un projet de fin d'année nécessite son adaptation. En effet, quelques différences entre C1 et C2 doivent être considérées par le nouveau modèle. Premièrement, le sujet de l'encadrement est un projet de fin d'année et non pas un projet Java. Deuxièmement, la supervision doit débuter par une réunion de démarrage synchrone obligatoire et se poursuivre par des échanges asynchrones réguliers. Pour la première différence, une adaptation syntaxique du modèle permise par le méta-modèle est possible et un nouveau modèle doit être créé comme illustré par la partie (b) de la Figure 51. En revanche, le méta-modèle ne supporte pas la deuxième différence. En effet, la relation un à un « Asso_Subject_Supervision » du méta-modèle empêche d'associer plus qu'une « Supervision » à un « Subject » dans les modèles conformes à ce méta-modèle (flèche en gras de la partie (b) de la Figure 51). Dans ce cas, la définition d'un nouveau méta-modèle qui modifie la relation « Asso_Subject_Supervision » en changeant sa cardinalité est nécessaire comme présenté par la partie (b) de la Figure 50. Ainsi, quand le méta-modèle est spécifique à un contexte, il est difficile de réutiliser les modèles qui lui sont conformes dans un contexte différent. Il est souvent nécessaire de définir un nouveau méta-modèle ce qui pose les mêmes limites que définir un nouveau méta-modèle pour chaque nouveau besoin.

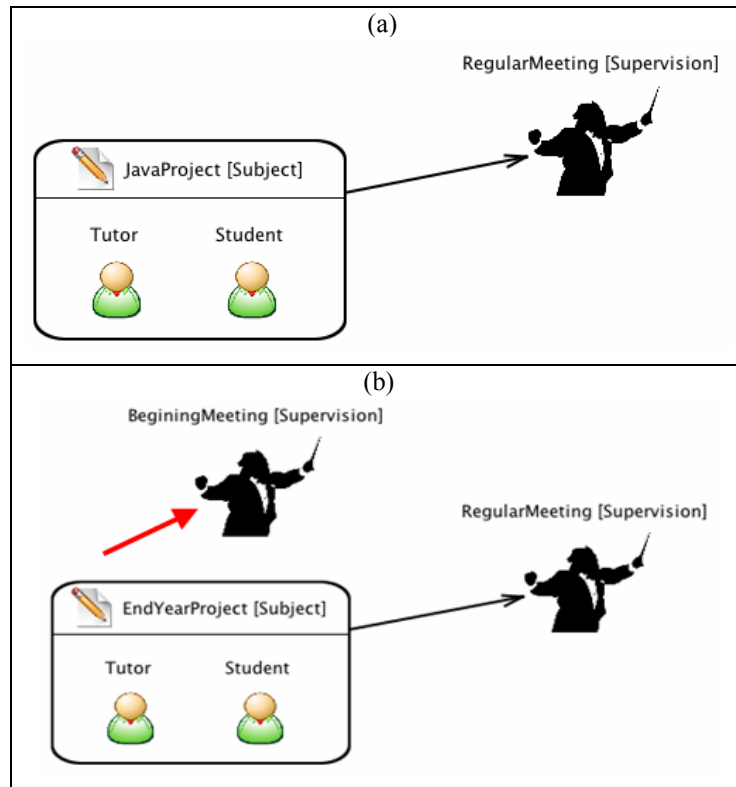


Figure 51 : Modèles d'une stratégie de supervision dans deux contextes différents

Par la suite, nous avons choisi d'aborder le problème en nous posant la question d'une manière différente en se focalisant sur la formalisation de modèles de scénarios pédagogiques malléables qui peuvent s'adapter à différents contextes. En d'autres termes, nous avons pensé à une solution qui permet de distinguer dans le modèle d'un scénario pédagogique une partie adaptable et qui offre un mécanisme pour les adapter.

Aborder le problème de ce point de vue offre au moins deux avantages. Le premier avantage consiste à garantir la réutilisation des modèles de scénarios pédagogiques ce qui est une solution qui aide les concepteurs en leur évitant de définir pour chaque besoin un nouveau langage de modélisation ou un nouveau modèle. Le deuxième avantage consiste à assurer la malléabilité de ces modèles réutilisables en exprimant des éléments relatifs au contexte et permettre de les contextualiser afin de répondre à différents besoins spécifiques.

La deuxième solution dans laquelle nous nous sommes investis consiste à séparer dans le même modèle les éléments relatifs à la stratégie pédagogique de ceux qui sont relatifs à son contexte et de concrétiser ces derniers éléments à travers la contextualisation qui produit le modèle de la stratégie contextualisée. Notre idée consiste à exprimer dans un modèle une partie fixe propre à la pédagogie et une partie variable adaptable selon le contexte. La contextualisation consistera à fixer la partie variable tout en respectant la pédagogie de départ et donnera lieu à un modèle contextualisé. Aucun travail recensé de la littérature de la modélisation pédagogique n'a été investi dans cette direction. Ainsi, nous nous sommes orientés vers l'exploration de l'état de l'art de l'IDM présenté dans le chapitre I afin de trouver une solution qui répond à ces besoins, ce qui nous a amené aux templates UML. Les templates UML répondent à nos besoins relatifs à la formalisation de modèles de scénarios pédagogiques réutilisables et malléables.

VI.3 Modélisation pédagogique par les templates UML

Nous proposons d'utiliser les templates UML qui ont été détaillés dans la section I.3.2.2 du chapitre I comme étant un format de modélisation pédagogique qui permet d'exprimer des modèles malléables et qui favorise leur contextualisation. Les templates sont utilisés dans plusieurs travaux afin d'exprimer des fonctionnalités réutilisables [D'Souza et al. 1999, Clarke 2002, Muller et al. 2005]. Néanmoins, ils ne sont explorés par aucun travail parmi les travaux recensés de la littérature de la modélisation pédagogique détaillés dans la première partie de ce rapport.

Nous rappelons qu'un template UML est un élément de modèle paramétrable qui peut donner lieu à de multiples modèles personnalisés (« bound element » dans les termes d'UML) en substituant les paramètres par des valeurs effectives via la relation « bind » supportée par UML. En modélisation pédagogique, les éléments qui ne représentent pas des paramètres représenteront les éléments propres à la pédagogie et les éléments paramètres représenteront les éléments personnalisables selon le contexte de réutilisation. La relation « bind » d'UML permettra de mettre en œuvre une relation de contextualisation d'un template UML pédagogique pour générer des modèles contextualisés.

Notre proposition pour la formalisation de modèles de scénarios pédagogiques réutilisables consiste à modéliser la stratégie pédagogique voulue dans un diagramme de classes UML. Afin de pouvoir rattacher des paramètres au diagramme, il doit être placé dans un conteneur à savoir un paquetage UML. Ce paquetage sera par la suite déclaré comme un « package template » en lui ajoutant une signature. Les paramètres représentant la partie variable du modèle doivent être ajoutés à cette signature.

Avec une modélisation avec les diagrammes de classes UML, les concepts à utiliser pour la modélisation sont principalement des classes, des attributs et des associations tout en se conformant à un méta-modèle déjà connu et supporté par plusieurs outils de modélisation à savoir le méta-modèle UML. A travers l'utilisation des diagrammes de classes paramétrés, il devient aussi possible de partager et de personnaliser ces diagrammes afin de générer d'autres diagrammes.

La Figure 52 présente un template pédagogique « Strategie_Encadrement » d'une stratégie d'encadrement de projets (modélisé avec Papyrus⁷¹). Ce paquetage est représenté graphiquement comme un paquetage UML standard ayant un rectangle en pointillé superposé sur le coin supérieur du côté droit qui représente la signature. Dans cet exemple, la signature expose deux paramètres de type classe à savoir *Supervision* et *Projet*, un paramètre de type association à savoir *A_Enseignant_Projet* et un paramètre de type propriété à savoir *étudiant*. Le contexte de la stratégie d'encadrement exprimé par ces paramètres est composé des aspects suivants :

1. **A1** : La nature du projet : paramètre *Projet* ;
2. **A2** : La nature de l'activité d'encadrement : paramètre *Supervision* ;
3. **A3** : Le nombre d'enseignants encadrant pour un projet : paramètre *A_Enseignant_Projet* ;
4. **A4** : Le nombre de projet par enseignant : paramètre *A_Enseignant_Projet* ;
5. **A5** : Le nombre d'étudiants qui peuvent être affectés à un projet : paramètre *étudiant*.

⁷¹ <http://www.papyrusuml.org/>

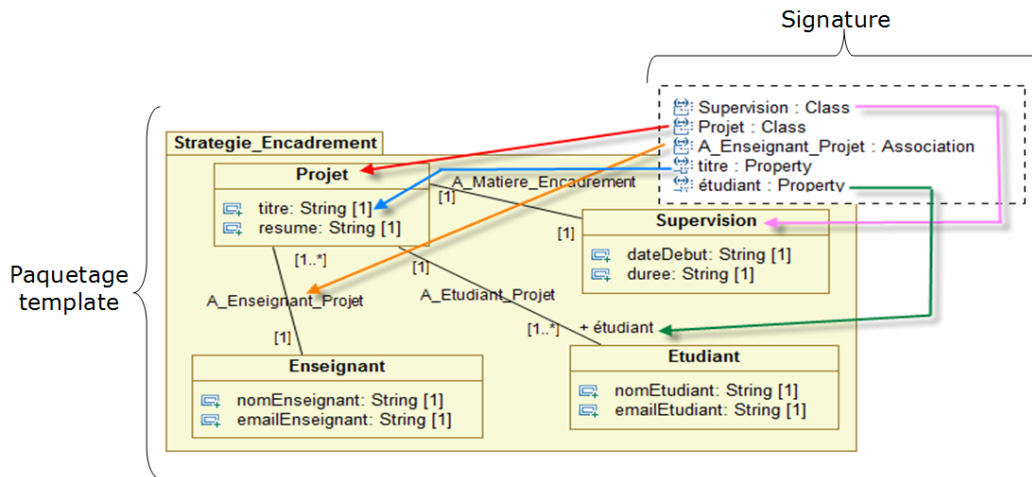


Figure 52 : Template d'une stratégie d'encadrement

Afin de modéliser les stratégies d'encadrement requises par C1 et C2, le template pédagogique de la Figure 52 doit être contextualisée. Comment mettre en œuvre la contextualisation ? Quelles formes de malléabilité sont possibles avec les templates UML ?

VI.3.1 Formes de malléabilité supportées par les templates UML

La contextualisation pédagogique qui consiste à adapter un template au contexte organisationnel de mise en œuvre dépend des formes de malléabilité permises par les templates UML.

Les trois formes de malléabilité, à l'origine identifiés par Morch [Morch 1997], qui sont le paramétrage, l'intégration et l'extension, sont supportés par les templates UML. Le paramétrage s'agit de *sélectionner une ou plusieurs valeurs d'un ensemble prédéfini qui permettent de spécialiser l'application*. L'intégration permet à l'utilisateur d'intégrer et de lier des composants. L'extension implique une modification dite 'radicale' du composant qui sous-entend une programmation dans un langage bien défini. Le langage qui offre la plus grande souplesse est celui dans lequel le composant a été implémenté.

Paramétrage

Les templates UML permettent de sélectionner et de spécifier des paramètres parmi les éléments d'un modèle ce qui favorise une forme de sa malléabilité. Les templates sont personnalisables par les concepteurs pédagogiques via la substitution de ces paramètres par des valeurs effectives.

Intégration

Les templates UML offrent la possibilité de construire des scénarios pédagogiques personnalisés par assemblage de plusieurs templates chacun correspondant à une fonctionnalité générique. La composition de templates permet aux concepteurs pédagogiques d'obtenir différentes épisodes en se basant sur les mêmes templates UML. Muller [Muller 2006] a proposé et outillé un opérateur de composition nommée apply de templates UML qui permet de concevoir un système par assemblage d'un modèle de base et d'un ensemble de composants de modèle.

Extension

L'extension du « bound element » sans modifier les éléments qui dérivent du template est possible. En effet, selon les spécifications UML, un « bound element » est de type un template si tous les éléments du template apparaissent dans le « bound element » tout en remplaçant les

éléments déclarés comme étant des paramètres par leurs valeurs effectives. Le respect de cette condition est primordial pour la validité du « bind ». Le concepteur pédagogique pourra donc étendre les templates par de nouveaux éléments afin de répondre à ses besoins.

VI.3.2 Contextualisation par les templates UML

Nous illustrons dans ce qui suit la contextualisation du template de la stratégie d'encadrement présentée dans la Figure 52 dans les deux contextes C1 et C2. La traduction des aspects contextuels de la stratégie d'encadrement dans les contextes C1 et C2 est donnée dans le Tableau 9. A ces aspects s'ajoute dans le contexte C2 le besoin d'une activité de suivi asynchrone pour que les étudiants puissent échanger et poser leurs questions en dehors des réunions synchrones.

Aspect de la stratégie	Contextualisation dans C1	Contextualisation dans C2
A1	C'est un projet Java	C'est un projet de fin d'année
A2	Des réunions synchrones	Des réunions synchrones
A3	Un ou plusieurs enseignants peuvent assurer la supervision	Un seul enseignant doit assurer la supervision
A4	Un enseignant a le droit de superviser plusieurs projets Java	Un enseignant ne doit assurer la supervision que d'un seul projet de fin d'année
A5	Un étudiant peut travailler en monôme ou en groupe	La réalisation d'un projet de fin d'année se fait en monôme

Tableau 9 : Aspects contextuels de la stratégie d'encadrement dans deux contextes différents

La Figure 53 montre les paquetages « StrategieC1 » et « StrategieC2 » qui représentent les modèles contextualisés de la stratégie d'encadrement. La relation « bind » exprime les adaptations de ce template dans les contextes C1 et C2 conformément à la spécificité de chaque contexte.

Le paquetage « StrategieC1 » est le résultat de la substitution dans le template de ses paramètres formels par leurs valeurs effectives : « Encadrement » par « ReunionSynchrone », « Projet » par « ProjetJava », « A_Enseignant_Projet » par « A_Superviseur_Projet » et « étudiant » par « etudian ». Pour la contextualisation de « A_Enseignant_Projet » par « A_Superviseur_Projet », nous notons le changement des cardinalités afin de refléter la spécificité du contexte C1 pour les aspects A3 et A4.

Le paquetage « StrategieC2 » est le résultat de la substitution dans le template de ses paramètres formels par leurs valeurs effectives : « Encadrement » par « ReunionSynchrone », « Projet » par « ProjetFinAnnee », « A_Enseignant_Projet » par « A_Enseignant_Projet » et « étudiant » par « etudiant ». Pour la contextualisation de « A_Enseignant_Projet » par « A_Superviseur_Projet », nous notons le changement de la cardinalité du « ProjetFinAnnee » afin de tenir compte de l'aspect A4 du contexte C2. Nous notons également, pour la contextualisation de « étudiant » par « etudiant », le changement de cardinalité pour tenir en considération l'aspect A5.

Afin de prendre en considération le besoin d'une activité de suivi asynchrone en plus des réunions synchrones, « StrategieC2 » est enrichie par la classe « SuiviAsynchrone » qui est liée à « ProjetFinAnnee ». En effet, cet aspect ne peut pas être exprimé par les paramètres parce qu'il s'agit de l'ajout d'une classe au « bound element ».

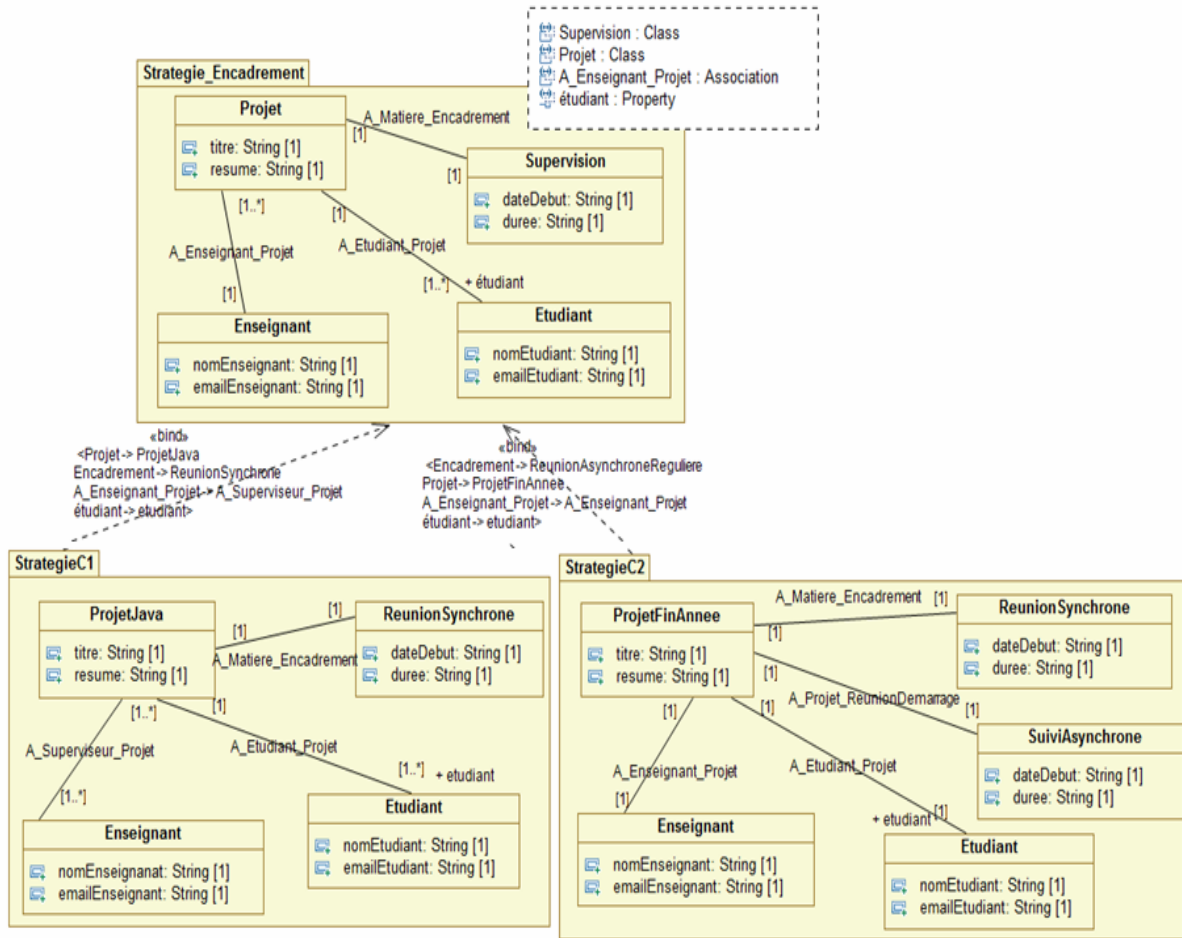


Figure 53 : Contextualisation du template de stratégies d’encadrement

Le cas de la contextualisation partielle

Les templates UML donnent plusieurs pistes pour la contextualisation. Nous venons d’expliquer la contextualisation complète qui permet de générer des diagrammes de classes UML transformables vers une plateforme. Un autre cas se présente est celui de la contextualisation partielle d’un template qui permet de générer de nouveaux templates sur la base d’un template existant. Ce cas se présente quand les paramètres du nouveau template représentent un sous ensemble des paramètres du template existant. Selon les spécifications UML, ce type de personnalisation d’un template est possible grâce au « binding partiel » comme le montre la Figure 54. Il s’agit d’attribuer des valeurs effectives à seulement quelques paramètres formels du template. Les autres paramètres non substitués constitueront les paramètres formels du nouveau template. Afin de pouvoir générer des modèles transformables vers une plateforme, le nouveau template doit par la suite faire l’objet d’une contextualisation complète.

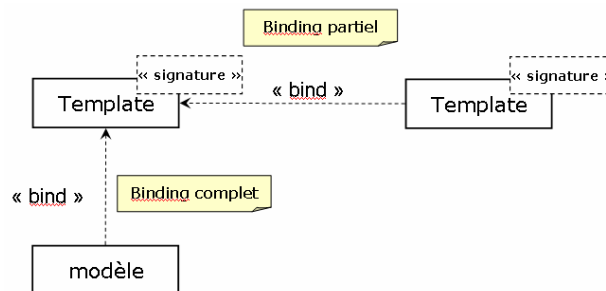


Figure 54 : Implémentation partielle Vs implémentation complète

La contextualisation complète d'un template pédagogique donne lieu à un diagramme de classes UML.

Plusieurs outils permettent la modélisation et l'implémentation de templates. Toutefois, l'utilisation de ces outils par des concepteurs non informaticiens tels que les concepteurs pédagogiques reste difficile.

VI.4 Inadéquation de l'usage des outils UML

La mise en œuvre de la solution que nous venons de présenter est possible avec les outils de modélisation UML supportant les templates tels que Papyrus⁷² et Eclipse⁷³. Toutefois, l'usage de ces outils nécessite une expertise technique importante en modélisation UML parce qu'ils n'offrent pas de facilités pour la manipulation des templates. La plupart des fonctionnalités pour la définition d'un template et son « binding » sont faits à partir de menus arborescents ce qui nécessite une connaissance approfondie du méta-modèle d'UML. L'utilisation de ces outils n'est pas adaptée au public ciblé par nos travaux à savoir les concepteurs pédagogiques.

Afin d'assister les concepteurs pédagogiques, nous implémentons les différentes fonctionnalités relatives à la manipulation de templates UML à travers un outil appelé GenPTE (Generic Pedagogic Templates Editor) que nous détaillons dans le chapitre neuf. GenPTE permet d'unifier et de faciliter l'utilisation des Templates UML par les concepteurs pédagogiques à travers des interfaces ergonomiques et faciles à manipuler. Outre le fait d'être adapté à des concepteurs pédagogiques, nous proposons de structurer les templates dans un dépôt qui permet de les indexer et faciliter leur réutilisation. Nous proposons aussi une solution pour la réutilisation des contextualisations de templates afin d'éviter de refaire les contextualisations des mêmes templates dans les mêmes contextes pédagogiques ou dans des contextes similaires. Ainsi, il est possible de réutiliser un template et de le contextualiser ou bien de réutiliser directement une contextualisation d'un template ou une partie d'une contextualisation.

VI.5 Dépôt de templates pédagogiques

Afin de mettre en place une solution permettant la réutilisation, il convient de mettre à la disposition des concepteurs pédagogiques un dépôt mettant en commun différents templates et permettant de sélectionner ceux qu'il veut utiliser. Pour permettre la recherche, chaque template doit avoir une description de son contenu et du contexte dans lequel il a été créé.

La structure proposée du dépôt est présentée dans la Figure 55. Chaque template est stocké avec sa description. Pour chaque template, les contextualisations déjà effectuées qui englobent les modèles contextualisés ainsi que la liste de substitutions ainsi que les descriptions de ces contextualisations sont stockées dans le dépôt.

⁷² <http://www.papyrusuml.org>

⁷³ <http://www.eclipse.org/modeling/mdt/?project=uml2>

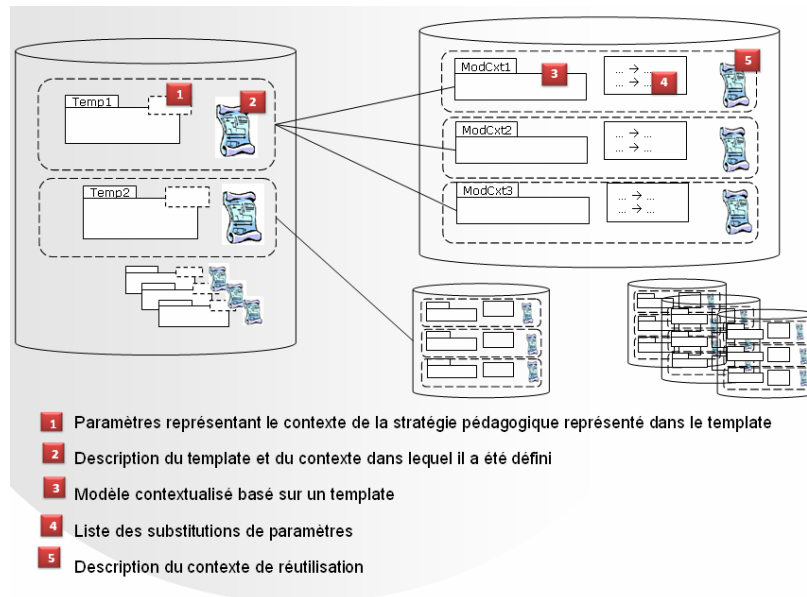


Figure 55 : Dépôt de templates

Nous stockons les descriptions des templates, les descriptions des modèles contextualisés ainsi que les descriptions des paramètres d'un template dans l'élément commentaire d'UML qui peut être rattaché à tout élément UML comme le montre la Figure 56.

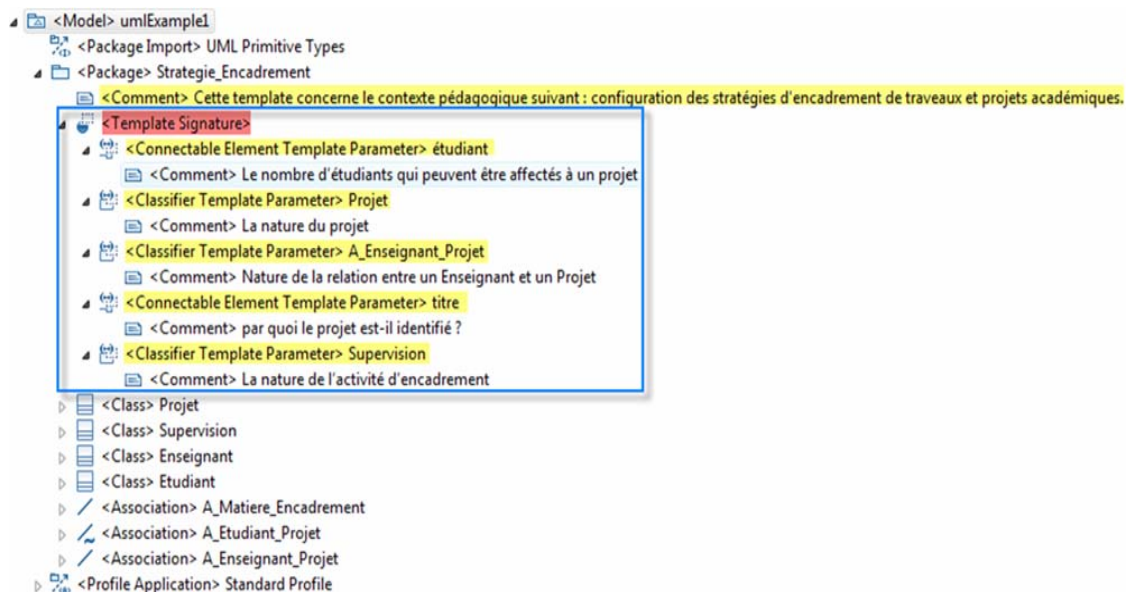


Figure 56 : Insertion des commentaires dans un template

VI.6 Assistance à la création et à la contextualisation de templates UML

Comme expliqué dans la section VI.4, la difficulté d'utilisation des outils UML pour la manipulation des templates nous amène à penser à assister les concepteurs en cachant toute difficulté technique. Cependant, le problème de la faisabilité technique d'une telle assistance se pose surtout qu'il est primordial de se conformer au standard UML de façon qu'il soit possible d'importer des modèles créés avec des outils UML existants et d'éditer les modèles produits dans ces outils. Nous avons prouvé la faisabilité technique à travers la réalisation du

prototype Gen-PTE qui sera présenté dans le chapitre IX et les difficultés liées à la conformité au standard UML ont été surmontées.

L'assistance technique proposée concerne :

- La création d'un template à partir d'un diagramme de classe en spécifiant les paramètres d'une manière simple et graphique, en ajoutant les descriptions du template et de chaque paramètre ;
- Le parcours des différents templates d'un dépôt à la recherche d'un template qui répond aux besoins. Pour chaque template, il est possible de trouver des modèles contextualisés avec leurs descriptions ;
- La réutilisation d'un modèle contextualisé peut être partielle dans le sens où seulement quelques substitutions peuvent être retenues alors que les autres peuvent être modifiées ;
- Lors de la contextualisation d'un template, la notion de paramètre n'est pas visible à l'utilisateur. Seulement la signification de chaque paramètre est présentée à celui-ci par exemple pour le paramètre étudiant dans l'exemple de la Figure 52, il est demandé à l'utilisateur de préciser le nombre d'étudiants qui peuvent être affectés à un projet. Ainsi la contextualisation se résume à la réponse à une série de questions ce qui revient, en réalité, à préciser les valeurs effectives aux paramètres du template.

VI.7 Conclusion

Nous avons montré qu'en modélisation pédagogique, les templates UML constituent une technique qui permet d'exprimer des modèles à la fois réutilisables et malléables de scénarios pédagogiques et qui offre les moyens de les contextualiser en se basant sur la relation « bind ». Afin de favoriser la réutilisation, un dépôt de templates doit être conçu et maintenu. Il permet de retrouver plus facilement des templates ou même des modèles contextualisés de templates. La formalisation de modèles de scénarios pédagogiques à l'aide des templates UML se base sur une modélisation UML des intentions pédagogiques à l'aide des diagrammes de classes paramétrés. Cette modélisation avec UML offre des avantages relatifs à la facilité de la modélisation UML par rapport à une modélisation se basant sur un méta-modèle spécifique. D'une part, le méta-modèle UML permet de modéliser un large spectre d'intentions pédagogiques en se basant sur un nombre réduit de concepts (classe, association, attribut). D'autre part, les templates ainsi que les modèles produits sur la base des templates relèvent du niveau 1 d'abstraction dans l'architecture à 4 niveaux ce qui rend la modélisation plus intuitive aux concepteurs.

Les outils UML actuels sont destinés aux experts dans la manipulation de templates ce qui n'est pas le cas des concepteurs pédagogiques. De plus, ces outils ne prennent en considération aucune stratégie de création et de gestion de dépôt de templates. Nous avons expliqué dans ce chapitre que l'implémentation d'un outil adapté à des concepteurs pédagogiques qui effectue en arrière-plan les tâches techniques relatives à la manipulation des templates et qui supporte la création et la gestion de dépôts de templates permet l'assistance de ces concepteurs.

Selon le processus proposé basé sur le MDA pour la contextualisation, l'étape qui suit la modélisation pédagogique est la transformation par rapport à la plateforme en tenant en considération les règles et pratiques contextuelles de son usage. Cette étape que nous appelons « transformation contextualisée » sera traitée dans le prochain chapitre.

Chapitre VII : Transformation contextualisée et assistée de modèles de scénarios pédagogiques

VII.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons détailler notre proposition pour la transformation contextualisée. Nous rappelons qu'elle consiste à transformer un modèle d'un scénario contextualisé qui respecte le contexte organisationnel en un modèle concret spécifique à une plateforme de formation à distance tout en respectant les pratiques contextuelles d'usage de la plateforme. C'est pour cette raison que nous qualifions cette transformation de « contextualisée ».

VII.2 Description du processus de transformation proposé

Les concepts pédagogiques utilisés par les modèles de scénarios pédagogiques restent des concepts abstraits représentant les intentions du concepteur jusqu'à ce qu'ils soient contextualisés par les concepts de la plateforme.

Dans nos investigations au sujet de la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en modèles spécifiques à des plateformes de formation à distance, nous avons focalisé sur une solution qui traite les lacunes recensées des travaux de la littérature et qui ont été présentées dans la section III.8. La solution proposée repose sur le contournement de la relation « bind » d'UML afin de mener des transformations. A notre connaissance, nous sommes les premiers à explorer cette nouvelle approche pour la transformation par rapport aux plateformes. Pour cela, nous allons tout d'abord expliquer le processus de transformation proposé en nous basant sur les spécifications UML. Nous allons ensuite nous intéresser à l'assistance que nous offrons aux concepteurs pour mener à bien le processus de transformation proposé.

La relation « bind » s'applique uniquement aux templates. Pour cela, la première étape du processus, marquée par la flèche nommée « Transformer » dans la Figure 58, consiste à transformer le modèle du scénario pédagogique contextualisé en un paquetage template. Etant donné que la transformation vers une plateforme de formation concerne chaque élément dans le modèle, chaque élément (classe, attribut ou association) est déclaré comme un paramètre dans la signature du paquetage template. Le processus de transformation vers une plateforme marquée par la flèche nommée « bind » dans la Figure 58 est mis en œuvre en prenant des décisions de substitution de ces paramètres par les éléments du méta-modèle de la plateforme. Chaque substitution correspond à une règle de transformation dont la source est un concept pédagogique et la cible est un concept de la plateforme. Ces règles ne sont autres que les substitutions contenues dans la relation « bind » qui lie le paquetage template au modèle concret d'un dispositif pédagogique. UML permet de faire des substitutions de paramètres en prenant les valeurs effectives à partir des éléments d'un autre paquetage.

Afin de pouvoir réaliser un « bind » dont les valeurs effectives sont prises à partir du modèle de la plateforme, il faut créer un modèle global qui intègre initialement : le paquetage template et le paquetage de la plateforme. Le résultat du binding (le « bound element ») doit être aussi placé dans le même modèle global comme illustré par la Figure 57. Une relation « bind » doit être créée et dirigée du paquetage contenant le résultat du binding vers le paquetage template. Le fait de placer le paquetage de la plateforme dans le même modèle

avec le template va permettre de choisir, lors des substitutions, des paramètres effectifs provenant de ce paquetage.

La Figure 57 présente un exemple complet d'un modèle global (vue textuelle et vue graphique) permettant la réalisation d'un binding contrôlé par le vocabulaire de la plateforme. Cet exemple a été réalisé avec l'outil Papyrus⁷⁴. Le template choisi est simple : il comporte une seule classe « DiscussionSynchrone » qui sera contextualisée par la classe « Chat » de la plateforme de formation. Lors de la création du « TemplateParameterSubstitution », les classes du paquetage « PlateformeDeFormation » sont présentées comme des paramètres effectifs (« actual ») candidats pour la substitution grâce à l'existence du paquetage dans le modèle global.

Nous notons que le paquetage « résultatBinding » est un paquetage vide qui sera rempli automatiquement à la validation finale tel que proposé dans la section VII.3.4.

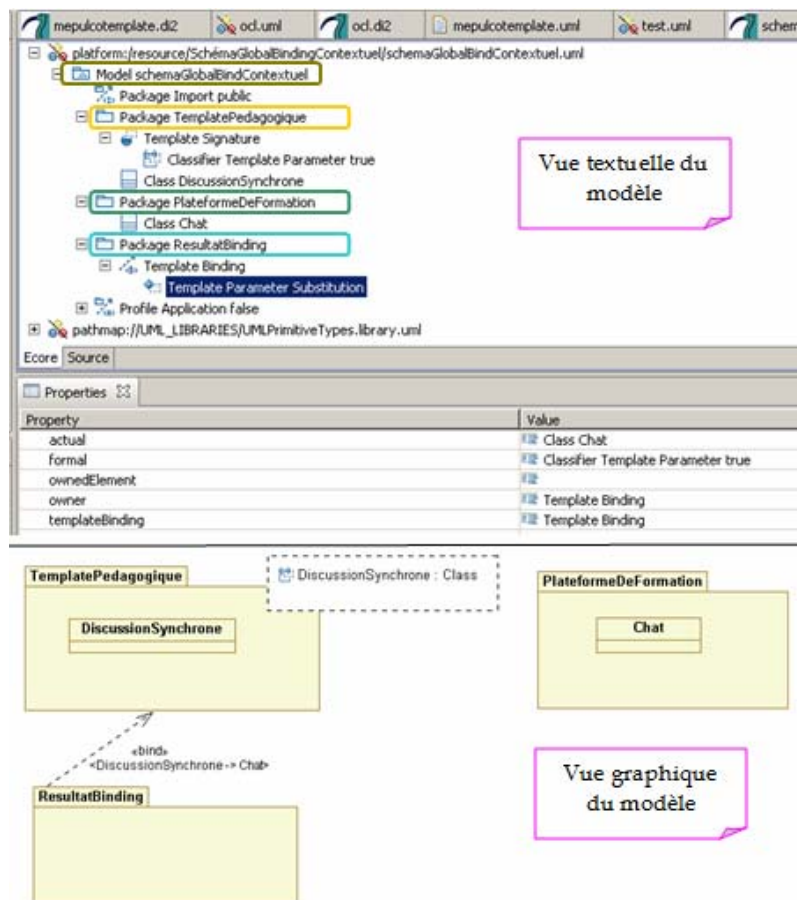


Figure 57 : Structure d'un modèle UML réalisant une transformation

Le binding d'UML en tant que technique de transformation d'un PIM en un PSM se distingue des techniques spécifiques à la transformation de modèles (tel que l'usage d'ATL) par le fait qu'il évite de pré-coder des règles de transformation. Le mécanisme de binding supporte la définition de règles de transformation tout en étant plus simple à mettre en œuvre dans le sens où il est possible de spécifier et modifier à la volée les substitutions de la relation binding.

⁷⁴ <http://www.papyrusuml.org>

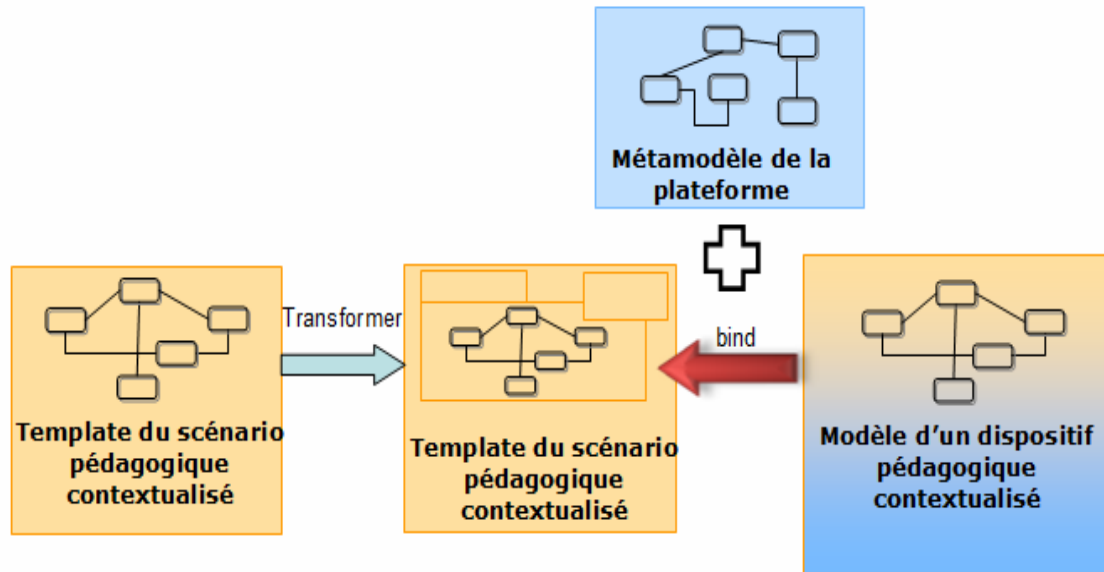


Figure 58 : Transformation de modèles basée sur la relation « bind » d'UML

A travers l'exemple de la Figure 60, nous illustrons la solution proposée pour la transformation vers la plateforme. Notre objectif est de transformer le modèle du scénario pédagogique « Temp_Projet » de la partie (a) vers la plateforme Moodle dont le méta-modèle est détaillé dans la Figure 59. Pour une raison de clarté, nous présentons seulement la partie du méta-modèle de Moodle que nous allons utiliser dans la partie (b) de la Figure 60 (paquetage « PartieModèleMoodle »). La première étape illustrée dans la partie (a) consiste à transformer le modèle du scénario pédagogique en un template dont la signature déclare chaque élément du modèle comme un paramètre. La substitution de ces paramètres en se basant sur le modèle de la plateforme à travers la relation bind dont le contenu est présenté dans la partie (b) donne lieu à au modèle concret (paquetage « Projet_Moodle »). Au final, ce modèle sera conforme au méta-modèle de la plateforme et représentera une partie de son méta-modèle. L'étape de la génération de code consistera à déployer les objets correspondants aux éléments de ce modèle sur la plateforme grâce à Gendep qui a été présenté dans la section III.5 du chapitre III.

