

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et Informatique
Département Informatique



THESE DE DOCTORAT LMD

DISCIPLINE : Informatique

Option : Ingénierie des connaissances appliquées à la recherche d'information
et à la e-Education

Présentée par

Lynda Haddadi

Sujet

Modélisation et évaluation des apprenants dans les MOOCs basées sur l'approche ODALA

Le jury d'examen composé de :

- | | |
|---|---------------|
| - Mr SI MOHAMMED Malik, Professeur, UMMTO, | Président |
| - Mme BOUARAB-DAHMANI Farida, Professeure, UMMTO, | Rapporteur |
| - Mme GUIN Nathalie, MC/HDR, Université Lyon 1, France, | Co-Rapporteur |
| - Mr CHALAL Rachid, Professeur, ESI, Alger, | Examineur |
| - Mme AIT EL HADJ SOUAM Fatiha, MCA, UMMTO, | Examinatrice |

Soutenue le 01/10/2018

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail de thèse, qu'elles fassent partie de la communauté universitaire ou de ma famille, particulièrement :

- Ma directrice de thèse Mme Bouarab-Dahmani Farida, professeure à l'université de Tizi Ouzou (UMMTO), pour toute l'aide qu'elle m'a fournie tout au long de ces trois années. Je la remercie profondément pour ses encouragements continus, sa disponibilité et ses critiques constructives qui m'ont guider vers mes résultats de recherches. Je suis consciente de la chance dont j'ai bénéficié et lui suis entièrement reconnaissante.
- Ma co-directrice de thèse Mme Guin Nathalie, maitre de conférence HDR à l'université Lyon 1, pour son investissement dans ce travail. Je tiens à la remercier très sincèrement pour son accueil chaleureux au laboratoire LIRIS, en m'offrant des conditions de travail plus qu'idéales, sans oublier tous ceux avec qui j'ai eu un échange fructueux pendant mon séjour.
- Les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail :
Mr Si Mohammed Malik, professeur à l'université de Tizi Ouzou (UMMTO), d'avoir bien voulu m'honorer en présidant le jury d'examen de ma thèse.
Mr Chalal Rachid, professeur à l'école supérieure d'informatique (ESI), pour sa participation au jury, pour son soutien moral et sa sympathie.
Mme Ait El Hadj-Souam Fatiha, Maitre de conférences à l'université de Tizi Ouzou (UMMTO), d'avoir accepté de faire partie de mon jury et de me faire l'honneur d'évaluer ce travail de recherche.

Je tiens, tout particulièrement, à exprimer tout mon amour et ma gratitude à ma famille qui n'a cessait de m'encourager et dont le soutien est inconditionnel. Et enfin, je remercie tous (toutes) mes ami(e)s qui ont suivi de près ou de loin cette étape de ma vie.

Résumé

Le monde de l'enseignement supérieur est en pleine ébullition depuis l'apparition des MOOCs (Massive Open Online Courses). Il s'agit d'une innovation pédagogique qui permet à des dizaines de milliers d'apprenants de suivre en même temps et pendant quelques semaines des cours. L'évaluation des apprenants dans ces MOOCs est considérée comme l'un des défis majeurs, vu le nombre élevé de participants à un même cours. Cette évaluation se base sur des outils de type Questionnaires à Choix Multiples (QCM), textes à trous, applications numériques, etc. Or, avec ce type d'outils, il est difficile de savoir si l'apprenant a répondu par rapport à ses connaissances acquises ou par coup de chance. De plus, l'état cognitif de l'apprenant tel qu'il est considéré dans ces systèmes, ne concerne qu'une simple notation des outils proposés alors qu'il serait souhaitable d'aller dans les détails des notions constituant le cours, pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte les connaissances antérieures des apprenants.

Notre contribution dans cette thèse est de proposer une architecture d'un système MOOC qui prenne en charge les problèmes précités, notamment la modélisation et l'évaluation des apprenants. Cette architecture intègre un modèle apprenant (MA) ainsi qu'une nouvelle approche d'évaluation des apprenants. Le MA a pour but de faciliter la planification des activités d'évaluation. Nous proposons en plus des outils précités d'autres activités d'évaluation notamment des exercices d'application et des situations problème. La dimension état cognitif du MA doit couvrir toutes les connaissances acquises par l'apprenant durant son apprentissage. Concernant les activités d'évaluation et l'évaluation elle-même, nous avons adopté l'approche ODALA (Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach). Cette dernière fournit une ontologie de la discipline concernée (Onto-TDM) que nous avons emprunté comme colonne vertébrale du processus d'ingénierie du système MOOC proposé. La structure de l'ontologie nous a servi dans la modélisation cognitive de l'apprenant. Afin de faciliter l'évaluation, nous avons proposé de classer les activités dans une pyramide en quatre paliers : questions fermées, semi-ouvertes, ouvertes et situations problème. Ces paliers sont conçus selon un degré de difficulté croissant. Le processus d'évaluation proposée repose sur deux méthodes d'évaluation : une évaluation automatisée et une évaluation semi-automatique par les pairs. La méthode d'évaluation automatisée concerne les activités (questions fermées, semi-ouvertes et ouvertes) de bas niveaux de la pyramide. L'évaluation semi-automatique concerne d'évaluation par les pairs de l'activité situation problème située en haut de la pyramide. Les résultats des évaluations sont consignés dans le modèle cognitif de l'apprenant.