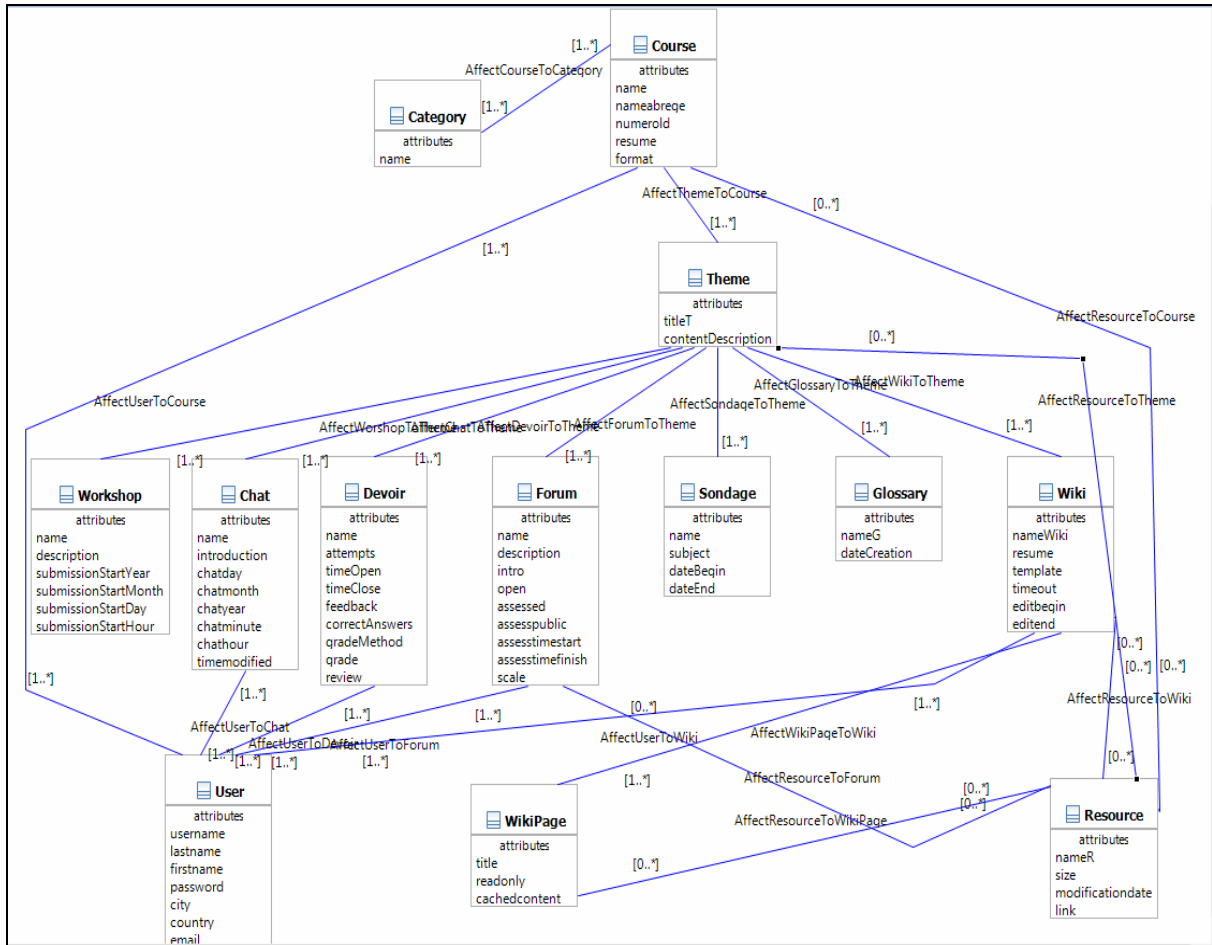


Figure 59 : Méta-modèle de Moodle

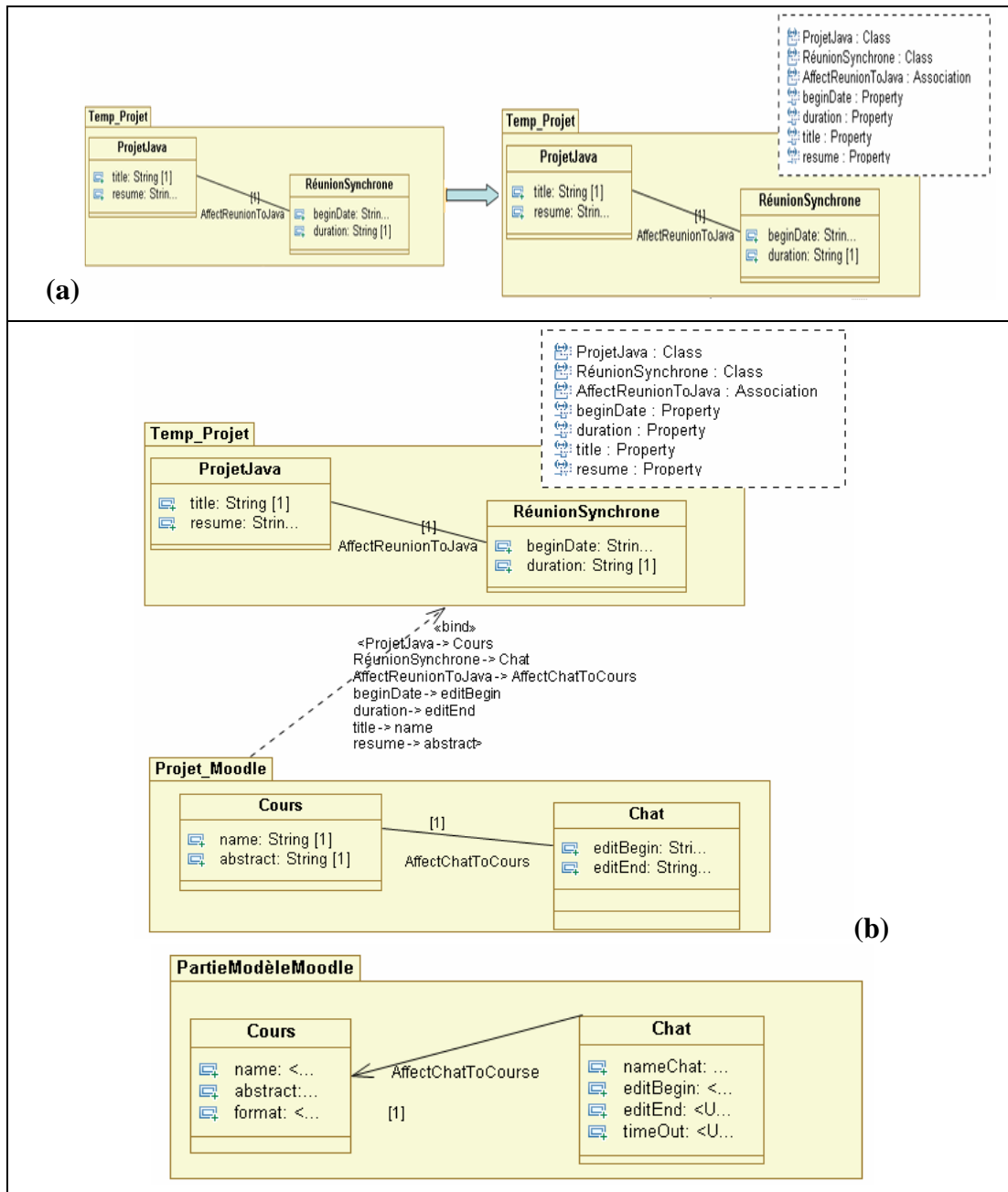


Figure 60 : Exemple de transformation basée sur les templates

Les verrous à surmonter afin de pouvoir réaliser le processus de transformation proposé sont au nombre de deux. Le premier verrou est posé par les outils⁷⁵ actuels de modélisation UML qui ne sont pas adaptés à des concepteurs pédagogiques et qui n'implémentent qu'une partie des spécifications UML. Le deuxième verrou est relatif à certaines lacunes liées au méta-modèle d'UML. Nous allons les discuter en détail successivement dans ce qui suit.

⁷⁵ Durant nos travaux, les templates UML ont été testés dans différents outils essentiellement l'éditeur arborescent fournit avec UML pour Eclipse et Papyrus. Ces outils représentent assez bien la diversité des outils UML libres pouvant être utilisés : un éditeur arborescent (Eclipse) et un éditeur graphique (Papyrus).

VII.3 Adéquation des spécifications UML par rapport au processus proposé

Comme expliqué dans le chapitre précédent, la mise en œuvre du processus de transformation proposé est possible en utilisant des outils de modélisation UML supportant les templates. Toutefois, l'usage de ces outils n'est pas adapté aux novices parce qu'il nécessite une expertise technique du méta-modèle d'UML en ce qui concerne les templates.

Afin de les assister, nous implémentons notre proposition dans un outil qui leur sont adaptés et qui sera détaillé dans le chapitre neuf. Cet outil doit implémenter correctement les mécanismes UML qui réalisent notre proposition et doit aussi combler certaines lacunes d'UML que nous allons discuter dans ce qui suit. En effet, le problème majeur des spécifications des templates UML [OMG 2007, OMG 2009] est qu'ils sont pour la plupart écrit en langage naturel. Ce manque de formalisme se reflète par la différence des interprétations des templates UML et par quelques ambiguïtés.

VII.3.1 Ordre de binding des paramètres

Dans les spécifications UML [OMG 2009], aucune contrainte n'est définie pour imposer l'ordre du binding des paramètres. Par exemple, si une classe et ses attributs sont des paramètres d'un template, il est possible de définir des valeurs effectives aux attributs avant de le faire pour la classe. Nous proposons, un enchaînement des activités de binding afin de faire correctement des transformations. La Figure 61 présente un diagramme d'activité de l'enchaînement basique de ces activités. Le concepteur doit commencer par choisir les classes avant les attributs et les associations. Une fois une classe formelle transformée en une classe effective, la mise en correspondance des attributs des deux classes devient possible. Le concepteur ne peut procéder à la mise en correspondance des associations que s'il a traité au moins une classe.

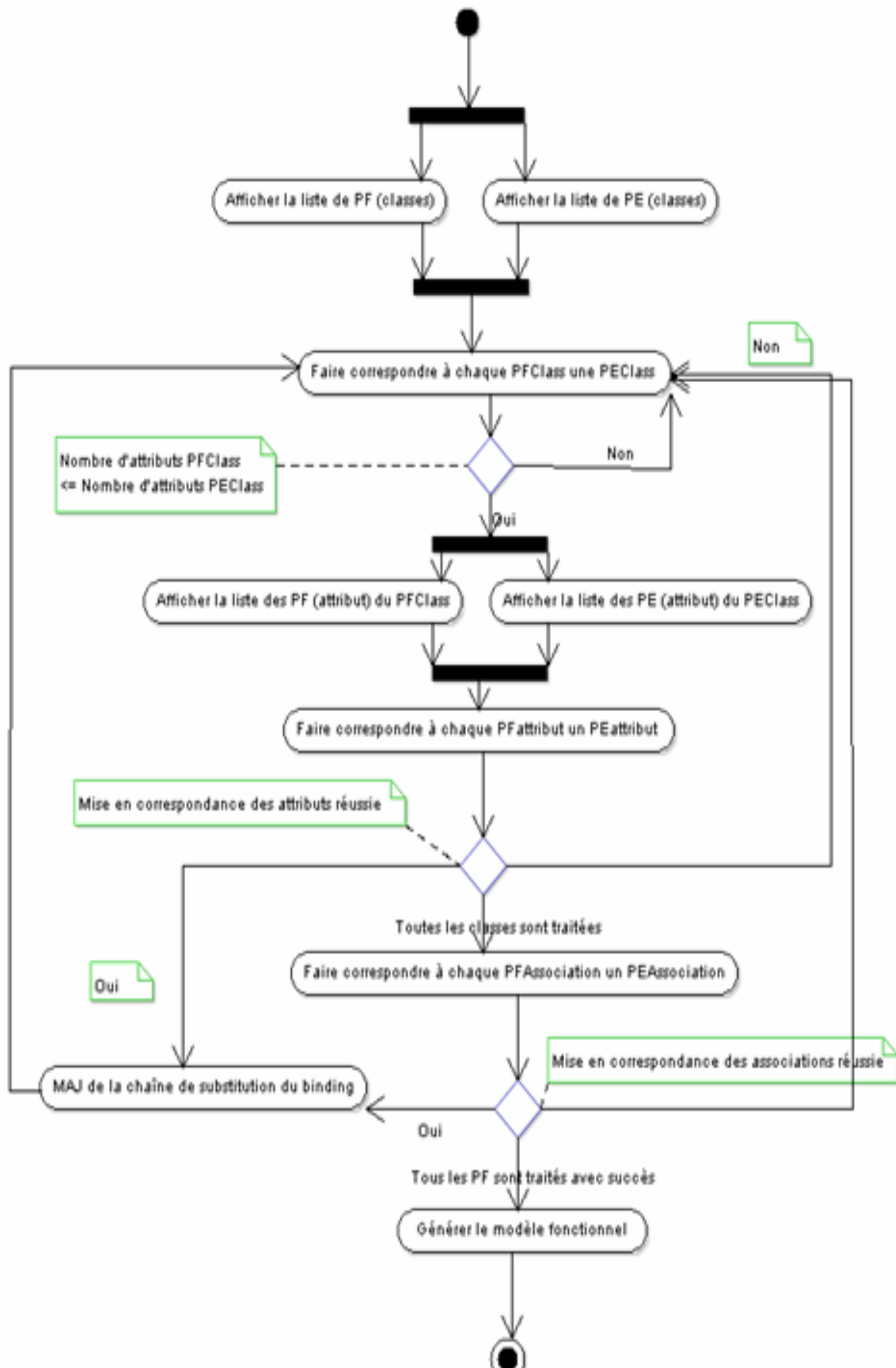


Figure 61 : Diagramme d'activité de la transformation

VII.3.2 Cohérence du binding

Pour assurer la cohérence du modèle concret résultat et donc la validité du « bind », le standard UML définit des restrictions dans sa documentation officielle [OMG 2009] comme suit :

1. C1 : Un binding contient au plus une substitution pour chaque paramètre formel du template.
2. C2 : Le nombre d'attributs déclarés comme des paramètres d'un template dans la signature d'une classe formelle doit être le même que dans la classe effective.
3. C3 : Chaque paramètre effectif doit être compatible avec le paramètre formel correspondant.
4. C4 : Le binding d'une propriété paramètre d'un template représentant un attribut doit être un attribut.
5. C5 : Les éléments utilisés comme paramètres effectifs d'une substitution doivent appartenir au boundElement.
6. C6 : Pour tout élément du template, il doit exister un élément correspondant dans le boundElement.

Toutefois, la plupart de ces restrictions sont proposées en langage naturel ce qui les rend sujette à différentes interprétations. Dans ce contexte, Caron [Caron et al. 2004] s'est intéressé à formaliser la sémantique du « TemplateBinding » à l'aide de contraintes OCL afin de pouvoir vérifier automatiquement la validité d'un binding. Une autre solution a été implémentée par les modeleurs UML consistant à appliquer des restrictions à la modélisation pour imposer le respect de ces restrictions. Dans Papyrus et Eclipse par exemple, C3 est implémentée de façon que lors du choix d'un paramètre effectif pour un paramètre formel de type propriété, une liste de choix contenant uniquement les valeurs effectives permises et compatibles est proposée à l'utilisateur. Ainsi, il ne sera pas possible de lier une classe comme paramètre effectif à un paramètre formel de type attribut.

Afin d'assurer la satisfaction de ces contraintes relatives au binding, nous nous sommes inspirés de la deuxième solution afin d'implémenter les restrictions dans le contexte du processus de transformation proposé. Nous présentons la solution proposée pour implémenter chaque restriction dans le Tableau 10. La solution basée sur OCL n'est pas adéquate dans notre cas parce que notre objectif n'est pas de vérifier la cohérence d'un binding fait par les concepteurs mais de les assister à mettre en œuvre un binding cohérent.

Restriction	Implémentation
C1 : Un binding contient au plus une substitution pour chaque paramètre formel du template.	La substitution d'un élément pédagogique est ajoutée une seule fois au « bind ». Toutefois, la modification de la valeur effective est possible.
C2 : Le nombre d'attributs déclarés comme des paramètres d'un template dans la signature d'une classe formelle doit être le même que dans la classe effective.	Une fois un élément de type classe de la plateforme substitue un élément pédagogique de type classe, le concepteur devra ensuite substituer les attributs correspondants. Si le nombre d'attributs de l'élément de la plateforme est inférieur au nombre d'attributs de l'élément pédagogique alors le concepteur est prévenu qu'il n'est pas possible d'accepter la substitution des deux classes et qu'il doit faire un autre choix. Dans le cas contraire, il procède à la substitution des attributs. Les deux listes des attributs formels et effectifs sont affichées.
C3 : Chaque paramètre effectif doit être compatible avec le paramètre formel correspondant.	<p>Le concepteur aura à chaque fois deux listes, l'une correspond aux éléments pédagogiques (formelles) et l'autre correspond aux éléments techniques (effectives), à partir des quelles il choisira ses substitutions. Ces deux listes seront construites de façon que leurs contenus soient compatibles par exemple si la liste formelle correspond à des attributs, la liste effective contiendra aussi des attributs.</p> <p>Pour le cas des attributs, une vérification doit être implémentée afin de s'assurer que le type de l'attribut effectif soit compatible avec le type de l'attribut formel.</p> <p>Pour le cas des associations qui est beaucoup plus compliqué, il sera étalé à part dans la section VII.3.3.</p>
C4 : Le binding d'une propriété paramètre d'un template représentant un attribut doit être un attribut.	Cf. explication de l'implémentation de C3.
C5 : Les éléments utilisés comme paramètres effectifs d'une substitution doivent appartenir au boundElement.	Ces deux restrictions se rapportent à la construction du « bound element ». Aucune description de la méthode de construction du « bound element » n'est donnée par les spécifications UML. C'est seulement son contenu qui est décrit. Nous revenons plus en détail sur notre proposition dans la section VII.3.4.
C6 : Pour tout élément du template, il doit exister un élément correspondant dans le boundElement.	

Tableau 10 : Implémentation proposée de chaque restriction des spécifications UML

VII.3.3 Binding des associations

La substitution des associations est une tâche compliquée pour le concepteur parce qu'elle nécessite une connaissance approfondie du modèle de la plateforme. Pour cela, nous proposons de l'automatiser. Puisque nous connaissons le modèle de la plateforme ainsi que les choix validés de substitution des classes formelles par des classes effectives, il est donc possible de déterminer les associations effectives pour les associations formelles. Le rôle du concepteur serait de valider les propositions ou de résoudre des incohérences. L'algorithme proposé pour la détection des associations effectives est présenté dans la Figure 65. Le principe général de l'algorithme consiste à déterminer, s'il existe, l'association effective dans le modèle de la plateforme qui lie deux classes effectives correspondantes aux classes formelles participant à l'association formelle.

Le problème que nous avons rencontré en ce qui concerne la transformation des associations concerne l'adéquation des multiplicités des associations formelles et effectives. Ce problème est lié à la spécification UML elle-même. En effet, les spécifications UML ne précisent pas de restrictions sur le binding d'une association notamment en ce qui concerne la multiplicité des deux classes participantes à l'association. Aucun contrôle n'est offert pour la vérification de la validité des multiplicités ni lors du binding d'une association, ni lors du binding d'une propriété correspondante à un rôle dans une association. Cette flexibilité peut être bénéfique dans certains domaines d'application. Toutefois, elle pose un problème dans notre cas c'est-à-dire quand on désire faire une transformation de modèle qui est régie par un autre modèle (la plateforme).

La Figure 62 illustre ce problème à travers un exemple d'un binding d'associations qui est considéré comme valide par Papyrus et par Eclipse. Bien qu'il existe une différence de multiplicité entre l'association effective « A_ClassE2_ClassE1 » et l'association formelle « A_ClassF2_ClassF1 », la substitution est validée.

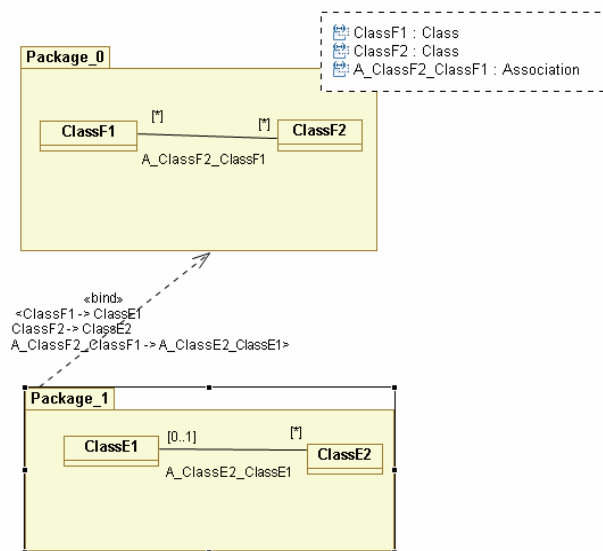


Figure 62 : Exemple de binding d'une association

Etant donné qu'UML ne permet pas d'exposer la multiplicité d'une classe d'une association comme un paramètre, nous avons pensé à exposer la propriété correspondante à un rôle dans une association (et donc sa multiplicité) comme paramètre tel que le montre la Figure 63. Dans l'exemple de la Figure 63, la propriété « classF1Role » est exposée comme paramètre formel. Sa substitution avec la valeur effective « classE1Role » a été acceptée bien que les deux propriétés n'aient pas la même multiplicité. Ainsi, même en définissant la propriété d'une association comme paramètre, aucun contrôle sur la multiplicité n'est assuré.

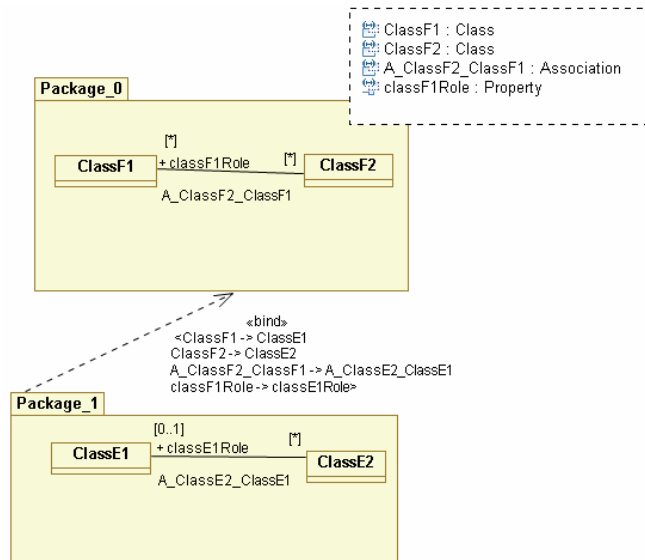


Figure 63 : Exemple de binding d'une propriété d'une association

Dans la Figure 64, nous présentons un exemple qui illustre nos besoins. Le « Temp_Pedagogique » décrit qu'à un cours Java, on peut associer une ou plusieurs évaluations et qu'à une évaluation, on peut associer seulement un cours. Quand on procède à transformer ce modèle vers la plateforme décrite dans le paquetage « Plateforme », le concepteur aura deux choix pour la transformation de « Evaluation ». Il peut la concrétiser soit avec « Devoir » soit avec « Quiz ». Si « Devoir » est choisit, il ne sera pas possible d'associer plusieurs devoirs à un cours sur la plateforme alors que dans le modèle du scénario pédagogique, plusieurs évaluations doivent être associées à un cours Java. Il est possible, en revanche, de substituer « AEvaluationToCJava » par « A_Quiz_Cours » parce que la plateforme supporte l'association de zéro ou plusieurs Quiz à un cours. Ainsi, même si les spécifications UML permettent de substituer « AEvaluationToCJava » par « A_Devoir_Cours », cette substitution ne sera pas correcte.

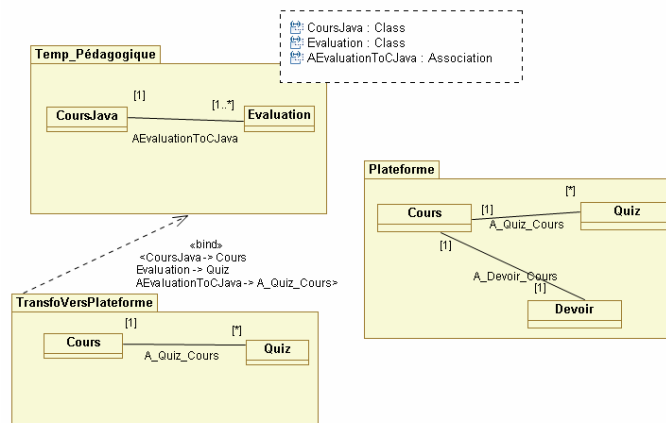


Figure 64 : Exemple expliquant le problème de la multiplicité pour la transformation vers la plateforme

Afin de pallier à cette insuffisance, nous proposons d'ajouter une restriction en ce qui concerne les multiplicités d'une association dans le sens où le binding d'une association n'est possible que si les multiplicités effectives relatives à la plateforme peuvent inclure les multiplicités formelles relatives à la pédagogie comme montré dans la partie qui traite les multiplicités dans l'algorithme de la Figure 65. Les multiplicités de l'association effective seront égales aux multiplicités de l'association formelle. L'ajout de cette restriction n'a

aucune influence sur la conformité au standard UML mais permet de personnaliser le binding des associations à notre domaine d'application.

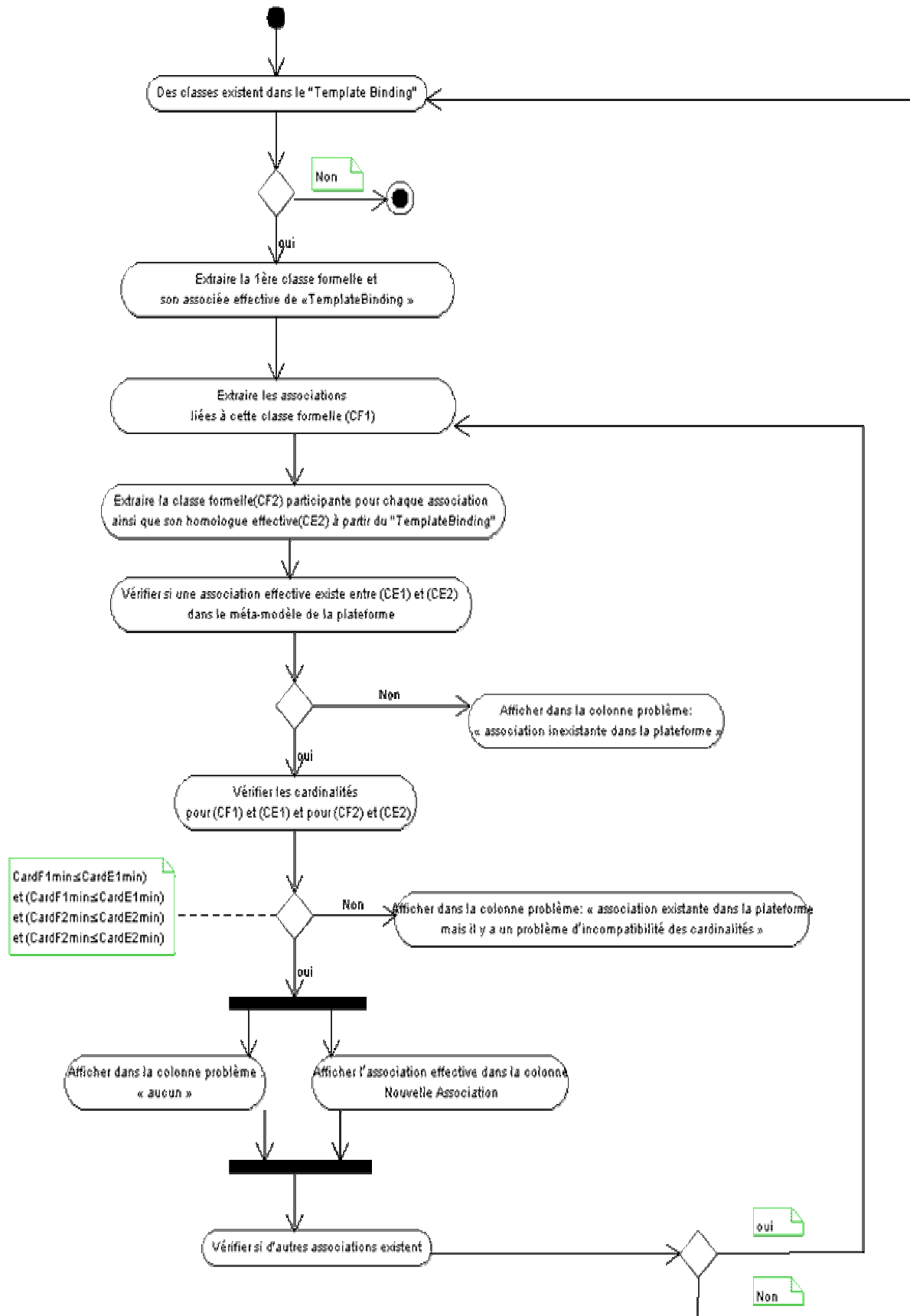


Figure 65 : Algorithme de déduction des associations

Nous traitons dans la section suivante notre proposition en matière de génération du modèle dépendant de la plateforme.

VII.3.4 Génération automatique du « bound element »

UML ne permet pas de générer automatiquement le « bound element » suite à un binding d'un template. Selon les spécifications UML, le « bound element » est défini par le template vers lequel est dirigée la relation « bind » et par la chaîne de substitutions contenue dans cette relation. Dans notre cas, il est indispensable de pouvoir générer le modèle concret dépendant de la plateforme de formation pour pouvoir mener l'étape de déploiement sur celle-ci. Nous proposons de générer automatiquement ce modèle.

La génération prend comme entrée la chaîne de substitutions de la relation « bind » et le template. Elle consiste à créer une copie du template en ignorant sa signature et à le parcourir tout en remplaçant chaque élément par son effectif déterminé à partir de la chaîne de substitutions. Ainsi, le modèle résultant est un diagramme de classe UML dont la structure respecte le template pédagogique et qui est conforme au méta-modèle de la plateforme de formation à distance cible.

VII.4 Assistance proposée à la transformation contextualisée

Les besoins d'assistance dans notre proposition découlent, d'une part, du profil des concepteurs pédagogiques qui sont novices en modélisation UML (Assistance technique à la transformation), et d'autre part, des pratiques d'usage d'une plateforme qui guident et contrôlent la transformation (Assistance à une transformation contextualisée). Les pratiques d'usage d'une plateforme interviennent lors de la prise des décisions de transformation du PIM en PSM. Une transformation est dite contextualisée si elle respecte ces pratiques.

VII.4.1 Architecture fonctionnelle du système d'assistance proposé

Nous proposons le système d'assistance présenté dans la Figure 67. Il se greffe au système qui gère la transformation afin d'assister les concepteurs à choisir les outils de la plateforme qui respectent les pratiques contextuelles d'utilisation de ces outils.

L'architecture du système d'assistance proposé se base sur le modèle générique d'assistance de [Dufresne et al. 2003]. La Figure 66 montre les principaux composants du modèle générique d'assistance. « *Le système hôte assisté représente le résultat de l'intégration d'un système d'assistance dans un système hôte. Le système hôte est un environnement proposant à un usager ou à un groupe d'usagers un ensemble de procédures et de ressources visant à leur permettre de réaliser une tâche relativement complexe. Le système d'assistance se greffe à un système hôte afin de procurer à l'utilisateur l'assistance dans la réalisation de sa tâche* ». [Dufresne et al. 2003]

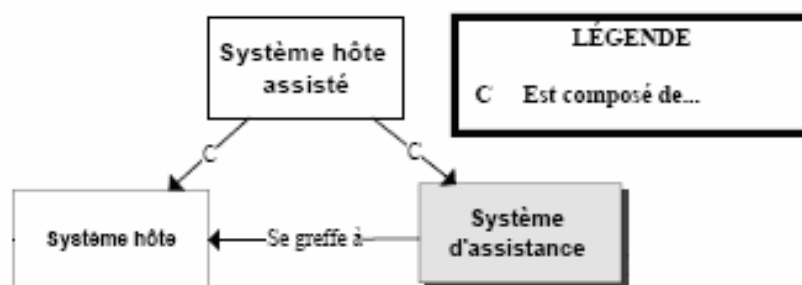


Figure 66 : Modèle générique d'un système d'assistance (adapté de [Dufresne et al. 2003])

Dans le système assisté que nous baptisons Gen-COM et qui est présenté dans la Figure 67, un système d'assistance à la transformation contextualisée est intégré au système hôte qui gère les transformations de modèles de scénarios pédagogiques en modèles dépendants des plateformes de formation à distance cibles. Le rôle de ce système d'assistance est d'aider le concepteur pédagogique à mener à bien la transformation et à respecter les aspects contextuels d'usage de la plateforme de formation cible.

Aborder l'assistance des concepteurs pédagogiques nécessite de se poser la question suivante : Quel est le degré d'intervention du système d'assistance à mettre en œuvre ?

Selon [Dufresne et al. 2003], « *il est important de laisser aux utilisateurs le plus de contrôle possible sur leur activité, tout en fournissant au système des moyens de suivre, de guider, de soutenir ou d'intervenir selon le besoin de l'utilisateur.* ».

Notre système d'assistance se fonde sur le principe d'assister les concepteurs sans contraindre ni imposer des choix. Il offre également au concepteur la possibilité d'exprimer ses préférences d'assistance.

Sur cette base, le système d'assistance propose principalement trois fonctions d'assistance telle qu'illustré par la Figure 67. La première fonction vise à guider les concepteurs dans la mise en œuvre du processus de transformation décrit dans les sections précédentes. La deuxième fonction vise à aider les concepteurs à faire des choix contextualisés via des règles d'assistance gérées par le gestionnaire de règles d'assistance comme le montre la Figure 67. Aucune initiative n'est prise par le système pour imposer des choix au concepteur. Toutefois, nous avons prévu une deuxième fonction du système d'assistance qui est celle de fournir au concepteur un bilan de contextualisation de ses choix par rapport aux aspects contextuels à travers le composant validateur contextuel comme le montre la Figure 67.

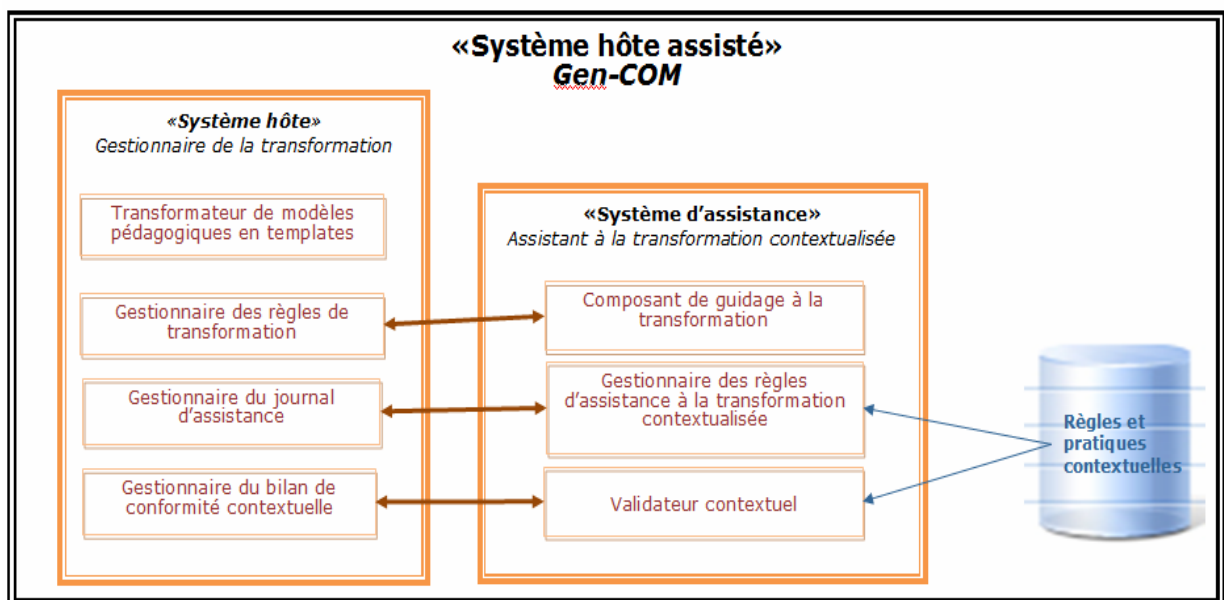


Figure 67 : Architecture fonctionnelle du système de transformation contextualisée proposé
Nous décrivons dans ce qui suit les composants du système d'assistance.

VII.4.2 Assistance à la transformation

Afin d'aider les concepteurs à mettre en œuvre notre proposition décrite dans la section VII.2, le composant de guidage à la transformation est prévu parmi les composants du

système d'assistance comme le montre la Figure 67. Les types d'assistance proposés concernent :

- L'orientation des concepteurs dans l'enchaînement des étapes de la transformation selon la méthode expliquée dans la section VII.3.1
- La détection automatique des associations effectives selon la méthode expliquée dans la section VII.3.3
- La génération automatique du modèle final selon la méthode expliquée dans la section VII.3.4
- La vérification de la cohérence des décisions de transformation par rapport aux contraintes imposées par UML pour la validité du « bind » selon la méthode expliquée dans la section VII.3.2
- La distinction visuelle des éléments déjà transformés
- La facilité de mise à jour des choix
- Le résumé des choix validés
- La visualisation du template et de la plateforme

VII.4.3 Assistance à la transformation contextualisée

VII.4.3.1 Gestion des règles d'assistance

Le rôle du composant « gestionnaire des règles d'assistance à la transformation contextualisée » présenté sur la Figure 67 consiste à gérer les règles d'assistance à la transformation. Ainsi, chaque aspect contextuel doit se traduire en une règle d'assistance.

Une règle d'assistance est composée par une ou plusieurs conditions de déclenchement et par une action d'assistance. Pour le moment, l'action d'assistance supportée par le système est l'affichage de messages d'assistance dans le journal d'assistance qui fait partie du système assisté. Ainsi, la modélisation d'un aspect contextuel nécessite la modélisation de la règle d'assistance correspondante. Nous traitons cela en détail dans le chapitre suivant.

VII.4.3.2 Validation contextuelle

L'objectif de la validation contextuelle est de fournir au concepteur un bilan de contextualisation qui étale la conformité de ses décisions de transformation par rapport aux aspects contextuels. Ainsi, chaque aspect contextuel doit se traduire par une contrainte contextuelle. Nous proposons d'exprimer, de manière formelle, ces contraintes afin de les conserver de manière non ambiguë et structurée et afin de pouvoir vérifier automatiquement si elles sont respectées.

Deux exemples de contraintes peuvent être : « interdire l'utilisation des chats » et « Restreindre le nombre de forums à trois au maximum ». Connaissant le modèle concret d'un dispositif, il est possible de vérifier la première contrainte en vérifiant si le modèle comporte l'outil chat. Pour la deuxième contrainte, la connaissance du modèle concret n'est pas suffisante, il faut connaître le modèle d'objets du dispositif afin de pouvoir déterminer le nombre d'instances de forums.

La vérification d'une contrainte n'est possible que si les modèles nécessaires sont disponibles. Pour cela, nous distinguons deux types de contraintes à savoir les contraintes propriétés de modèles et les contraintes propriétés d'instances comme le montre le Tableau 11. Ainsi, la validation contextuelle ne peut pas se faire dans une seule étape mais elle est répartie. Les contraintes du premier type se vérifient sur le modèle concret du dispositif et donc assurée par le validateur contextuel du système d'assistance de la Figure 67. Les

contraintes du deuxième type se vérifient sur le modèle d'objets du dispositif. Ce modèle n'est généré qu'à l'étape de déploiement. Ainsi, la vérification de ce type de contraintes ne peut pas être assurée par le validateur contextuel.

L'outil que nous utilisons pour le déploiement est l'outil GenDep qui à l'état actuel nécessite quelques améliorations pour supporter les diagrammes UML. Toutefois, cet outil ne supporte pas l'expression et la vérification de contraintes sur les objets qu'il déploie sur la plateforme. Ainsi, une solution qui étend Gendep pour assurer la vérification des contraintes sur les instances doit être apportée.

Type de la contrainte	Vérifiable sur	Vérifiable à l'étape
Propriété d'un modèle	Modèle concret du dispositif (niveau M1 de l'architecture de modélisation)	Transformation PIM-PSM
Propriété d'instances	Modèle d'objets du dispositif (niveau M0 de l'architecture de modélisation)	Déploiement sur la plateforme (PSM-Code)

Tableau 11 : Décomposition de la validation contextuelle en étapes

Nous allons présenter dans ce qui suit nos propositions pour l'expression de ces deux types de contraintes ainsi que leur validation.

VII.4.3.2.1 Validation des contraintes propriétés de modèles

La validation des contraintes se fait sur le modèle spécifique à la plateforme qui est un diagramme de classe UML. Techniquement, il s'agit d'interroger un diagramme de classes UML afin de vérifier certaines propriétés.

Le résultat de la validation est communiqué aux concepteurs à travers le bilan de contextualisation qui résume le respect du contexte par le modèle concret construit et qui fait partie du système assisté.

VII.4.3.2.2 Validation des contraintes propriétés d'instances

La validation des contraintes propriétés d'instances se fait sur un modèle d'objets UML généré à partir du modèle concret. Ce modèle représente les objets à déployer concrètement sur la plateforme. Techniquement, il s'agit d'interroger un diagramme d'objets UML afin de vérifier la satisfaction de contraintes.

La solution proposée consiste à formaliser ces contraintes à l'aide du langage de contraintes OCL présenté dans la section I.3.3. Les contraintes OCL sont définies au niveau d'un diagramme de classes et sont vérifiées au niveau des instances de ce diagramme. Ainsi, les contraintes propriétés d'instances sont formalisées au niveau du diagramme fonctionnel d'un dispositif et sont vérifiées au niveau du diagramme d'objets à déployer sur la plateforme comme le montre la Figure 68.

La contrainte OCL correspondante à l'exemple donné précédemment et qui concerne le nombre maximum de forums s'écrit : ***Context forum inv : Sef.allinstances -> size() ≤ 3***

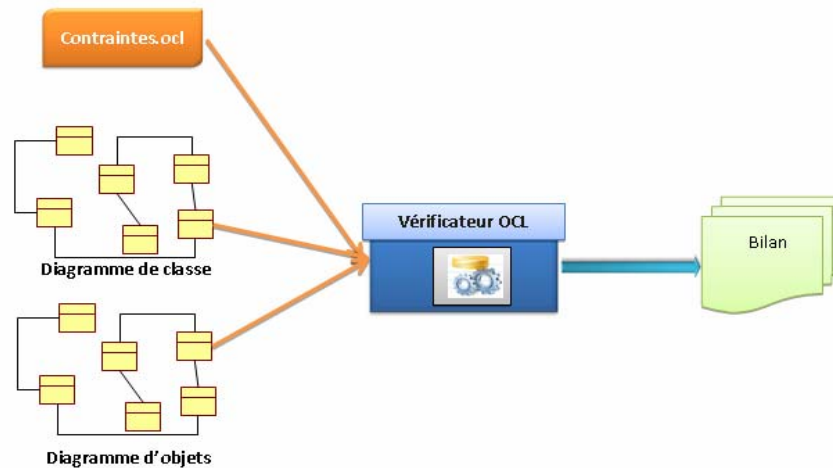


Figure 68 : Vérificateur de contraintes propriétés d'instances

Pour la validation de contraintes OCL, il n'y a aucun besoin de définir un nouveau validateur OCL. En effet, il existe dans la littérature un grand nombre de validateurs qu'il est possible d'intégrer à GenDep.

Nous allons présenter dans le chapitre suivant la solution proposée pour faciliter l'écriture des contraintes OCL correspondantes aux aspects contextuels.

VII.4.3.2.3 Paramétrage de l'assistance

Pour qu'il soit adaptatif, le système a besoin de connaître les préférences de l'utilisateur. Pour cela, nous offrons au concepteur la possibilité d'exprimer ses préférences d'assistance en ce qui concerne le moment de délivrer l'assistance (au fur et à mesure de la modélisation, à la fin de la modélisation). Si le concepteur choisit de vérifier la contextualisation au fur et à mesure de la modélisation alors le système met à jour le bilan de contextualisation au fur et à mesure de la transformation. Si le concepteur choisit de vérifier la contextualisation à la fin de la transformation alors le système génère et affiche le bilan de contextualisation quand le concepteur achève la transformation.

VII.5 Conclusion

Le mécanisme de binding proposé par UML permet de définir et appliquer des règles de transformation tout en étant plus simple à mettre en œuvre : définition à la volée de règles de transformation à travers les substitutions de la relation de binding. Nous avons montré que la relation « bind » peut être contournée afin de réaliser des transformations de modèles de scénarios pédagogiques en des modèles fonctionnels dépendants de plateformes. Il s'agit d'un binding contrôlé par le méta-modèle de la plateforme et qui apporte au concepteur des explications concernant ses outils.

Les avantages de la solution basée sur les templates sont nombreux. Par rapport aux autres approches de transformation (par programmation et par modélisation présentés dans le premier chapitre), il est possible de mettre en œuvre une spécification visuelle et déclarative des transformations de modèles UML. Ainsi, il est possible de résoudre les difficultés de la définition des règles de transformation surtout avec les outils actuels qui sont complexes. Il convient aussi de révéler la facilité de modification des règles de transformation.

Afin de réaliser cette proposition, il a fallu personnaliser des propositions d'UML et automatiser certaines tâches : proposer un ordre de binding des paramètres, assurer la

cohérence du binding lors de son élaboration, déduire automatiquement les règles de transformation pour les associations et générer automatiquement le modèle résultat.

Les concepteurs pédagogiques, public ciblé par nos travaux, sont assistés dans la mise en œuvre de notre proposition grâce à deux types d'assistance. L'assistance technique vise à permettre la manipulation de templates à travers des outils adaptés à des concepteurs pédagogiques. Le deuxième type d'assistance concerne la transformation contextualisée qui consiste à respecter les pratiques d'usage de la plateforme dans un contexte institutionnel spécifique. Dans ce cadre, nous avons proposé de modéliser ces pratiques sous la forme de contraintes OCL qui doivent être respectées par le modèle produit ainsi que par des règles d'assistance aux concepteurs qui leur sont proposées au moment adéquat lors de la transformation. Ce deuxième type d'assistance nécessite la modélisation des pratiques d'usage d'une plateforme qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre VIII : Modélisation des pratiques contextuelles d'usage des plateformes de formation

VIII.1 Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la solution proposée pour la modélisation des pratiques d'usage d'une plateforme de formation. La modélisation des pratiques d'usage d'une plateforme revient à offrir une solution au problème de leur adaptation à leurs contextes d'utilisation. Cette modélisation offre deux avantages, d'une part, elle permet de mettre en commun et réutiliser ces pratiques et d'autre part elle offre la possibilité d'automatiser le contrôle de leur respect. Notre but dans ce chapitre est d'expliquer notre travail pour l'identification et la modélisation des pratiques d'usage d'une plateforme de formation.

VIII.2 Identification des aspects d'usage d'une plateforme

Tel que nous avons expliqué dans la section V.2.3, les aspects contextuels d'usage d'une plateforme peuvent être exigés par le programme de formation et peuvent être identifiés à partir de l'analyse des traces de dispositifs préexistants.

L'analyse des traces est en lui-même un domaine de recherche vaste et prometteur. Nous avons proposé un Master de recherche afin d'explorer ce piste et fournir une solution qui permet d'aider les experts à extraire les pratiques dans une institution à partir des traces. Les pratiques extraites peuvent être par la suite modélisées telle que nous allons expliquer dans le reste de ce chapitre.

La solution proposée [Ben Sassi 2009] aide à interroger des traces afin d'identifier les bonnes pratiques d'usage d'une plateforme. Elle se base sur la structuration des traces brutes en traces modélisées suivant le standard du modèle de l'apprenant IMS LIP. Ainsi, l'interopérabilité des traces brutes en cas de changement de plateformes est garantie. La solution consiste en un langage de requêtes informel et graphique permettant à l'utilisateur d'exprimer ses requêtes sans la nécessité de connaître la structure des données interrogées. Pour raffiner les requêtes, un formulaire de recherche avancée est proposé qui permet de préciser des pré-conditions (les critères de sélection) et des post-conditions (les critères d'affichage). Par exemple, une requête simple peut être formulée pour savoir quel est l'outil le plus utilisé par les apprenants : le chat ou le forum. Le résultat d'une requête est affichée tel que présenté dans la Figure 69. Ainsi, le langage de requête proposé n'a pour rôle que d'aider à explorer les traces laissées par les utilisateurs.

D'autres fonctionnalités sont aussi supportées et qui sont relatives à l'exportation des résultats en XML ou OWL ce qui offre la possibilité de réutiliser les résultats obtenus pour alimenter un autre système externe ou inférer de nouvelles connaissances.

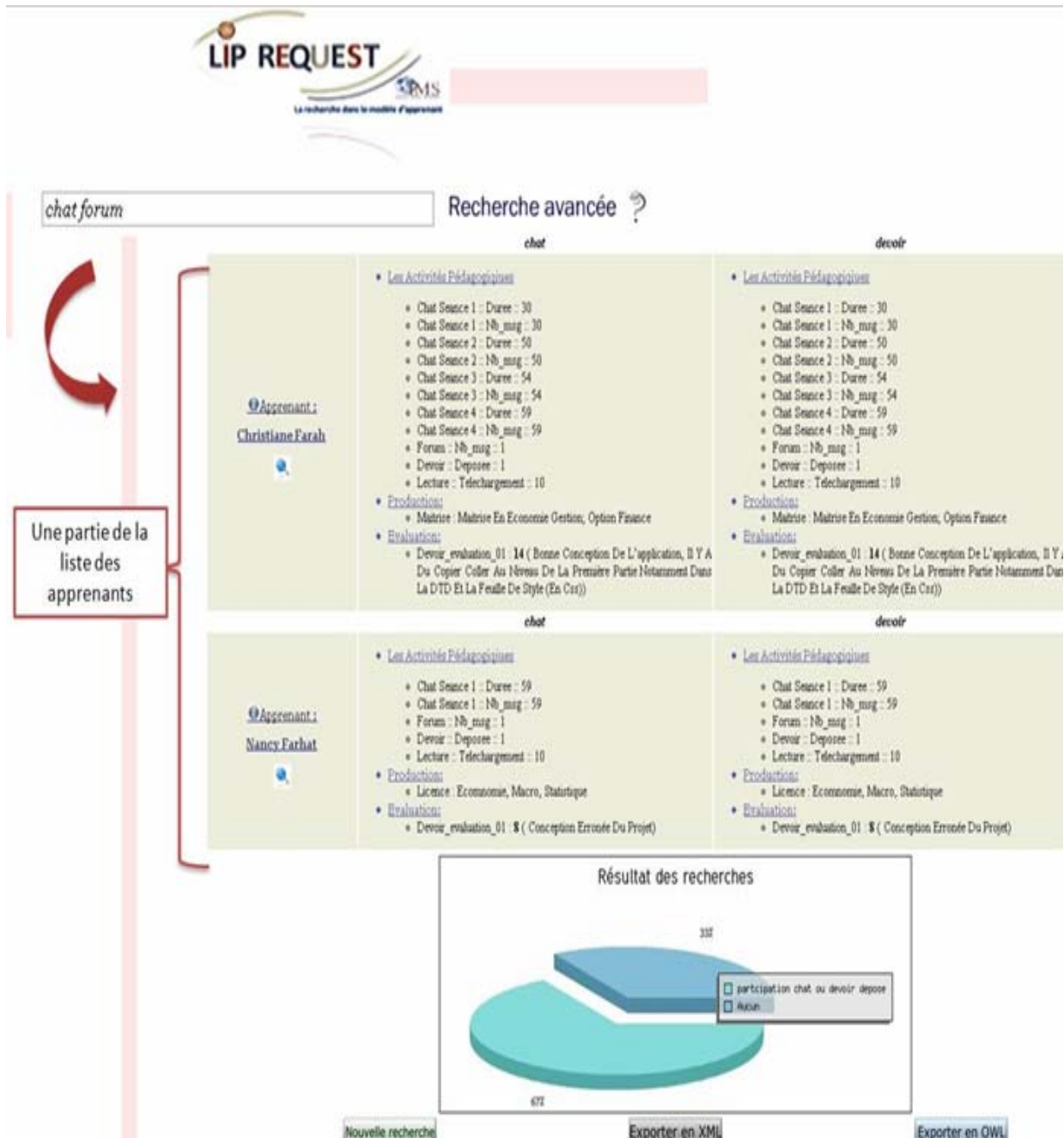


Figure 69 : Résultat d'une requête avec LIP REQUEST

Nous notons que l'identification des pratiques d'usage d'une plateforme dans une institution peut être lié à un cours ou une formation spécifique parce que d'un cours à l'autre les pratiques diffèrent, nous allons prendre en considération ce point lors de la modélisation des pratiques.

VIII.3 Rappel des besoins de modélisation

Nous avons identifié dans le chapitre précédent deux types d'aspects contextuels à savoir les règles et les bonnes pratiques. Une règle contextuelle donne lieu à une contrainte qui doit être respectée tandis qu'une bonne pratique contextuelle représente la recommandation d'une pratique réussite.

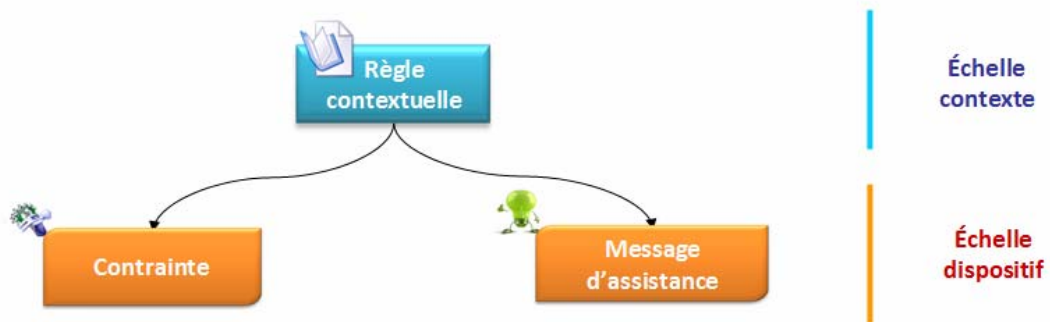


Figure 70 : Modélisation d'un aspect contextuel

Dans le système d'assistance proposé et qui a été présenté dans le chapitre précédent, nous avons proposé de traduire chaque aspect contextuel par une règle d'assistance et une contrainte contextuelle afin d'assurer respectivement l'assistance et la validation contextuelle comme illustré par la Figure 70. La modélisation d'un aspect contextuel doit répondre aux besoins énoncés dans le chapitre précédent en spécifiant les caractéristiques liées à l'assistance et celles liées à la validation :

1. Règle d'assistance :
 - Source d'acquisition :
 - Analyse des traces ;
 - Expert ;
 - Mode d'assistance :
 - Continu : la règle d'assistance est affichée depuis le lancement de Gen-COM et reste toujours affichée ;
 - Lors de l'activation : la règle d'assistance est affichée quand l'élément de la plateforme concerné est utilisé par le concepteur ;
2. Éléments pour la validation :
 - Portée de la validation :
 - Modèle : La vérification de la satisfaction de la contrainte se fait sur le modèle ;
 - Instances : La vérification de la satisfaction de la contrainte se fait sur les instances ;
 - Formalisation :
 - Contrainte OCL pour les aspects propriétés d'instances ;
 - Valideur pour les contraintes propriétés de modèles ;

VIII.4 Modélisation des aspects contextuels d'usage d'une plateforme

Nous expliquons dans cette section notre proposition pour la modélisation des aspects contextuels. La solution la plus simple consiste à modéliser pour chaque dispositif les pratiques d'usage de la plateforme. Pour chaque aspect, il faut fournir ses caractéristiques résumées dans la section VIII.3. Toutefois, cette solution pose les problèmes qui suivent.

Souvent, dans une institution, plusieurs formations pour lesquelles plusieurs dispositifs doivent être conçus partagent des pratiques d'usage de la plateforme. Modéliser ces pratiques pour chaque dispositif isolément donnera lieu à une redondance d'aspects. Afin d'éviter cette redondance, nous proposons de modéliser l'arborescence des formations dans une institution, de rattacher à chacune sa plateforme et les pratiques de son usage. L'interdépendance des formations est gérée lors de la modélisation des aspects contextuels à travers la possibilité d'exprimer le « partage » et l'« héritage » d'aspects.

Un aspect appartient à une catégorie générique d'aspect tel que définie dans la section V.2.3.3 du chapitre V et héritera toutes ses caractéristiques tout en ayant certaines valeurs spécifiques. Les catégories sont difficiles à généraliser à cause du changement des besoins d'un contexte à l'autre et la variation de leurs pertinences. Nous proposons une solution générique pour la modélisation de catégories d'aspects contextuels et pour la modélisation d'aspects contextuels correspondants.

VIII.4.1 Partage et réutilisation des aspects contextuels

Afin de pouvoir faciliter la réutilisation et le partage des aspects contextuels, nous proposons de modéliser l'arborescence des formations dans une institution en se conformant au méta-modèle décrit dans la Figure 71. Une institution offre une ou plusieurs formations et chaque formation peut être composée par d'autres formations. Chaque formation est délivrée à travers une plateforme.

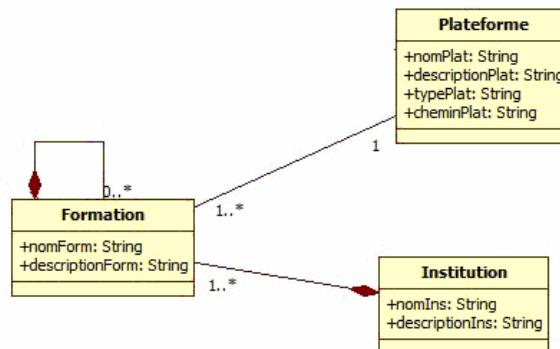


Figure 71 : Diagramme de classes des formations dans une institution

Un ensemble d'aspects contextuels correspond à chaque formation. Les aspects contextuels qui sont pertinents pour la modélisation d'un dispositif sont identifiés selon la formation auquel il est rattaché.

VIII.4.2 Catégories génériques d'aspects

Nous proposons une solution générique de modélisation de catégories d'aspects contextuels. Une catégorie d'aspects factorise les caractéristiques de différents aspects. La différence se situe au niveau de l'élément concerné par un aspect et les valeurs qui lui sont associées.

Afin de pouvoir rendre les aspects contextuels productifs lors de la transformation de modèles, il convient de rattacher chaque aspect à l'élément de la plateforme qui le concerne. Ainsi, il sera possible de délivrer l'assistance adéquate selon les éléments choisis par le concepteur pour la concrétisation des éléments du modèle de son scénario pédagogique. La plateforme est formalisée à travers un méta-modèle qui guide la transformation. La signification de chaque élément de ce méta-modèle est comme suit :

- Chaque classe représente un outil, une ressource ou un utilisateur de la plateforme ;

- Chaque attribut d'une classe représente une propriété de cette classe ;
- Chaque association exprime une relation entre deux classes par exemple pour affecter un utilisateur à un outil.

Un aspect peut concerner une ressource, un outil ou un utilisateur et donc une classe du méta-modèle de la plateforme : par exemple fixer le nombre maximum de chats dans un dispositif à deux. Un aspect peut aussi concerner une propriété d'une classe par exemple pour exprimer que le format des fichiers d'un cours doit être « pdf ». Un aspect peut concerner un lien entre deux classes : par exemple fixer à cinq le nombre d'utilisateurs par forum.

Dans chaque catégorie d'aspects, le type de l'élément sur lequel s'applique un aspect appartenant à cette catégorie est spécifié (classe, attribut ou association). Lors de la modélisation des aspects, l'élément de la plateforme concerné doit être spécifié. Ces éléments sont obtenus par décortication du méta-modèle de la plateforme. Nous avons étudié dans ce cadre les approches possibles pour adapter le méta-modèle d'une plateforme afin d'y ajouter des informations contextuelles. Nous avons abandonné cette solution parce qu'il serait par la suite difficile de distinguer, dans le modèle obtenu, les parties du méta-modèle qui concernent les aspects contextuels et celles qui concernent la plateforme.

La solution que nous avons retenue consiste à modéliser dans une base séparée les catégories, les aspects et de les rattacher aux éléments de la plateforme qui sont définies à partir du méta-modèle de la plateforme.

Le diagramme de classe de la Figure 72 montre la vue du diagramme de classe global présenté dans la Figure 73 qui concerne la modélisation des catégories. Il permet d'associer zéro ou plusieurs valeurs à une chacune. Pour chaque valeur, il faut spécifier son nom et son type. Si le type est énuméré, la classe Littéral exprime les littéraux possibles pour la valeur.

La portée de la validation (modèle ou objet) des aspects est indiquée dans l'attribut portée_vérification de la classe Catégorie. L'attribut forme_assistance indique la forme de l'assistance à délivrer au concepteur pour la prise en compte des aspects appartenants à cette catégorie.

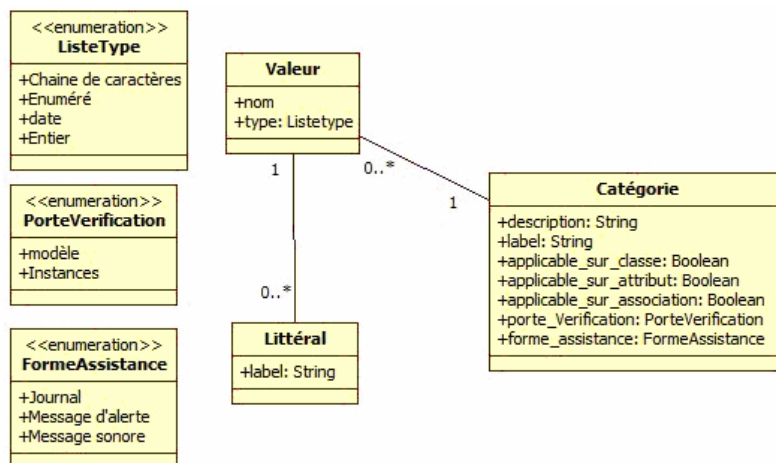


Figure 72 : Diagramme de classes des catégories d'aspects

Par exemple, si un aspect d'usage de la plateforme indique que l'outil sondage est indisponible du 15/9/09 au 31/3/10, la catégorie d'aspects correspondante permet d'exprimer qu'une classe de la plateforme est indisponible entre une date de début et une date de fin. Le Tableau 12 montre les caractéristiques essentielles de cette catégorie d'aspects. Grâce à cette catégorie, il est possible de créer plusieurs aspects tout en indiquant juste l'outil concerné et

les valeurs de date de début et date de fin. Les autres caractéristiques sont déduites selon la catégorie.

Label : Exprimer l'indisponibilité d'une ressource, d'un utilisateur ou d'un service	
Portée	Classe
Valeurs	- Date de début de type date - Date de fin de type date
Portée de la validation	Objet
Forme d'assistance	Journal d'assistance

Tableau 12 : Exemple d'une catégorie d'aspects contextuels

Dans la validation des aspects contextuels (détaillée dans la section VII.4.3.2 du chapitre VII), les catégories jouent un rôle important pour faciliter la création des contraintes OCL. En effet, nous proposons de modéliser une contrainte OCL paramétrée pour chaque catégorie ayant la valeur « objet » comme portée de vérification. L'instanciation d'une contrainte OCL paramétrée donne lieu à une contrainte OCL correspondante à un aspect.

Cette proposition de contraintes OCL paramétrées n'a été abordée par aucun travail dans la littérature. Son originalité réside dans la facilité de modéliser des contraintes OCL en paramétrant une contrainte existante.

<i>Restriction du nombre d'occurrences d'un outil de la plateforme</i>	
Portée	Classe
Valeurs à donner	La valeur de cette catégorie est un nombre entier : Valmax
Validation	Objet
Traitement de validation	Vérifier si la \sum des instances de la classe est supérieure à Valmax
Contrainte OCL paramétrée	Context \$nomClasse\$ inv : Sef.allinstances->size()<\$valmax\$

Tableau 13 : Caractéristiques d'une catégorie de contraintes propriétés d'instances

Le Tableau 14 présente les caractéristiques d'une catégorie d'aspects dont la portée de validation est modèle. Le traitement de validation correspondant consiste à chercher dans le modèle concret l'existence d'une classe qui fait l'objet d'une contrainte appartenant à cette catégorie. Le traitement de validation est défini par catégorie et il est juste paramétré par les valeurs spécifiques à chaque aspect.

<u>Interdire l'utilisation d'un outil de la plateforme</u>	
Applicable sur	Classe
Valeurs	Aucune
Portée de la validation	Modèle
Traitement de validation	Vérifier si la classe existe dans le modèle contextualisé.

Tableau 14 : Caractéristiques d'une catégorie de contraintes propriétés de modèles

VIII.4.3 Modélisation des aspects

Le diagramme de classe de la Figure 73 montre le diagramme de classe global qui concerne la modélisation des aspects. Un aspect possède une catégorie selon laquelle il s'applique sur une classe, sur un attribut ou sur une association du modèle de la plateforme d'où la relation Aspect-ElementDePlateforme. Un aspect concerne un ou plusieurs formations dans la même institution.

Lors de la modélisation des aspects contextuels, la nature de chaque aspect (règle ou bonne pratique) est précisée à travers l'attribut de la classe aspect. Cela servira à informer les concepteurs s'il faut ou il est recommandé de respecter un aspect.

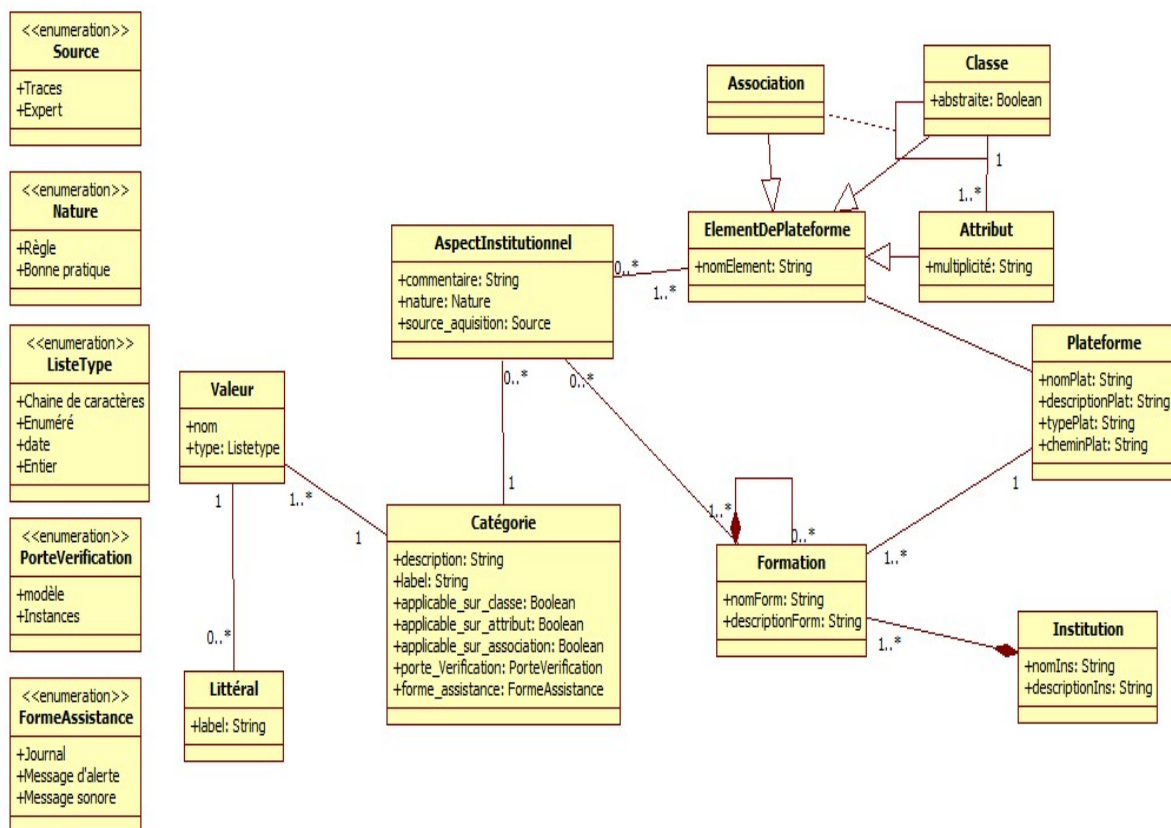


Figure 73 : Diagramme de classe complet

Dans la modélisation des aspects, il est nécessaire de pouvoir gérer, de manière automatisée la cohérence des différents aspects.

VIII.4.4 Cohérence des aspects

A cause du nombre souvent important des aspects à modéliser, il est difficile de vérifier leur cohérence manuellement. Afin d'aider l'expert qui se chargera de modéliser les pratiques d'usage de la plateforme, nous avons essayé d'automatiser la vérification de la cohérence et d'aider la résolution des incohérences. La solution se base sur l'expression de règles de cohérence entre les catégories de pratiques et la vérification de la satisfaction de ces règles au niveau des pratiques.

VIII.4.4.1 Expression des règles de cohérence

Afin de faciliter l'expression de règles de cohérence entre les catégories, nous avons prévu des types de règles qu'il est possible de paramétrer facilement pour obtenir les règles.

Les types de règles présentent des fonctionnements génériques non liés à des catégories ou à des valeurs spécifiques. La définition d'une règle de cohérence consiste à choisir le type de règles et à préciser, selon le type choisi, les catégories et les contraintes à vérifier sur les valeurs nécessaires au paramétrage.

Des types de règles prédéfinis sont implémentés ainsi que leurs vérificateurs correspondants. La classification des pratiques contextuelles dans différentes catégories nous a amené à distinguer deux types de règles de cohérence à savoir des règles au sein de la même catégorie que nous appelons « des règles intra-catégorie » et des règles entre deux catégories différentes que nous appelons « des règles inter-catégories ».

VIII.4.4.1.1 Type de règles de cohérence intra-catégories

Un premier type de règles de cohérence consiste à éviter la duplication (Des aspects qui s'appliquent sur le même outil et qui ont la même valeur). Un deuxième type de règles stipule d'éviter les aspects contradictoires (Des aspects qui s'appliquent sur le même outil et qui ont des valeurs contradictoires). Un troisième type de règles indique qu'il ne faut pas avoir d'aspects qui s'appliquent sur des éléments spécifiques de la plateforme quelque soit leurs valeurs par exemple : interdire les forums et interdire les wikis.

Par exemple :

Le nombre minimum de chats est 1	}	Incohérence intra-catégorie
Le nombre minimum de chats est 1		
Le nombre maximum de wikis est 6	}	Incohérence intra-catégorie
Le nombre maximum de wikis est 5		

VIII.4.4.1.2 Type de règles de cohérence inter-catégories

Un premier type de règles de ce type indique qu'il ne faut pas avoir un aspect ayant la catégorie Ca1 et un autre ayant la catégorie Ca2 et ces deux aspects s'appliquent sur le même élément de la plateforme.

Un deuxième type de règles permet d'exprimer que deux aspects ayant deux catégories différentes et qui s'appliquent sur le même élément de la plateforme ne doivent pas avoir des valeurs contradictoires.

Les expressions de relation sur les valeurs permettent de définir des types de règle exprimant des valeurs contradictoires, par exemple une « valeur i » relative à une catégorie doit être inférieure à une « valeur j » relative à une deuxième catégorie. Des expressions plus

compliquées permettent d'exprimer par exemple que la somme de « valeur i » et « valeur j » relatives à une catégorie doit être inférieure à une « valeur k » d'une deuxième catégorie.

Par exemple :

Interdire l'utilisation des forums Le nombre minimum de forums est 2	}	Incohérence inter-catégories
Le nombre maximum de wikis est 5 Le nombre minimum de wikis est 7	}	Incohérence inter-catégories

La Figure 74 présente les classes TypeRègle et RegleCoherence qui correspondent respectivement aux types de règles et aux règles. La Figure 74 montre les relations entre ces deux classes et avec les autres classes :

- Une règle possède un seul type de règles et ce dernier peut lui correspondre plusieurs règles ;
- Une règle concerne une ou plusieurs catégories de contraintes ;
- La classe règle est liée à la classe valeur pour exprimer sur quelles valeurs s'appliquent une règle.

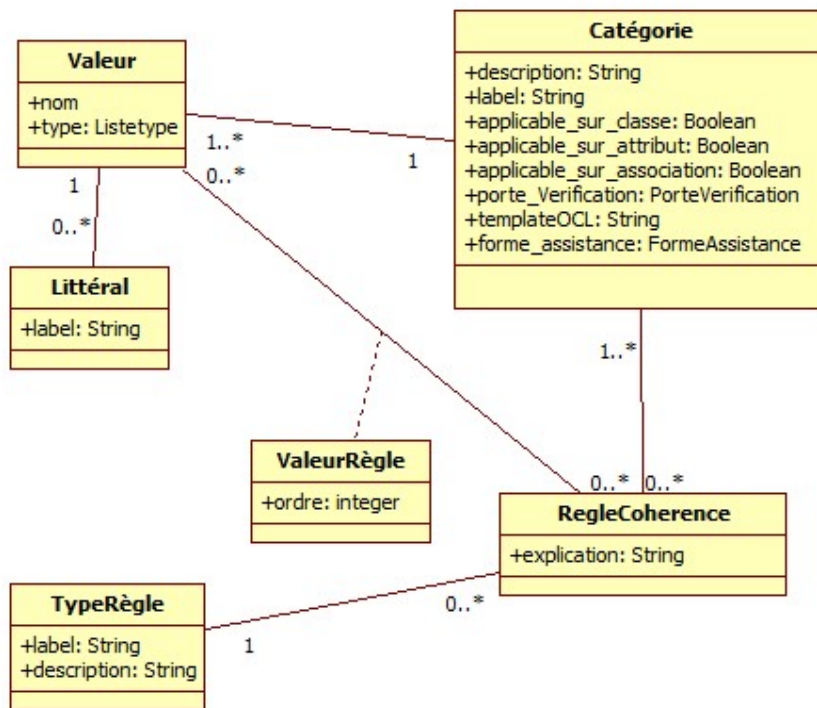


Figure 74 : Diagramme de classe des règles de cohérence

VIII.4.4.2 Vérification de la cohérence

Lors de l'ajout d'une nouvelle pratique, la vérification de la cohérence de celle-ci avec les pratiques existantes est faite afin de signaler ceux qui présentent des conflits.

Un vérificateur de cohérence a été implémenté dans Gen-COM qui sera présenté dans le chapitre neuf. La vérification commence par détecter les éventuelles duplications et se

poursuit en commençant par identifier les règles de cohérence qui s'appliquent sur la catégorie de la pratique récemment ajoutée. Pour chaque règle, le vérificateur procède à chercher la deuxième catégorie concernée par la règle. Les pratiques appartenant à cette catégorie et qui s'appliquent sur le même élément de la plateforme que la nouvelle pratique doivent subir une vérification sur les valeurs afin de détecter une éventuelle incohérence selon la condition exigée par la règle sur les valeurs.

VIII.5 Conclusion

Les besoins des institutions offrant des formations à distance ne cessent d'évoluer. Par la suite, il n'est pas toujours possible de trouver une plateforme qui répond à tous les besoins notamment économiques, pédagogiques et organisationnels. Les règles et pratiques variant d'une institution à l'autre rendent différents l'utilisation d'une même plateforme dans des contextes distincts. La modélisation de ces règles et pratiques dans un contexte précis complète la modélisation de la plateforme elle-même et permet de jouer un rôle dans la conception de dispositifs.

Nous avons présenté dans ce chapitre notre proposition pour la modélisation des contraintes d'usage d'une plateforme. Nous avons commencé par rappeler les besoins de modélisation qui découlent de l'assistance des concepteurs et de la validation contextuelle. Nous avons ensuite présenté les méta-modèles proposés permettant la modélisation des aspects contextuels selon des catégories génériques et personnalisables. Afin de faciliter la réutilisation et la gestion de ces aspects, nous avons proposé de modéliser la structure des formations dans une institution auxquels les aspects sont rattachés.

Chapitre IX : Prototypes logiciels d'ACoMoD : Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM

IX.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillons notre cadre expérimental. Nous détaillons Gen-PTE qui est un prototype logiciel qui supporte la modélisation, la réutilisation et la contextualisation de stratégies pédagogiques formalisés dans des templates UML. Nous détaillons aussi Gen-IC qui est un prototype logiciel qui supporte la modélisation des aspects contextuels liés à l'usage de plateformes de formation. Nous détaillons également Gen-COM qui est un prototype logiciel basée sur les templates UML pour l'assistance à la transformation contextualisée de modèles de scénarios pédagogiques.

IX.2 Description globale des prototypes

Afin de vérifier la faisabilité technique de l'approche proposée baptisée ACoMoD (Assistance for Contextualized Modeling of learning systems), nous avons implémenté trois prototypes logiciels comme illustré par la Figure 75 :

- Gen-PTE : un assistant à la modélisation, à la contextualisation et à la réutilisation de templates ;
- Gen-IC : un générateur de modeleurs d'aspects contextuels d'usage des plateformes ;
- Gen-COM : un assistant à la transformation contextualisée.

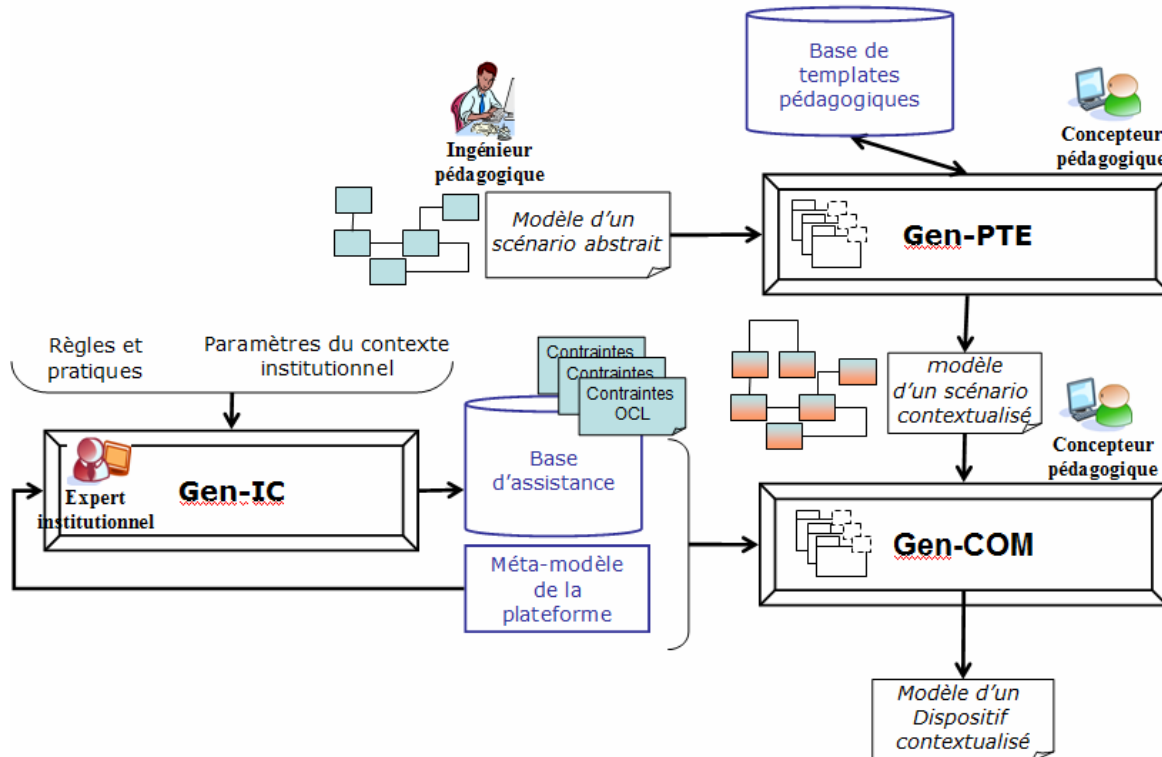


Figure 75 : Prototypes de la plateforme ACoMoD

IX.3 Prototype Gen-PTE

Gen-PTE permet d'assister la création de templates, leur réutilisation et leur contextualisation.

IX.3.1 Diagramme de cas d'utilisation de Gen-PTE

Le diagramme de cas d'utilisation général est présenté dans la Figure 76. Il illustre les principales fonctionnalités de Gen-PTE :

- Définir un template pédagogique : l'objectif est de définir un template sur la base d'un diagramme de classe décrivant une stratégie pédagogique. La définition d'un nouveau template implique de définir ses paramètres ainsi que de fournir leurs descriptions et la description du template ;
- Contextualiser un template : l'objectif est de réutiliser un template ou même une contextualisation d'un template afin de produire un modèle contextualisé du scénario décrit par le template.

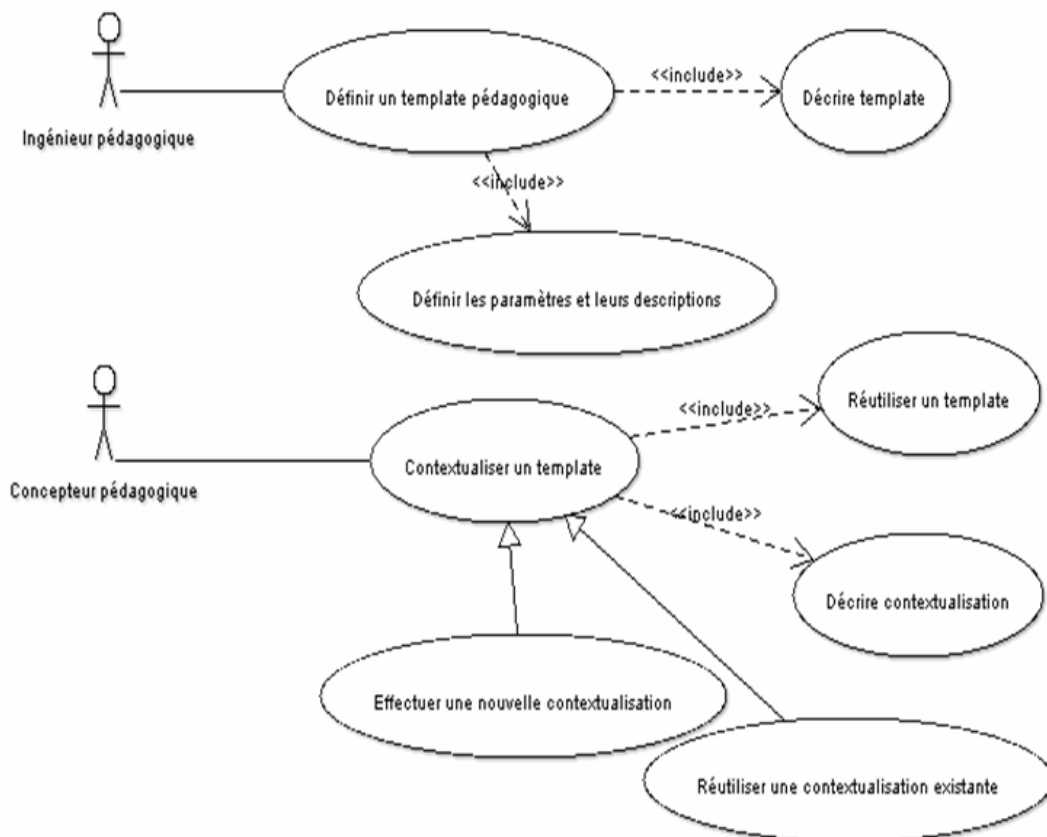


Figure 76 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-PTE

Les acteurs identifiés du système sont l'ingénieur pédagogique qui est chargé de définir des templates pédagogiques et le concepteur pédagogique qui vise à contextualiser un template réutilisé.

IX.3.2 Réalisation technique de Gen-PTE

La difficulté qu'il fallait surmonter afin de prouver la faisabilité technique de la solution proposée pour l'assistance à la création et à la contextualisation de templates est de permettre

de manipuler des modèles UML à travers des interfaces graphiques adaptées à des concepteurs pédagogiques novices tout en restant conformes au standard UML.

Les choix techniques peuvent se résumer comme suit :

- Le langage Java ;
- L'IDE Eclipse ;
- EclipseRCP (Rich Client Platform), SWT, Jface, Workbench, OSGI (equinox);
- Eclipse UML2 (implémentation de Eclipse EMF).

Gen-PTE a été développé en Java en tant que plug-in sous l'IDE Eclipse Ganymède. Une caractéristique essentielle de la plateforme Eclipse est l'extensibilité assurée par la notion de plugin. La structure d'un plugin peut être résumée de la façon suivante : c'est un fichier JAR classique contenant, en plus de ses classes Java, deux autres fichiers, le fichier MANIFEST.MF et le fichier plugin.xml. En exploitant les informations contenues dans le premier fichier, le noyau d'Eclipse gère le cycle de vie des plugins et leurs dépendances. Le deuxième fichier sert à déclarer des points d'extension où d'autres plugins peuvent se brancher. En fait un plugin peut enrichir un autre en déclarant une extension.

La base d'Eclipse est l'*Eclipse Platform* qui est composée de :

- *Platform Runtime* qui démarre la plateforme et gère les plug-ins ;
- SWT (Standard Widget Toolkit) qui est la bibliothèque graphique de base ;
- *JFace* qui est une bibliothèque graphique de plus haut niveau basée sur SWT ;
- *Eclipse Workbench* qui est la dernière couche graphique permettant de manipuler des composants comme les vues et les perspectives.

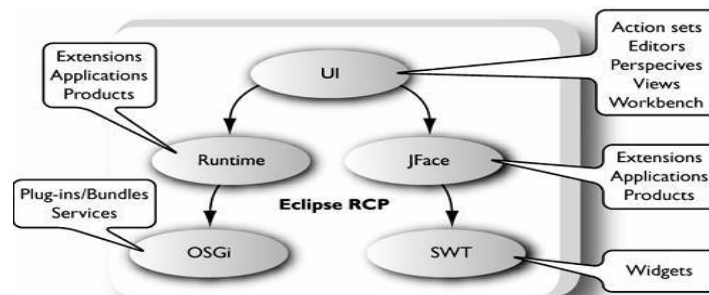


Figure 77 : Plug-ins d'Eclipse RCP

Ces composants de base peuvent être réutilisés pour développer des clients lourds indépendants d'Eclipse grâce au projet Eclipse RCP (Rich Client Platform) tel est le cas de Gen-PTE qui est une application RCP dont l'architecture est montrée dans la Figure 78. Le détail interne pour l'ensemble des plug-ins d'Eclipse RCP est illustré dans la Figure 77. Ces plug-ins sont à la base de notre application RCP.