Afin de vérifier la faisabilité de nos propositions, nous avons développé deux prototypes. Le premier concerne les trois premiers paliers de la pyramide d'évaluation et le deuxième concerne le dernier palier. Nous avons testé le premier prototype avec deux disciplines LMD (License Master Doctorat) : l'algorithmique (de la première année universitaire) et les bases de données relationnelles (de la deuxième année de licence en informatique). Nous avons ensuite testé le deuxième prototype avec deux disciplines enseignées en Master: les bases de données relationnelles et l'assurance qualité.

Mots clés : MOOCs, Evaluation Automatisée, Evaluation par les pairs, Modélisation des Apprenants, Pyramide d'Activités d'apprentissage par l'exercice, Apprentissage en Ligne, l'approche ODALA, Onto-TDM.

Abstract

The world of higher education has been in turmoil since the appearance of MOOC (Massive Open Online Course). This latter is a pedagogical innovation that allows tens of thousands of learners to follow courses at the same time and for a few weeks. Learner Assessment in MOOCs is considered as one of the major challenges, given the high number of participants in the same course. The assessment is based on basic tools such as Multiple Choice Questionnaire (MCQ), text filled, numerical applications, etc. However, with this type of tools, it is difficult to know whether the learner responded in relation to his/her acquired knowledge or by stroke of luck. Moreover, the learner cognitive state concerns only a simple notation of the proposed tools, whereas it would be required to give details of the concepts to propose more relevant and accessible contents by taking into account the previous learners knowledge.

Our contribution in this thesis is to propose a MOOC system that supports the above-mentioned problems, in particular the learner modelling and learner assessment. This system incorporates a Learner Model (LM) and a new approach for learner assessment. The purpose of the LM is to facilitate the planning of assessment activities. In addition, we propose other activities to the above tools, in particular open-ended questions and problem situations. The cognitive state dimension of LM should cover all acquired knowledge by the learner during his/her learning. Regarding assessment activities and the assessment itself, we have adopted the ODALA approach (Ontology Driven for Self-evaluation Learning Approach). This latter provides an ontology of the concerned discipline (Onto-TDM) that we have borrowed as the backbone of the engineering process of the proposed MOOC system. The ontology was used in the learner cognitive state. In order to facilitate the assessment process, we proposed to classify the activities in a pyramid with four levels: closed-ended, half-open, open-ended questions and problem situations. These levels are designed with an increasing degree of difficulty. The proposed assessment process is based on two methods: an automated assessment and a semi-automatic peer evaluation. The automated assessment method concerns the low-level activities (closed-ended, half-open and open-ended questions) of the pyramid. Semi-automatic assessment concerns peer assessment of problem situations activities located at the top of the pyramid. Assessment results are recorded in LM.

In order to verify the feasibility of our proposals, we have developed two prototypes. The first concerns the first three levels of the assessment pyramid and the second concerns the fourth level. We have tested the first prototype with two LMD (License Master Doctorate) disciplines: algorithms (from the first year of university) and relational databases (from the second year of

computer science degree). We then tested the second prototype with two disciplines trained in Master: relational databases and quality assurance.

Keywords: MOOCs, Automated Assessment, Peer Assessment, Learner Modeling, Learner Model, Pyramid, Online Learning, ODALA, Onto-TDM.

Sommaire

REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
ABSTRACT.....	IV
SOMMAIRE	VI
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Liste des abréviations.....	XII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. CONTEXTE GENERAL.....	2
2. PROBLEMATIQUE.....	3
3. OBJECTIFS.....	3
4. NOTRE CONTRIBUTION	4
5. PLAN DU MEMOIRE.....	5
PARTIE A :	7
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	7
CHAPITRE I : LES SYSTEMES DE LA E-EDUCATION	8
INTRODUCTION.....	8
I.1. EVOLUTION ET CATEGORISATION DES SYSTEMES DE LA E-EDUCATION	9
<i>I.1.1. Systèmes destinés à l'auto-apprentissage.....</i>	<i>9</i>
I.1.1.1. Systèmes d'Enseignement Assistés par Ordinateur (EAO)	9
I.1.1.2. Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO ₁).....	10
I.1.1.3. Enseignement Interactif Assisté par Ordinateur (EIAO ₂).....	11
I.1.1.4. Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO ₃).....	11
<i>I.1.2. E-learning</i>	<i>12</i>
I.1.2.1. Learning Management System (LMS).....	12
I.1.2.2. Campus numériques	13
I.1.2.3. Sites web éducatifs.....	13
<i>I.1.3. Systèmes basés Connectivisme</i>	<i>14</i>
I.1.3.1. Systèmes collaboratifs.....	15
I.1.3.2. Réseaux sociaux	15
I.1.3.3. Systèmes MOOCs	16
I.2. APPRENTISSAGE BASE SUR LES MOOCs	17
<i>I.2.1. Définition du terme MOOC.....</i>	<i>17</i>
<i>I.2.2. Typologies de MOOCs.....</i>	<i>17</i>
I.2.2.1. Typologie proposée par Georges Siemens et Stephen Downes	17
I.2.2.2. Typologie proposée par Lisa Lane	18
I.2.2.3. Typologie proposée par Donald Clack.....	19
I.2.2.4. Typologie proposée par Mattieu Cisel	20
I.2.2.5. Typologie proposée par Gráinne Conole.....	21
I.2.2.6. Autres Catégories de MOOCs.....	23
<i>I.2.3. Plateformes MOOC.....</i>	<i>25</i>
I.3. AVANTAGES DES MOOCs.....	27
I.4. DEFIS DES MOOCs	28
CONCLUSION.....	29
CHAPITRE II : MODELISATION DES APPRENANTS DANS LES SYSTEMES DE LA E-EDUCATION	30
INTRODUCTION.....	30
II.1. PARAMETRAGE DU MODELE APPRENANT	30
<i>II.1.1. Modèle apprenant selon Self (1988)</i>	<i>31</i>
<i>II.1.2. Modèle apprenant selon Brusilovsky (1996)</i>	<i>31</i>
<i>II.1.3. Modèle apprenant selon Zhang (2010)</i>	<i>33</i>
<i>II.1.4. Modèle apprenant selon Sottolare et Al. (2013)</i>	<i>34</i>
<i>II.1.5. Etude comparative</i>	<i>34</i>
II.2. CATEGORIES DE MODELE APPRENANT	35

II.3. PROCESSUS D'ELABORATION DU MODELE APPRENANT.....	39
II.3.1. Définition des paramètres.....	39
II.3.2. Etape d'initialisation.....	39
II.3.3. Mise à jour.....	40
II.4. APPROCHES DE MODELISATION DES CONNAISSANCES DES APPRENANTS.....	41
II.4.1. Modèle de représentation par recouvrement (Overlay model).....	41
II.4.2. Modèle de représentation avec méprise (Buggy model).....	41
II.4.3. Modèle hybride (Perturbation model).....	42
II.5. TECHNIQUES DE REPRESENTATION DE LA CONNAISSANCE.....	42
II.5.1. A base de règles.....	42
II.5.2. Basées sur les réseaux sémantiques.....	43
II.5.3. Basées sur la logique.....	43
II.5.4. Basées sur les réseaux bayésiens.....	43
II.5.5. Basées sur les systèmes multi-agents.....	44
II.5.6. Basées Ontologies.....	44
CONCLUSION.....	45
CHAPITRE III : EVALUATION DES APPRENANTS.....	46
INTRODUCTION.....	46
III.1. EVALUATION DES APPRENANTS DANS LA SCIENCE DE L'EDUCATION.....	46
III.1.1. Types d'évaluation.....	47
III.1.1.1. L'évaluation pronostique.....	47
III.1.1.2. L'évaluation formative.....	47
III.1.1.3. L'évaluation sommative.....	47
III.1.1.4. L'évaluation par les pairs.....	48
III.1.2. Activités d'évaluation.....	48
III.1.2.1. Les questions fermées.....	48
III.1.2.2. Les questions semi-ouvertes.....	49
III.1.2.3. Les questions ouvertes.....	50
III.2. EVALUATION DES APPRENANTS DANS LES SYSTEMES DE LA E-EDUCATION.....	50
III.2.1. L'évaluation automatisée des activités d'apprentissage.....	51
III.2.1.1. Systèmes d'évaluation automatisée des programmes informatiques.....	51
III.2.1.2. Système d'évaluation automatisée pour les questions ouvertes de type MOQ et POQ.....	52
III.2.1.3. Système SAVE.....	52
III.2.1.4. Approche ODALA (Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach).....	53
III.2.2. L'évaluation par les pairs.....	55
III.2.2.1. Etapes.....	56
III.2.2.2. Avantages.....	59
III.2.2.3. Limites.....	60
CONCLUSION.....	60
CHAPITRE IV : MODELISATION ET EVALUATION DES APPRENANTS DANS LES MOOCS.....	62
INTRODUCTION.....	62
IV.1. MODELISATION DES APPRENANTS DANS LES MOOCS.....	62
IV.2. EVALUATION DANS LES MOOCS.....	63
IV.2.1. Evaluation automatisée.....	63
IV.2.2. Evaluation semi-automatique.....	64
IV.3. MODELISATION ET EVALUATION DES APPRENANTS : DEFIS DES MOOCS.....	65
CONCLUSION.....	66
PARTIE B : PROPOSITIONS ET LEURS VALIDATIONS.....	67
CHAPITRE V : MODELISATION ET EVALUATION DES APPRENANTS DANS UN MOOC BASE SUR L'APPROCHE ODALA.....	68
INTRODUCTION.....	68
V.1. CONTEXTE GENERAL DE NOS PROPOSITIONS.....	68
V.1.1. Outil d'ingénierie de MOOCs.....	69
V.1.2. Conception de la plateforme MOOC.....	70
V.1.2.1. Définition des besoins.....	70