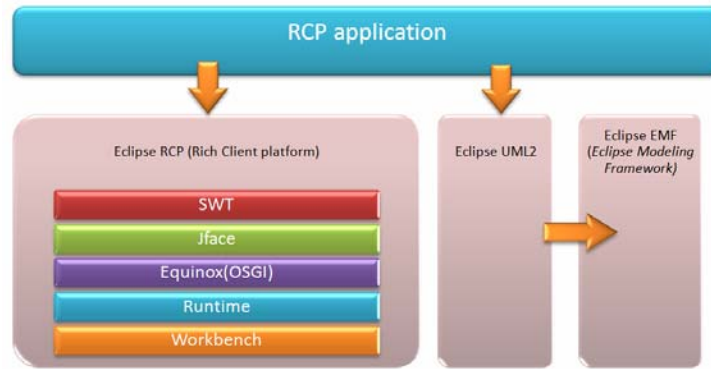


Figure 78 : Architecture de Gen-PTE

Gen-PTE utilise d'autres plug-ins d'Eclipse comme le plug-in principal `org.eclipse.uml2.uml` qui représente une implémentation à base d'EMF de UML 2.x pour la plateforme Eclipse. En effet, la création d'un point d'extension avec ce plug-in est la solution clé pour faciliter l'utilisation du méta-modèle UML pour soutenir le développement de notre outil comme illustré par la Figure 78. Gen-PTE utilise XMI présenté dans la section I.3.4 comme format d'échange standard pour effectuer le lien entre UML2 et Eclipse RCP.

Nous présentons et expliquons des captures d'écran de Gen-PTE dans l'annexe F.

Les modèles contextualisés produits par Gen-PTE sont concrètement des diagrammes de classes UML qui doivent être transformés en des diagrammes spécifiques à une plateforme pour assurer leur déploiement. Cette étape est réalisée avec Gen-COM qui assiste des transformations contextualisés de modèles. Ce dernier utilise les modèles des règles et pratiques d'usage des plateformes qui sont produits par Gen-IC. Pour cela, nous allons commencer par présenter Gen-IC puis Gen-COM.

IX.4 Prototype Gen-IC

Nous proposons le générateur de modeleurs contextuels Gen-IC qui, comme son nom l'indique, permet la génération de modeleurs spécifiques pour des contextes institutionnels.

IX.4.1 Diagramme de cas d'utilisation de Gen-IC

Gen-IC est destiné à un expert institutionnel qui commence par paramétrer le générateur afin d'obtenir un modeleur personnalisé d'aspects contextuels. Le diagramme de cas d'utilisation est présenté sur la Figure 79. Le paramétrage du générateur passe par les étapes suivantes :

- Importer les modèles des plateformes utilisées ;
- Définir l'arborescence des formations dans une institution ;
- Définir les catégories d'aspects et leurs caractéristiques ;
- Définir les règles de cohérence entre les catégories d'aspects contextuels.

Une fois le paramétrage effectué, le modeleur d'aspects contextuels est généré. Modéliser un aspect revient à choisir sa catégorie, spécifier les différentes valeurs et caractéristiques requises par exemple l'élément de la plateforme concerné et les rattacher aux formations concernées. Le modeleur assure aussi la gestion de la cohérence des aspects contextuels pour chaque formation dans l'institution.

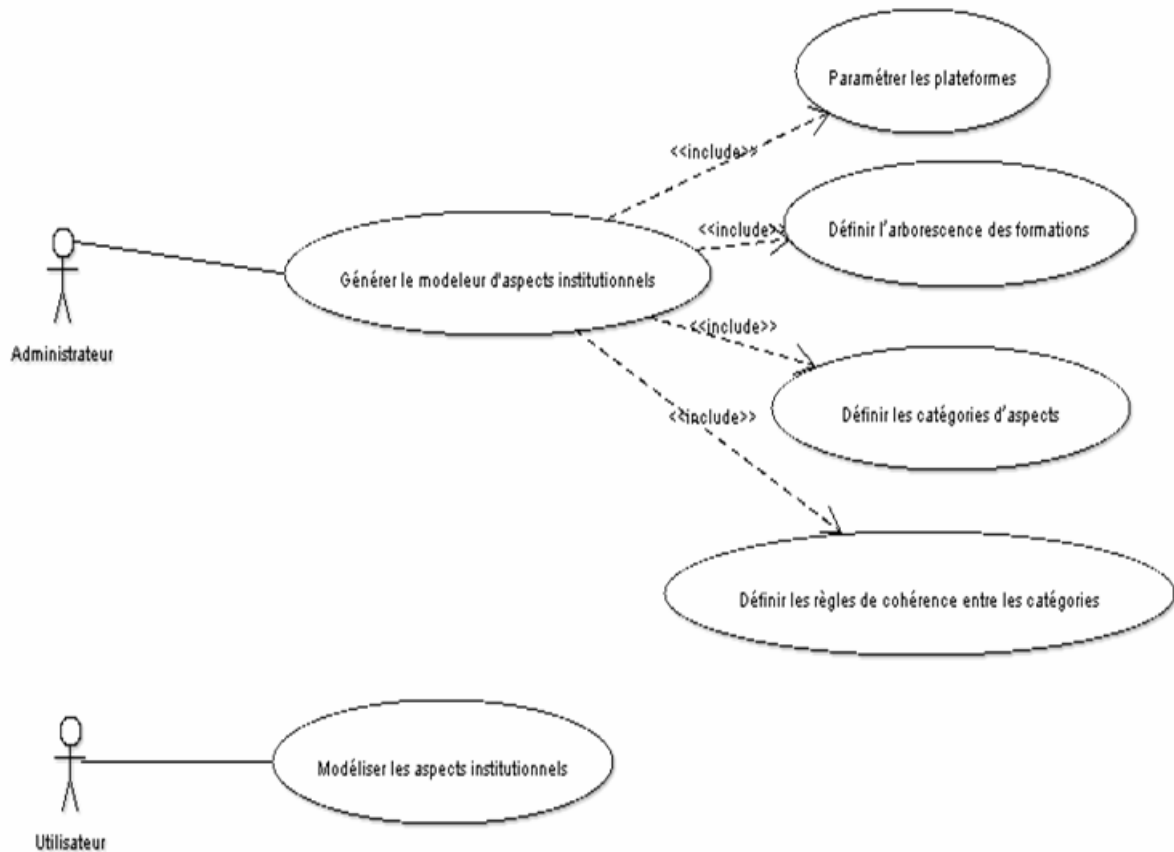


Figure 79 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-IC

IX.4.2 Réalisation technique de Gen-IC

Le prototype a été développé en Java sous l'IDE Eclipse Ganymede. Il est basé sur la modélisation à travers des interfaces graphiques en se basant sur les méta-modèles détaillés dans le chapitre précédent.

Disposant d'un méta-modèle et voulant l'utiliser pour définir des modèles qui lui sont conformes, la solution la plus facile consiste à utiliser des outils spécifiques qui permettent de générer des éditeurs de modélisation à partir de méta-modèles. Nous citons les plus utilisés à savoir EMF⁷⁶ (Eclipse Modelling Framework) pour la génération d'éditeurs avec des menus arborescents ou encore GMF⁷⁷ (Graphical Modelling Framework) qui permet de générer des éditeurs graphiques plus sophistiqués.

Comme Gen-COM est destiné à des experts institutionnels non informaticiens, notre idée était de trouver une solution technique qui permet de créer des modèles en se conformant à des méta-modèles à travers des formulaires graphiques auxquelles nos utilisateurs sont habitués. Cette solution sera plus facile à utiliser parce qu'elle guide la modélisation. Toutefois, les utilisateurs auront moins de liberté dans l'ordre de modélisation par rapport à l'utilisation d'éditeurs de modélisation créée par EMF ou GMF (comme les éditeurs UML par exemple).

⁷⁶ <http://www.eclipse.org/modeling/emf/>

⁷⁷ <http://www.eclipse.org/modeling/gmf/>

L'architecture technique de notre proposition est présentée dans la Figure 80. La première étape consiste à générer automatiquement le code Java à partir d'un méta-modèle Ecore en utilisant EMF. La deuxième étape consiste à créer les interfaces graphiques qui représentent les formulaires qui vont servir à l'interaction avec les utilisateurs. Implicitement, les données introduites par un utilisateur seront transformées en objets Java qui seront transformés par la suite en des fichiers XML en utilisant XStream⁷⁸.

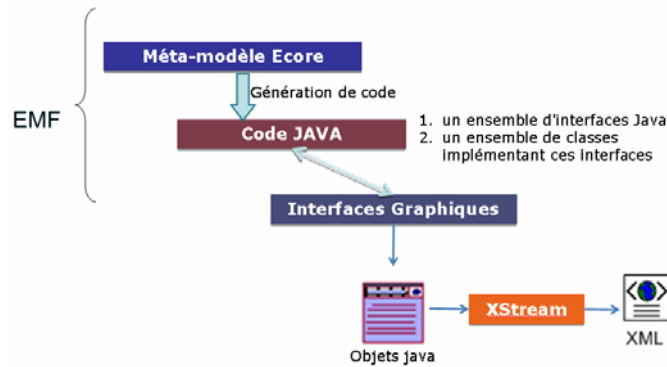


Figure 80 : Architecture technique de l'assistance à la modélisation en se basant sur un méta-modèle

Gen-IC est le prototype que nous avons développé pour la modélisation de pratiques contextuelles liées à l'utilisation d'une plateforme de formation. Le produit de Gen-IC est exploité par le prototype Gen-COM afin d'assister la transformation contextualisée de modèles de scénarios pédagogiques basée sur les templates UML. Gen-COM fera l'objet de la prochaine section.

IX.5 Prototype Gen-COM

Afin de présenter les principales fonctionnalités offertes par Gen-COM ainsi que les acteurs interagissant avec le système, nous commençons par présenter son diagramme de cas d'utilisation général.

IX.5.1 Diagramme de cas d'utilisation de Gen-COM

A partir du diagramme de cas d'utilisation illustré par la Figure 81, nous avons déterminé les principaux cas d'utilisations suivants :

- Transformer le modèle d'un scénario pédagogique en un modèle spécifique à une plateforme ;
- Assister la transformation contextualisée : l'objectif est d'assister le concepteur à effectuer la transformation en prenant en considération les règles et les pratiques contextuelles d'usage de la plateforme.

Les autres cas d'utilisation identifiés en tenant en considération les relations d'inclusion et d'extension entre les cas d'utilisation sont :

- Choisir la formation : l'objectif est de permettre au concepteur de préciser la formation à laquelle le dispositif à produire sera rattaché afin d'identifier le contexte de la transformation qui est composé par la plateforme et les pratiques de son usage modélisées avec Gen-IC ;

⁷⁸ Une librairie Java qui a pour but de faciliter la conversion du langage Java vers le langage XML et inversement

- Choisir le modèle d'un scénario pédagogique : il s'agit de choisir le modèle sujet de la transformation ;
- Indiquer les préférences d'assistance : l'objectif est de paramétrer l'assistant de contextualisation par les préférences relatives au moment et à la manière de proposer l'assistance ;
- Proposer des messages d'assistance ;
- Vérifier la validité contextuelle des décisions de transformation : il s'agit de créer un rapport de validité qui contient l'état des décisions prises par le concepteur par rapport aux règles et pratiques contextuelles.

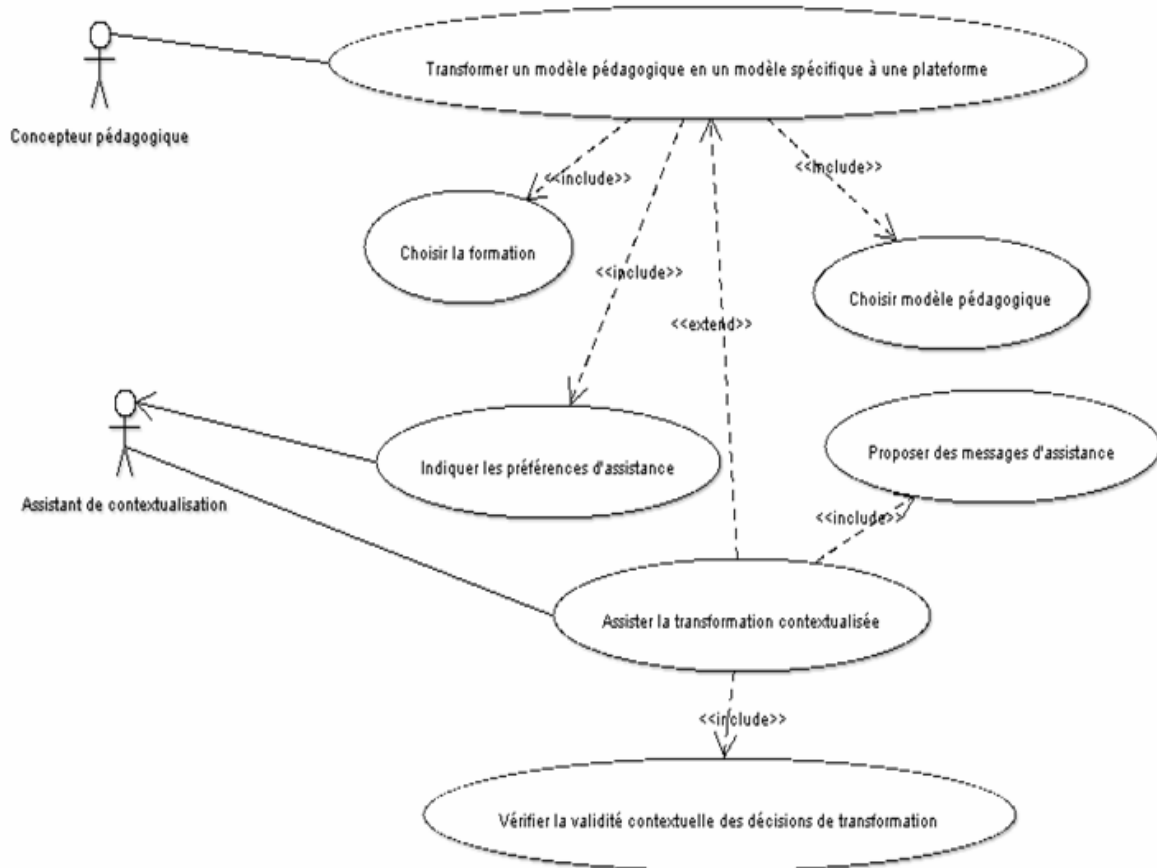


Figure 81 : Diagramme de cas d'utilisation général de Gen-COM

IX.5.2 Réalisation technique du prototype Gen-COM

Gen-COM a été développé en Java sous l'IDE Eclipse Ganymède en tant que plug-in pour pouvoir être lié à des plug-ins existants essentiellement UML et XMI. Pour développer l'outil, nous nous sommes basés sur EMF et l'implantation UML2 réalisée à partir de ce framework. Les choix techniques sont semblables à ceux de Gen-PTE et ont été présentés dans la section IX.3.2.

Gen-COM est structurée en trois paquetages : (1) un paquetage des interfaces graphiques, (2) un paquetage du gestionnaire du journal de contextualisation et du vérificateur contextuel et (3) un paquetage des mécanismes non graphiques propres à l'outil tels que la transformation d'un modèle en un template, la vérification de la conformité de la relation bind et la génération du « bound element ». Ces mécanismes manipulent directement les éléments instances du méta-modèle UML2 à travers du code Java.

IX.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le prototype Gen-PTE qui permet d’assister la création de templates, leur réutilisation et leur contextualisation. Nous avons présenté aussi dans ce chapitre le prototype Gen-COM pour la transformation de modèles de scénarios pédagogiques basée sur le mécanisme de binding d’UML. La transformation est assistée par les pratiques contextuelles d’usage de la plateforme. Gen-IC est le prototype qui assure la modélisation de ces pratiques, il a été présenté dans ce chapitre. Nous résumons dans le Tableau 15 les fonctionnalités de base de chaque prototype.

Nous avons présenté aussi dans ce chapitre quelques détails de la réalisation des outils. Les prototypes Gen-PTE et Gen-COM sont deux plug-ins Eclipse qui créent des points d’extension avec le plug-in UML2 qui est une implémentation EMF du méta-modèle UML basée sur une modélisation de ce dernier avec Ecore. Ce mécanisme de plug-in et de dépendances entre plug-ins a rendu l’implémentation des solutions proposées dans le chapitre six et sept faisable. En effet, nous avons réussi à manipuler les diagrammes UML et gérer la complexité du méta-modèle UML avec du code tout en concevant des interfaces graphiques ergonomiques et adaptés à des concepteurs pédagogiques.

Prototype	Utilisateur	fonctionnalité
Gen-PTE	Ingénieur pédagogique	Créer et maintenir une base de templates
		Assister la création de templates
	Concepteur pédagogique	Réutiliser un template
		Assister la contextualisation de templates
		Réutiliser une contextualisation
Gen-IC	Administrateur	Paramétrer un modeleur de règles d’usage de plateformes
	Expert	Modéliser les règles d’usage de plateformes
Gen-COM	Concepteur pédagogique	Assister la transformation du modèle d’un scénario pédagogique en un modèle spécifique à une plateforme
		Assister et contrôler la prise de décisions de transformation contextualisées

Tableau 15 : Résumé des fonctionnalités de base offertes par les prototypes

A l’issue de ce chapitre, nous avons montré la faisabilité technique des solutions proposées. Il convient d’expérimenter nos travaux dans des cas d’étude réalistes. Nous présentons dans le prochain chapitre les trois études de cas que nous avons menés dans ce cadre.

Chapitre X : Description des études de cas et analyse des résultats

X.1 Introduction

Notre proposition pour la contextualisation assistée de dispositifs pédagogiques est difficile à valider scientifiquement comme c'est le cas pour plusieurs propositions méthodologiques en ingénierie des EIAH. Seul un usage durable serait la preuve pratique du bon fondement de notre proposition. Nous avons essayé de la valider de deux manières. La première a été décrite dans le chapitre précédent et a été consacrée à une démonstration de la faisabilité technique. La deuxième est décrite dans ce chapitre à travers trois études de cas en lien avec des terrains opérationnels de formation à distance.

X.2 Méthodologie d'évaluation

Afin de vérifier l'utilité de notre recherche, déterminer ses avantages et ses limites et envisager des améliorations et des perspectives, nous avons procédé à son évaluation. Selon [Cooley et al. 1976], *une évaluation est un processus par lequel des données appropriées sont recueillies et transformées en information afin d'aider à la prise de décision.*

Les éléments importants à se rappeler, pour comprendre nos orientations quant aux choix de la méthode d'évaluation, sont que :

1. Gen-PTE est un système d'assistance à la création, la réutilisation et la contextualisation de templates. Le service de création de templates est destiné aux ingénieurs pédagogiques et les autres services sont destinés aux concepteurs pédagogiques.
2. Gen-IC est le système qui permet de modéliser des règles et des pratiques d'usage de plateformes selon les paramètres du contexte institutionnel (essentiellement les formations et leurs liens, les plateformes, les catégories de pratiques) qu'il permet de définir. Les utilisateurs de Gen-IC sont des administrateurs.
3. Le produit de Gen-IC est exploité par Gen-COM qui est un système permettant de transformer des modèles en d'autres spécifiques à des plateformes. Le produit de Gen-IC offre à Gen-COM les informations nécessaires pour assister une transformation contextualisée (fournir des messages d'assistance et faire la validation de l'adéquation des choix au contexte). Gen-COM est destiné à des concepteurs pédagogiques.

Dans le domaine des EIAH, il existe peu de consensus en ce qui concerne les moyens à utiliser pour évaluer les EIAH. Des méthodes recensées et classifiées par [Iqbal et al. 1999] ont été adaptées par plusieurs chercheurs en EIAH. Afin de choisir la méthode d'évaluation, il faut répondre à une question fondamentale : « Comment évaluer ? » [Tricot et al. 2003]. Concernant le choix de la méthode, il s'agit de décider entre une méthode pour la recherche expérimentale et une méthode pour la recherche exploratoire.

Nous retenons des travaux de [Iqbal et al. 1999] que les méthodes pour la recherche expérimentale sont appropriées si et seulement si, les groupes de participants sont statistiquement significatifs tandis que les méthodes pour la recherche exploratoire impliquent une étude approfondie du système dans un contexte normal en utilisant des sources multiples de données et où la dimension de l'échantillon est habituellement petite.

Étant donné que nous n'avons pas trouvé les moyens d'organiser une évaluation de grande envergure avec un nombre important de concepteurs pédagogiques et qu'il s'agit d'une première évaluation de nos prototypes, nous avons privilégié une approche exploratoire.

Pour ce faire, nous avons tenu à évaluer notre travail dans des études de cas en lien avec des terrains opérationnels de formation à distance. Il s'agit d'un projet de recherche appelé MetaWep et de deux masters à distance à savoir le master IPM (Ingénierie Pédagogique MultiMedia) et le mastère eServices.

L'analyse des données qualitatives s'élabore, selon [Miles et al. 2003], à travers trois étapes principales: la transcription des données recueillies, leur codage pour les catégoriser, et une interprétation de ces données suite à leur compilation. L'évaluation proposée dans ce chapitre s'inspire de cette méthodologie.

Nous présentons ici l'étape de transcription et de codage des données qui est commune aux trois études de cas. Les deux autres étapes seront présentées pour chaque étude de cas.

Transcription et codage des données

Les objets de l'évaluation sont présentés dans le Tableau 16 avec leurs codes (afin de les référencer plus facilement par la suite et éviter les redondances) ainsi que les systèmes concernés. Chaque étude de cas parmi les trois que nous avons menées est pertinente pour la validation d'une partie ou de tous ces objets d'évaluation.

Prototype concerné	Code	Objet de l'évaluation
Gen-PTE	E1	L'utilité ⁷⁹ de la réutilisation et la contextualisation basées sur les templates
	E2	L'utilité de l'assistance à la modélisation et à la contextualisation de templates
	E3	L'utilisabilité ⁸⁰ de la réutilisation et la contextualisation de templates
Gen-IC	E4	La pertinence de la capitalisation et la formalisation des pratiques contextuelles
	E5	L'expressivité de la solution de modélisation de pratiques contextuelles basée sur les catégories génériques
	E6	L'utilisabilité du paramétrage du modeleur
	E7	L'utilisabilité du modeleur
Gen-COM	E8	L'utilité de la transformation basée sur les templates
	E9	L'utilité de l'assistance technique à la transformation
	E10	L'utilité de l'assistance à la prise de décisions contextualisées
	E11	L'utilisabilité de la transformation contextualisée

Tableau 16 : Objets de l'évaluation et leurs codes

Dans chaque étude de cas, nous commençons par poser quelques questions aux participants concernant leurs connaissances en modélisation UML, en template UML et en transformation de modèles. Ces informations sont nécessaires afin de pouvoir évaluer l'utilité de l'assistance (E2, E9, E10) et l'utilité de la transformation basée sur les templates (E8).

A la fin de l'expérimentation, les participants sont invités à répondre aux questionnaires présentés dans l'Annexe D. Dans ces questionnaires, les participants ont la possibilité de donner des remarques, des suggestions et les difficultés qu'ils ont éventuellement rencontrées.

Afin de faciliter l'interprétation des données recueillies dans les questionnaires, nous avons catégorisé dans le Tableau 17 les questions proposées dans les questionnaires selon les codes des objets d'évaluation présentés dans le Tableau 16.

⁷⁹ L'utilité concerne l'efficacité, elle répond à la question : l'EIAH permet-il aux utilisateurs visés de faire de façon efficace ce qu'ils sont censés faire ? [Tricot 2003]

⁸⁰ L'utilisabilité concerne la possibilité de manipuler un EIAH. Elle répond à la question : l'EIAH est-il aisé à prendre en main, à utiliser, à réutiliser, sans perdre de temps et sans faire d'erreurs de manipulation ? [Tricot 2003]

Gen-PTE	
Objets d'évaluation	Questions
E1	[Q2.6] Pertinence de la réutilisation de contextualisations [Q2.7] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenPTE fournit un bon outil pour la réutilisation de templates ? [Q2.8] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenPTE fournit un bon outil pour la contextualisation de templates ?
E2	[Q2.4] Qualité d'assistance à la contextualisation [Q2.5] Facilité de mise en oeuvre des tâches de contextualisation
E3	[Q2.1] Degré de facilité de prise en main de l'outil [Q2.2] Facilité d'utilisation de l'outil pour l'exploration d'une base de template en vue de la réutilisation d'un template [Q2.3] Pertinence des contrôles d'erreurs lors de la contextualisation
Gen-IC	
Objets d'évaluation	Questions
E4	[Q1.7] Le niveau de pertinence du choix de rattacher les contraintes aux éléments de la plateforme [Q1.8] Le niveau de difficulté de rattacher les contraintes aux éléments de la plateforme
E5	[Q1.1] Le degré d'expressivité de la partie paramétrage de la structure de votre contexte institutionnel [Q1.2] Le degré d'expressivité du paramétrage des types de contraintes [Q1.6] Le degré d'adéquation du modeleur des contraintes par rapport au paramétrage
E6	[Q1.3] Niveau d'assistance offerte lors du paramétrage du contexte [Q1.4] Qualité de l'assistance offerte lors du paramétrage du contexte [Q1.10] La qualité des contrôles d'erreurs
E7	[Q1.5] La facilité de modifier le paramétrage du modeleur (les allers-retours entre le paramétrage et le modeleur) [Q1.9] La pertinence des contrôles d'erreurs lors de la saisie des contraintes
Gen-COM	
Objets d'évaluation	Questions
E8	[Q3.2] Facilité d'utilisation de l'outil pour la transformation [Q3.8] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenCOM fournit un bon outil pour effectuer une transformation contextualisée de dispositifs pédagogiques ?
E9	[Q3.4] Qualité d'assistance à la transformation
E10	[Q3.5] Clarté des messages d'assistance [Q3.6] Pertinence du rapport de validité contextuelle [Q3.7] La quantité d'informations contextuelles qui vous a été proposée par l'outil et que vous avez jugé inutiles
E11	[Q3.1] Degré de facilité de prise en main de l'outil [Q3.3] Pertinence des contrôles d'erreurs lors de la transformation

Tableau 17 : Questions des questionnaires catégorisées en fonction des codes et des critères d'évaluation

Nous présentons dans les trois sections suivantes les détails de chaque étude et l'interprétation des résultats.

X.3 Etude de cas : Le projet MetaWep

Dans cette section, nous présentons les détails de l'expérimentation de notre proposition dans le cadre du projet MetaWep. Cette expérimentation a débuté en Septembre 2007 et a été étendue jusqu'à Juillet 2009.

Pour élaborer le cadre d'interdépendance entre le dispositif et le contexte, nous avons rapporté dans le chapitre cinq le cas de la contextualisation de Mepulco dans deux institutions différentes à savoir l'IUT Calais et Polytech'Lille. Nous reprenons le cas de Polytech'Lille et montrons la contextualisation à l'aide de notre proposition.

A travers cette étude, nous avons pu tester les trois prototypes et évaluer tous les objets d'évaluation définis dans le Tableau 16.

X.3.1 Profil des participants

Les participants à cette expérimentation sont trois enseignants-concepteurs dont les profils sont présentés dans le Tableau 18 et un administrateur de Moodle.

Participant	Connaissances en modélisation UML	Connaissance en Templates UML	Transformation de modèles
Enseignant-concepteur 1	Très bonne	Aucune	Très bonne
Enseignant-concepteur 2	Bonne	Aucune	Moyenne
Enseignant-concepteur 3	Bonne	Aucune	Aucune

Tableau 18 : Profil des participants à l'étude MetaWep

X.3.2 Description de l'étude

X.3.2.1 Identification et modélisation des pratiques d'usage de Moodle

Afin d'identifier les bonnes pratiques d'usage de Moodle pour la mise en œuvre de la stratégie Mepulco, plusieurs expérimentations ont été effectuées [D'Halluin et al. 2008]. Ces expérimentations concernent le dispositif Mepulco de la promotion 2007 décrit dans la section V.2.1.3 du chapitre V et sont basées sur l'observation du déroulement des projets étudiants sur la plateforme, des questionnaires, des entretiens semi-directifs individuels auprès des étudiants et des entretiens semi-directifs auprès des enseignants.

Les résultats de ces expérimentations ont montré que la configuration Moodle était trop dense et beaucoup d'outils Moodle ont été peu ou pas utilisés. Ces résultats ont servi entre autres à améliorer l'application de la méthode Mepulco. Les règles mises en évidence ont été synthétisées dans un document destiné aux concepteurs pédagogiques de dispositifs conformes à Mepulco pour les promotions suivantes. Nous reprenons trois de ces règles pour l'expérimentation.

La première règle préconise de ne pas utiliser plus que deux forums dans un dispositif conforme à Mepulco. Il s'agit d'une contrainte pédagogique identifiée suite aux

expérimentations de 2007 détaillées dans la section V.2.1.3. La deuxième contrainte préconise de ne pas utiliser le Chat. En effet, cet outil a montré un usage limité puisque les étudiants se rencontrent régulièrement à l'occasion de leurs cours. De plus, un détournement de l'outil chat à des fins non pédagogiques a été observé. La dernière contrainte préconise de recommander l'utilisation du wiki pour le suivi des projets.

Avec l'administrateur Moodle, l'étude a consisté à l'accompagner pour modéliser ces trois bonnes pratiques avec Gen-IC. Une fois ces contraintes modélisées et rattachées aux éléments de la plateforme avec Gen-IC, elles sont exploitées par Gen-COM.

X.3.2.2 Déroulement de l'étude avec les enseignants

L'expérimentation avec les enseignants s'est déroulée en trois étapes pour chacun. La première étape a visé la création de modèles contextualisés avec Gen-PTE d'un template Mepulco que nous avons défini. La deuxième étape a consisté à accompagner chaque enseignant afin de comprendre le fonctionnement de Gen-COM et l'utiliser pour la contextualisation du modèle de Mepulco. Les modèles fonctionnels produits ont été interprétés et implémentés dans Moodle par l'administrateur de Moodle vu que la version adaptée de Gen-Dep n'est pas encore fonctionnelle. La troisième étape a consisté à répondre au questionnaire présenté dans l'Annexe D.

Dans ce qui suit nous montrons à titre d'exemple les modèles produits par l'un des enseignants participants.

Le modèle contextualisé de Mepulco illustré par la Figure 82 est une représentation des principes expliqués dans la section V.2.1.1 du chapitre V tout en tenant en considération les spécificités du contexte de Polytech'Lille. Il décrit que dans le cadre d'un projet de système d'information (ProjectSysInfo), un suivi par équipe est assuré (TeamSupervision). A ce projet, une ressource représentant le kit de la méthode (KitMepulco) et une autre ressource représentant les spécifications du projet (KitProject) qui sont commun à tous les étudiants sont rattachées au projet. L'activité de suivi comporte des activités de présentation du projet, de collaboration entre les membres d'une équipe, de dépôt de documents, de liens vers des ressources utiles et de réunions.

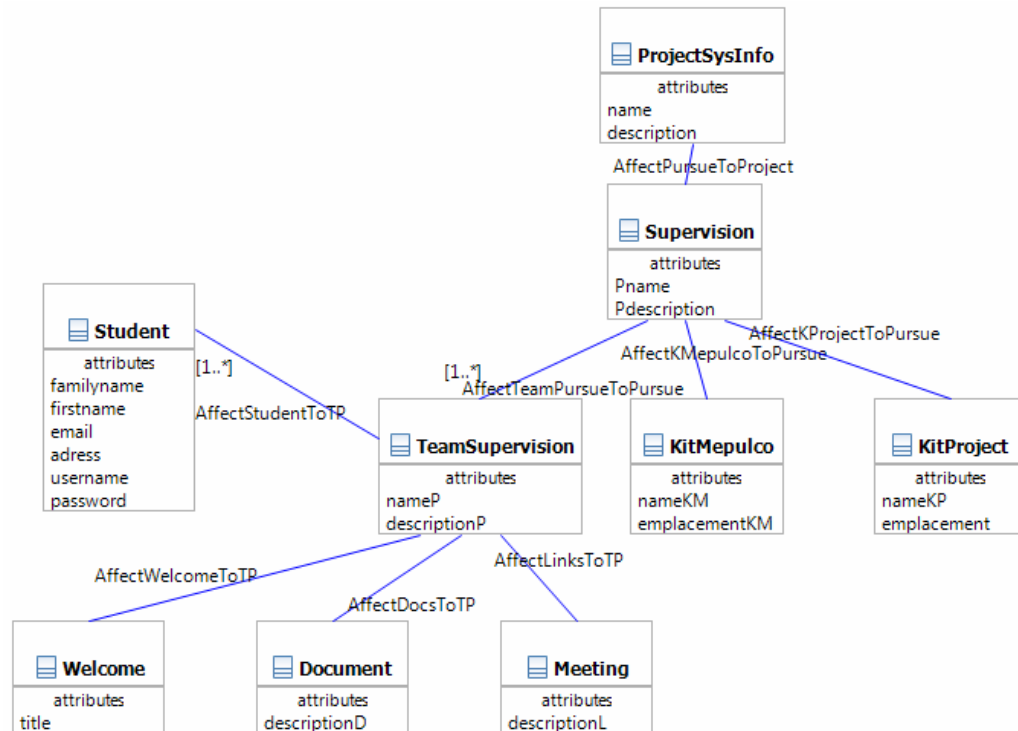


Figure 82 : Modèle de Mepulco

Le scénario d'utilisation de Gen-COM pour cet enseignant est comme suit. La première étape consiste à spécifier le modèle de Mepulco à transformer (modèle présenté dans la Figure 82). Une fois le modèle sélectionné, le système lui demande de préciser son contexte c'est-à-dire la formation de Polytech'Lille à laquelle il est rattaché. Ce choix permet à Gen-COM de détecter la plateforme afin de charger son méta-modèle (dans ce cas, c'est le méta-modèle de Moodle représenté dans la Figure 59) ainsi que d'activer les pratiques d'utilisation de Moodle qui s'appliquent dans ce contexte (les trois bonnes pratiques décrites dans la section précédente).

Une fois ces informations précisées à Gen-COM, celui-ci procède à la génération de l'interface de contextualisation. La tâche du concepteur consiste à faire correspondre à chaque outil pédagogique l'outil technique correspondant. Il est guidé dans ses choix par Gen-COM à travers la consultation à tout moment de ses choix validés ainsi qu'à travers le journal de contextualisation qui contient les messages d'assistance. Par exemple, pour les trois bonnes pratiques utilisées lors des tests, celle liée à la recommandation de l'utilisation des wikis est affichée dans le journal d'une façon permanente. Pour la bonne pratique concernant le chat, la contrainte liée à l'interdiction des chats apparaissait avec l'explication correspondante. De même, quand un forum est choisi, le système met à jour le journal afin de prévenir le concepteur du nombre de forums maximum fixé à deux. Les décisions finales de transformation choisies sont résumées dans le Tableau 19 et les associations déduites par Gen-COM et validées par le concepteur sont résumées dans le Tableau 20.

Pedagogical concept	LMS concept
ProjectSysInfo	Course
KitMepulco	Resource
KitProject	Resource
TeamSupervision	Theme
Supervision	Wiki
Welcome	WikiPage
Document	WikiPage
Meeting	WikiPage
Student	User

Tableau 19 : Décisions finales de transformation

Pedagogical association	LMS association
AffectPursueToProject	AffectThemeToCourse
AffectKMepulcoToPursue	AffectResourceToTheme
AffectKProjectToPursue	AffectResourceToTheme
AffectTeamPursueToPursue	AffectWikiToTheme
AffectStudentToTP	AffectUserToWiki
AffectWelcomeToTP	AffectWikiPageToWiki
AffectDocsToTP	AffectWikiPageToWiki
AffectLinksToTP	AffectWikiPageToWiki

Tableau 20 : Associations déduites et validées

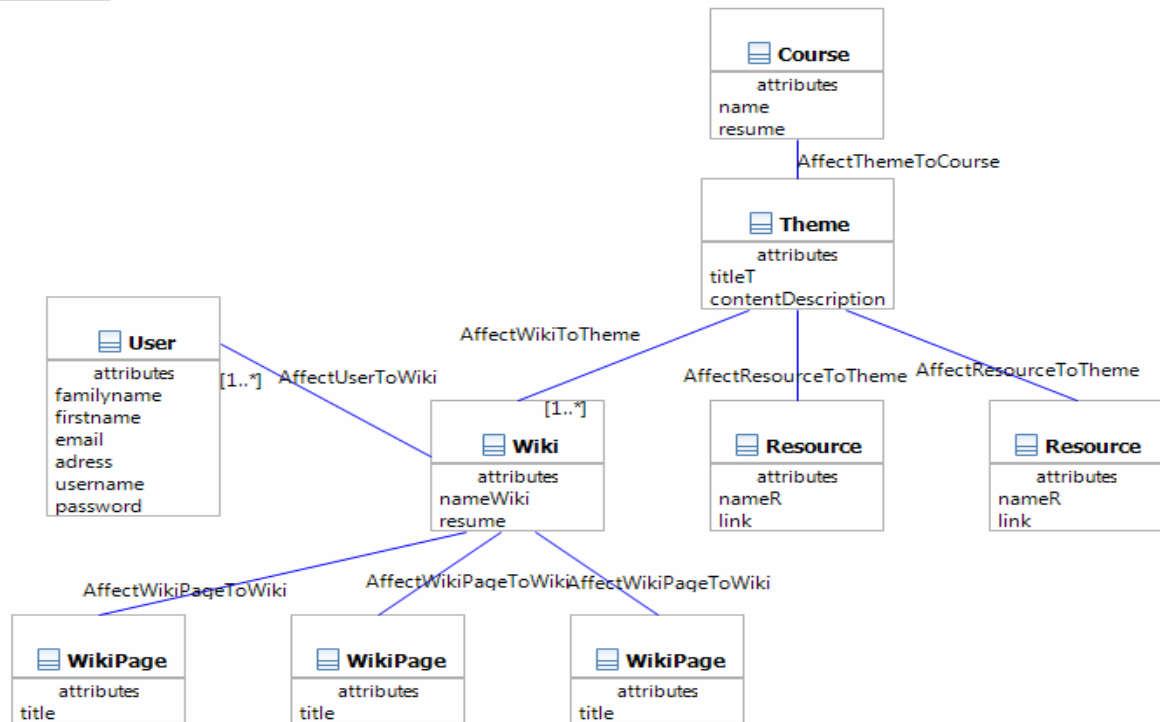


Figure 83 : Modèle transformé conformément à Moodle

Après avoir terminé la transformation, Gen-COM s’est basé sur le modèle de Mepulco et les choix de transformation du concepteur afin de générer automatiquement le modèle de Mepulco concret et dépendant de la plateforme Moodle illustré par la Figure 83.

X.3.3 Interprétation des résultats

Cette étude dans le cadre du projet MetaWep a permis de mettre en œuvre le test de notre travail avec un cas réel d’étude. Afin de pouvoir évaluer notre proposition, le questionnaire détaillé dans l’Annexe D a été donné aux participants. Le nombre de participants étant limité, nous n’avons pas pu faire de statistiques significatives à partir des questionnaires. Nous présentons les résultats sous forme d’avantages et d’insuffisances que nous avons dégagés à partir des réponses aux questionnaires en se basant sur le Tableau 17 et sur les remarques et suggestions données par les participants.

Pour Gen-PTE, un consensus a été noté chez les participants concernant l’utilité et l’utilisabilité de la réutilisation et de la contextualisation de templates ainsi que de l’assistance fournie (E1, E2, E3).

Pour Gen-COM, nous avons noté que les concepteurs ont facilement pris en main l’outil vu qu’ils sont des informaticiens qui ont des pré-requis en modélisation UML. En ce qui concerne l’utilisabilité de Gen-COM (E11), deux concepteurs ont été satisfaits tandis qu’un concepteur était moins satisfait parce qu’il a trouvé la navigation entre les différentes fenêtres de l’outil difficile à suivre.

Les trois concepteurs n’avaient aucun pré-requis sur les templates UML. Ils ont trouvé utile l’assistance technique fournie pour effectuer l’appariement entre les éléments pédagogiques et les éléments de la plateforme (E9) (deux concepteurs ont attribué la valeur très bonne et un concepteur a attribué la valeur bonne). L’un des concepteurs a suggéré la possibilité de réutiliser des modèles contextualisés prêts. Ainsi, les concepteurs travaillant dans le même contexte et mettant en œuvre la même pédagogie peuvent partager les modèles transformés.

En ce qui concerne l'assistance à la prise de décisions contextualisés (E10), les concepteurs ont trouvé utile le fait que Gen-COM présente les messages d'assistance pour les aider sans leur imposer des choix de transformation. En effet, deux parmi les trois concepteurs ont été récemment recrutés et ont exprimé qu'« ils sont complètement perdus et qu'ils ont besoin d'aide pour effectuer des choix le plus stable que possible c'est-à-dire qui nécessiteraient par la suite moins d'ajustements ». Ces nouveaux concepteurs se sont trouvés plus assistés parce que les messages d'assistance leur ont été communiqués au moment où ils en avaient besoin. De plus des suggestions ont été proposées afin de les guider à faire des choix contextualisés. Le troisième concepteur qui travaille à Polytech'Lille depuis quelques années et qui est habitué à son contexte, a exprimé qu'il connaissait déjà la plupart des règles d'assistance qui lui ont été proposées. Il a noté que le journal d'assistance est bien placé dans l'interface graphique c'est-à-dire dans la partie inférieure de l'interface graphique et il est bien différencié de la partie supérieure réservée à la transformation ce qui n'a pas perturbé son travail.

Pour Gen-IC, l'avantage soulevé par l'administrateur c'est qu'il trouve un moyen de communiquer les règles contextuelles aux concepteurs.

L'idée de rattacher les contraintes aux éléments du modèle d'une plateforme a permis indirectement d'adapter la plateforme elle-même aux besoins de personnalisation des institutions. Par exemple, le choix de la plateforme Moodle pour une formation à distance donnée met à la disposition des concepteurs les outils offerts par la plateforme telle que le chat. Le fait d'exprimer la contrainte : « le chat est interdit » traduit une personnalisation de l'utilisation de Moodle dans le contexte de cette formation.