V.1.2.2. Composition et fonctionnement.....	72
V.2. MODELISATION DE L'APPRENANT	72
V.2.1. Paramétrage du modèle de l'apprenant.....	73
V.2.1.1. Informations Générales	73
V.2.1.2. Style d'Apprentissage.....	74
V.2.1.3. Préférences	76
V.2.1.4. Comportement	77
V.2.1.5. Etat Cognitif	78
V.2.2. Module de l'apprenant.....	80
V.3. LE SYSTEME D'ÉVALUATION PROPOSÉ.....	81
V.3.1. Référentiel ontologique.....	81
V.3.2. Hiérarchisation des niveaux d'évaluation	82
V.3.3. Le Module d'évaluation.....	85
V.3.3.1. Notation des questions fermées.....	87
V.3.3.2. Notation des questions semi-ouvertes	90
V.3.3.3. Notation des questions ouvertes	92
V.3.3.4. Synthèse.....	94
V.3.4. Evaluation par les pairs	95
V.3.4.1. Processus Global de l'Evaluation par les Pairs Proposé	95
V.3.4.2. Formation de groupes.....	98
V.3.4.3. Evaluation des travaux et synthèse de scores.....	101
V.3.4.4. Concertation	103
CONCLUSION.....	104
CHAPITRE VI : EXPERIMENTATION ET VALIDATION DES PROPOSITIONS	105
INTRODUCTION.....	105
VI.1. PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE NOS PROPOSITIONS	105
VI.1.1. Domaine d'application et instanciation de l'ontologie	105
VI.1.2. Développement de prototypes	107
VI.2. EXPERIMENTATION ET VALIDATION	108
VI.2.1. Expérimentation et validation du premier prototype.....	108
VI.2.1.1. Niveau 01 « Questions Fermées ».....	109
VI.2.1.2. Niveau 02 « Questions semi-ouvertes »	112
VI.2.1.3. Niveau 03 « Questions ouvertes »	114
VI.2.2. Expérimentation et validation du deuxième prototype.....	116
VI.2.2.1. Formation des groupes d'apprenants	116
VI.2.2.2. Evaluation des Travaux	118
VI.2.2.3. Synthèse des scores	120
VI.2.2.4. Simulation du système d'évaluation proposé dans un contexte MOOC.....	121
CONCLUSION.....	122
CHAPITRE VII : DISCUSSION ET IMPACTS DE NOS PROPOSITIONS	123
INTRODUCTION.....	123
VII.1. DISCUSSION	123
VII.2. POINTS FORTS ET LIMITES DE NOS PROPOSITIONS	127
VII.3. IMPACT DE NOS PROPOSITIONS SUR LES PRATICIENS	128
VII.3.1. Sur l'apprentissage et l'enseignement	128
VII.3.2. Sur l'employabilité.....	129
VII.4. IMPACT DE NOS PROPOSITIONS SUR LA RECHERCHE EN E-EDUCATION.....	129
CONCLUSION.....	130
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIES.....	134
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	135
REFERENCES WEBOGRAPHIES.....	151
LISTE DES COMMUNICATIONS ET PUBLICATIONS PERSONNELLES	153
ANNEXES	155

Liste des figures

Figure 1: Typologie de MOOCs proposée par George Siemens et Stephen Downes	18
Figure 2 : Typologie de MOOCs proposée par Liza Lane	18
Figure 3 : Typologie de MOOCs proposée par Donald Clack	19
Figure 4 : Typologie de MOOCs proposée par Mattieu Cisel.....	20
Figure 5 : Typologie de MOOCs proposée par Gráinne Conole.....	22
Figure 6 : Diagramme UML de l'ontologie de domaine Onto_TDM	53
Figure 7 : Etapes de développement d'un système d'évaluation avec l'approche ODALA	55
Figure 8: Architecture globale du système MOOC projeté.....	69
Figure 9 : Architecture du module d'ingénierie de MOOC	69
Figure 10 : Typologie proposée Haddadi Lynda et Al.....	71
Figure 11 : Représentation graphique du modèle apprenant.....	73
Figure 12: Dimension "Informations personnelles"	74
Figure 13: Dimension "Style d'Apprentissage"	75
Figure 14: Dimension "Préférences"	77
Figure 15: Dimension "Comportementale"	77
Figure 16: Dimension "Etat cognitif"	78
Figure 17 : Planification des activités d'évaluation	83
Figure 18: Processus de l'évaluation proposée	86
Figure 19: Exemple d'une UE relatif au 1 ^{er} palier de la pyramide d'évaluation	88
Figure 20: Exemple d'une UE relatif au 2 ^{ème} palier de la pyramide d'évaluation	91
Figure 21: Affichage des erreurs détectées après la résolution d'un exercice par un apprenant	93
Figure 22: Vue générale du PAP proposé	96
Figure 23: Processus de formation de groupes.....	98
Figure 24: Déroulement de l'algorithme de formation de groupes hétérogènes.....	101
Figure 25: Déroulement du PEP pour une SP donnée	102
Figure 26: Partie de l'état cognitif initial	109
Figure 27: Exemple d'une UE relative au 1 ^{er} niveau de la pyramide d'évaluation	110
Figure 28: Etat cognitif d'un apprenant pour le 1 ^{er} niveau de la pyramide d'évaluation	111
Figure 29: Etat cognitif détaillé d'un apprenant pour le 1 ^{er} niveau de la pyramide d'évaluation	111
Figure 30 : Exemple d'une UE relative au 2 ^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation	112

Figure 31 : Etat cognitif d'un apprenant pour le 2 ^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation ...	113
Figure 32 : Etat cognitif détaillé d'un apprenant pour le 2ème niveau de la pyramide d'évaluation.....	113
Figure 33 : Exemple d'une UE relative au 3 ^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation	114
Figure 34 : Etat cognitif d'un apprenant pour 3 ^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation.....	115
Figure 35 : Etat cognitif détaillé d'n apprenant pour le 3 ^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation	115
Figure 36: Distribution des apprenants dans chaque niveau	116
Figure 37: Liste des apprenants concernés par l'évaluation par les pairs.....	117
Figure 38: Résultat du clustering d'apprenants	117
Figure 39: Vue sur les groupes hétérogènes formés	118
Figure 40: Vue sur l'espace d'évaluation dans l'IHM de la plateforme	119
Figure 41: Vue sur l'espace du module d'évaluation.....	119
Figure 42: Courbe graphique des différents scores du PEP	125

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison entre certains MA proposés dans la littérature.....	35
Tableau 2: Les intelligences multiples de Gardner	75
Tableau 3 : Le style d'apprentissage de Felder et Al.	76
Tableau 4: Taxonomie de Bloom	83
Tableau 5: Niveaux de motivation de Dany Grimard	84
Tableau 6 : Tableau résumant les différents niveaux de notre système d'évaluation	85
Tableau 7: Instanciation d'une partie d'Onto-RDB pour le domaine BDDR	87
Tableau 8: Les différentes valeurs du coefficient de complexité d'une question (α_j).....	89
Tableau 9: Valeurs du booléen R_{ijk}	89
Tableau 10: Acquisition des items de connaissances selon la Formule 01	89
Tableau 11: Les différentes valeurs de α_1 et n	91
Tableau 12: Les différentes valeurs de R_{ijl}	92
Tableau 13: Acquisition des items selon la Formule 03	92
Tableau 14: Valeurs du pourcentage du nombre de certificats obtenus (C_i)	97
Tableau 15: Valeurs du coefficient de complexité d'une SP (γ_i)	103
Tableau 16: RDB-Onto	106
Tableau 17: Valeurs de P_i des quatre apprenants du premier groupe.....	120
Tableau 18: Scores attribués au premier apprenant	120
Tableau 19: Scores attribués pour un apprenant dans chaque type de SP.....	120
Tableau 20: Comparaison entre le système MOOC proposé et quelques plateformes MOOC	123
Tableau 21: Scores attribués par des groupes formés aléatoirement, par le processus développé et les experts	125
Tableau 22: Comparaison entre les systèmes de formation de groupes.....	126

Liste des abréviations

AMICAL : Architecture Multi-agents Compagnon pour l'Apprentissage de la Lecture.