L'administrateur a apprécié le fait de pouvoir faire l'héritage et le partage de règles parce que cela le dispense de répéter à chaque fois les mêmes manipulations.

En dépit de ces avantages, l'administrateur participant a trouvé l'utilisabilité de Gen-IC moyenne et a soulevé aussi le besoin de quelques améliorations et extensions. Actuellement, les aspects contextuels qu'il est possible de modéliser sont relatifs à l'utilisation des outils de la plateforme. Toutefois, le besoin d'exprimer des aspects combinant les outils de la plateforme et les éléments du modèle d'un scénario pédagogique spécifique a été soulevé. Par exemple, pour la bonne pratique qui préconise la recommandation de l'outil wiki pour le suivi des projets, il aurait été meilleur de pouvoir la lier à l'élément Wiki du méta-modèle de Moodle et à l'élément « teamSupervision » du modèle de Mepulco.

Nous notons que les prototypes logiciels que nous avons produits sont utilisés actuellement dans le projet MetaWep. Ainsi, le processus de validation et d'amélioration se poursuit même après la fin de l'expérimentation.

Nous détaillons dans la section suivante la deuxième étude de cas.

X.4 Etude de cas : Master « Ingénierie Pédagogique Multimédia »

Dans cette section nous présentons les détails d'une étude que nous avons menée dans le cadre du Master à distance IPM de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I (USTL). Il s'agit d'un master 2 Professionnel Sciences Humaines et Sociales mention Sciences de l'Education et Formation d'Adultes. C'est un diplôme universitaire niveau Bac plus cinq qui existe depuis 1990 et qui utilise la plateforme ACCEL. La plateforme ACCEL

est une plateforme soutenue par l'USTL⁸¹. Cette étude s'est étalée entre septembre 2009 et Décembre 2009. Les résultats ont été présentés dans le cadre de la journée de recherche « La formation entre les mains des usagers, Pratiques pédagogiques, technologies, dispositifs » qui s'est manifesté en Décembre 2009 à Lille.

X.4.1 Problématique de l'étude

La problématique de l'étude concerne l'identification, la modélisation et l'opérationnalisation des bonnes pratiques capitalisées dans le cadre de ce master à travers différentes promotions.

Cette étude de cas est pertinente pour l'évaluation parce que les traces de déroulement des cours des anciennes promotions ont été conservées sur la plateforme ACCEL depuis quelques années. L'objectif de conserver ces traces est double. Premièrement, elles permettent le partage des bonnes pratiques afin d'aider les nouveaux tuteurs à la conception de leurs dispositifs. Deuxièmement, elles aident les anciens tuteurs à faire évoluer leurs dispositifs et adapter leurs choix pour les nouvelles promotions d'étudiants. En revanche, l'effort nécessaire pour l'exploration des traces est important. Ainsi, il serait utile de capitaliser et modéliser une seule fois les bonnes pratiques afin d'assurer leur réutilisation par les tuteurs.

L'évaluation dans cette étude de cas a été centrée sur la modélisation d'aspects contextuels liés à l'usage d'une plateforme de formation à distance (E4, E5, E6, E7). Dans ce cas, il s'agit plus spécifiquement de bonnes pratiques liées à l'usage d'une plateforme.

X.4.2 Profil des participants

Le participant à cette expérimentation est le responsable de ce master qui est aussi un enseignant dans ce master. Il a joué le rôle de l'expert institutionnel dans la première partie de l'étude pour la modélisation des bonnes pratiques. Ensuite, il a joué le rôle d'un enseignant concepteur afin de tester le rôle des bonnes pratiques modélisées dans la conception. L'expertise du responsable de formation est moyenne en modélisation UML.

L'entretien effectué avec le responsable de la formation IPM est détaillé dans l'annexe C. Tout au long de cette étude de cas, nous utilisons les informations dépistées au cours de cet entretien.

X.4.3 Description du contexte institutionnel

Ce master fait partie d'un parcours commun « sciences de l'éducation formation pour adultes ». Le contexte général dans lequel se situe ce master est présenté dans la Figure 84.

⁸¹ <http://cueep.univ-lille1.fr/accel/>



Figure 84 : Contexte général du master IPM⁸²

En ce qui concerne l'organisation des enseignements, elle se fait de la façon qui suit. Chaque matière est assurée par deux ou trois enseignants. L'un parmi eux est le responsable de la conception du dispositif pour la plateforme ACCEL et c'est lui qui assure le déploiement du dispositif sur la plateforme. Souvent, ce responsable n'est pas informaticien.

Pour la conception des dispositifs pédagogiques, certains enseignants adoptent une stratégie transmissive, d'autres préfèrent des stratégies par projet ou encore par situation-problème. Toutefois, un nombre de règles pédagogiques communes à toutes les matières doivent être respectés par tous les enseignants. Elles concernent la nécessité de prévoir :

- Une présentation de l'enseignement : décrit la matière et la méthode de déroulement de l'enseignement ;
- Une matrice qui décrit le déroulement de la matière par semaine afin d'équilibrer les charges par semaine et éviter ainsi des semaines avec baisse de charges et d'autres avec haute charge ;
- Un tableau qui résume les tâches des étudiants durant l'enseignement.

L'outil « liste de tâches » de la plateforme ACCEL est exigé pour chaque règle pédagogique.

Il existe aussi des contraintes pédagogiques liées aux profils des apprenants. En effet, il existe trois profils différents des apprenants :

- les français qui habitent en France ;
- les français qui habitent à l'étranger ;
- les étudiants se rapportant à l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) qui sont de différentes nationalités.

Pour le premier profil, généralement aucune contrainte ne s'impose. Pour le deuxième profil, le problème qui se pose souvent est logistique lié aux examens qu'ils passent en présentiel. Le même problème se pose pour les étudiants de l'AUF, en plus des contraintes techniques importantes qui imposent des changements des choix pédagogiques. Il s'agit des problèmes liés à la bande passante tels que la difficulté d'effectuer des communications synchrones et la difficulté de télécharger des contenus pédagogiques riches en ressources

⁸² http://www.trigone.univ-lille1.fr/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=53

multimédias. De plus, le problème de filtrage Internet se pose par exemple en Chine où il y a souvent un problème de téléchargement des vidéos. Pour résoudre ce type de problème, il est souvent conseillé d'éviter l'utilisation de contenus pédagogiques riches en multimédias.

Il existe également des contraintes d'organisation de la formation, celles destinées aux enseignants et celles destinées aux étudiants et qui leur sont communiqués à travers :

- La charte des étudiants et des enseignants ;
- L'atelier des enseignants : où le responsable de la formation donne des consignes aux enseignants ;
- L'atelier 0 des étudiants qui permet d'indiquer aux étudiants les conditions dictées par la CEVU pour l'obtention du master et de leur donner des conseils. La CEVU est une commission qui se réunit chaque année en Septembre afin de décider des conditions d'obtention d'un diplôme à l'USTL.

La capitalisation des expériences précédentes est importante pour le diplôme. En effet, les traces de déroulement de l'enseignement pour les promotions précédentes (« les histoires vécues des dispositifs pédagogiques ») sont gardées sur la plateforme afin d'aider les enseignants des promotions suivantes. Il est vrai que cela nécessite un effort d'exploration important mais le responsable de la formation espère pouvoir formaliser les bonnes pratiques afin de les intégrer dans le processus de conception d'une manière plus adéquate. *« L'historique sur la plateforme est vraiment riche par de bonnes pratiques mais leur exploitation lors de la conception des dispositifs nécessite encore un effort d'exploration et d'interprétation par les enseignants. »* dit le responsable de la formation. Il ajoute que : *« on ne peut rien imposer aux enseignants, on peut juste leur indiquer la présence de l'historique et eux ils se l'approprient. Dans certains cas, ils font autre chose. »*

Actuellement, dans l'IUP, un ingénieur pédagogique a été recruté afin d'observer, scruter les différentes promotions du master IPM et extraire les bonnes pratiques afin de les communiquer aux enseignants d'IUP qui forment une nouvelle génération d'enseignants qui n'ont pas d'expérience en FOAD.

X.4.4 Modélisation du contexte institutionnel

Gen-IC a été utilisé pour modéliser la structure du master ainsi que quelques bonnes pratiques d'utilisation d'ACCEL dans le contexte de ce master. L'arborescence à modéliser possède comme racine le master et comme formations les différentes unités d'enseignement (UE) relatives à ce master. Les bonnes pratiques diffèrent d'une unité d'enseignement à une autre et il existe parfois des bonnes pratiques qui sont partageables entre les différentes unités.

X.4.4.1 Modélisation de la structure du master

Les unités d'enseignement dans ce master sont au nombre de onze, nous citons : Méthodes et modèles d'apprentissage, Ecriture et scénarisation multimédia, Gestion de projets pédagogiques, Ergonomie et évaluation des usages, Réseaux et services pour le eLearning.

Nous reprenons l'exemple de trois unités d'enseignement représentatives relatives au master comme illustré par la Figure 85 : Outils de conception et d'intégration multimédia, Ergonomie et évaluation des usages, Réseaux et services pour l'eLearning

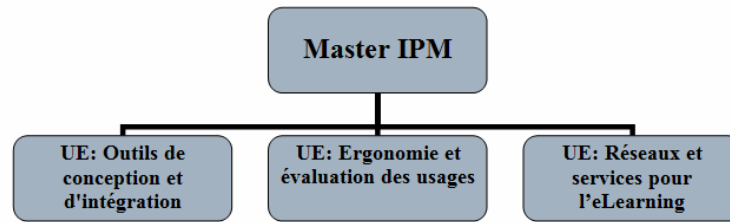


Figure 85 : Partie de l'arborescence du Master IPM

X.4.4.2 Modélisation des bonnes pratiques

Nous reprenons dans le Tableau 21 les principales caractéristiques de deux bonnes pratiques :

- Eviter les chats (Problème de bande passante ou de filtrage Internet pour certains étudiants AUF), cette bonne pratique concerne toutes les UE (colonne portée = partageable) ;
- Le nombre maximum de tuteurs pour l'UE « Ergonomie et évaluation des usages » ne doit, de préférence, pas dépasser deux. Cette BP est spécifique à cette unité.

Caractéristiques	1 ^{ère} bonne pratique : BP1	2 ^{ème} bonne pratique : BP2
Institution	CUEEP ⁸³	CUEEP
Formation	Master IPM	Master IPM
Sous formation	UE : Réseaux et services pour l'eLearning	UE : Ergonomie et évaluation des usages
Label	Eviter les chats	Nombre maximum de tuteurs
Description	Problème de bande passante ou de filtrage Internet pour certains étudiants AUF	Le nombre maximum de tuteurs ne doit de préférence pas dépasser deux
Type	Eviter l'utilisation d'un outil de la plateforme	Spécifier le nombre maximum d'instances d'un élément de la plateforme
Elément de la plateforme	Chat	Enseignant
Nature	Bonne pratique	Bonne pratique
Source	Analyse de traces	Analyse de traces
Valeur	Vrai	Valeur maximum : 2
Portée	Partageable Non héritable	Non Partageable Non héritable

Tableau 21 : Principales caractéristiques de deux bonnes pratiques

X.4.5 Interprétation des résultats

Les réponses au questionnaire de Gen-IC, les remarques et suggestions donnés par le responsable de la formation peuvent se résumer comme suit.

Les avantages de Gen-IC sont essentiellement liés à la possibilité de modéliser la structure du master et d'attribuer les bonnes pratiques aux unités d'enseignements concernés, à la facilité de la modélisation des bonnes pratiques avec une liberté dans la modélisation des

⁸³ Centre Université-Economie d'Education Permanente

différentes catégories de bonnes pratiques. L'expression de partage d'aspects entre les unités dispense de répéter à chaque fois les mêmes modélisations.

Un manque dégagé est relatif au besoin d'exprimer des bonnes pratiques liées à la pédagogie et des bonnes pratiques qui combinent à la fois la pédagogie et la plateforme. Par exemple pouvoir exprimer qu'il est préférable d'utiliser l'outil « liste de tâches » de la plateforme ACCEL pour la présentation de l'enseignement (combine pédagogie et plateforme). Un exemple de bonne pratique lié seulement à la pédagogie indique que chaque dispositif doit être doté par les éléments suivants : Présentation de l'enseignement, Matrice de déroulement et Tableau des tâches.

Cette étude a soulevé aussi des bonnes pratiques de déploiement. Il s'avère pertinent de distinguer le moment de proposer les bonnes pratiques aux concepteurs. En effet, lors du déploiement du dispositif, certaines bonnes pratiques deviennent plus pertinentes pour aider les concepteurs. Par exemple, l'une des bonnes pratiques identifiées indique d'éviter les ressources riches en multimédias à cause des contraintes techniques liés à la bande passante pour certains étudiants AUF. Cette pratique peut être modélisée avec Gen-IC et être communiquée aux concepteurs lors de la transformation. Toutefois, il est plus adéquat de la présenter au concepteur au moment où il télécharge les ressources de son cours lors du déploiement. En fait, dans le modèle concret, il est possible d'exprimer l'utilisation d'une ressource de la plateforme mais sans donner les fichiers physiques à utiliser.

Les tests avec Gen-COM étaient centrés sur l'utilisabilité de la transformation contextualisée (E11). Le participant a été satisfait et a apprécié le fait que Gen-COM soit fondé sur la proposition de conseils sans imposer aux concepteurs des choix.

Nous notons qu'il est prévu de poursuivre l'étude pour modéliser les bonnes pratiques pour les différentes UE. Le travail d'identification de BP est actuellement en cours par un ingénieur pédagogique. Les bonnes pratiques que nous avons modélisées étaient des exemples parmi des exemples identifiés lors de l'entretien.

X.5 Etude de cas : Master eServices

La dernière expérimentation porte sur le master professionnel e-Service issu d'une collaboration entre quatre universités (USTL, Université de Carthage à Tunis, Université Saint Joseph à Beyrouth et l'Université notre dame de la paix à Namur). Le master est déployé depuis 2005 et il bénéficie d'un appui de l'AUF depuis 2008. Actuellement, le master utilise la plateforme Claroline. Cette expérimentation a été mise en œuvre en Octobre et Novembre 2009

X.5.1 Problématique de l'étude

Cette étude de cas est pertinente pour l'évaluation parce les enseignants qui assurent la modélisation de leurs dispositifs pour la plateforme Claroline et sont parfois assistés par le coordinateur administratif de la formation.

Cette étude se distingue des deux précédentes par le fait que les enseignants sont soit des informaticiens soit des gestionnaires et la plupart d'entre eux ne connaissent pas la plateforme Claroline. Les enseignants proviennent des quatre universités citées ci-dessus et les étudiants sont originaires de vingt cinq pays. Les tests effectués sont centrés sur l'évaluation de l'assistance proposée par Gen-COM pour la contextualisation par rapport à la plateforme pour des enseignants informaticiens et d'autres gestionnaires (E8, E9, E11).

X.5.2 Profil des participants

Les enseignants ayant participé à ces tests sont au nombre de cinq : deux informaticiens et trois gestionnaires dont les profils sont présentés dans le Tableau 22.

Participant	Type	Connaissances en modélisation UML	Connaissance en Templates UML	Transformation de modèles
Enseignant-concepteur 1	Gestionnaire	Aucune	Aucune	Aucune
Enseignant-concepteur 2	Gestionnaire	Très moyenne	Aucune	Aucune
Enseignant-concepteur 3	Gestionnaire	Très moyenne	Aucune	Aucune
Enseignant-concepteur 4	Informaticien	Très bonne	Aucune	Moyenne
Enseignant-concepteur 5	Informaticien	Très bonne	Aucune	Moyenne

Tableau 22 : Profil des participants à l'étude eServices

Le déroulement de l'étude est similaire au déroulement de l'étude MetaWep pour l'usage de Gen-COM.

X.5.3 Interprétation des résultats

Cette étude a montré que les deux concepteurs informaticiens n'ont pas trouvé de difficulté pour comprendre la méthode de transformation grâce à la simplicité de l'utilisation de l'outil ainsi que l'assistance qu'il offre (E8, E9, E11). Ainsi, l'utilisabilité de Gen-COM pour les deux informaticiens a été qualifiée de bonne et très bonne.

Pour les concepteurs gestionnaires, deux cas se présentaient. Pour les deux gestionnaires qui avaient quelques notions en conception UML, ils ont réussi à s'en sortir mais en prenant plus de temps pour s'appropriier l'outil Gen-COM par rapport aux informaticiens. Tandis que pour les enseignants gestionnaires n'ayant pas de notions de base en conception UML, il était nécessaire de leur expliquer plusieurs fois les étapes du processus à suivre pour pouvoir être autonomes dans sa mise en œuvre.

L'utilisabilité de l'outil tel que trouvé par les trois gestionnaires est en moyenne bonne (E11). En ce qui concerne l'utilité, nous avons constaté que quelques notions en modélisation UML sont nécessaires pour pouvoir s'appropriier l'outil plus facilement ce qui était le cas des deux gestionnaires ayant des connaissances moyennes en UML.

X.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le détail des expérimentations que nous avons menées avec des experts institutionnels ainsi qu'avec des enseignants pour tester et valider ACoMoD. Ces études de cas sont complémentaires dans le sens où chacune est différente de l'autre et chacune a servi au test et à la validation d'aspects différents de notre proposition. Ces expérimentations ont permis de faire évoluer certaines fonctionnalités et de corriger certains bugs des prototypes Gen- PTE, Gen-IC et Gen-COM. Elles ont permis également de déterminer des avantages et des limites de notre proposition. Ces limites ont permis

l'ouverture de plusieurs perspectives de développement à court terme mais également à des perspectives de recherches qui seront détaillées dans la conclusion du rapport.

Conclusion Partie II

C'est en nous basant sur l'analyse d'expérimentations dans le cadre du projet MetaWep que nous avons décomposé le contexte institutionnel en sous contextes dont chacun est composé par un ensemble d'aspects se rapportant à la pédagogie, à la plateforme et aux éléments préexistants sur la plateforme.

Pour prendre en considération les aspects spécifiques à la pédagogie, nous avons proposé d'utiliser les templates UML comme format de modélisation de dispositifs pédagogiques qui favorise la contextualisation de modèles. Il est vrai que les méta-modèles spécifiques sont faits de façon à répondre à l'expressivité contextuelle exigée. Toutefois, cette approche nécessite la création de ce méta-modèle ce qui est une tâche d'experts. De plus, la réutilisation de modèles n'est pas facilitée à cause de l'expressivité. La problématique de contextualisation à laquelle nous nous intéressons combinée avec le profil du public que nous avons ciblé qui sont des concepteurs pédagogiques nous a amené à penser à une solution qui permet de garantir la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques afin d'éviter de passer par définir à chaque fois un langage de modélisation et de modéliser en se lui conformant. Cette solution doit permettre aussi de définir des modèles malléables qu'il est possible de contextualiser afin de répondre à des besoins spécifiques. Cela nous a amené à proposer les templates UML comme format qui répond à ces besoins. D'une part, la modélisation avec les diagrammes de classe UML est plus simple pour les raisons qui suivent.

Premièrement, le méta-modèle UML est déjà défini et il permet de modéliser un large spectre d'intentions pédagogiques. Deuxièmement, les concepts utilisés sont peu nombreux : classes, association, attributs. Il est vrai qu'à la différence des méta-modèles, ces concepts ne sont pas ceux du domaine mais grâce aux éléments paramétrables il est possible d'adapter le vocabulaire utilisé. L'approche adoptée et qui a été détaillé dans le chapitre six repose sur la formalisation de modèles de scénarios pédagogiques réutilisables et adaptables via les templates UML. Les paramètres d'un template représentent les aspects spécifiques au contexte de réutilisation. La contextualisation consistera donc à concrétiser ces paramètres dans un contexte spécifique pour générer le modèle d'un scénario pédagogique contextualisé. Afin de réaliser cette proposition, il fallait personnaliser des propositions d'UML et d'automatiser certaines tâches.

Pour transformer les modèles de scénarios pédagogiques contextualisés en des modèles techniques tout en considérant les aspects spécifiques à l'usage de la plateforme dans un contexte donné, nous avons proposé dans le chapitre sept de personnaliser le mécanisme de « binding » des templates UML pour faire cette transformation. Pour la prise en compte des aspects d'usage de la plateforme, nous avons proposé de modéliser ces pratiques sous la forme de contraintes OCL qui doivent être respectées par le modèle produit ainsi que par des règles d'assistance aux concepteurs qui leur sont proposées au moment adéquat lors de la transformation. Pour cela, nous avons appelé cette étape la « transformation contextualisée ». L'assistance aux concepteurs a été aussi expliquée à travers l'assistance technique dont la faisabilité technique a été prouvée par les prototypes développés. L'assistance à la contextualisation a été aussi expliquée.

Le chapitre neuf nous a permis de détailler les fonctionnalités des prototypes Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM. Le chapitre dix était réservé à la description des expérimentations et l'analyse des résultats.

Conclusion Générale

Les bénéfices d'une approche dirigée par les modèles pour l'ingénierie des EIAH ne sont plus à démontrer : personnalisation des langages de modélisation, partage et interopérabilité par rapport aux plateformes. Néanmoins, cette approche a introduit de nouvelles pratiques de conception notamment la méta-modélisation et la transformation de modèles en lesquelles les concepteurs pédagogiques, souvent non-informaticiens, sont débutants et ont besoin d'être assistés. Pour cette raison, nos travaux sont centrés sur les concepteurs pédagogiques, plus particulièrement, ceux qui veulent bénéficier des avantages de l'approche dirigée par les modèles et qui sont débutants dans l'usage des techniques et outils se rapportant à cette approche.

Le cadre précis sur lequel nous nous sommes concentrés est l'approche par dispositif de l'usage des plateformes de formation à distance comme environnement informatique support au déploiement et à l'exécution de dispositifs pédagogiques. Dans le cadre de l'approche par dispositif, la modélisation pédagogique est centrée sur la définition des *moyens* d'exécution des scénarios pédagogiques. Ces moyens sont les éléments composants un dispositif qui est donc défini comme un ensemble d'éléments déployés sur une plateforme de formation à distance permettant l'exécution de scénarios pédagogiques.

En plus de l'étude de la littérature explorant le domaine de l'ingénierie des EIAH et les différents concepts pertinents qui s'y rapportent ainsi que le domaine de l'ingénierie dirigée par les modèles, notre état de l'art a couvert les approches de l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles et l'étude de la complexité des EIAH pour le cas de l'approche par dispositif en se référant à une approche multi-échelle.

L'étude de l'art des travaux d'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles menée nous a permis de constater le besoin d'assister les concepteurs pédagogiques dans la modélisation de leurs intentions pédagogiques et leur transformation en modèles de dispositifs pédagogiques spécifiques à la plateforme de formation à distance choisie.

L'étude de littérature menée au sujet de la complexité des dispositifs pédagogiques a ressorti la nécessité de prendre en compte un ensemble d'aspects de la complexité des dispositifs lors de la conception ce qui n'est pas supporté par les approches proposées dans la littérature pour l'ingénierie des EIAH dirigée par les modèles. Nous avons choisi de se concentrer sur le contexte institutionnel comme l'un des aspects de la complexité comme continuité de nos travaux de master sur l'adaptativité au contexte mais tout en traitant un nouveau type de contexte qui est le contexte institutionnel. Le contexte institutionnel est défini comme l'ensemble de règles organisationnelles et de pratiques contextuelles qui influencent la conception et l'exécution des dispositifs pédagogiques.

A partir de l'état de l'art, nous nous sommes fixés comme objectifs de :

- Assister les concepteurs à la modélisation pédagogique et à la transformation de modèles de scénarios pédagogiques en des modèles de dispositifs pédagogiques spécifiques à la plateforme de formation à distance choisie ;
- Proposer un cadre conceptuel étendant l'approche par dispositif afin de prendre en compte le contexte institutionnel lors de la conception. Ce cadre doit, d'une part, définir les composants du contexte institutionnel et ses relations avec les dispositifs et d'autre part définir les besoins de contextualisation permettant de rendre la modélisation des dispositifs plus contextualisée. S'intéressant à une approche basée

sur le MDA, étudier à quelle(s) étape(s) de cette démarche entreprendre la contextualisation s'est avéré nécessaire ;

- Proposer une solution pour la modélisation du contexte institutionnel et pour la contextualisation des dispositifs pédagogiques s'appuyant sur des plateformes de formation à distance afin de tenir compte du contexte institutionnel. Notre hypothèse générale est que si les besoins de contextualisation sont bien définis, si la formalisation de dispositifs pédagogiques se fait selon le format qui favorise la contextualisation, et si la contextualisation est mieux soutenue et assistée, il serait plus facile de produire des dispositifs pédagogiques contextualisés ;

Contributions

Par rapport aux objectifs fixés, nos travaux ont abouti aux propositions illustrées par la Figure 86 et qui sont :

1. Un cadre conceptuel s'inspirant de l'approche multi-échelle et basée sur des expérimentations dans le cadre du projet MetaWep et des entretiens auprès d'enseignants-concepteurs. ce cadre définit le contexte institutionnel et le catégorise selon les étapes du MDA, explicite les interdépendances entre le contexte et le dispositif et détaille les besoins de contextualisation.
2. Une démarche assistée s'inspirant du MDA et qui va de la modélisation des intentions pédagogiques à la spécification du modèle d'un dispositif pédagogique dans les termes d'une plateforme de formation à distance choisie tout en respectant les caractéristiques du contexte institutionnel. Les solutions proposées pour chaque étape de cette démarche sont les suivantes :
 - Pour l'étape de la modélisation du modèle indépendant de la plateforme, une approche d'assistance à la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques et à leur contextualisation a été proposée. L'approche proposée se base sur la réutilisation de templates pédagogiques formalisant des scénarios pédagogiques abstraits et sur la contextualisation de ces templates afin de les adapter aux spécificités du contexte institutionnel. Cette approche est basée sur les templates UML pour formaliser de façon standardisée des modèles à la fois réutilisables et malléables ;
 - Pour l'étape de la transformation, un processus de transformation contextualisée basée sur la relation « bind » d'UML a été proposé. Il permet aux concepteurs d'exprimer eux-mêmes leurs règles de transformation et de pouvoir les mettre à jour. Dans ce cadre, quelques lacunes du mécanisme des templates d'UML ont été relevées et des solutions ont été proposées. Nous qualifions cette transformation de contextualisée parce qu'elle guide et contrôle le concepteur à prendre des décisions de transformation qui respectent les règles et pratiques liées à l'usage de la plateforme dans le contexte spécifique de la transformation. Une solution a été aussi proposée pour la modélisation de ces aspects liés à l'utilisation des plateformes de formation à distance.
3. Une approche d'assistance des concepteurs à la mise en œuvre de ces propositions à travers :
 - Une assistance technique par l'implémentation des mécanismes de manipulation des templates dans des outils graphiques adaptés à des concepteurs pédagogiques qui leur automatise certaines tâches de contextualisation difficiles ;

- Une assistance à la transformation contextualisée à travers des règles d'assistance pour le choix des outils de la plateforme et un validateur contextuel permettant d'afficher au concepteur un bilan résumant l'état de validité du modèle qu'il a construit par rapport aux contraintes contextuelles.

La faisabilité technique de nos propositions a été prouvée à travers le développement de trois prototypes logiciels que nous avons appelés : Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM. Gen-PTE permet d'assister la modélisation de templates, leur réutilisation et leur contextualisation. Gen-IC est un générateur de modeleurs d'aspects contextuels relatifs à l'utilisation d'une plateforme de formation. Gen-COM permet d'assister les concepteurs pédagogiques à une contextualisation de modèles de scénarios pédagogiques par rapport à une plateforme de formation à distance guidée et contrôlée par les aspects contextuels relatifs à l'utilisation de cette plateforme.

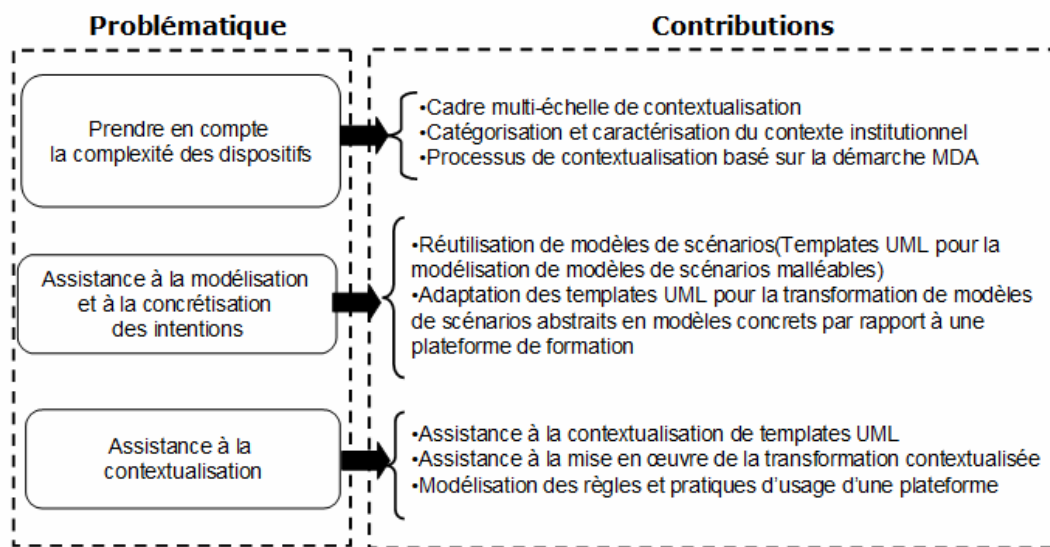


Figure 86 : Résumé des contributions

Notre état de l'art ainsi que nos propositions touchent à plusieurs domaines de recherche qui sont les sciences de l'éducation, les EIAH ainsi que le génie logiciel. Nous allons reformuler dans ce qui suit notre contribution par domaine.

Contribution par domaine de recherche

Notre contribution au domaine des sciences de l'éducation est représentée premièrement par la prise en compte du contexte institutionnel lors de la conception de dispositifs dans un objectif d'une meilleure maîtrise de la complexité qui se manifeste lors de l'usage. La deuxième contribution concerne l'étude du contexte institutionnel, ses relations avec les dispositifs qui lui sont rattachés ainsi que son intégration dans le processus de conception. Ces résultats ont été introduits dans un cadre que nous avons appelé cadre multi-échelle d'interdépendance entre le dispositif et son contexte et qui constitue une extension de l'approche par dispositif. Ainsi, nous avons montré à travers ce travail comment prendre en compte l'un des aspects de la complexité lors de la conception.

Notre contribution au domaine des EIAH est destinée aux concepteurs pédagogiques. Nous avons proposé à ces concepteurs une plateforme logicielle nommée ACoMoD qui les accompagne dans la modélisation de leurs intentions pédagogiques et dans la concrétisation de leurs intentions dans des dispositifs pédagogiques spécifiques à des plateformes de formation à distance tout en les assistant à produire des dispositifs qui tiennent en compte les spécificités de leur contexte institutionnel. Cette plateforme logicielle implémente une

démarche basée sur le MDA qui assiste à la réutilisation de modèles de scénarios pédagogiques et leur contextualisation et qui assiste la transformation contextualisée de modèles de scénarios pédagogiques en des modèles de dispositifs pédagogiques spécifiques à des plateformes de formation à distance. La base technique de cette démarche est le mécanisme de templates proposé par UML. Ainsi, nous avons montré comment les templates favorisent la réutilisation et la contextualisation de scénarios pédagogiques et comment ils facilitent les transformations de modèles de façon à palier les lacunes des solutions proposés dans la littérature.

Pour ce qui est du domaine du génie logiciel, nous avons montré à travers ce travail les puissances et les limites du mécanisme de « binding » d'UML pour faire des transformations de modèles contrôlées par d'autres modèles, le modèle d'une plateforme dans notre cas. Nous avons adapté les spécifications générales et parfois ambiguës d'UML afin de réaliser ces transformations. A travers Gen-PTE et Gen-COM, nous avons aussi montré comment on peut réaliser des outils destinés à des utilisateurs ayant une expertise limitée en modélisation UML. Les prototypes Gen-PTE et Gen-COM qui sont adaptables à des domaines applicatifs autres que les EIAH permettent de profiter de la puissance d'UML sans la nécessité de connaître son méta-modèle et avec un vocabulaire familier aux utilisateurs selon leur domaine d'application.

Contribution par rapport aux travaux connexes

Notre travail se distingue des autres travaux présentés dans l'état de l'art par l'utilisation des templates UML comme formalisme de représentation de modèles de scénarios pédagogiques. L'avantage majeur de l'utilisation de ce mécanisme réside dans la possibilité de créer plusieurs modèles personnalisés en se basant sur le même template. Cela se fait en attribuant des valeurs effectives aux paramètres formels d'un template via la relation standardisée « bind » d'UML.

Notre approche de transformation vers une plateforme repose sur le contournement de cette relation « bind ». Par rapport aux travaux de la littérature s'intéressant à cette problématique de transformation de modèles de scénarios pédagogiques par rapport à la plateforme, notre travail se distingue par deux faits. Le premier fait est relatif à la possibilité d'utiliser n'importe quelle plateforme de formation à distance sans la nécessité de pré-écrire des règles de transformation. Il suffit de disposer du méta-modèle de la plateforme pour pouvoir mener la transformation. Le deuxième fait est relatif à l'assistance offerte aux concepteurs pédagogiques. En effet, toute difficulté technique est résolue en arrière-plan d'interfaces graphiques ergonomiques pour les concepteurs pédagogiques. Certaines tâches de la transformation sont aussi automatisées telle que celle relative aux associations.

Notre travail se démarque aussi des autres travaux de la littérature par une extension de l'approche par dispositif permettant d'introduire la prise en compte de règles et de pratiques contextuelles d'usage des plateformes de formation. Ainsi, les expériences précédentes sont capitalisées et réutilisées afin de guider la transformation. La modélisation des aspects contextuels relatifs à l'utilisation d'une plateforme dans un contexte spécifique et son intégration comme moyen de guidage et de contrôle dans les outils de transformation vers la plateforme n'a été abordé par aucun travail parmi les travaux recensés de la littérature.

Résultats de l'évaluation

Nous avons mené des études de cas afin de valider et évaluer notre travail. Une première étude est située dans le cadre du projet METAmodelizing to build Web Environment to support learning by Project (MetaWep). Cette étude a été pertinente pour l'évaluation de notre travail dans la mesure où une même stratégie pédagogique appelée Mepulco est mise en

œuvre dans deux contextes institutionnels différents (l'Institut Universitaire de Technologie de l'Université du Littoral Côte d'Opale et Polytech de l'Université des Sciences et Technologies de Lille1(USTL)) qui utilisent la même plateforme de formation à distance (Moodle) mais avec des pratiques différentes. Les résultats de cette étude ont été encourageants avec quelques recommandations d'amélioration des prototypes développés afin de les faire évoluer de prototypes de recherche vers des outils plus professionnels.

La deuxième étude concerne le master 2 Professionnel Sciences Humaines et Sociales, Spécialité « Ingénierie Pédagogique Multimédia (IPM) » de l'USTL. Cette étude, dont l'objectif était d'évaluer Gen-IC et Gen-COM dans le contexte de ce master, a été menée avec le responsable de la formation. Cette étude de cas était pertinente pour la validation car ce master à distance a été initié depuis quelques années et les traces de déroulement des anciennes promotions ont été conservées sur la plateforme ACCEL. Toutefois, l'effort nécessaire pour l'exploration des traces est important. Pour cela, le responsable de la formation espère pouvoir capitaliser ces traces en les formalisant sous la forme de bonnes pratiques. Une telle capitalisation permettra notamment aux enseignants nouvellement recrutés d'être guidés dans la conception de leurs dispositifs grâce à la réutilisation de ces bonnes pratiques. Dans ce cadre, Gen-IC a été utilisé pour évaluer sa suffisance à exprimer les bonnes pratiques relatives à l'usage de la plateforme dans le master. Les résultats de cette étude ont montré des avantages et des limites de notre proposition. Les avantages sont essentiellement liés à la facilité de la modélisation des bonnes pratiques avec une liberté dans la modélisation des différentes catégories de bonnes pratiques et à la possibilité de modéliser la structure du master et d'attribuer les bonnes pratiques aux unités d'enseignements concernés. Un autre avantage a été soulevé et est lié au fait que Gen-COM est fondé sur le fait de donner des conseils sans imposer aux concepteurs des choix prédéfinis. L'insuffisance soulevée et qui est en cours d'étude est relative au besoin d'exprimer des bonnes pratiques qui combinent à la fois la pédagogie et la plateforme par exemple pouvoir exprimer qu'il est préférable d'utiliser l'outil « liste de tâches » de la plateforme ACCEL pour la présentation de l'enseignement.

La dernière étude porte sur le master professionnel e-Service de l'Université de Carthage. Cette étude a été centrée sur l'évaluation de l'expertise requise par les enseignants pour mener la transformation contextualisée en utilisant Gen-COM. Dans ce master, les enseignants sont soit des informaticiens soit des gestionnaires mais la plupart d'eux n'étaient pas familiers à l'enseignement à distance et donc trouvaient parfois des difficultés à concrétiser leurs intentions sur la plateforme Claroline. Cette étude a montré que les concepteurs informaticiens n'ont pas trouvé de difficulté pour comprendre le processus qu'ils doivent mettre en œuvre grâce à la simplicité de l'utilisation de l'outil ainsi que l'assistance qu'il offre. Toutefois, pour les concepteurs gestionnaires, deux cas se présentaient. Pour ceux qui avaient quelques notions de conception UML, ils ont réussi à s'en sortir mais en prenant plus de temps pour s'approprier l'outil Gen-COM par rapport aux informaticiens. Tandis que pour les enseignants gestionnaires ne connaissant pas la conception UML, il était nécessaire de les accompagner au début afin de leur expliquer les étapes à suivre et après ils ont réussi à être autonomes dans la transformation.

Perspectives

Ces premiers résultats laissent entrevoir de nombreuses perspectives. Des perspectives de développement à court terme se situent au niveau de l'amélioration des prototypes développés.

Par ailleurs, nous avons d'ores et déjà tenu compte de remarques issues des différents entretiens et présentations qui ont eu lieu lors des conférences et séminaires durant lesquels

ACoMoD a été présenté. Ces remarques portent principalement sur la possibilité de paramétrer Gen-IC afin de pouvoir personnaliser le vocabulaire utilisé pour désigner « contexte institutionnel », « formation » et d'autres. De même, certaines remarques ont porté sur la nécessité de donner au concepteur pédagogique la possibilité de paramétrer Gen-COM afin d'exprimer des préférences concernant par exemple le degré de guidage et le moment d'affichage des messages d'assistance. Afin d'y remédier, le paramétrage des deux outils a déjà été envisagé.

Les résultats des expérimentations menées ont également permis d'identifier les perspectives notamment en ce qui concerne la modélisation d'aspects contextuels qui combinent à la fois la pédagogie et la plateforme par exemple pour exprimer dans le cadre de la stratégie Mepulco que « pour le suivi à distance d'étudiants, l'outil forum est recommandé ».

Dans le cadre de l'évolution de ce travail, d'autres perspectives de recherche ont été relevées notamment en ce qui concerne la complexité des EIAH. Nous avons étudié dans notre travail la complexité des dispositifs pédagogiques. Notre extension de l'approche par dispositif a été basée sur la nécessité de prendre en considération cette complexité lors de la conception. L'un des aspects de la complexité est le contexte institutionnel que nous avons essayé d'approfondir. Dans notre travail, nous avons porté notre intérêt sur la prise en compte des contraintes contextuelles liés à l'usage des plateformes de formation. D'autres travaux doivent être entrepris afin de tenir compte d'autres aspects de la complexité.

De plus, notre travail nous a permis de conclure la pertinence de se situer dans la perspective de l'usage au lieu de la perspective conception afin de permettre une meilleure maîtrise de la complexité parce que la complexité se manifeste lors de l'usage tel que nous l'avons expliqué dans le chapitre IV. Dans ce cadre, une perspective de recherche concerne le besoin d'assistance des enseignants à la conception lors de l'usage c'est à dire à la prise des décisions d'ajustement en fonction de l'exécution du dispositif. La conception lors de l'usage doit prendre en compte différentes échelles par exemple à l'échelle micro de l'apprenant, les ajustements ne doivent pas perturber le processus d'apprentissage des apprenants. A l'échelle macro, ces ajustements doivent respecter les contraintes institutionnelles. A l'échelle méso du dispositif, ces ajustements doivent être supportés par la plateforme de formation à distance utilisée. Lors de l'usage un vrai travail d'articulation de modèles est nécessaire pour mener à bien les ajustements.

Dans ce contexte, nous pensons que la limite de se baser sur l'IDM pour mener l'articulation de modèles qui cherche à lier des modèles de préoccupations sémantiques hétérogènes est la pauvreté sémantique des modèles et méta-modèles. Pour cette raison, une approche qui combine l'approche IDM et l'ingénierie ontologique mérite l'exploration. Une telle approche est favorisée notamment avec les travaux actuels autour de l'ODM⁸⁴ (Ontology Definition Metamodel) [OMG 2004]. L'ODM, qui est un standard de l'OMG, offre un ensemble de méta-modèles et de configurations pour rapprocher le monde de méta-modèles et celui d'ontologies. Il fournit une structure cohérente pour la création d'ontologies basée sur MOF et UML. Ces travaux facilitent les passages entre des modèles et des ontologies. Nous avons déjà initié des recherches dans cette direction (résumé dans l'annexe E) à travers une étude comparative entre les méta-modèles et les ontologies afin d'identifier l'apport de l'ingénierie ontologique à une ingénierie dirigée par les modèles ainsi qu'un état de l'art sur

⁸⁴ Il s'agit d'un standard adopté par l'OMG dont l'objectif est et d'offrir un ensemble de méta-modèles et de configurations pour rapprocher le monde de méta-modèles et celui d'ontologies. ODM supporte actuellement le développement d'ontologies en se basant sur les standards MOF et UML de l'OMG.

les techniques de passage entre les deux types d'ingénierie. Nous avons aussi commencé à s'intéresser à la problématique de l'assistance à la conception lors de l'usage en tenant compte de la complexité des dispositifs dans le cadre des travaux d'une thèse qui vient de commencer.