BC : Base de Connaissances.

BDD : Bases De Données.

BDDR : Bases De Données Relationnelles.

BOOCs : Big Open Online Courses.

CCK08 : Connectivism and Connective Knowledge.

CMS : Content Management System.

COOC : Community Open Online Course.

CPR : Calibrated Peer Review.

CSS : Cascading Style Sheets.

DF : Dépendance Fonctionnelle.

DOCCs : Distributed Online Collaborative Courses.

EIAH : Environnements Informatique d'Apprentissage Humain.

EAO : Enseignement Assisté par Ordinateur.

EIAO₁ : Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur.

EIAO₂ : Enseignement Interactif Assisté par Ordinateur.

EIAO₃ : Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur.

EMPHIS : Euro Mediterranean Public Health Information System.

EP : Evaluation par les Pairs.

FUN : France Université Numérique.

GRH : Gestion des Ressources Humaines.

HOOC : Hybrid Open Online Course.

HTML : HyperText Markup Language.

IC : Item de Connaissances.

KIF : Knowledge Interchange Format.

LCMS : Learning Content Management System.

LMD : LicenceMaster Doctorat.

LMS : Learning Management System.

LSS : Learning Support System.

MIT : Massachusetts Institute of Technology.

MIT OCW: MIT OpenCourseWare.

MLE : Managed Learning Environment.

MobiMOOC : Mobile MOOC.

MOOC : Massive Open Online Courses.

MOOR : Massive Open Online Research.

MOOL : Massive Open Online Labs.

MOQ : Multi Operations Question.

NOOCs : Nano Open Online Courses.

ODALA : Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach.

Onto_TDM : Ontological Teaching Domain Modelling.

OWL : Ontology Web Language.

PEP : Processus de l'Evaluation par les pairs.

PHP: Hypertext Preprocessor.

POOC : Personalized Open Online Course.

POQ : Proof Open Question.

QCM : Questions à choix multiples.

RDF : Semantic Web Standards.

SMOCs : Synchronous Massive Online Courses.

SP : Situation Problème.

SPOC : Self-Paced Online Course.

SPOCs : Small Private Online Courses.

STI : Système Tutoriel Intelligent.

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication.

TICE : Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement.

UE : Unité d'Evaluation.

UMMTO : Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

UMVF : Université Médicale Virtuelle Francophone.

VLE : Virtual Learning Environment.

VOOCs : Vocational Open Online Courses.

XML : Extensible MarkupLanguage.

Introduction générale

1. Contexte général

L'apparition des premiers systèmes d'enseignement par ordinateur (EAO) date des années soixante. Au fil des années, notamment avec le développement d'outils de représentation et de traitement des connaissances issus de l'intelligence artificielle, l'interactivité, la relation sociale, etc. d'autres systèmes sont apparus. Les enseignements 'intelligents' sont nés vers les années soixante-dix grâce à l'intelligence artificielle. Ces systèmes sont connus sous l'acronyme de l'EIAO₁ (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur). Ils possèdent trois composantes : le modèle de domaine (dit expert du domaine), le modèle de l'apprenant, le module pédagogique et de l'interface. Les environnements interactifs assistés par ordinateur (EIAO₂) ainsi que les environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (EIAO₃) sont apparus au début des années quatre-vingts, avec les mêmes composantes que les EIAO₁ mais qui prennent en compte l'interactivité entre apprenants, entre apprenants et formateurs et/ou tuteurs, etc. L'évolution rapide des interfaces de communication homme-machine et les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont donné naissance aux systèmes e-learning, au début des années quatre-vingt-dix. Ces systèmes ont pour objectif d'améliorer la qualité de l'apprentissage, tout en facilitant l'accès aux ressources, aux services et au travail collaboratif, à travers l'utilisation des nouvelles technologies via Internet. Au cours des sept dernières années, une nouvelle tendance d'apprentissage en ligne appelée MOOCs (Massive Open Online Courses) est apparue et devient l'un des sujets les plus discutés en E-éducation. Ces MOOCs ont créé notamment une révolution dans l'enseignement supérieur avec la massivité des apprenants.