Nos travaux de thèse ont aussi permis de révéler la nécessité d'entreprendre des travaux de recherche centrés sur l'automatisation des transformations de modèle de scénarios pédagogiques en modèles dépendants de plateformes de formation. Une voie qui mérite l'exploration consiste à faire évoluer les bonnes pratiques d'usage des plateformes en des patrons de transformation qui peuvent être directement adoptés par les concepteurs. Le choix des patrons par un concepteur doit être guidé par les contraintes contextuelles d'usage de la plateforme. Nos premières réflexions nous ont conduit au fait que pour qu'elle soit réalisable, une telle solution nécessite la reconnaissance de la sémantique des modèles des scénarios pédagogiques et des méta-modèles des plateformes.

Glossaire

ATL	Acronyme anglais de ATLAS Transformation Language signifiant langage de transformation ATLAS.
CUEEP	Centre Université-Economie d'Education Permanente
Eclipse	Plateforme ouverte pour le développement d'applications développée par la fondation du même nom.
Ecore	Nom du méta-méta-modèle sur lequel est basé EMF. Ecore est proche d'EMOF 2.0 mais n'est pas exactement conforme à cette recommandation de l'OMG.
EIAH	Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain
EMF	Acronyme anglais de Eclipse Modeling Framework signifiant environnement de modélisation pour Eclipse.
EMF	Acronyme anglais d'Eclipse Modeling Framework. EMF est un environnement de modélisation et de génération de code qui facilite la construction d'outils et d'applications basées sur des modèles de données structurées. Il est à la base de nombreux outils IDM. Son métamodèle Ecore sert de pivot et permet donc l'interopérabilité entre outils.
IDM	Acronyme de Ingénierie Dirigée par les Modèles, synonyme de IdM et équivalent à MDE en anglais.
IUT Calais	Institut Universitaire de Technologie de l'Université du Littoral Côte d'Opale à Calais
MDA	Acronyme anglais de Model Driven Architecture signifiant architecture dirigée par les modèles. C'est ainsi que l'OMG appelle son approche de modélisation basée sur ses recommandations. Le MDA est une variante de l'ingénierie des modèles (IDM).
MDE	Acronyme anglais de Model Driven Engineering signifiant ingénierie dirigée par les modèles, équivalent à IDM en français.
ME	Multi-Echelle
MetaWep	Acronyme de METAmodelizing to build Web Environment to support learning by Project
MOF	Acronyme anglais de Meta Object Facility qui est le méta-méta-modèle promu par l'OMG. La version 2.0 de MOF définit deux versions de complexité différente : EMOF et CMOF.
OCL	Acronyme anglais de Object Constraint Language signifiant langage de contrainte sur les objets. Il s'agit d'une recommandation de l'OMG définissant un langage d'expression de requêtes et de contraintes sur les modèles UML et généralisé pour l'utilisation sur n'importe quel modèle MOF.

ODM	Acronyme anglais de Ontology Definition Metamodel.
OMG	Acronyme anglais de Object Management Group qui est le nom d'un organisme qui publie notamment des recommandations pour la modélisation dans le cadre du MDA telles que : MOF, UML, OCL, QVT, XMI.
QVT	Acronyme anglais de Query / View / Transform signifiant requête / vue / transformation. C'est le nom donné par l'OMG à sa recommandation MDA pour la transformation de modèles.
UE	Unité d'enseignement
ULCO	Université du Littoral Côte d'Opale
UML	Acronyme anglais de Unified Modeling Language signifiant langage de modélisation unifié.
USTL	Université des Sciences et Technologies de Lille I
XMI	Acronyme anglais de XML Model Interchange signifiant échange de modèles en XML. C'est le nom donné par l'OMG à sa recommandation MDA pour la représentation des modèles dans des fichiers. XMI est basé sur XML.
XML	Acronyme anglais de eXtensible Markup Language signifiant langage extensible à balise.

Bibliographie

- [Abbott 2006] R. Abbott, "Complex Systems + Systems Engineering = Complex Systems Engineering", Technical report, California State University and The Aerospace Corporation (USA), 2006.
- [Abdallah 2009] F. Abdallah, "Méta-modélisation pour décrire et instrumenter une situation d'apprentissage de Pédagogie par Projet Collectif", Thèse de Doctorat, Université du Maine (France), 2009.
- [Adam et al. 2005] J. M. Adam, M. N. Bessagnet, A. Bouzeghoub, P. A. Caron, and T. Carron, "Contributions de l'Action Spécifique (Conception d'une Plateforme pour la recherche en EIAH) à l'ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain", *Journal des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, vol.12, pp.12-13, 2005.
- [Allert 2004] H. Allert, "Coherent Social Systems for Learning: An Approach for Contextualized and Community-Centred Metadata." *Journal of Interactive Media in Education*, vol.2, pp.83-86, 2004.
- [Almeida 2006] J. P. A. Almeida, "Model-Driven Design of Distributed Applications", Thèse de Doctorat, Université de Twente (Hollande), 2006.
- [Ammour et al. 2005] S. Ammour, X. Blanc, and M. Ziane, "Transformations de modèles UML outillées: Retour d'expériences", in Proceedings of *Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC (MajectSTIC)*, pp.159-166, 2005.
- [Atkinson et al. 2005] C. Atkinson and T. Kühne, "A Generalized Notion of Platforms for Model-Driven Development", in *Model-Driven Software Development*, vol.2, Heidelberg, Allemagne, pp.119-136, 2005.
- [Baker 2000] M. Baker, "The roles of models in Artificial Intelligence and Education research: a prospective view", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol.11, pp.122-143, 2000.
- [Bar Yam 2002] Y. Bar Yam, "General Features of Complex Systems", Technical report, New England Complex Systems Institute (USA), 2002.
- [Bar Yam 2003] Y. Bar Yam, "Unifying Principles in Complex Systems", Technical report, New England Complex Systems Institute (USA), 2003.
- [Bar Yam 2005] Y. Bar Yam, "About Engineering Complex Systems: Multiscale Analysis and Evolutionary Engineering", *Engineering self-organizing systems : methodologies and applications*, vol.3464, pp.16-31, 2005.
- [Bellamine 2007] N. Bellamine, "Systèmes Coopératifs Complexes Modélisation, Simulation, Conception", Habilitation à diriger des recherches, Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Université de la Manouba (Tunisie), 2007.
- [Ben Sassi 2009] M. Ben Sassi, "Analyse des traces dans Moodle", Rapport de Mastère, Ecole Polytechnique (Tunisie), 2009.
- [Bergin et al. 2001] J. Bergin, A. Brady, R. Duvall, V. Proulx, and R. Rasala, "Using patterns in the classroom", *Journal of Computing Sciences in Colleges*, vol.16, pp.5-7, 2001.
- [Berten 1999] A. Berten, "Dispositif, médiation, créativité: petite généalogie", in *Le dispositif, entre usage et concept*, Paris, France, pp.33-47, 1999.
- [Bézivin 2001] J. Bézivin, "From Object Composition to Model Transformation with the MDA", in Proceedings of *39th International Conference and Exhibition on Technology of Object-Oriented Languages and Systems*, pp.350-355, 2001.

- [Bézivin et al. 2003] J. Bézivin, G. Dupé, F. Jouault, G. Pitette, and J. Rougui, "First experiments with the ATL model transformation language: Transforming XSLT into XQuery", in Proceedings of *OOPSLA'03 Workshop on Generative Techniques in the context of Model Driven Architecture*, 2003
- [Bézivin et al. 2004] J. Bézivin, M. Belaunde, and R. Marvie, "Transformations et modèles plates-formes", in *Ingénierie Dirigée par les Modèles*, vol.Arago 30, Paris, France, 2004.
- [Bézivin 2006] J. Bézivin, "Model Driven Engineering: An Emerging Technical Space", in *Generative and Transformational Techniques in Software Engineering*, vol.4143, Allemagne, pp.36-64, 2006.
- [Blanc 2005] X. Blanc, "MDA en action : Ingénierie logicielle guidée par les modèles", vol.1. Paris: Eyrolles, 2005.
- [Blandin 2006] B. Blandin, "Comprendre et construire les environnements d'apprentissage", Habilitation à diriger des recherches, Université Paris X Nanterre (France), 2006.
- [Bonami et al. 1996] M. Bonami and M. Garant, "Systèmes scolaires et pilotage de l'innovation : émergences et implantation du changement", perspectives en éducation ed. Paris: Lavoisier, 1996.
- [Boudon 2004] F. Boudon, "Représentation géométrique multi-échelles de l'architecture des plantes", Thèse de Doctorat, Université Montpellier II (France), 2004.
- [Bourda 2001] Y. Bourda, "Objects pédagogiques, vous avez dit objets pédagogiques?," in *Actes du congrès GUTenberg*, pp.71-79, 2001.
- [Bourguin 2000] G. Bourguin, "Un support informatique à l'activité coopérative fondé sur la Théorie de l'Activité :Le projet DARE", Thèse De Doctorat, Université des Sciences et technologies de Lille1 (France), 2000.
- [Bourguin et al. 2005] G. Bourguin and A. Derycke, "Systèmes Interactifs en Co-Evolution: Réflexions sur les Apports de la Théorie de l'Activité au support des Pratiques Collectives Distribuées", *Revue d'Interaction Homme-Machine AFIHM Europa*, vol.6, pp.1-31, 2005.
- [Bradley et al. 2005] N. Bradley and M. Dunlop, "Toward a multidisciplinary model of context to support context-aware computing", *Human-Computer Interaction* vol.20, pp.403-446, 2005.
- [Bran 2005] S. Bran, "On Software Platforms, Their Modeling with UML 2, and Platform-Independent Design", in Proceedings of *Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing*, pp.15-21, 2005.
- [Brézillon 1999] P. Brézillon, "Context in artificial intelligence : II. Key elements of contexts", *Computers and artificial intelligence*, vol.18, pp.425-446, 1999.
- [Brodin 2004] E. Brodin, "Les campus numériques : premiers éléments d'évaluation", in Proceedings of *7ème Biennale de l'éducation et de la formation*, pp.74-81, 2004.
- [Budinsky et al. 2003] F. Budinsky, D. Steinberg, and R. Ellersick, "Eclipse Modeling Framework : A Developer's Guide", vol.1. USA: Addison-Wesley Professional, 2003.
- [Caron et al. 2004] O. Caron, B. Carre, A. Muller, and G. Vanwormhoudt, "An OCL Formulation of UML2 Template Binding", in Proceedings of *International conference on the unified modeling language*, pp.27-40, 2004.
- [Caron et al. 2005] P.-A. Caron, A. Derycke, and X. Le Pallec, "Bricolage and Model Driven Approach to design distant course", in Proceedings of *World conference on E-learning in corporate Government, Healthcare & higher education*, pp.2856-2863, 2005.
- [Caron et al. 2007a] P.-A. Caron, M. Blay-Fornarino, and X. Le Pallec, "La contextualisation de modèles, une étape indispensable à un développement dirigé par les modèles?" *L'objet*, vol.13, pp.55-71, 2007a.

- [Caron 2007a] P.-A. Caron, "Ingénierie dirigée par les modèles pour la construction de dispositifs pédagogiques sur des plateformes de formation", Thèse De Doctorat, Université des Sciences et Technologie de Lille (France), 2007a.
- [Caron 2007b] P.-A. Caron, "Web services plug-in to implement "Dispositives" on Web 2.0 applications", in Proceedings of *Second European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 07)*, pp.457-462, 2007b.
- [Caron et al. 2007b] P.-A. Caron, A. Derycke, F. Hoogstoel, X. Le Pallec, and B. Warin, "Scénarios et Dispositifs de formations spécialisés : Application de la Démarche d'Ingénierie BRICOLE pour une Instanciation sur MOODLE", in Proceedings of *Colloque scénario*, 2007b.
- [Caron 2007c] P.-A. Caron, "Bricoles: une approche dispositive des applications Web 2.0 utilisables pour enseigner", in Proceedings of *EIAH 07*, pp.137-142, 2007c.
- [Carre et al. 1997] P. Carre, A. Moisan, and D. Poisson, "L'autoformation : psychopédagogie, ingénierie, sociologie", vol.VIII. Paris Presses universitaires de France, 1997.
- [Certeau et al. 1980] M. Certeau, L. Giard, and P. Mayol, "L'Invention du quotidien", vol.2. Paris, France: Union générale d'éditions, 1980.
- [Charlier et al. 1998] B. Charlier and D. Forys, "Grille d'analyse S.O.D.A.A.: système ouvert et à distance d'autoformation assistée," in *DET et Bruxelles Formation*, 1998.
- [Choquet 2007] C. Choquet, "Ingénierie et réingénierie des EIAH - L'approche REDiM", Habilitation à diriger des recherches, Université du Maine (France), 2007.
- [Clarke 2002] S. Clarke, "Extending standard UML with model composition semantics", *Science of Computer Programming*, vol.44, pp.71-100, 2002.
- [Clénet et al. 2005] J. Clénet, D. Poisson, M. Beauvais, F. Ott, and P. Roquet, "Complexité de la formation et formation à la complexité", Paris: L'Harmattan, 2005.
- [Combemale et al. 2007] B. Combemale, X. Cregut, and M. Pantel, "Transformations de modèles : Principes, Standards et Exemples", Rapport de recherche, Laboratoire IRIT CNRS (Toulouse, France), 2007.
- [Cooley et al. 1976] W. W. Cooley and P. R. Lohnes, "Evaluation research in education ", New York, USA: Irvington, 1976.
- [Corbière et al. 2004] A. Corbière and C. Choquet, "A model driven analysis approach for the re-engineering of e-learning systemsS", in Proceedings of *ICICTE'04*, pp.242-247, 2004.
- [Cottier 2006] P. Cottier, "Inscrire l'ingénierie dans les genèses: de la conception participative des environnements numériques de travail", in Proceedings of *IUR: Innovations, usages, réseaux* pp.17-18, 2006.
- [Czarnecki et al. 2003] K. Czarnecki and S. Helsen, "Classification of Model Transformation Approaches", in Proceedings of *OOPSLA'03 Workshop on the Generative Techniques in the Context Of Model-Driven Architecture*, 2003.
- [D'Halluin et al. 2005] C. D'Halluin and D. Delache, "Entre pratiques pédagogiques et pratiques d'apprentissage, effets induits d'un changement d'interface numérique", in Proceedings of *Colloque du SIF, Les institutions éducatives face au numérique*, 2005.
- [D'Halluin et al. 2008] C. D'Halluin, F. Hoogstoel, and B. Warin, "Mise en œuvre d'une pédagogie par projet en école d'ingénieur", in Proceedings of *Techniques de l'information et de la communication pour l'enseignement*, 2008.
- [D'Souza et al. 1999] D. F. D'Souza and A. C. Wills, "Objects, Components, and Frameworks with UML: The Catalysis(SM) Approach", Addison-Wesley Professional, 1999.
- [Daele et al. 2002] A. Daele, C. Brassard, L. Esnault, M. O'donoghue, E. Uyttebrouck, and R. Zeiliger, "Conception, mise en oeuvre, analyse et évaluation de scénarios pédagogiques recourant à l'usage des Technologies de l'Information et de la

- Communication", Rapport de Recherche, projet Recre@sup-WP2, Université de Genève (2002).
- [Daufresne 2004] M. Daufresne, "Approche multi échelles des relations dynamiques entre les organismes aquatiques et leur environnement", Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard (France), 2004.
- [De la Teja et al. 2006] I. De la Teja, K. Lundgren-Cayrol, and G. Paquette, "Transposing MISA Learning Scenarios into IMS Units of Learning", *Journal of Educational technology and Society, Special issue on Learning Design*, vol.2006, 2006.
- [De Moura 2007] C. De Moura, "MDEduc: conceiving and implementing a language-oriented approach for the design of automated learning scenarios", Thèse de Doctorat, University of Sciences and Technologies (France), 2007.
- [Derycke et al. 2006] A. Derycke, F. Hoogstoel, Y. Peter, and T. Vantroys, "Infrastructure des environnements informatiques pour l'apprentissage distribué", in *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* vol.IC2, p.118, 2006.
- [Desjeux 2004] D. Desjeux, "Les sciences sociales", Paris: Presses Universitaires de France - PUF, 2004.
- [Diaw et al. 2010] S. Diaw, R. Lbath, and B. Coulette, "Etat de l'art sur le développement logiciel basé sur les transformations de modèles", *Revue des sciences et technologies de l'information*, vol.29, pp.505-536, 2010.
- [Downes 2005] S. Downes, "E-learning 2.0", *National Research Council of Canada ACM - Association for Computing Machinery*, 2005.
- [Drira et al. 2006a] R. Drira, M. Laroussi, A. Derycke, and H. Ben Ghezala, "Enhancing SCORM to support adaptive and mobile learning content", *Wseas transactions on advances in engineering education*, vol.3, pp.571-578, 2006a.
- [Drira 2006] R. Drira, "Contenu adaptatif et mobile basé sur SCORM ", Rapport de Mastère, Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Université La Manouba (Tunisie), 2006.
- [Drira et al. 2006b] R. Drira, I. Tirellil, M. Laroussi, A. Derycke, and H. Ben Ghezala, "What can we adapt in Adaptive Mobile Learning Systems", in *Proceedings of 1st Conference on Interactive Mobile and Computer Aided Learning (IMCL)*, pp.442-446, 2006b.
- [Drira 2008] R. Drira, "Vers une approche multi-échelle de modélisation de dispositifs pédagogiques", in *Proceedings of RJC-EIAH Deuxièmes Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH*, pp.85-90, 2008.
- [Drira et al. 2009a] R. Drira, M. Laroussi, and H. BenGhezala, "Towards contextualized modelling of learning systems", in *Proceedings of 4th IEEE Conference on Interactive Mobile and Computer Aided Learning (IMCL)*, 2009a.
- [Drira et al. 2009b] R. Drira, M. Laroussi, X. Le Pallec, and A. Derycke, "A model driven approach to adapt instructional strategies modelling language to different design contexts", in *Proceedings of International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning*, pp.97-102, 2009b.
- [Drira et al. 2010] R. Drira, B. Warin, and M. Laroussi, "Assisting designers in contextualizing pedagogical models according to platform and institutional rules: Case study", *submitted in IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2010.
- [Dufresne et al. 2003] A. Dufresne, J. Basque, and G. Paquette, "Vers un modèle générique d'assistance aux acteurs du téléapprentissage", *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*, vol.10, pp.57-87, 2003.

- [El-Kechai 2008] H. El-Kechai, "Conception collective de scénarios pédagogiques dans un contexte de réingénierie : une approche par la métamodélisation située", Thèse de Doctorat, Université du Maine (France), 2008.
- [El-Kechaï 2007] H. El-Kechaï, "Approche dirigée par les modèles pour accompagner la production de modèles d'expression de scénarios pédagogiques", in Proceedings of *EIAH 07*, pp.515-526, 2007.
- [Estublier et al. 2005] J. Estublier and S. Sanlaville, "Extensible Process Support Environments for Web Services Orchestration", in Proceedings of *International IEEE Conference on Next Generation Web Services Practices (NWeSP'05)*, pp.30-39, 2005.
- [Fataïcha et al. 2001] Y. Fataïcha, M. Cheriet, and J. Y. Nie, "Détection Multi-échelle d'Objets dans les Images de Documents Composites", in Proceedings of *International Conference on Image and Signal Processing*, 2001.
- [Favre et al. 2006] J.-M. Favre, J. Estublier, and B.-F. Mireille, "L'ingénierie dirigée par les modèles - Au-delà du MDA", 1ère édition ed. Paris, France: Hermès - Lavoisier, 2006.
- [Ferraris et al. 2005] C. Ferraris, A. Lejeune, L. Vignollet, and J. P. David, "Modélisation de scénarios d'apprentissage collaboratifs pour la classe", in Proceedings of *EIAH'05*, pp.285-296, 2005.
- [Ferraris et al. 2007] C. Ferraris, C. Martel, and L. Vignollet, "LDL for Collaborative Activities", in *Handbook of Visual Languages for Instructional Design*, illustrated edition ed. Herchey, New York, pp.226-253, 2007.
- [Foucault 1975] M. Foucault, "Surveiller et punir : naissance de la prison", Paris, France: Gallimard, 1975.
- [George 2001] S. George, "Apprentissage collectif à distance. SPLACH : un environnement informatique support d'une pédagogie de projet", Thèse de Doctorat, Université du Maine (France), 2001.
- [George et al. 2005] S. George and A. Derycke, "Editorial ", *STICEF: Numéro spécial : Conceptions et usages des plates-formes de formation*, vol.12, 2005.
- [Greenberg 2001] S. Greenberg, "Context as a Dynamic Construct", in Proceedings of *HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, 2001.
- [Greenfield et al. 2003] J. Greenfield and K. Short, "Software factories: assembling applications with patterns, models, frameworks and tools", in Proceedings of *Companion of the 18th annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming, systems, languages, and applications*, 2003.
- [Hert 1999] P. Hert, "Internet comme dispositif hétérotopique", in *Le dispositif : usage et concept*, vol.25, France, pp.93-110, 1999.
- [Hoogstoël 1995] F. Hoogstoël, "Une approche organisationnelle du travail coopératif assisté par ordinateur application au projet Co Learn", Thèse de Doctorat, Université des Sciences et technologies de Lille1 (France), 1995.
- [Hunter et al. 2006] P. J. Hunter, W. L. Wilfred, A. D. McCulloch, and D. Noble, "Multiscale Modeling: Physiome Project Standards, Tools, and Databases", *IEEE Computer magazine*, vol.39, pp.48-54, 2006.
- [IMS-LD 2010] IMS-LD, "IMS project website", [On Line]: <http://www.imsproject.org/learningdesign/>
- [Iqbal et al. 1999] A. Iqbal, R. Oppermann, A. Patel, and Kinshuk, "A Classification of Evaluation Methods for Intelligent Tutoring Systems", in Proceedings of *Software Ergonomie'99 - Design von Informationswelten*, pp.169-181, 1999.
- [Jacquinot et al. 2002] G. Jacquinot and H. Choplin, "La démarche dispositif au risque de l'innovation", *Education permanente*, vol.152, pp.185-198, 2002.

- [Johnson 2005] C. W. Johnson, "What are Emergent Properties and How Do They Affect the Engineering of Complex Systems?" Technical report, Department of Computing Science, University of Glasgow (Scotland, UK), 2005.
- [Kaxiras et al. 2005] E. Kaxiras and G. Lu, "Overview of multiscale simulations of materials", in *Handbook of Theoretical and Computational Nanotechnology*, vol.X, Massachusetts, USA, pp.1-33, 2005.
- [Kiczales et al. 1997] G. Kiczales, J. Lamping, A. Mendhekar, and C. Maeda, "Aspect-Oriented Programming", in Proceedings of *European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP)*, pp.220-242, 1997.
- [Koper 2001] R. Koper, "Modelling units of learning from a pedagogical perspective: The pedagogical meta-model behind EML", [On Line]: <http://www.learningnetworks.org/downloads/ped-metamodel.pdf>,
- [Krissian 2000] K. Krissian, "Traitement Multi-échelle : Application à l'imagerie médicale et à la détection tridimensionnelle de vaisseaux", Thèse de Doctorat, Université de Nice (France), 2000.
- [Kwon et al. 2002] J. Kwon and Y. Yoon, "Efficient Spatial Access Method Based on R-Trees in Multi-Scale GIS", in Proceedings of *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp.3349-3351, 2002.
- [Laforcade 2004] P. Laforcade, "Méta-modélisation UML pour la conception et la mise en oeuvre de situations-problèmes coopératives", Thèse de Doctorat, Université de Pau (France), 2004.
- [Laforcade et al. 2005] P. Laforcade, T. Nodenot, and C. Sallaberry, "Un langage de modélisation pédagogique basé sur UML", *revue STICEF Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, vol.12, pp.89-116, 2005.
- [Laforcade et al. 2007a] P. Laforcade, T. Nodenot, P.-A. Caron, and C. Choquet, "Model-Driven Engineering (MDE) and Model-Driven Architecture (MDA) applied to the Modeling and Deployment of Technology Enhanced Learning (TEL), Systems: promises, challenges and issues", in *Architecture Solutions for E-Learning Systems*, vol.1, Hershey, PA, pp.116-136, 2007a.
- [Laforcade et al. 2007b] P. Laforcade, V. Barré, and B. Zendagui, "Scénarisation Pédagogique et Ingénierie Dirigé par les Modèles", in Proceedings of *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, pp.257-268, 2007b.
- [Laroussi 2001] M. Laroussi, "Conception et réalisation d'un système didactique hypermédia adaptatif: CAMELEON ", Thèse de Doctorat, Université de la Manouba (Tunisie), 2001.
- [Le Pallec 2001] X. Le Pallec, "RAM3 : un outil dynamique pour le Meta-Object Facility", in Proceedings of *LMO2001: Langages et Modèles à Objets*, pp.79-94, 2001.
- [Le Pallec 2002] X. Le Pallec, "Des services d'adaptation de modèles pour la coopération de méta-systèmes : application aux groupware flexibles", Thèse de doctorat, Université des Sciences et technologies de Lille1 (France), 2002.
- [Leclercq 2005] G. Leclercq, "Les dispositifs de formation professionnalisés comme situation d'auto et d'inter-confrontation. L'impact d'un environnement numérique de travail. " in Proceedings of *Colloque du SIF, Les institutions éducatives face au numérique*, 2005.
- [Legoll 2004] F. Legoll, "Méthodes moléculaires et multi-échelles pour la simulation numérique des matériaux ", Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie (France), 2004.
- [Lejeune et al. 2004] A. Lejeune and J.-P. Pernin, "A taxonomy for scenario-based engineering, " in Proceedings of *Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2004)*, pp.249-256, 2004.

- [Lévi-Strauss 1962] C. Lévi-Strauss, "La pensée sauvage", Paris: Plon, 1962.
- [Malek et al. 2008] J. Malek, M. Laroussi, A. Derycke, and H. B. Ghezala, "ContAct-Us: a context-activity adaptive modeler for ubiquitous learning systems", in *Proceedings of 5th international conference on Soft computing as transdisciplinary science and technology* pp.530-535, 2008.
- [Martel et al. 2006a] C. Martel, L. Vignollet, and F. Christine, "Modeling the Case Study with LDL and Implementing it with LDI", in *Proceedings of Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp.1158-1159, 2006a.
- [Martel et al. 2006b] C. Martel, L. Vignollet, C. Ferraris, J. P. David, and A. Lejeune, "Modeling collaborative learning activities on e-learning platforms", in *Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 06)*, pp.707-709, 2006b.
- [Martel et al. 2006c] C. Martel, L. Vignollet, F. Christine, and D. Guillaume, "LDL: a Language to Model Collaborative Learning Activities", in *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, pp.838-844, 2006c.
- [Martel et al. 2007] C. Martel, A. Lejeune, C. Ferraris, and L. Vignollet, "Scénariser les 4 piliers de la pédagogie", in *Proceedings of Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, 2007.
- [Marvie et al. 2006] R. Marvie, L. Duchien, and M. Blay-Fornarino, "Les plates-formes d'exécution et l'IDM", in *L'ingénierie dirigée par les modèles : au-delà du MDA*, Paris, France, pp.71-98, 2006.
- [Merle 2004] N. Merle, "Un métamodèle pour l'automatisation du déploiement d'applications logicielles", in *Proceedings of Conférence Francophone sur le Déploiement et la (Re) Configuration de Logiciels (DECOR'04)*, pp.125-130, 2004.
- [Miles et al. 2003] M. B. Miles and A. M. Huberman, "Analyse des données qualitatives", Thousand Oaks, Canada: Sage Publications, Inc, 2003.
- [Miller et al. 2003] J. Miller and J. Mukerji, "MDA Guide Version 1.0.1", [On Line]: <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?omg/03-06-01.pdf>,
- [Montandon 2002] C. Montandon, "Approches systémiques des dispositifs pédagogiques. Enjeux et méthodes", Paris, France: L'Harmattan, 2002.
- [Morandi 2006] F. Morandi, "Introduction à la pédagogie", vol.326. Paris, France: Armand Colin, 2006.
- [Morch 1997] A. Morch, "Method and Tools for Tailoring of Object-oriented Applications: An Evolving Artifacts Approach", Thèse de doctorat, University of Oslo (Norway), 1997.
- [Morin et al. 1999] E. Morin and J. LeMoigne, "L'intelligence de la complexité", Paris: L'Harmattan, 1999.
- [Muller et al. 2005] A. Muller, O. Caron, B. Carré, and G. Vanwormhoudt, "On some properties of Parameterized Model Applications", in *Proceedings of European Conference on Model Driven Architecture (ECMDA)*, pp.130-144, 2005.
- [Muller 2006] A. Muller, "Construction de systèmes par application de modèles paramétrés", Thèse de Doctorat, Université de Lille I (France), 2006.
- [Nel 1999] N. Nel, "Des dispositifs aux agencements télévisuels", in *Le dispositif, entre usage et concept*, Paris, France, pp.134-145, 1999.
- [Nodenot 2006] T. Nodenot, "Contribution à l'ingénierie dirigée par les modèles en EIAH: le cas des situation problèmes coopératives", Habilitation à diriger les recherches, Université de Pau et des Pays de l'Adour (France), 2006.

- [O'Reilly 2005] T. O'Reilly, "What Is Web 2.0, Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software", [On Line]: <http://www.oreilynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html>,
- [OMG 2003] OMG, "MDA GUIDE Version 1.0.1", Technical report, Object Management Group, Inc. (Needham, USA), 2003.
- [OMG 2004] OMG, "Usage scenarios and goals for Ontology Definition Metamodel", Technical report, Object Management Group, Inc (Needham, USA), 2004.
- [OMG 2006a] OMG, "Meta Object Facility (MOF) Specification V 2.0", Technical report, Object Management Group, Inc (Needham, USA), 2006a.
- [OMG 2006b] OMG, "Object Constraint Language (OCL) Specification V 2.0", Technical report, Object Management Group, Inc (Needham, USA), 2006b.
- [OMG 2007] OMG, "OMG Unified Modeling Language (UML), Superstructure, V2.1.2", Needham, MA 02494, U.S.A.), 2007.
- [OMG 2008] OMG, "Meta Object Facility (MOF) 2.0 Query/View/Transformation Specification V 1.0", Technical report, Object Management Group, Inc (Needham, USA), 2008.
- [OMG 2009] OMG, "Unified Modeling Language (UML), Superstructure Specification, V2.2", Technical report, Object Management Group, Inc (Needham, USA), 2009.
- [OMG 2010] OMG, "Object Management Group", [On Line]: <http://www.omg.org/>,
- [Paquelin 2005] D. Paquelin, "Planification versus Potentialisation. De la structuration des contenus à la structuration de la contenance", in Proceedings of *Colloque du SIF, "Les institutions face au numérique"*, 2005.
- [Paquette et al. 1997] G. Paquette, F. Crevier, and C. Aubin, "Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage", *Revue In Cognito*, vol.8, pp.37-52, 1997.
- [Paquette 1999] G. Paquette, "Meta-knowledge representation for Learning Scenarios Engineering", in Proceedings of *10th International Conference on Artificial Intelligence in Education*, 1999.
- [Paquette et al. 2001] G. Paquette, I. Rosca, I. De la Teja, M. Léonard, and K. Lundgren-Cayrol, "Web-based Support for the Instructional Engineering of E-learning Systems", in Proceedings of *WebNet'01*, 2001.
- [Paquette et al. 2005a] G. Paquette, I. De la Teja, and M. Léonard, "An Instructional Engineering Method and Tool for the Design of Units of Learning", in *Learning Design: A handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, New York, USA, pp.161-183, 2005a.
- [Paquette et al. 2005b] G. Paquette, O. Marino, I. De la Teja, M. Léonard, and K. Lundgren Cayrol, "Delivery of Learning Design: the Explor@ System's Case", in *Learning Design: A handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, New York, USA, pp.311-324, 2005b.
- [PCDAI 2006] PCDAI, "Monographie du projet PCDAI ", [On Line]: <http://edutice.archives-ouvertes.fr/PCDAI/>, 2010.
- [Peeters et al. 1999] H. Peeters and P. Charlier, "Contributions à une théorie du dispositif", in *Le dispositif entre usage et concept, cognition communication politique*, vol.25, Paris, France, pp.15-23, 1999.
- [Peraya 1998] D. Peraya, "Le cyberspace : un dispositif de communication et de formation médiatisées", in *Cyberspace et autoformation*, vol.REF-98, Bruxelles, Belgique, 1998.
- [Peraya et al. 2004] D. Peraya, B. Jaccaz, I. Masiello, S. Armitage, and H. Yip, "Analysing, Sustaining and Piloting Innovation: A "ASPI" Model", in Proceedings of *Networked Learning Conference* pp.711-718, 2004.

- [Pernin et al. 2004a] J.-P. Pernin and A. Lejeune, "Nouveaux dispositifs instrumentés et mutations du métier de l'enseignant", in *Proceedings of 7ème biennale de l'Education*, 2004a.
- [Pernin et al. 2004b] J.-P. Pernin and A. Lejeune, "Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios", in *Proceedings of Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*, pp.407-414, 2004b.
- [Pernin et al. 2007] J.-P. Pernin, V. Emin, M. Prieur, and E. Sanchez, "Stratégies d'élaboration, de partage et de réutilisation de scénarios pédagogiques", *International Journal of Technologies in Higher Education*, vol.4, pp.25-37, 2007.
- [Piaget 1969] J. Piaget, "Psychologie et pédagogie", Denoël 1969.
- [Poitou 1998] J.-P. Poitou, "Dispositif : objet intellectuel, dispositif cognitif, formation dialogique homme-machine", in *Proceedings of Colloque Dispositifs & médiation des savoirs* 1998.
- [Rabardel 1995] P. Rabardel, "Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains", Armand Colin ed. Paris, France: 1995.
- [Rateau 2003] G. Rateau, "Méthode Arlequin pour les problèmes mécaniques multi-échelles: Applications à des problèmes de jonction et de fissuration de structures élancées", Thèse de Doctorat, Ecole Centrale Paris (France), 2003.
- [Rawlings et al. 2002] A. Rawlings, P. Van Rosmalen, R. Koper, M. Rodríguez-Artacho, and P. Lefrere, "Survey of educational modelling languages (EMLs)", in *Proceedings of CEN/ISSS Workshop on Learning Technology*, p.79, 2002.
- [Sally et al. 2002] F. Sally and U. Ian, "Pedagogical patterns: their place in the genre", in *Proceedings of 7th annual conference on Innovation and technology in computer science education* pp.199-202, 2002.
- [Sangiovanni-Vincentelli et al. 2004] A. Sangiovanni-Vincentelli, L. Carloni, and F. D. Bernardinis, "Benefits and challenges for platform-based design", in *Proceedings of 41st annual conference on Design automation*, pp.409-414, 2004.
- [Shalizi 2006] C. R. Shalizi, "Methods and techniques of complex systems science: an overview", in *Proceedings of Complex Systems Science in Biomedicine*, pp.33-114, 2006.
- [Shi et al. 2005] Z. Shi and V. Govindaraju, "Multi-scale Techniques for Document Page Segmentation", in *Proceedings of Eighth International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2005.
- [Simard 2002] C. Simard, "Normalisation de la formation en ligne, Enjeux, tendances et perspectives", Document d'orientation stratégique Agence universitaire de la Francophonie (AUF) (Amérique du Nord), 2002.
- [Strang et al. 2004] T. Strang and C. Linnhoff-popien, "A Context Modeling Survey", in *Proceedings of Advanced Context Modelling, Reasoning and Management, UbiComp 2004 - The Sixth International Conference on Ubiquitous Computing*, 2004.
- [Talon et al. 2005] B. Talon, C. Toffolon, and B. Warin, "Projet en milieu universitaire : vers une gestion collaborative assistée par le Web", *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, vol.2, pp.28-33, 2005.
- [Talon et al. 2007] B. Talon, C. Toffolon, and B. Warin, "Accompagner les projets en milieu universitaire. Présentation d'une méthodologie d'encadrement de projets collaboratifs assistée par le Web", in *Proceedings of Colloque "Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur"*, pp.28-33, 2007.
- [Tchounikine 2002a] P. Tchounikine, "Pour une ingénierie des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain", *Revue I3 information – interaction – intelligence*, vol.2, pp.59-95, 2002a.

- [Tchounikine 2002b] P. Tchounikine, "Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH", in *Proceedings of 2ème assises nationales su GDR I 3*, pp.233-246, 2002b.
- [Tchounikine 2006] P. Tchounikine, "Introduction à l'ingénierie des EIAH", in *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, vol.Traité IC2 Information Commande Communication, Paris, France, pp.141-160, 2006.
- [Thomas et al. 2007] F. Thomas, J. Delatour, F. Terrier, M. BRUN, and S. GERARD, "Contribution à la modélisation explicite des plates-formes d'exécution pour l'IDM ", *L'objet*, vol.13, pp.9-31, 2007.
- [Tricot et al. 2003] A. Tricot, F. Plégat-Soutjis, J.-F. Camps, A. Amiel, G. Lutz, and A. Morcillo, "Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH", in *Proceedings of Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, pp.391-402, 2003.
- [Vantroys et al. 2005] T. Vantroys and Y. Peter, "COW, une plate-forme de support d'exécution de scénarios pédagogiques", *Revue STICEF : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation*, vol.12, pp.117-156, 2005.
- [Verhaegen 1999] P. Verhaegen, "Les dispositifs techno-sémiotiques: Signes ou objets ? " in *Le dispositif : entre usage et concept*, Paris, France, pp.111-122, 1999.
- [Viens 2003] J. Viens, "An action-instruction-research framework: Towards a systemic evaluation of factors influencing the adoption of innovative pedagogy with ICT", in *Proceedings of "ICT for All" International Workshop*, 2003
- [Villiot-Leclercq 2007] E. Villiot-Leclercq, "Modèle de soutien à l'élaboration et à la réutilisation de scénarios pédagogiques", Thèse de Doctorat, Université de Montréal (Canada), 2007.
- [Vinck 2005] D. Vinck, "Ethnographic studies in design activities: looking at the objects too", in *Proceedings of Ethnographic Organizational Studies*, 2005.
- [Vygotsky 1978] L. S. Vygotsky, "Mind in society : The development of higher mental processes", in *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes (Paperback)*, USA, p.159, 1978.
- [Warin et al. 2007] B. Warin, P.-A. Caron, X. Le Pallec, and F. Hoogstoel, "Le projet Metawep, Ingénierie dirigée par les modèles de dispositifs web support à l'apprentissage par projet", in *Proceedings of EIAH 2007*, 2007.
- [Weissberg 1998] J.-L. Weissberg, "Dispositifs de croyance ", in *Proceedings of Dispositif et médiation des savoirs*, 1998.
- [Wiley 2002] D. Wiley, "Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy", in *The instructional use of learning objects*, Bloomington, USA, pp.3-25, 2002.

Annexes

Annexe A : Approche multi-échelle

Rapport interne de Rim DRIRA

Spécialité : Informatique

Titre : « eLearning, multi échelle et systèmes complexes »

Juin 2007 – RIADI & LIFL

Cette annexe présente en premier lieu une synthèse de l'état de l'art du multi échelle. En second lieu, notre vision du multi échelle est élaborée. En troisième lieu, le lien entre multi échelle et EIAH est expliqué. Les travaux décrits dans l'annexe 8 font partie des travaux de première année de thèse de Rim DRIRA intitulée : « Approche Multi-échelle d'ingénierie des dispositifs pédagogiques informatisés »

Le multi-échelle (ME) recouvre des réalités très variées, à la fois sur le plan des échelles en jeu, des motivations pour de telles approches, des modèles considérés et des techniques mathématiques et numériques utilisés. Cette variation dépend du contexte (le domaine d'application) de son utilisation.

◆ Le domaine biomédical

L'une des caractéristiques de la complexité biologique est l'intime connexion qui existe entre différentes échelles de longueur (allant du nanomètre des molécules au mètre pour tout le corps). Un changement subtil dans la structure moléculaire comme conséquence d'une mutation d'un gène peut amener à des échecs au niveau de l'organe et réciproquement. Ainsi, l'interprétation des interactions qui ont lieu à travers les échelles de longueur (allant des gènes et protéines aux cellules, tissus, organes et systèmes d'organe) nécessite une modélisation multi échelle.

◆ Mécanique des structures et matériaux

Un matériau peut être décrit à de nombreuses échelles d'espace : à l'échelle atomique, c'est un ensemble de particules discrètes. A l'échelle macroscopique, la matière forme un continuum, c'est le domaine de la mécanique : la déformation de la matière et les contraintes sont décrites par des champs. De nombreuses échelles intermédiaires peuvent être identifiées.

Un exemple de problème multi-échelle cité par Legoll [Legoll 2004] est celui de la dégradation des propriétés mécaniques des aciers de cuve des centrales nucléaires. Le phénomène à l'origine de cette dégradation est l'irradiation du métal et la désorganisation locale du réseau atomique : l'impact d'un neutron modifie le réseau sur une zone dont le diamètre est de l'ordre de $20 \cdot 10^{-9}$ m, et cette modification prend un temps de l'ordre de 10^{-12} s. Les échelles auxquelles cette dégradation est observable sont des échelles macroscopiques (en espace, le mètre, et en temps, l'année). *La compréhension, à partir de considérations microscopiques, d'un tel phénomène macroscopique est un problème excessivement difficile*, et sur le plan pratique très important, car c'est un des phénomènes qui contrôlent la durée de vie des centrales.

Dans son travail, Legoll s'est intéressé à l'étude de plusieurs modèles, correspondant à des échelles d'espace différentes, et s'est intéressé aussi à leur couplage : un modèle à une échelle fine est utilisé pour calculer les paramètres d'un modèle à une échelle plus grossière (couplage séquentiel), ou bien les deux modèles sont utilisés simultanément dans le même calcul (couplage parallèle).

Le cadre de modélisation Arlequin

La méthode Arlequin [Rateau 2003] s'adresse à des problèmes de la mécanique dont le domaine d'étude peut être partagé suivant plusieurs zones distinctes nécessitant des niveaux d'analyse différents. L'objectif de cette approche est de proposer une stratégie permettant de mener les calculs simultanément sur ces différentes échelles, tout en étant à la fois simple d'emploi et peu coûteuse en temps pour l'utilisateur et la machine.

Pour ce faire, à chaque zone il est associé un modèle qui peut être de nature diverse (analytique, numérique, mécanique, physico-chimique, ...). Par souci de flexibilité, les domaines de ces modèles ne sont pas astreints à présenter, entre eux, des interfaces géométriquement compatibles, mais peuvent se recouvrir totalement ou partiellement. Une particularité de la méthode Arlequin est alors de raccorder ces modèles, non pas sur une frontière (comme cela se fait classiquement), mais dans le volume. De cette façon, dans les zones de coexistence, la modélisation globale est obtenue par le mélange de plusieurs modélisations.