Tous les systèmes précités sont une simulation des enseignements et apprentissages dispensés en présentiel. Notons, qu'en présentiel les enseignants tiennent compte du domaine à enseigner, des stratégies d'enseignement, des activités d'évaluation et surtout des apprenants. Ces apprenants ont des caractéristiques différentes qui influencent la manière dont l'enseignant différencie sa pédagogie et dans la manière dont les apprenants comprennent les notions enseignées et les activités qui leurs sont proposées. La différence est que la formation à distance permet d'acquérir des connaissances sans avoir à fréquenter un établissement d'enseignement et sans la présence physique d'une personne qui enseigne.

Dans nos travaux, nous nous intéressons aux MOOCs, particulièrement à la modélisation des apprenants et à l'évaluation des activités dispensées. Notons que différents termes sont utilisés pour désigner l'apprenant sous l'appellation de 'élève', 'utilisateur' et 'étudiant'. Tout

au long de cette thèse, nous utilisons le terme ‘apprenant’ pour désigner des participants utilisant un système de la E-éducation.

2. Problématique

L’étude faite sur les MOOCs existants a montré que les deux principales composantes qui nécessitent une amélioration sont le modèle de l’apprenant (particulièrement son état cognitif) et l’évaluation de l’apprenant en vue d’une certification.

En effet, l’état cognitif de l’apprenant tel que considéré dans ces systèmes, est lié à une simple notation des outils d’évaluation proposés alors qu’il serait souhaitable d’aller dans les détails des notions disciplinaires du MOOC pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte des connaissances antérieures des apprenants. De même, dans la plupart des systèmes, l’évaluation est basée sur un processus automatique. Seuls quelques-uns adoptent un processus semi-automatique par les pairs. L’évaluation automatisée se base sur des outils assez simples sous forme de questions fermées où les réponses sont prédéfinies. Or, ce type d’outils ne permet pas de savoir si l’apprenant a répondu par rapport à ses connaissances acquises ou par coup de chance. L’évaluation semi-automatique par les pairs porte sur des exercices ainsi que des études de cas où les réponses sont libres. L’un des principaux problèmes dans ce type d’évaluation réside dans la formation de groupes qui se fait d’une manière aléatoire ou en se basant uniquement sur les connaissances des apprenants (Staubitz et Al., 2016 ; Kulkarni et Al., 2015 ; O’Toole, 2013). Un autre problème rencontré c’est que certains apprenants n’ont pas les connaissances et l’expérience requises pour évaluer le travail de leurs pairs (Hew et Al., 2014).

Il a été constaté que les problèmes liés à l’évaluation et à la modélisation des apprenants causent des problèmes de la non motivation et de la non satisfaction des apprenants (Admiraal et Al., 2015, 2014 ; Miranda et Al., 2013), d’un taux élevé d’abandons (Tsai et Al., 2018 ; Van Der Zee et Al., 2018 ; Yuan et Al., 2013, Clow, 2013 ; Rivard, 2013) et de la certification. Cette dernière lorsqu’elle existe est parfois payante, de plus est-elle méritée par celui qui la détient ?

3. Objectifs

Les objectifs de notre thèse répondant à la problématique ci-haut sont :

- Avoir une bonne représentation du contenu du MOOC (concepts et activités), dans le but d’avoir une flexibilité dans les parcours et une interopérabilité avec les autres

plateformes MOOCs. Ceci constitue un préalable à la modélisation et l'évaluation des apprenants.

- Proposer une modélisation de l'apprenant, notamment de son état cognitif, qui devrait couvrir toutes les connaissances acquises par l'apprenant durant son apprentissage.
- Planifier les activités d'évaluation selon le type et le degré de difficulté. Nous proposons d'organiser ces activités en paliers (niveaux) dans une pyramide. Chaque niveau renferme un type d'activité que l'apprenant doit effectuer et sur lequel il sera évalué.
- Améliorer la crédibilité de la certification en ligne.

4. Notre contribution

Pour remédier à la problématique citée et atteindre les objectifs fixés, nous avons proposé une architecture d'un MOOC dans laquelle nous avons intégré un modèle apprenant (MA) ainsi qu'une évaluation des activités proposées. Cette architecture est conçue selon les besoins des différents utilisateurs (créateurs du MOOC et apprenants) pour une discipline donnée. Les besoins concernant les créateurs des MOOCs sont de capitaliser et concevoir le contenu du cours (concepts et activités). Les besoins des apprenants sont : consulter les ressources, apprendre et se certifier. Notons que l'aspect social des MOOCs est une excellente valeur d'apprentissage lorsque l'on considère les différents besoins de l'apprenant dans un même cours. Pour apprendre et se certifier dans une discipline donnée, les apprenants sont amenés à faire des activités. Ces dernières sont classées en quatre paliers (niveaux), renfermant chacun un type d'activités (questions fermées, questions semi-ouvertes, questions et situations problème), conçues selon un degré de difficulté croissant. Ces paliers sont représentés dans une pyramide en vue de faciliter l'évaluation des activités. Les résultats des évaluations sont consignés dans le Modèle de l'Apprenant (MA).