◆ Traitement d'image

Le traitement multi-échelle est un domaine à part entière et incontournable en traitement d'images. Dans ce domaine, la notion de traitement ou d'analyse ou de représentation multi-échelle est liée à un concept physique. Effectuer une observation physique signifie qu'une quantité physique est mesurée à l'aide d'un système d'acquisition et avec certaines ouvertures. Ce concept d'avoir une série de mesures en utilisant des ouvertures de tailles physiques différentes correspondant à des échelles différentes est appelé une mesure multi-échelle des données.

Nous décrivons dans ce qui suit des exemples de travaux s'inscrivant dans le domaine du traitement d'image et utilisant le ME :

Le travail de [Krissian 2000] a été motivé par un problème pratique : étudier les images tridimensionnelles de vaisseaux afin d'extraire les caractéristiques des structures tubulaires telles que les lignes centrales et d'effectuer leur quantification automatique en utilisant l'analyse multi-échelle des images. Ce domaine a évolué rapidement ces dernières années et, par l'intermédiaire des équations aux dérivées partielles, englobe des analyses linéaires et non linéaires. Ce problème possède de nombreuses applications médicales car la localisation précise des vaisseaux sanguins et la quantification de leurs sections sont des informations utiles pour de nombreuses applications médicales.

Le travail de [Fataïcha et al. 2001] aborde la problématique de la détection d'objets contenus dans les images de documents composites et à structures complexes. Il présente un prototype multi-échelle qui a l'avantage de s'affranchir itérativement des problèmes de bruit et ensuite de mettre en relief les vrais problèmes de localisation et de discrimination d'objets contenus dans l'image. La méthode utilise les opérateurs Gaussien et Laplacien et combine l'approche descendante et l'approche ascendante. L'approche ascendante est utilisée pour la détection d'objets utilisant la Gaussienne pour supprimer le bruit et créer un espace multi-échelle et ensuite le Laplacien pour localiser les surfaces informationnelles existantes dans l'image. L'approche descendante est utilisée, ensuite, pour raffiner le contenu de l'image à des échelles successives par la réutilisation de toute l'information pertinente des étapes précédentes. Cette méthodologie permet la détection de la forme et de la position des régions d'informations de l'image à partir d'une hiérarchie indicée. Outre le fait qu'elle permet de résoudre les cas de densité et de tailles variables, cette technique présente l'avantage d'exploiter directement l'information contenue dans la hiérarchisation et d'offrir une grande simplicité de mise en œuvre.

Les résultats obtenus par [Fataïcha et al. 2001] montrent que les formes sont caractéristiques de l'échelle considérée et de la nature du contenu de la région. Les formes des objets sont libres et représentent du texte, des logos, des graphiques, des tableaux ou des images d'illustrations.

[Shi et al. 2005] s'est intéressé à la segmentation d'images de documents. La segmentation d'une page d'un document est un traitement très important dans un système de compréhension de l'image d'un document. Le but d'un processus de segmentation est de séparer entre eux les régions d'une image de document par exemple texte, tables, images et dessins.

Les algorithmes de segmentation de page trouvés dans la littérature se basent, pour la plupart, sur des paramètres prédéterminés tels que la taille de police, l'interligne. Les variations de ces paramètres dans les images des documents affectent énormément la performance de ces algorithmes. Dans [Shi et al. 2005], une nouvelle approche pour la segmentation de pages de documents en utilisant une technique ME a été présentée.

Cette technique est basée sur une *visualisation multi résolution* d'un document. D'abord, l'application d'un algorithme de connectivité locale⁸⁵ transforme une image d'un document en une nouvelle image (appelé DLCM pour Dynamic Local Connectivity Map) dans laquelle la valeur de chaque pixel représente la propriété de connectivité des pixels du premier plan se trouvant au voisinage de ce pixel dans l'image originale. Ensuite, le DLCM est représenté par une image en niveau de gris dans laquelle chaque valeur non nulle du DLCM représente la valeur du gap entre deux pixels du premier plan. Le fait de binariser le DLCM entraîne que les gaps ayant une valeur inférieure ou égale à un certain seuil « s » auront la même valeur. Les pixels du premier plan sont collapsés et peuvent réunir les blocs de texte, image et graphique. Comme le DLCM est une image en niveau de gris, alors 255 valeurs possibles pour « s » (255 échelles possibles) peuvent être considérées. L'écriture binaire du DLCM pour chaque valeur partitionne l'image en blocs. Ce qui a été constaté est que pour certaines valeurs de « s », les blocs trouvés sont les mêmes. Pour cela, la relation qui existe entre le seuil de DLCM et le nombre des éléments connectés a été explorée pour conclure 50 valeurs pertinentes de « s ». La valeur 50 étant la valeur qui génère le nombre minimum de blocs. Enfin, une approche Top-Down révèle les régions du document à chaque échelle. L'approche Top-Down consiste à commencer par détecter les structures de plus haut niveau tels que les colonnes, les graphiques et à procéder, par la suite, à des décompositions successives jusqu'à atteindre le niveau le plus bas tel que les caractères.

◆ **Biologie des Ecosystèmes aquatiques**

Le travail présenté par [Daufresne 2004] s'intègre dans la thématique générale de l'étude des relations entre les organismes et leur environnement, essentiellement les poissons. Il s'est particulièrement intéressé à l'intégration de la dimension temporelle dans l'étude de telles relations. Il a abordé cette thématique par une approche multi échelle, à la fois biologique (échelles de la communauté, de la population et de l'individu) et temporelle (échelle « long terme », échelle interannuelle découpée en saisons biologiques et échelle journalière). Sa démarche a été centrée, en premier lieu, sur une approche multi échelle de l'étude de telles relations, et, en second lieu, sur une volonté d'utiliser des approches à la fois descriptives, expérimentales et modélisatrices. L'objectif étant double :

- Mieux cerner les liens qui peuvent exister entre des relations observées à différentes échelles temporelles.

⁸⁵ La connectivité locale est définie comme une distance entre les pixels adjacents du premier plan de l'image le long de certaines directions.

- Mieux cerner les liens qui peuvent exister entre des relations observées à l'échelle de l'individu et à l'échelle de la population ou de la communauté.

[Daufresne 2004] a pu montrer que la prise en compte de la dimension temporelle était indispensable à la compréhension des mécanismes d'influence de l'environnement sur les organismes aquatiques d'eau courante.

◆ **Système d'Information Géographique (SIG)**

L'apparition des SIG a changé la manière avec laquelle les cartes géographiques sont utilisées. Pour un long temps, il y avait quelques difficultés avec les cartes non intégrées à différentes échelles. Les nouveaux SIG permettent la manipulation des données par un zooming à différentes échelles : l'approchement de données particulières permet d'obtenir des détails sur ces données.

La majorité des travaux de recherche combinant ME et SIG est lié aux techniques de généralisation des cartes géographiques. En effet, les données spatiales dans un SIG multi-échelle sont obtenues en appliquant des opérations de généralisation. Parmi ces opérations nous citons la sélection, la simplification, la classification, la symbolisation, l'agrégation, la typification, et l'anamorphose. La généralisation consiste en la création de cartes grossières à petite échelle à partir de cartes détaillées à large échelle.

Pour manipuler des données spatiales efficacement, des méthodes d'accès spatial sont nécessaires. Plusieurs méthodes d'accès aux données spatiales existent. Ils sont classés en deux catégories :

- Les méthodes d'accès hiérarchiques tels que R-Trees et Quad-Trees
- Les méthodes basées sur le hashing tels que Grid files et R-files

Néanmoins, ces méthodes ne permettent pas un accès efficace aux données ME. En fait, les méthodes qui prennent en compte le ME ne peuvent le faire qu'après avoir appliqué des opérations de généralisation, mais, ces méthodes ne supportent pas toutes les opérations nécessaires de généralisation.

Dans [Kwon et al. 2002], les auteurs décrivent une méthode d'accès spatial efficace pour un SIG ME. Cette méthode est basée sur l'extension de R-trees. Les R-trees existants présentent des inconvénients au niveau de la manipulation des données ME. Dans la première approche, les données ME sont stockées séparément chacune avec ses propres structures d'accès. Cela provoque la redondance par ce que la même information doit être stockée à différentes échelles. Dans la deuxième approche, les données ME sont stockées dans une seule structure d'accès. Ceci engendre un temps d'accès considérable.

L'approche de [Kwon et al. 2002] bénéficie des avantages de chacune de ces approches. Elle consiste à intégrer plusieurs R-trees stockés séparément dans une seule structure d'accès.

◆ **Prédiction de séismes**

La science au niveau système (en anglais : System Level Science science au niveau système) dénote un mode d'investigation scientifique dans lequel le focus n'est pas limité à une compréhension approfondie de phénomènes physiques individuels mais rassemble une compréhension plus large de comment un système physique complexe multi phénomènes se comporte et comment ses composants interagissent et sont inter reliés. La science au niveau système est une approche pour aborder les systèmes complexes qui est en train d'augmenter d'importance dans un grand nombre de domaines allant de l'astronomie à la zoologie par exemple, prédire le moment et le lieu d'un séisme nécessite l'intégration de la compréhension de la manière avec laquelle la rupture des vagues de pression dans la terre est créée, comment

ces vagues causent les mouvements de la surface et comment un bâtiment réagit face à ces mouvements.

L'intégration de différents domaines pour obtenir une compréhension d'un système nécessite typiquement un travail considérable à différentes échelles : les chercheurs se posent des questions à l'échelle du système, puis ils leur font correspondre des questions aux différentes échelles du système (les disciplines impliquées). Ce travail implique d'une part, une recherche et une discussion pour comprendre l'état de l'art dans chaque échelle (en terme de résultats, suppositions et limitations) et d'autre part, le développement de cadres théoriques, de méthodes d'analyse et de simulations numériques pour relier la compréhension, les données et les modèles de différents domaines.

◆ **Représentation géométrique de l'architecture des plantes**

La géométrie d'une plante est un objet complexe, combinant les géométries de nombreux organes, dépendant de l'échelle d'analyse considérée et très variable dans le temps ainsi que d'une espèce à l'autre. Deux catégories d'approches pour modéliser la géométrie d'une plante sont utilisées : les approches globales, qui considèrent la plante comme un tout et la représentent par une enveloppe, et les approches modulaires, dans lesquelles la plante est représentée par l'ensemble des modèles géométriques de ses composants. Certains travaux récents introduisent l'idée d'organiser des modèles de plantes en différents niveaux de détails pour adapter la complexité de la représentation ou pour une meilleure compréhension du développement de la plante.

Dans [Boudon 2004], la problématique abordée est le développement et la formalisation d'un modèle géométrique multi-échelle général de représentation de l'architecture des plantes.

Ce modèle **intègre de manière cohérente différentes représentations géométriques à différents niveaux de détail**. Il permet ainsi de contrôler et d'adapter la complexité de la représentation au cours des calculs et d'acquérir une compréhension plus précise de la géométrie complexe des plantes.

Annexe B : Grille d'entretien

Cette annexe présente la grille d'entretien que nous avons utilisée lors des entretiens avec des enseignants-concepteurs afin de mieux comprendre et définir le contexte institutionnel.

Question que je me pose	Hypothèses à confirmer ou à infirmer	De quoi faire parler l'interviewé(e)	Enchaînements
Existe-t-il des contraintes institutionnelles qui influencent la conception du dispositif	Oui il existe des contraintes	Des cours qu'il donne actuellement Des formations auxquelles sont rattachées ces cours Des institutions auxquelles ces formations sont rattachées Des influences de tous ça sur les dispositifs à concevoir	1. Qu'est ce que vous en pensez sur l'influence du contexte institutionnel sur vos dispositifs de formation à distance ? 2. Quels sont les cours que vous donnez actuellement ? A quelle formation sont rattachés ? A quelle institution ? 3. Donnez-vous le même cours dans différentes formations ? 4. En cas de plusieurs dispositifs, insister sur un seul dispositif dans deux contextes différents ou bien un seul dispositif à choisir
Ces contraintes sont de quel ordre	D'ordre technologique, organisationnel, économique, pédagogique	Des exemples de contraintes imposées et le rattachement de la contrainte (à la formation, à l'institution, au profil des apprenants des enseignants)	1. Donnez-moi des exemples de contrainte ? 2. Existe-t-il toujours des contraintes organisationnelles du type nomination des groupes, création des groupes, 3. Existe-t-il toujours des contraintes pédagogiques : imposition d'une stratégie pédagogique 4. Existe-t-il toujours des contraintes technologiques du type la plateforme à utilisation, des recommandations concernant les outils à utiliser, concernant le contexte technologique de l'apprenant ? 5. Existe-t-il des contraintes économiques ? 6. Autres contraintes ?
Comment prendre connaissance de ces contraintes	-document écrit -réunion avec le directeur d'étude -Co-construction avec des experts	Des moyens de prendre connaissance des contraintes et comment les modéliser pour ne pas oublier et les respecter De l'existence d'une personne qui assure ce type d'assistance	1. Comment vous prenez connaissance de ces règles ? 2. S'il n'existe pas un papier qui décrit les règles à respecter alors comment vous maintenez vos contraintes ? 3. Existe-t-il une personne assure ce type d'assistance ?
Comment tenir compte de ces contraintes	Des outils ? Manuellement ?	Des moyens de tenir compte de ces contraintes Des impacts en cas d'oubli De son opinion concernant un outil qui assure ce rôle	1. Ces contraintes influencent-elles (ou changent-elles) votre pédagogie ? 2. Existe-il un outil qui vous aide à tenir compte de ces contraintes ? 3. Qu'est ce que vous en pensez d'un outil qui permet d'assurer au concepteur un assistant pour la contextualisation ?
Le changement de ces contraintes est-elle rapide	non	De la fréquence du changement de ces contraintes d'une année à une autre	1. Au cours d'une formation, ces contraintes peuvent-elles changer ? 2. D'une année à l'autre, ces contraintes changent-elles ?

Annexe C : Entretien Responsable Formation IPM

Etude de cas IPM : « Ingénierie Pédagogique Multimédia », Université de Lille1

Cette annexe détaille l'entretien effectuée avec le responsable du master IPM dans le cadre de l'évaluation de notre travail.

Question	Réponse
Quelle est la plateforme de formation à distance utilisée ?	ACCEL qui est une plateforme Open Source soutenu par l'université de Lille I.
Ce diplôme dépend-il d'un autre diplôme ou d'une autre formation ? lesquels ?	Fait partie d'un parcours commun sciences de l'éducation formation pour adultes. Les étudiants du M1-UIP (Master1-....) sont acceptés automatiquement dans l'option IPM.
Est-ce que vous donnez des cours dans le cadre de ce diplôme ? lequel ?	Oui, je donne le cours « réseau » et j'assume aussi la fonction de responsable de la formation.
Qui conçoit les dispositifs pédagogiques pour chaque cours (l'enseignant, un ingénieur pédagogique) ?	L'organisation des enseignements se fait de cette manière : chaque matière est assurée par deux ou trois enseignants. L'un parmi eux est le responsable de la conception du dispositif pour la plateforme ACCEL. Souvent, ce responsable n'est pas informaticien.
Qui déploie les dispositifs sur la plateforme de formation à distance ?	Chaque enseignant responsable assure le déploiement de son dispositif sur la plateforme.
Existe-t-il un patron pédagogique conseillé ou exigé pour toutes les unités d'enseignement ? lequel ? Sinon, existe-il un patron pour une ou plusieurs unités ? lequel ? prenons l'exemple de votre cours	Non il n'existe pas de patrons pédagogiques conseillé ou exigé pour toutes les matières. Par exemple, dans mon cours j'adopte une stratégie transmissive. Donc, j'organise mon cours en séquences, chaque séquence possède la structure suivante : un cours, des exercices auto-corrigés et un TP à rendre qui sera noté. Une séquence finale est réservée à une étude de cas à faire et à rendre par les étudiants et qui sera également noté. D'autres enseignants se basent par exemple sur des pédagogies par projet ou encore par situation-problème. Les règles pédagogiques communes et qui doivent être respectés par tous les enseignants est la nécessité de prévoir : <ul style="list-style-type: none"> - Une présentation de l'enseignement : décrit la matière et la méthode de déroulement de l'enseignement - Une matrice qui décrit le déroulement de la matière par semaine afin d'équilibrer les charges par semaine et éviter ainsi des semaines avec baisse de charges et

	<p>d'autres avec haute charge.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un tableau qui résume les tâches des étudiants durant l'enseignement. <p>L'outil « liste de tâches » de la plateforme ACCEL est exigé pour chaque règle pédagogique.</p>
<p>Existe-t-il des contraintes d'organisation de la formation ? si oui, comment les communiquer aux concernés</p>	<p>Oui, il existe des contraintes d'organisation de la formation. Il existe celles destinées aux enseignants et celles destinées aux étudiants et qui leur sont communiqués à travers :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La charte des étudiants et des enseignants : - L'atelier des enseignants : où je donne des consignes aux enseignants. - L'atelier 0 des étudiants qui permet d'indiquer aux étudiants les conditions dictées par la CEVU pour l'obtention du master et de leur donner des conseils. La CEVU est une commission qui se réunit chaque année en Septembre afin de décider des conditions d'obtention d'un diplôme à l'université de Lille 1.
<p>Existe-il des contraintes pédagogiques liés par exemple au profil des apprenants et qui doivent être prises en considération par le concepteur de dispositifs ?</p>	<p>Oui, il existe des contraintes pédagogiques liées aux profils des apprenants. En effet, il existe trois profils différents des apprenants :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. les français qui habitent en France 2. les français qui habitent à l'étranger 3. les AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) qui sont de différentes nationalités. <p>Pour le premier profil, généralement aucune contrainte ne s'impose. Pour le deuxième profil, le problème qui se pose souvent est logistique lié aux examens qu'ils passent en présentiel. Le même problème se pose pour les étudiants AUF, en plus des contraintes techniques très importantes imposent des changements des choix pédagogiques. Il s'agit des problèmes liés à la bande passante tels que la difficulté d'effectuer des communications synchrones et la difficulté de télécharger des contenus pédagogiques riches en ressources multimédias. De plus, le problème de filtrage Internet se pose par exemple en Chine il y a souvent un problème de téléchargement des vidéos.</p> <p>Pour résoudre ce type de problème, il est souvent conseillé d'éviter l'utilisation de contenus</p>

	<p>pédagogiques riches en multimédias. Dans le cas où il est indispensable de diffuser des contenus riches (la matière l'exige tel que le cours de flash), ils seront stockés sur des DVD et envoyés aux étudiants au début de la formation.</p> <p>Et Pour la communication asynchrone, la plateforme est utilisée puisqu'elle est conçue dans ce but : des forums contextualisés à chaque tâche, même la plus élémentaire, sur la plateforme est offert automatiquement.</p>
<p>Existe-t-il des contraintes ou des bonnes pratiques d'utilisation des outils de la plateforme communes à toutes les unités ? si oui, lesquelles ?</p>	<p>La capitalisation des expériences précédentes est très importante pour notre diplôme. En effet, on garde trace du déroulement de l'enseignement dans les promotions précédentes (« les histoires vécues des dispositifs pédagogiques ») sur la plateforme afin d'aider les enseignants des promotions suivantes. Il est vrai que cela nécessite un effort d'exploration important mais on espère pouvoir formaliser les bonnes pratiques afin de les intégrer dans le processus de conception d'une manière plus adéquate. L'historique sur la plateforme est vraiment riche par de bonnes pratiques mais leur exploitation lors de la conception des dispositifs nécessite encore un effort d'exploration et d'interprétation par les enseignants.</p> <p>Remarque : on ne peut rien imposer aux enseignants, on peut juste leur indiquer la présence de l'historique et eux ils se l'approprient. Dans certains cas, ils font autre chose.</p> <p>Dans l'IUP, un ingénieur pédagogique a été recruté afin d'observer, scruter les différentes promotions du master IPM et extraire les BP afin de les faire passer aux enseignants d'IUP qui forment tous une nouvelle génération d'enseignants qui n'ont d'expérience en FOAD.</p>
<p>Existe-t-il des contraintes ou des bonnes pratiques d'utilisation des outils de la plateforme spécifiques à votre cours ? si oui Lesquels ? sinon, prenons un autre cours que vous connaissez ?</p>	
<p>Comment communiquer les contraintes et les bonnes pratiques aux concepteurs de dispositifs ? document papier, oralement, répondre à des questions.</p>	<p>Oralement en donnant des conseils d'avance aux enseignants et en exploitant l'historique sur la plateforme.</p>
<p>Au cours d'une formation, les contraintes peuvent-elles changer ? un exemple ?</p>	<p>Les changements des contraintes au cours d'une formation sont très minimes. Les aménagements en cours de route sont très rares parce qu'ils ne</p>

	<p>seront acceptés ni par les enseignants ni par l'institution. Mais, il est souvent envisageable d'ajuster le déroulement des dispositifs afin de résoudre certaines difficultés mais ça reste spécifique aux dispositifs concernés.</p>
<p>D'une année à l'autre, ces contraintes changent-elles ? un exemple ?</p>	<p>Oui, on capitalise pour l'année suivante les expériences vécues pour chaque année mais comme mentionné ça reste sur la plateforme. Quelquefois, nous avons des changements radicaux et quelquefois c'est des simples adaptations.</p>
<p>A la fin de chaque promotion, faites vous l'analyse des traces afin de capitaliser de bonnes pratiques et des erreurs à éviter ?</p>	<p>On garde les traces et leur analyse se fait de manière individuelle par les enseignants des promotions suivantes. Dans l'IUP, un ingénieur pédagogique a été recruté afin d'observer, scruter les différentes promotions du master IPM et extraire les BP afin de les faire passer aux enseignants d'IUP qui forment tous une nouvelle génération d'enseignants qui n'ont d'expérience en FOAD.</p>

Annexe D : Questionnaires d'évaluation

Questionnaire ACoMoD-GenIC

















Introduction

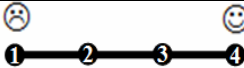
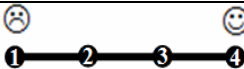
Ce questionnaire porte sur l'évaluation de ACoMoD-GenIC. Il est divisé en deux parties, la première concerne la partie « générateur » (Paramétrage) et la deuxième concerne la partie « modélisation des contraintes ». Nous vous informons que ce questionnaire est complètement anonyme.

Modalité de réponse au questionnaire

Dans la première colonne vous trouverez les questions. La deuxième colonne est consacrée aux réponses. Il existe deux types de réponses. Le premier type consiste à mettre une valeur entière d'évaluation comprise entre 1 et 4 : 1 étant la valeur qui correspond à l'évaluation la plus faible et 4 la meilleure évaluation. Pour le deuxième type de réponse, il s'agit de répondre par « oui », « non » ou « peut être ».

La troisième colonne vous permet de commenter la réponse ou/et de donner des recommandations complémentaires.

Question	Réponse	Remarques/Suggestions
[Q1.1] Le degré d'expressivité de la partie paramétrage de la structure de votre contexte institutionnel	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.2] Le degré d'expressivité du paramétrage des types de contraintes	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.3] Niveau d'assistance offerte lors du paramétrage du contexte	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.4] Qualité de l'assistance offerte lors du paramétrage du contexte	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.5] La facilité de modifier le paramétrage du modèleur (les allers-retours entre le paramétrage et le modèleur)	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.6] Le degré d'adéquation du modèleur des contraintes par rapport au paramétrage	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.7] Le niveau de pertinence du choix de rattacher les contraintes aux éléments de la plateforme	  1 — 2 — 3 — 4
[Q1.8] Le niveau de difficulté de rattacher les contraintes aux éléments de la plateforme	  1 — 2 — 3 — 4

<p>[Q1.9] La pertinence des contrôles d'erreurs lors de la saisie des contraintes</p>		<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>[Q1.10] La qualité des contrôles d'erreurs</p>		<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>[Q1.11] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenIC fournit un bon outil pour modéliser les contraintes contextuelles ?</p>	<p>non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/></p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>[Q1.12] Pensez-vous que vous allez continuer à utiliser l'outil ACoMod-GenIC?</p>	<p>non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/></p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

Autres,

Quelles difficultés avez vous rencontrées?

.....

.....

.....

Quelles suggestions pourriez-vous faire pour améliorer l'outil?

.....

.....

.....

Questionnaire ACoMoD-Gen-PTE

Introduction

Ce questionnaire porte sur l'évaluation de ACoMoD-Gen-PTE.

Modalité de réponse au questionnaire

Dans la première colonne vous trouverez les questions. La deuxième colonne est consacrée aux réponses. Il existe deux types de réponses. Le premier type consiste à mettre une valeur entière d'évaluation comprise entre 1 et 4 : 1 étant la valeur qui correspond à l'évaluation la plus faible et 4 la meilleure évaluation. Pour le deuxième type de réponse, il s'agit de répondre par « oui », « non » ou « peut être ».

La troisième colonne vous permet de commenter la réponse ou/et de donner des recommandations complémentaires.

Question	Réponse	Remarques/Suggestions
[Q2.1] Degré de facilité de prise en main de l'outil	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.2] Facilité d'utilisation de l'outil pour l'exploration d'une base de template en vue de la réutilisation d'un template	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.3] Pertinence des contrôles d'erreurs lors de la contextualisation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.4] Qualité d'assistance à la contextualisation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.5] Facilité de mise en oeuvre des tâches de contextualisation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.6] Pertinence de la réutilisation de contextualisations	 1 — 2 — 3 — 4
[Q2.7] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenPTE fournit un bon outil pour la réutilisation de templates ?	non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>
[Q2.8] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenPTE fournit un bon outil pour la contextualisation de templates ?	non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>
[Q2.9] Pensez-vous que vous allez continuer à utiliser l'outil?	non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>

Autres,

Quelles difficultés avez vous rencontrées?

.....
.....
.....

Quelles suggestions pourriez-vous faire pour améliorer l'outil?

.....
.....
.....

Questionnaire ACoMoD-Gen-COM

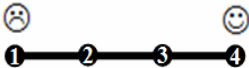
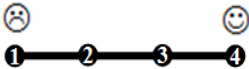
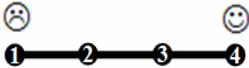
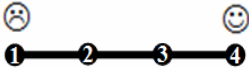
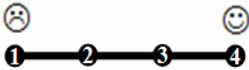
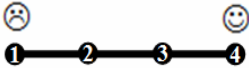
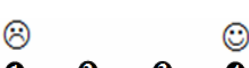
Introduction

Ce questionnaire porte sur l'évaluation de ACoMoD-Gen-COM.

Modalité de réponse au questionnaire

Dans la première colonne vous trouverez les questions. La deuxième colonne est consacrée aux réponses. Il existe deux types de réponses. Le premier type consiste à mettre une valeur entière d'évaluation comprise entre 1 et 4 : 1 étant la valeur qui correspond à l'évaluation la plus faible et 4 la meilleure évaluation. Pour le deuxième type de réponse, il s'agit de répondre par « oui », « non » ou « peut être ».

La troisième colonne vous permet de commenter la réponse ou/et de donner des recommandations complémentaires.

Question	Réponse	Remarques/Suggestions
[Q3.1] Degré de facilité de prise en main de l'outil	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.2] Facilité d'utilisation de l'outil pour la transformation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.3] Pertinence des contrôles d'erreurs lors de la transformation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.4] Qualité d'assistance à la transformation	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.5] Clarté des messages d'assistance	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.6] Pertinence du rapport de validité contextuelle	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.7] La quantité d'informations contextuelles qui vous a été proposée par l'outil et que vous avez jugé inutiles	 1 — 2 — 3 — 4
[Q3.8] Pensez-vous qu'ACoMoD-GenCOM fournit un bon outil pour effectuer une transformation contextualisée de dispositifs pédagogiques ?	non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>
[Q3.9] Pensez-vous que vous allez continuer à utiliser l'outil?	non <input type="checkbox"/> Peut être <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>

Autres,

Quelles difficultés avez vous rencontrées?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Quelles suggestions pourriez-vous faire pour améliorer l'outil?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Annexe E : Apport des ontologies à l'IDM

Nous présentons dans cet annexe une étude comparative entre les méta-modèles et les ontologies afin d'identifier l'apport des ontologies à une approche dirigée par les modèles. Nous présentons également deux standards qui sont OAM et ODM facilitant le passage entre les deux espaces technologiques.

I. Comparaison entre un méta-modèle et une ontologie

Le méta-modèle ainsi que l'ontologie permettent tout les deux de décrire et de représenter des éléments du monde réel. Ceci nous emmène à nous interroger à l'utilité d'implémenter d'une ontologie.

Nous présentons dans Tableau 23 et Tableau 24 une comparaison entre les ontologies et les méta-modèles.

Critères	Ontologie	Méta-modèle
Caractéristiques	- Représentation formelle et consensuelle couplée avec des environnements de raisonnement basé sur un mécanisme d'inférence.	- Représentation formelle et consensuelle.
Représentation des connaissances	- Propose des modes de description à base de concepts et de relations entre ces concepts. - les relations de spécialisation sont privilégiées - les autres relations sont strictement contrôlées.	- Propose des modes de description à base de concepts et de relations entre ces concepts. - Laissent une grande liberté dans le choix du jeu des relations à utiliser.
Les types d'interopérabilités permises	- L'interopérabilité technique. - L'interopérabilité sémantique.	- L'interopérabilité technique. - L'interopérabilité sémantique.
Réutilisation	Oui	Oui
Niveau de description	Granularité fine (détails très fins)	Granularité large
Inférence	Oui	Non
Sémantique	Riche	Pauvre
Description stabilisée du domaine	Oui	Non

Tableau 23 : Ontologie vs Métamodèle (1)

	Modèles/Méta-modèles	Ontologies
<u>Points en commun</u>	<ul style="list-style-type: none"> Description à base de concepts et de relations entre ces concepts. Favoriser la réutilisation. Faciliter l'interopérabilité des applications. <p>⇒ La connaissance intégrée représente le consensus reconnu par les applications qui interagissent.</p>	
<u>Niveau d'abstraction</u>	<p>Elevé</p> <p>Il est difficile de faire apparaître dans un même modèle des éléments de description généraux et des éléments relevant de détails très fins.</p>	<p>Assez Faible</p> <p>Spécialisation des ontologies dans un domaine bien particulier.</p> <p>Affiner la représentation des concepts étudiés.</p>

<u>Utilisation multiple des sources de données</u>	<p>La possibilité d'utiliser plusieurs sources de représentation des connaissances</p> <p>⇒ Ajuster l'étendue de la connaissance couverte par le modèle.</p>	<p>Les ontologies fournissent un moyen unique de représentation de la connaissance d'un domaine.</p> <p>⇒ décrire une partie de la connaissance chaque ontologie couvre un domaine limité</p>
<u>Déduction de règles</u>	<p>⇒ N'offrent pas de capacité de déduction.</p>	<p>→ Définition des règles logiques représentant des contraintes du domaine.</p>
<u>Outils/langages</u>	<p>Modeleurs UML</p>	<p>Langage OWL</p>

Tableau 24 : Ontologie vs Métamodèle (2)

Tableau 23 et Tableau 24 ont permis de clarifier les différences entre une ontologie et un méta-modèle. En fait, les méta-modèles présentent un moyen efficace pour la modélisation de la structure des systèmes et de leur fonctionnement, tandis que les ontologies sont plutôt indispensables pour la représentation sémantique des liens entre ressources du système, et l'organisation des connaissances servant ainsi de support à l'expression et à l'exécution efficace de requêtes sur ces systèmes. Ceci justifie l'apport de l'ontologie pour l'environnement IDM, et qui se reflète par :

- L'ontologie bénéficie d'une représentation formelle de connaissances déclaratives stables et consistantes. En fait, les méthodes de représentation pratiquées dans l'IDM tendent à intégrer les connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles de façon souvent compliquée d'où la nécessité d'une ontologie qui contient une base de connaissances déclaratives, rendues explicites par un exercice approfondi d'analyse conceptuelle.
- L'ontologie permet d'augmenter la puissance du processus IDM, en introduisant, en plus de la réutilisation des modèles de conception, la possibilité de valider les solutions proposées de manière formelle, et surtout la réutilisation de la connaissance qui permet la réalisation des modèles.
- L'ontologie offre également un mécanisme d'inférence exploitable par l'approche IDM.
- L'ontologie fournit un vocabulaire structuré servant de support à l'expression des requêtes qui aide à l'interrogation de modèles. Elle facilite la réutilisation des objets par d'autres systèmes, au moyen d'une traduction automatique.

II. L'ODM : Ontology Definition Model

L'ODM, est un standard adopté par l'OMG qui supporte le développement d'ontologies et la modélisation conceptuelle dans plusieurs langages de représentation standards. Il fournit une structure cohérente pour la création d'ontologies basée sur MOF et UML.

L'ODM offre un ensemble de méta-modèles et de configurations pour rapprocher le monde de méta-modèles et celui d'ontologies. Il définit cinq méta-modèles (RDFS, l'OWL, Topic Maps, Common Logic and Description Logic), deux Profils UML (le Profil RDFS/OWL, le profil Topic Maps) et un ensemble de configurations (QVT d'UML à OWL, des Topic Maps à OWL et RDFS/OWL à Common Logic).

Actuellement, il existe une mise en œuvre de deux de ces méta-modèles RDFS et l'OWL à travers KM3, du profil RDFS/OWL, ainsi que de la configuration entre UML et l'OWL en

utilisant ATL. La Figure 87 présente l'architecture générale de l'ODM pour le passage d'UML à OWL en se basant sur le profil RDFS/OWL :

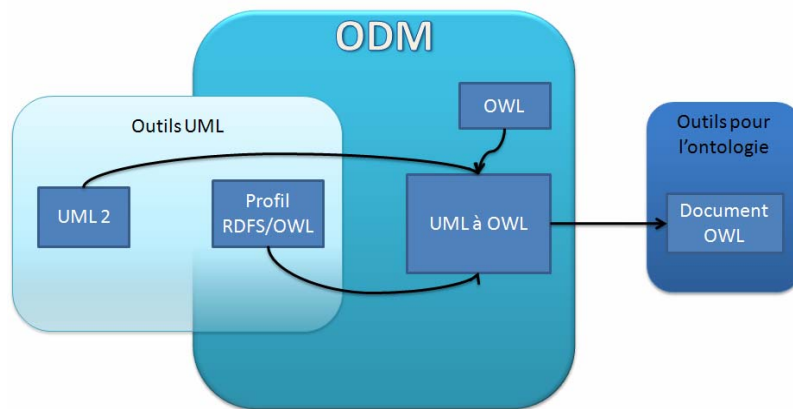


Figure 87 : Architecture générale de l'approche ODM

La spécification ODM a mis en œuvre la transformation ATL pour accomplir le passage d'UML à OWL en se basant sur la configuration QVT. Cette transformation a rendu possible la conversion d'un modèle UML arbitraire dans une ontologie OWL. Le scénario complet de cette transformation est donné dans la Figure 88.

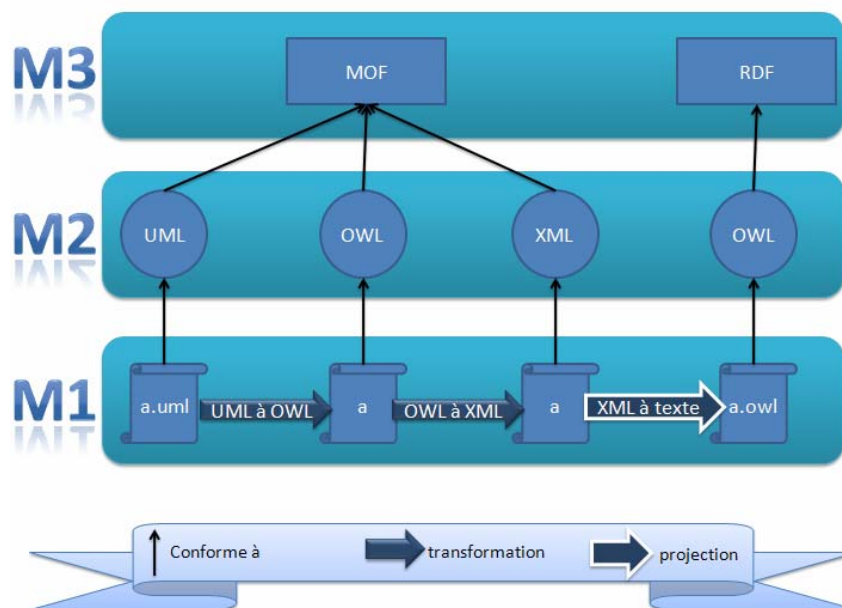


Figure 88 : Scénario détaillé de l'approche ODM

Ce scénario est composé de deux transformations ATL définies par la spécification W3C. La première transformation fondamentale prend en entrée un modèle UML et produit une ontologie conforme au méta-modèle OWL. Cette transformation se fait selon les correspondances décrites dans le Tableau 25.

Eléments UML	Eléments OWL
class, type, property ownedAttribute	class
Instance	individual
ownedAttribute, binary association	property
Subclass, generalisation	Subclass subproperty
N_ary association, association class	Class, property
enumeration	one of
Disjoint, cover	disjointWith, unionof
multiplicity	Mincardinality maxcardinality
packtage	ontology
dependency	Reserved name RDF: property

Tableau 25 : Correspondances entre quelques éléments UML et OWL

La deuxième transformation consiste à produire un document owl, conforme à la syntaxe OWL/XML, à partir du méta-modèle OWL généré par la première transformation en utilisant un extracteur XML. Le fichier OWL obtenu pourra être utilisé et manipulé à travers des outils d'ontologies tels que Protégé2000.

ODM et une approche automatique et directe pour le passage d'un méta-modèle UML vers une ontologie. Cependant, elle ne permet pas de filtrer les éléments du méta-modèle qui doivent apparaître dans l'ontologie, ce qui est permis en contre partie par l'approche OAM. De plus, l'approche OAM ne restreint pas le type du méta-modèle d'entrée (UML ou autre), tout en restant une approche semi automatisée car l'utilisateur doit intervenir pour faire des annotations.

Annexe F : Captures d'écran des fonctionnalités principales des prototypes Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM

Cette annexe présente quelques captures d'écran des prototypes Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM que nous avons développés.

❖ Prototype Gen-PTE

Pour Gen-PTE, nous allons nous baser sur l'exemple du template de stratégie d'encadrement présenté dans le chapitre VI et qui est illustré par la Figure 53

La page d'accueil de Gen-PTE est présentée dans la Figure 89.

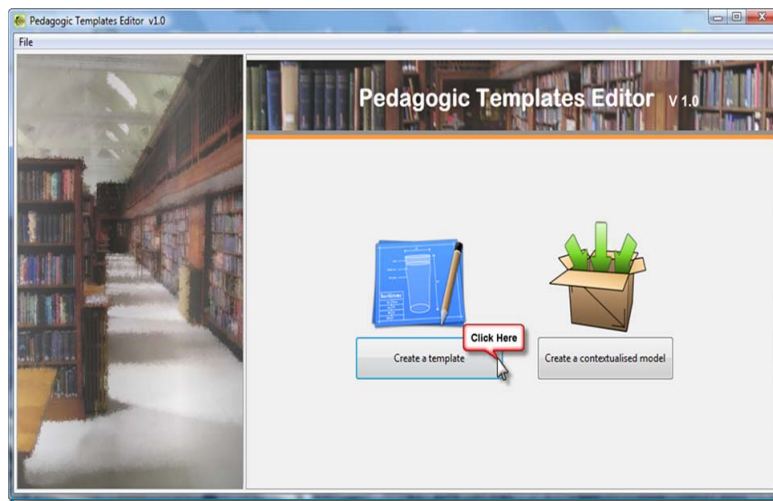


Figure 89 : Page d'accueil de Gen-PTE

Définition de templates

Pour créer un template, il faut commencer par choisir le diagramme des classes de départ. Ensuite, il faut nommer le template et donner sa description. Puis, il faut paramétrer le diagramme de classe en spécifiant graphiquement les paramètres (Le menu vertical à gauche « Define parameters » sur la Figure 90 affiche la liste complète des éléments paramétrables).

Pour chaque élément rendu paramétrable, il faut impérativement préciser une description, qui servira ultérieurement comme indication au concepteur lors de l'opération de contextualisation. La Figure 90 présente l'exemple de création du paramètre « Projet ».

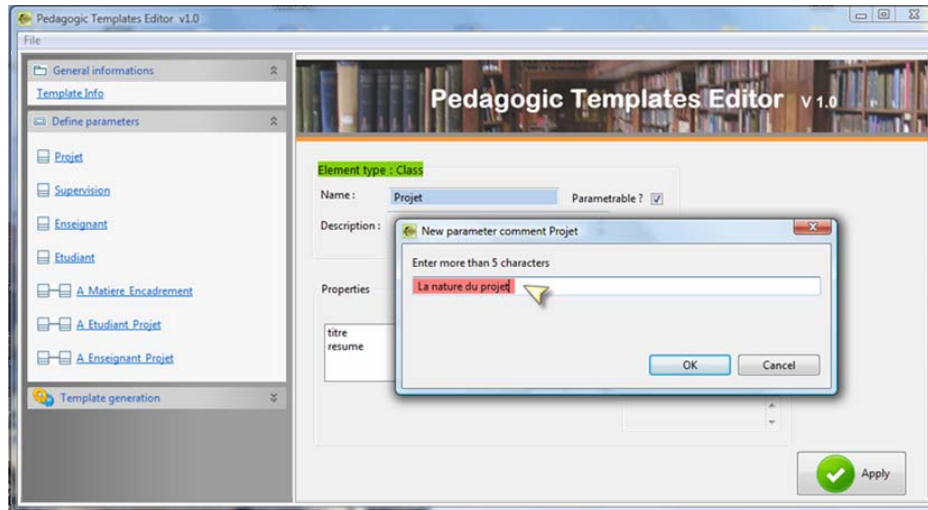


Figure 90 : Capture d'écran de paramétrage d'un template

Ainsi, toutes les actions de définition d'un template se font graphiquement et c'est l'outil qui gère en arrière-plan tous les concepts spécifiques aux templates. L'outil a été développé de façon à permettre tout ce qui est possible avec les templates et à permettre de gérer même des cas compliqués. Par exemple, pour le cas des associations, il est possible de définir une association avec ses propriétés comme paramètres comme il est possible de définir juste une partie par exemple une propriété (c'est le cas du paramètre étudiant dans le template de stratégie d'encadrement). Gen-PTE permet d'effectuer toutes les possibilités de paramétrage des associations et oriente l'utilisateur dans son travail avec des options clairement définies et avec une facilité de modification des choix.

Après avoir accompli les opérations de définition des paramètres, le template est généré en cliquant sur le bouton « Generate Template ». Il faut donc spécifier l'entrepôt (repository) de l'utilisateur où le template sera déposé. Un nouveau dossier spécifique au nouveau template est par la suite créé, le fichier du template est placé sur la racine de ce dossier et 2 autres répertoires « binding » et « contextualisation » sont créés pour une utilisation ultérieure lors de la contextualisation comme illustré par la Figure 91.

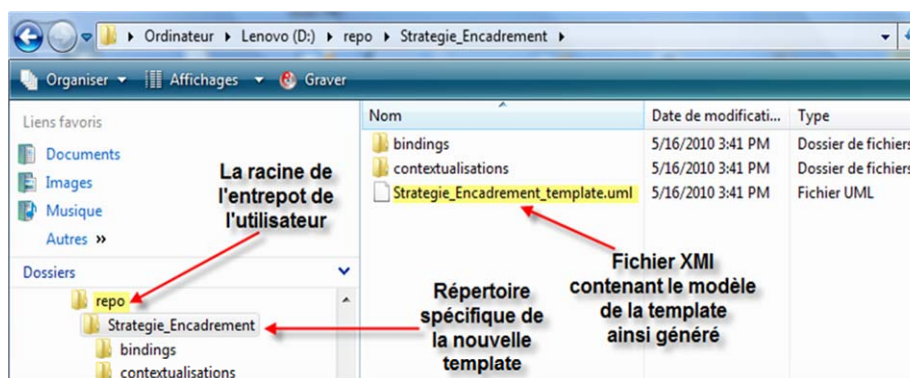


Figure 91 : Stockage d'un template dans un dépôt de templates

Contextualisation de templates

Pour définir un nouveau modèle contextualisé à partir d'un template, le concepteur pédagogique doit procéder comme suit :

Lancer l'exécution de l'outil, ensuite depuis l'écran d'accueil (fig 52) choisir « Create a contextualized model ».

1. Réutilisation de templates

La réutilisation d'un template se fait à partir d'un entrepôt dont l'emplacement doit être spécifié. L'outil effectue donc une recherche pour repérer et identifier les templates présents dans le dépôt. La description de chaque template peut être affichée en cliquant dessus dans la liste comme illustré par la Figure 92.

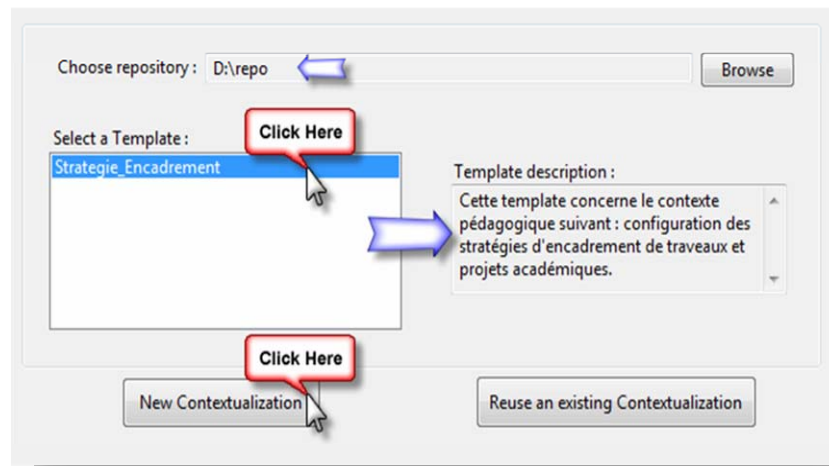


Figure 92 : Capture d'écran de réutilisation d'un template à partir d'un dépôt

Après avoir choisi le template, il est possible soit de créer une nouvelle contextualisation ou de réutiliser une contextualisation existante.

2. Création d'une nouvelle contextualisation

La première chose à faire consiste à introduire le nom du modèle contextualisé à produire ainsi que la description du contexte de la contextualisation à effectuer. Cette description permettra de guider la réutilisation éventuelle de la contextualisation.

L'outil permet par la suite de guider la définition des valeurs effectives des paramètres exposés par le template. Ces derniers sont listés dans le menu de gauche et l'utilisateur sélectionne à chaque fois le paramètre à traiter. L'outil distingue les éléments traités des non traités par des icônes différentes afin de faciliter la contextualisation comme illustré par la Figure 93. L'utilisateur peut revenir à tout moment à un élément traité pour le modifier, l'outil lui affichera les valeurs déjà introduites.

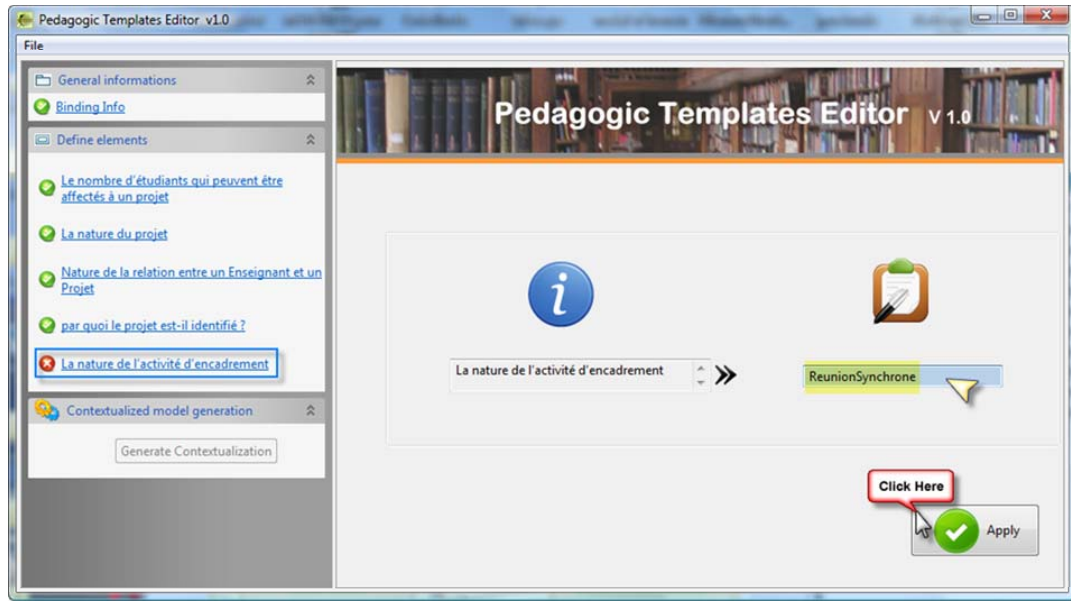


Figure 93 : Capture d'écran de contextualisation d'un paramètre d'un template

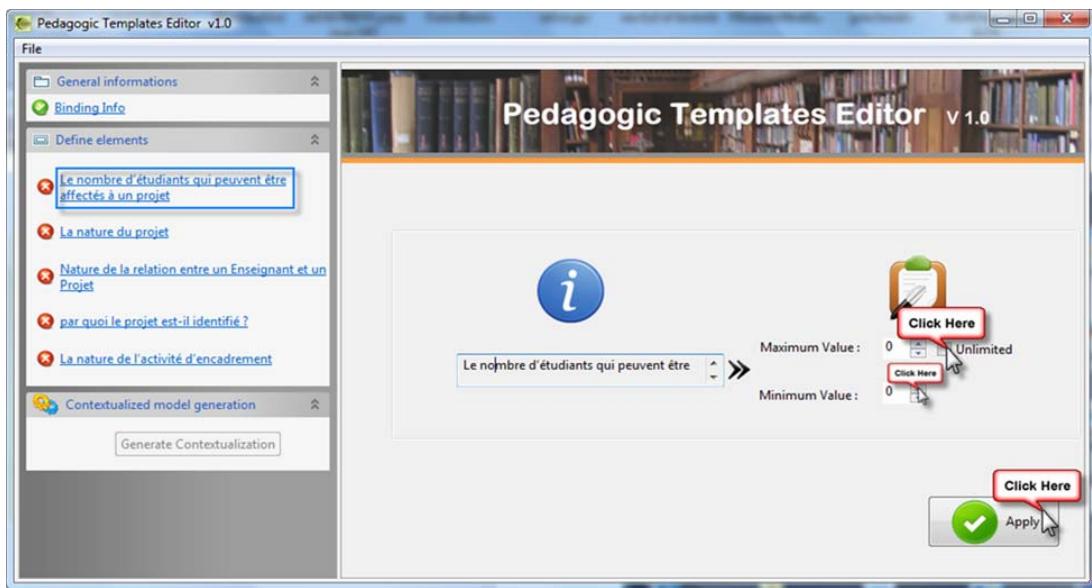


Figure 94 : Capture d'écran de contextualisation de cardinalités

Après avoir défini tous les paramètres dans la liste, la génération du modèle devient possible. Ce dernier est placé dans le dépôt sous le répertoire correspondant au template.

3. Réutilisation d'une contextualisation existante

Dans l'exemple de la stratégie d'encadrement illustré par la Figure 53, nous avons pris l'exemple de deux contextualisations « StratégieC1 » et « StratégieC2 ». Si « StratégieC1 » est déjà créée et nous voulons créer « StratégieC2 » qui est un peu différent de « StratégieC1 », il semble plus judicieux de partir du « Binding » relatif à « StratégieC1 » et faire quelques modifications. Pour se faire, suite au choix d'un template, il faut choisir l'une de ses contextualisations (extraites à partir du dépôt) et choisir celle qui s'approche du contexte de la nouvelle contextualisation comme le montre la Figure 95 et la Figure 96.

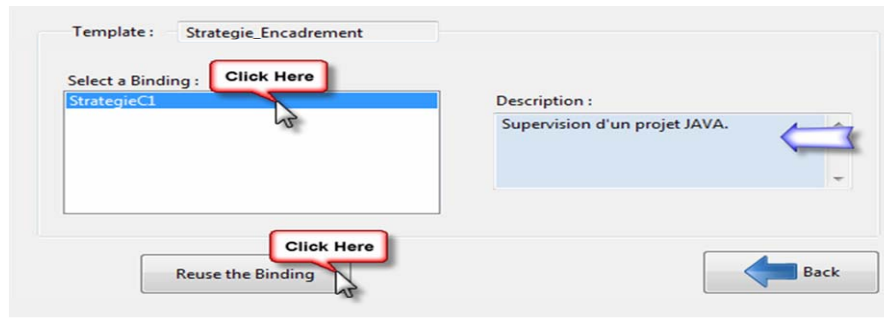


Figure 95 : Capture d'écran de sélection d'une contextualisation

Une fois une contextualisation sélectionnée, toutes les informations la concernant ainsi que toutes les valeurs effectives correspondantes aux paramètres sont chargés. L'utilisateur a le choix entre réutiliser ces substitutions en totalité ou modifier quelques uns.

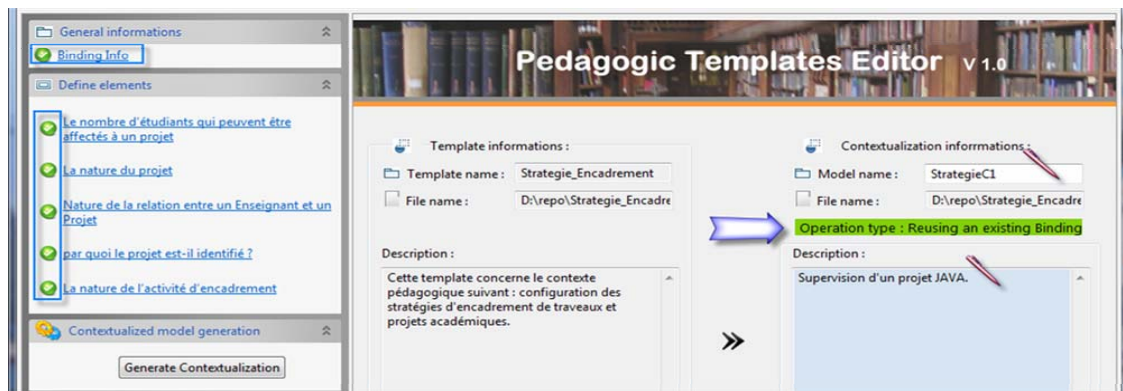


Figure 96 : Capture d'écran de réutilisation d'une contextualisation

❖ Prototype Gen-IC

Générateur de modeleurs contextuels

L'interface principale de Gen-IC est présentée dans la Figure 97. Nous allons détailler dans ce qui suit les différentes fonctionnalités du générateur.

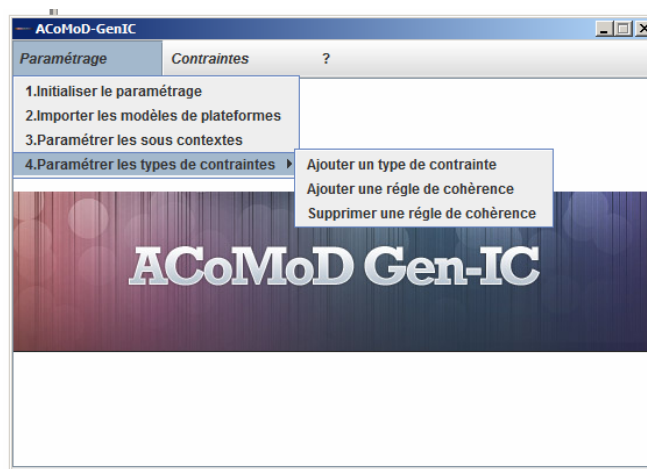


Figure 97 : Capture d'écran de l'interface principal de Gen-IC

1. Paramétrage des plateformes

Pour pouvoir exprimer les aspects contextuels en fonction des éléments de la plateforme, il faut importer les éléments de la plateforme à l'outil de modélisation comme illustré par la Figure 98. Ces éléments sont tous décrits par le méta-modèle de la plateforme. Pour cela, il est nécessaire d'ajouter au générateur la ou les plateformes qui seront utilisées dans l'institution tout en important leurs méta-modèles.

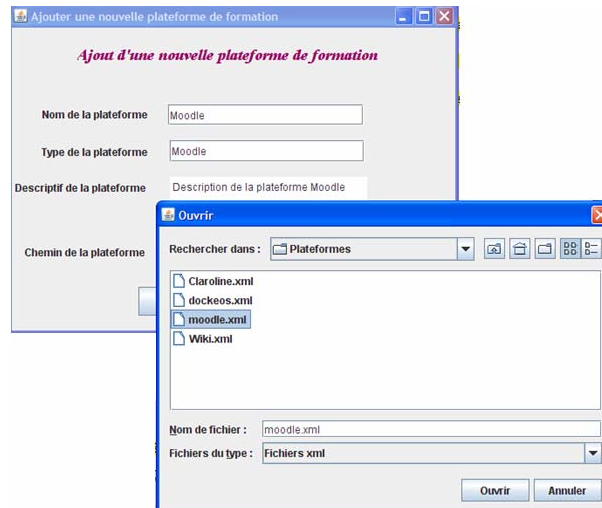


Figure 98 : Capture d'écran du paramétrage des plateformes

Une fois le modèle prêt, la modélisation des aspects constitue un enrichissement du méta-modèle de la plateforme par la spécification de règles d'utilisation de ces outils dans l'institution.

2. Paramétrage de la structure des formations

Afin de pouvoir modéliser la structure institutionnelle comme illustré par la Figure 99, le méta-modèle décrit dans la Figure 71 et décrit dans la section VIII.2 du chapitre VIII est utilisé.

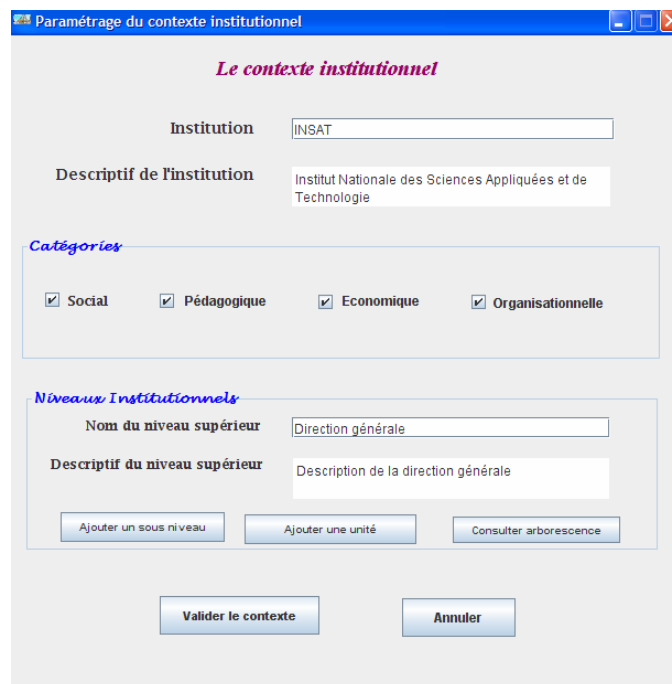


Figure 99 : Capture d'écran du paramétrage de la structure du contexte institutionnel

3. Définition des catégories pertinentes d'aspects

En raison de la variation des aspects contextuels d'un contexte à l'autre, nous avons proposé la modélisation de catégories génériques d'aspects qui factorise les caractéristiques de différents aspects. La différence se situe au niveau des valeurs associées à ces aspects contextuels. Il est ainsi possible d'ajouter dynamiquement des catégories d'aspects. L'ajout de catégories d'aspects illustré par la Figure 100 se fait lors du paramétrage du générateur en précisant les informations suivantes :

- ◆ Le type de l'élément de la plateforme sur lequel s'appliquent les pratiques contextuelles ayant cette catégorie (classe, attribut ou association)
- ◆ La ou les valeurs ainsi que leurs types d'une pratique ayant cette catégorie
- ◆ La forme d'assistance à proposer au concepteur pour l'assister à respecter les règles associées à cette catégorie : à choisir à partir d'une liste de valeurs
- ◆ La portée de validation d'une règle associée à cette catégorie : à choisir à partir d'une liste de valeurs
- ◆ Les règles de cohérence entre cette catégorie et les autres catégories

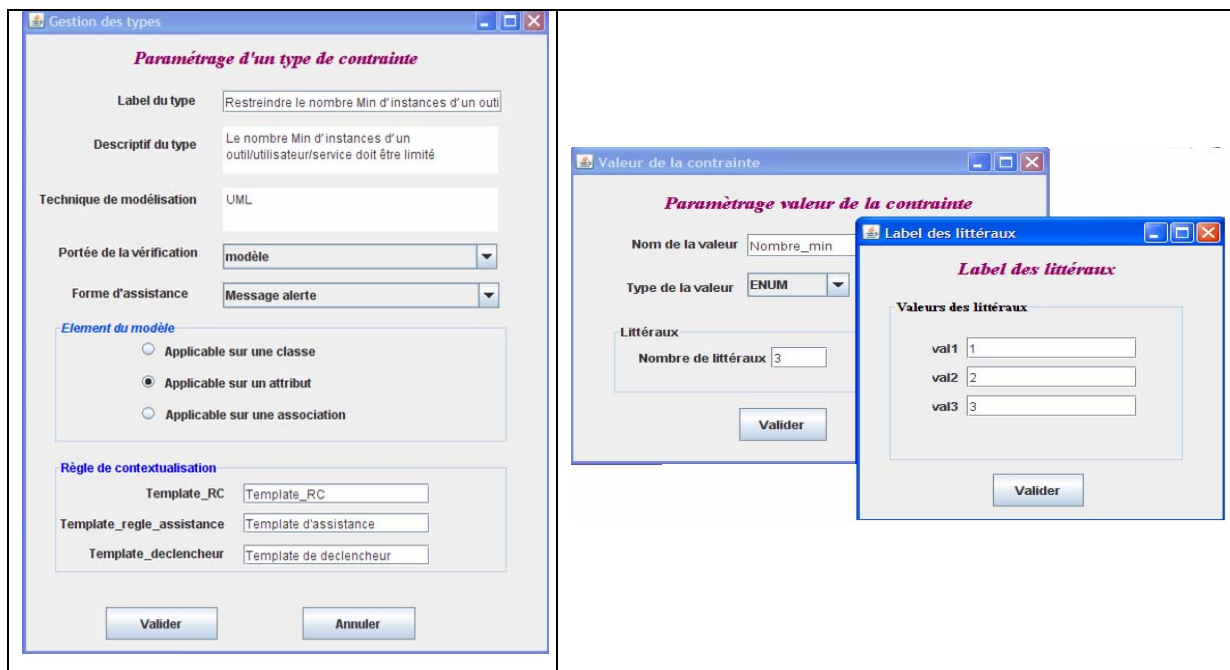


Figure 100 : Capture d'écran du paramétrage d'une catégorie d'aspects

4. Définition des règles de cohérence

Dans un premier temps, il faut commencer par choisir le type de la règle à ajouter parmi la liste de types prédéfinis. Une fois le type de règles sélectionné, une partie dynamique de l'interface apparaît pour afficher les listes de catégories, de valeurs ainsi que les opérateurs pour l'expression de la règle. Il faut spécifier les catégories et les valeurs concernées par la règle à ajouter par exemple, si le type de règles « inférieur » est choisi comme illustré par la Figure 101, il faudra choisir les deux catégories ainsi que les valeurs qui forment l'expression inférieure.



Figure 101 : Capture d'écran de l'ajout d'une règle de cohérence

Modélisation des règles contextuelles

Une fois le générateur paramétré, il devient possible de générer le modèleur contextuel spécifique et de l'utiliser pour la modélisation des aspects contextuels d'usage de la plateforme.

Pour chaque aspect, il faut commencer par préciser sa catégorie ainsi que la formation auquel il est rattaché. Cela permet aussi l'identification de la plateforme à utiliser. L'interface d'ajout d'un aspect est créée dynamiquement selon la catégorie choisie comme illustré par la Figure 102.

Selon la catégorie choisie, l'utilisateur doit spécifier l'élément de la plateforme sur lequel s'applique l'aspect. Par exemple, Si la catégorie est applicable sur un attribut, une liste déroulante aidera l'utilisateur à choisir les attributs relativement à une classe. Selon les valeurs et leurs types précisés dans la catégorie choisie, l'utilisateur doit attribuer la ou les valeurs de la contrainte. Un label et une description en langage naturel de la règle doivent être également fournis. Ils seront utilisés pour les explications d'assistance aux concepteurs.

Afin de faciliter la gestion des pratiques contextuelles, il convient de prendre en considération le partage des contraintes entre les formations. Cela est tenu en considération par le modèleur en permettant d'exprimer un partage ou un héritage de règles avec d'autres formations. Une règle appartenant à une formation SC1 est partageable avec toute autre formation utilisant la même plateforme.

Une fois l'utilisateur valide l'ajout du nouvel aspect contextuel, une vérification de sa cohérence avec les aspects déjà existants est faite. En cas, d'incohérence, l'utilisateur a le choix entre faire des modifications ou supprimer l'aspect qui cause le conflit.

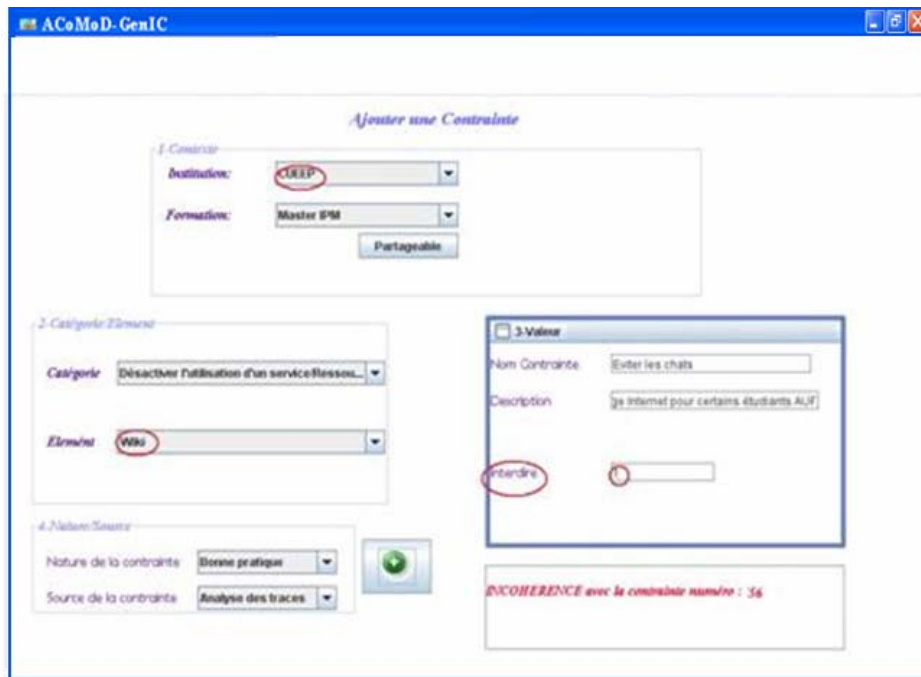


Figure 102 : Capture d'écran de l'ajout d'une pratique contextuelle

❖ Prototype Gen-COM

Deux étapes préalables à la transformation avec Gen-COM et qui sont effectuées en arrière-plan consistent d'une part à transformer le diagramme de classe correspondant au modèle d'un scénario à transformer en un paquetage template et d'autre part à créer le modèle global qui va contenir le résultat.

Pour créer le modèle global, Gen-COM dispose du paquetage du template et du méta-modèle de la plateforme. Il procède selon ces étapes :

- 1) Créer le modèle UML global qu'il nomme « SchemaGlobalBindContextuel »
- 2) Créer dans ce modèle les trois paquetages :
 - TemplatePedagogique dans le quel il copie le template
 - PlateformeDeFormation dans lequel il copie le méta-modèle de la plateforme
 - ResultatBinding qui restera vide
- 3) Créer la relation TemplateBinding qui porte le stéréotype « bind » qui sera remplie par les substitutions au fur et à mesure de la transformation.

Scénario de transformation vers la plateforme

Le scénario d'utilisation de Gen-COM pour la transformation peut être décrit comme suit. Quand le concepteur s'authentifie, il doit préciser son contexte. Ainsi, la plateforme et le chemin d'accès à son méta-modèle ainsi que les règles contextuelles pertinentes sont identifiés. Ensuite, le concepteur doit choisir le modèle qui correspond au scénario pédagogique qu'il veut mettre en œuvre que Gen-COM transforme en template. Une fois Gen-COM connaît le chemin du méta-modèle de la plateforme et du template pédagogiques, il procède à créer le modèle global puis à générer l'interface de contextualisation principal illustrée par la Figure 103. A gauche, le concepteur trouve l'ensemble des éléments pédagogiques de type classe utilisés dans le template (boîte à outils pédagogiques). A droite,

l'ensemble des éléments techniques de type classe relatifs à la plateforme est placé (boîte à outils techniques). Ces éléments sont déterminés respectivement suite à la décortication du modèle du template et du méta-modèle de la plateforme.

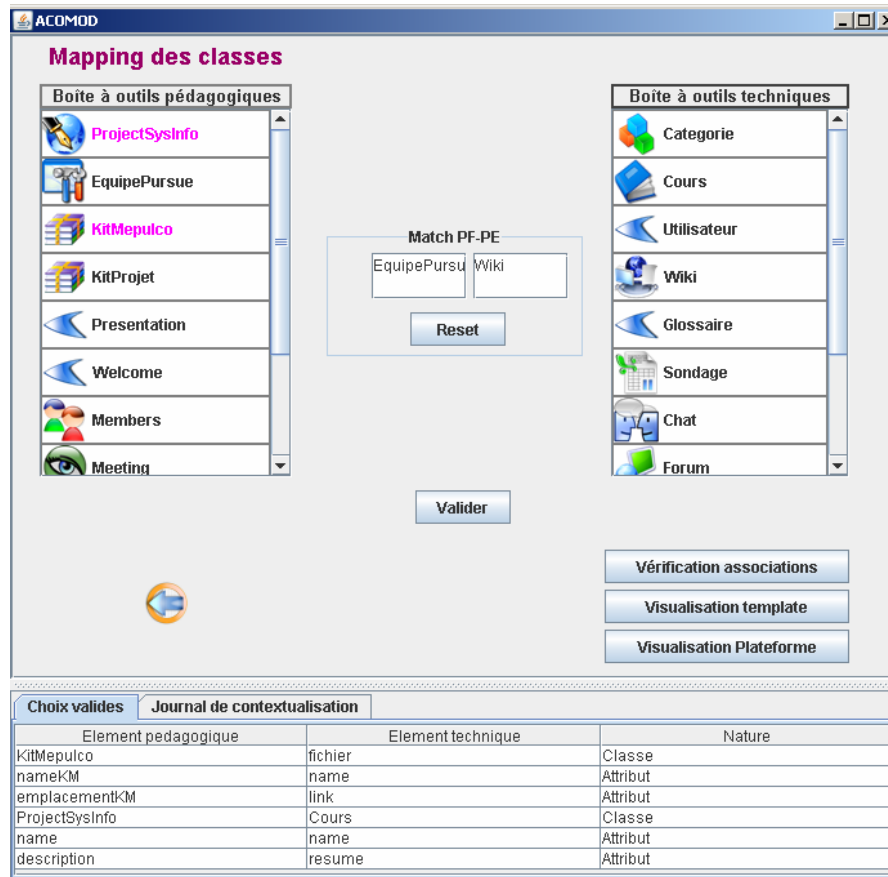


Figure 103 : Capture d'écran « Mapping des classes » avec coloration des choix effectués

Nous rappelons qu'un élément pédagogique est un élément abstrait lié aux intentions pédagogiques appartenant au template pédagogique tandis qu'un élément technique représente un outil alternatif permettant de concrétiser un élément pédagogique sur une plateforme de formation.

Avec Gen-COM, la contextualisation est effectuée par la mise en correspondance entre les éléments pédagogiques et les éléments de la plateforme par de simples actions de drag and drop vers la zone centrale de l'interface comme le montre la Figure 103. Une fois le choix validé, une validation est effectuée par Gen-COM concernant le nombre d'attributs. Une erreur est signalée et le choix des classes doit être modifié si le nombre d'attributs de l'élément technique est inférieur au nombre d'attributs de l'élément pédagogique. Dans le cas contraire, le concepteur doit procéder à la mise en correspondance des attributs des deux classes comme le montre la Figure 104. Au fur et à mesure, la vérification des types des attributs est effectuée et les incompatibilités de type doivent être résolues par la modification des choix. Si une incompatibilité ne trouve pas de solution, c'est que la classe pédagogique ne peut pas être transformée en la classe technique choisie et le concepteur doit choisir une autre correspondance de classes.

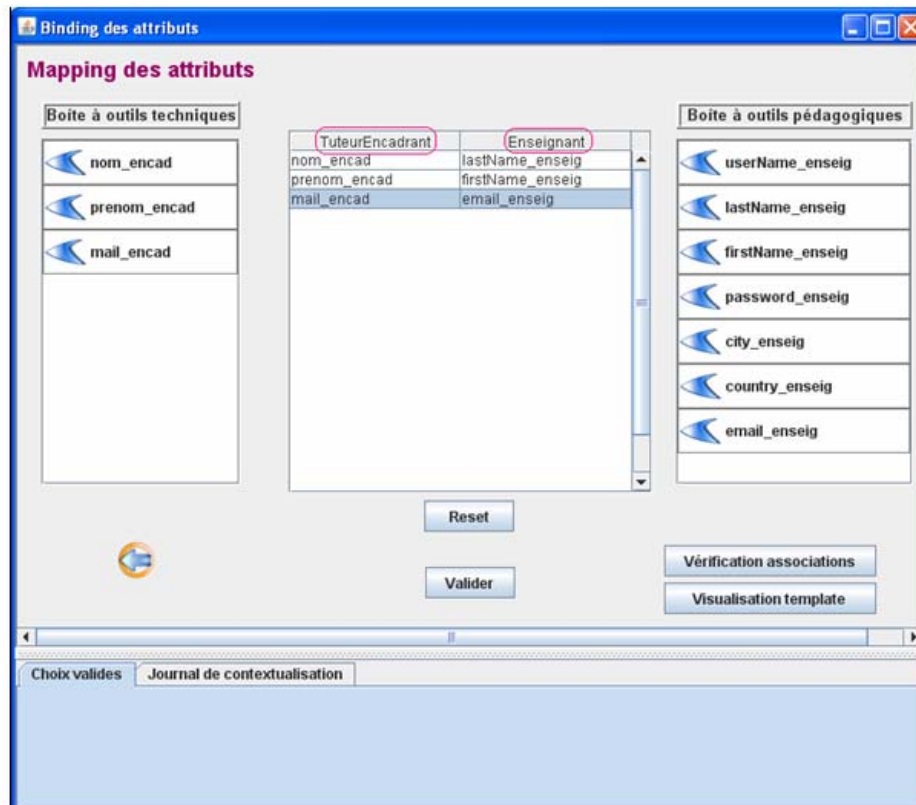


Figure 104 : Capture d'écran « Mapping des attributs »

En ce qui concerne les associations entre les classes, Gen-COM offre une assistance au concepteur afin de lui proposer les associations selon ses choix de classes et lui indique les incohérences qui doivent être résolues par la mise à jour des choix des classes comme le montre la Figure 105. La détermination des associations est accessible à tout moment si le concepteur la requiert pendant la mise en correspondance des classes et des attributs. En effet, il peut à tout moment vérifier la cohérence de ses choix de classes de point de vue des associations. Elle est aussi activée automatiquement quand le concepteur termine la contextualisation de toutes les classes afin de lui proposer la contextualisation des associations pédagogiques correspondantes. Les incohérences doivent être résolues au cas où il en existe. Si aucune incohérence n'est détectée, le concepteur a le choix entre valider définitivement ses choix et ainsi générer le modèle contextualisé et le modèle complet ou bien revenir en arrière afin de revoir ses choix au cas où la correspondance des associations ne répond pas à ses besoins. Il peut aussi choisir un autre template et ceci reviendrait à refaire tout le processus de contextualisation dès le début.

La contextualisation est ainsi terminée quand chaque élément pédagogique trouve son correspondant technique valide par rapport aux contraintes imposées par UML pour la validité du binding.



Figure 105 : Capture d'écran « Traitement des associations »

Lors de la contextualisation, tous les choix validés par le concepteur (classes, attributs ou associations) sont stockés sous la forme de « TemplateParameterSubstitution » dans le « TemplateBinding » afin de s'en servir dans la génération automatique du modèle contextualisé, de la validation du « TemplateBinding » et son stockage pour garder trace de la contextualisation.

Autre l'assistance à la transformation basée sur le « bind » à travers des interfaces graphiques et l'automatisation de certaines tâches comme la génération du « bound element », Gen-CoM offre d'autres types d'assistance. Premièrement, tout au long de la transformation, le concepteur peut visualiser un résumé de ses choix validés grâce au composant de l'interface nommé « choix validés » comme le montre la Figure 103. Deuxièmement, une coloration des choix déjà validés appartenant à la boîte à outils pédagogiques sera faite pour rappeler le concepteur des transformations déjà effectuées comme illustré par la Figure 103. Troisièmement, il peut visualiser le template ainsi que le modèle de la plateforme qui sont utiles essentiellement lors de la résolution des incohérences et ceci en cliquant sur les boutons « Visualisation template » et « Visualisation plateforme » comme illustré par la Figure 103.

Assistance à la transformation contextualisée avec Gen-COM

Cette assistance est fournie à travers le journal de contextualisation. Le journal de contextualisation assure l'assistance au concepteur pour la prise en compte des aspects contextuels liés à l'usage de la plateforme comme illustré par la Figure 106.

Selon le mode d'affichage d'un message d'assistance correspondant à un aspect contextuel, la mise à jour du journal est effectuée. Il existe deux modes d'affichage « continu » et « lors de l'activation ».

Si le mode d'affichage est « continu » alors le message d'assistance est affiché dans le journal depuis le début jusqu'à la fin de la contextualisation. Toutefois, si le mode d'affichage est « lors de l'activation », alors le message d'assistance est ajouté au journal quand le concepteur choisit d'activer un outil de la plateforme pour l'utiliser comme cible d'une transformation.

Les messages d'assistance qui correspondent aux aspects contextuels pertinents pour la situation du concepteur sont construits à partir de la base des aspects contextuels (construite avec Gen-IC). En effet, au début du chargement de Gen-COM, quand le concepteur choisit la formation à laquelle le dispositif est rattaché, la plateforme est identifiée et les différentes règles et pratiques liées à cette formation sont aussi identifiées pour être utilisées lors de la contextualisation. Par exemple, si une règle contextuelle indique que les chats sont à éviter, le mode d'affichage est « continu », alors le journal de contextualisation est alimenté par un message

d'assistance expliquant cette règle comme illustré par la Figure 106. Un autre exemple relatif aux wikis et aux forums. Si le concepteur choisit d'utiliser un wiki, alors la pratique contextuelle qui concerne le fait que les forums sont préférés aux wikis pour les communications asynchrones est détectée et le message d'assistance correspondant est construit et affiché comme illustré par la Figure 106.

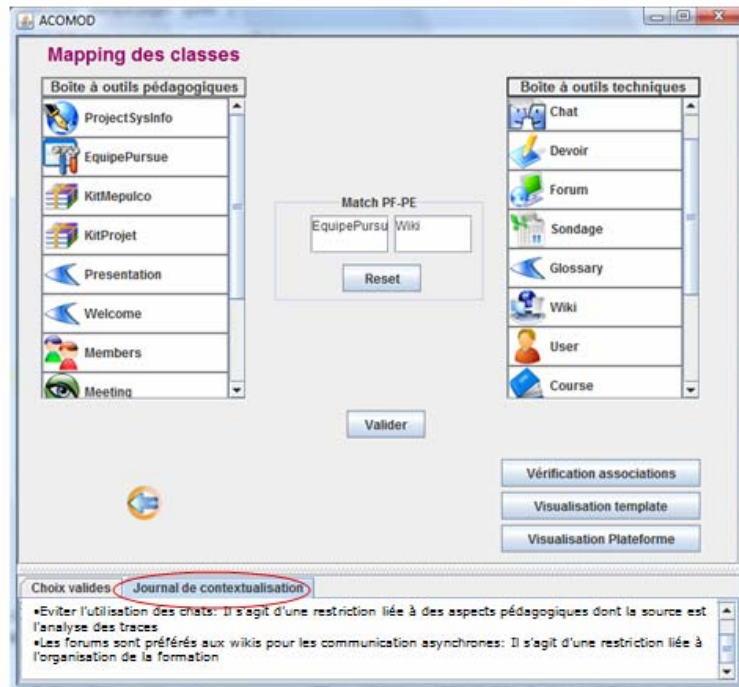


Figure 106 : Capture d'écran « Mapping des classes » avec journal de contextualisation

RESUME

Nos travaux s'intéressent à l'ingénierie des EIAH dans le cadre d'une approche dirigée par les modèles (MDA) et aux plateformes de formation à distance comme environnement informatique support à l'exécution des dispositifs pédagogiques. Nos travaux ciblent les concepteurs pédagogiques et visent à les assister dans la modélisation de leurs intentions pédagogiques et dans leur concrétisation dans les termes d'une plateforme de formation à distance. Les travaux de la thèse visent aussi à les assister à une meilleure maîtrise, lors de la conception, de la complexité des dispositifs qui se manifeste lors de l'usage. Les aspects de la complexité étant nombreux, nous nous concentrons sur le contexte institutionnel qui est défini comme l'ensemble de règles organisationnelles et de pratiques contextuelles qui influencent la conception et l'exécution des dispositifs pédagogiques.

Nous proposons dans cette thèse un cadre conceptuel s'inspirant de l'approche multi-échelle et basée sur des études pratiques définissant le contexte institutionnel, explicitant ses interdépendances avec le dispositif et détaillant les besoins de contextualisation. Nous proposons aussi une démarche assistée s'inspirant du MDA et qui va de la modélisation des intentions pédagogiques à la spécification du modèle d'un dispositif pédagogique dans les termes d'une plateforme de formation à distance choisie tout en respectant les caractéristiques du contexte institutionnel. Pour l'étape de la modélisation du modèle indépendant de la plateforme, une approche d'assistance à la réutilisation de templates de scénarios pédagogiques et à leur contextualisation est proposée. Pour l'étape de la transformation, un processus de transformation contextualisée est proposé. Il permet aux concepteurs d'exprimer eux-mêmes leurs règles de transformation tout en les guidant par les pratiques et règles contextuelles d'usage de la plateforme de formation à distance cible. Une solution est aussi proposée pour la modélisation de ces pratiques de façon exploitable lors de la transformation.

Afin de montrer la faisabilité technique des propositions, une plateforme nommée ACoMoD (pour Assistance for Contextualized Modeling of learning systems) constituée de trois prototypes logiciels à savoir Gen-PTE, Gen-IC et Gen-COM est développée. Les propositions de la thèse sont évaluées à travers trois études de cas en lien avec des terrains opérationnels de formation à distance.

Mots clés : Ingénierie des EIAH, dispositif, plateforme de formation, réutilisation, contextualisation, assistance, IDM, template.

ABSTRACT

We are interested in our work by Technology Enhanced Learning (TEL) systems design. We aim to assist instructional designers in modelling their intents and expressing them according to the Learning Management System (LMS) where they will be executed. In order to address, at design time, TEL systems complexity that manifests at run time, we focus on their contextualization regarding to institutional context- a set of rules and practices that influences design and run of TEL systems.

We start by proposing a framework explaining interdependence between a TEL system and its context and defining contextualization needs. Then, we propose an assisted contextualization process based on Model Driven Approach (MDA) that starts by modelling intents and ends by the specification of a TEL system model targeted to a chosen LMS with respect to institutional context features. At intents modelling step, we propose to assist the modelling of reusable pedagogic scenarios in pedagogic templates, the reuse of existent templates and their contextualisation. At the step of expressing intents according to the chosen LMS-which is usually affected to experts-, a contextualized transformation process is proposed. It allows to instructional designers to play an active role and to define by themselves transformation rules. Transformation process is called contextualized since instructional designers are guided by contextual rules and practices of use of LMS tools. A solution is proposed for the modelling of these rules and practices.

Technical feasibility of our proposal is checked through the implementation of our platform ACoMoD (Assistance for Contextualized Modeling of learning systems) composed by three tools: Gen-PTE, Gen-IC and Gen-COM. Our proposal was also evaluated through three real case studies.

Keywords: Technology Enhanced Learning design, LMS, assistance, contextualization, reuse, template, MDE