Etant donné qu'il n'existe pas un MA standard qui répond à toutes les problématiques, nous proposons un modèle qui facilite la planification des activités d'évaluation. La dimension état cognitif du MA couvre toutes les connaissances acquises par l'apprenant durant son apprentissage. Ces connaissances sont un sous-ensemble des connaissances du domaine lié à la discipline. Pour représenter ces connaissances, nous empruntons l'ontologie de domaine disciplinaire Onto_TDM (Ontological Teaching Domain Modelling) définie dans l'approche ODALA (Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach) (Bouarab et Al., 2009, 2011). Ces métadonnées permettent de représenter le détail des concepts (notions, sous-notions, items de connaissances), chacun son pourcentage d'acquisition. Ce modèle proposé pourrait

également servir d'un guide pour faciliter le développement futur des MA qui aident à améliorer l'intelligence des systèmes de la E-éducation en général. Notons que le troisième palier concerne les exercices. Pour évaluer les activités de ce palier, la méthodologie et les techniques d'évaluation automatisée proposées dans ODALA nous ont guidées.

Pour le cas des situations problème, nous avons proposé une nouvelle méthode d'évaluation par les pairs. Le processus global est divisé sur trois principales étapes : formation des groupes hétérogènes, évaluation et traitement des résultats et enfin concertation. Pour la formation des groupes, nous donnons aux tuteurs la possibilité de choisir les paramètres du modèle de l'apprenant qu'ils souhaitent prendre en considération lors du processus d'évaluation par les pairs. Puis, la formation des groupes est lancée. Cette dernière opère en deux phases : le clustering d'apprenants et la formation de groupes hétérogènes. Le but étant d'obtenir des scores et feedbacks complémentaires dans tous les groupes formés. Ensuite, les apprenants sont tenus d'évaluer les travaux de leurs pairs du même groupe. Une synthèse des différents scores est établie et distribuée aux apprenants. Enfin, un espace de discussion collective est ouvert à tous les apprenants insatisfaits.

5. Plan du mémoire

Cette thèse est composée de deux parties : une partie sur l'étude bibliographique et une partie sur nos propositions et leurs validations.

Partie A : Etude Bibliographique

L'état de l'art est composé de quatre chapitres.

- **Chapitre I. Les systèmes de la E-éducation** : Dans ce premier chapitre, nous avons présenté l'historique des systèmes de la E-éducation, ensuite nous avons donné des généralités sur la dernière génération de ces systèmes : les MOOCs.
- **Chapitre II. Modélisation des apprenants dans les systèmes de la E-éducation** : Nous avons présenté dans ce chapitre le modèle et la modélisation des apprenants. Nous avons décrit le contenu, les typologies et le processus d'élaboration du modèle apprenant, les différentes approches de modélisation des connaissances des apprenants ainsi que les techniques de représentation de la connaissance.
- **Chapitre III. Evaluation des apprenants** : Dans un premier temps, nous avons présenté dans ce deuxième chapitre comment se fait l'évaluation des apprenants dans la science de l'éducation en précisant les différents types d'évaluation issue

de la pédagogie ainsi que les types d'activités d'évaluation existantes. Dans un second temps, nous avons décrit, l'évaluation des apprenants dans les systèmes de la E-éducation qui se fait de deux manières : une évaluation automatisée et une évaluation par les pairs.

- **Chapitre IV. Modélisation et évaluation des apprenants dans les MOOCs :** Dans ce dernier chapitre de l'état de l'art, nous avons abordé la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs. Nous avons présenté notamment les défis constatés concernant la modélisation et l'évaluation dans ces systèmes.

Partie B : Propositions et leurs validations

Cette partie est composée de trois chapitres.

- **Chapitre V. Modélisation et Evaluation des apprenants dans un MOOC basé sur l'approche ODALA :** Nous avons présenté dans ce chapitre nos propositions autour de la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs. Tout au long de ce chapitre, nous avons expliqué les concepts empruntés de l'approche ODALA, comment nous l'avons appliquée et la plus-value apportée dans le cadre des MOOCs.
- **Chapitre 05. Expérimentation et validation des propositions :** Dans ce chapitre nous avons validé nos propositions via deux prototypes. Nous avons décrit le protocole d'évaluation suivi ainsi que les expérimentations faites.
- **Chapitre 06. Discussion et impact de nos propositions :** Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté une discussion, les points forts et les faiblesses de nos propositions. Nous avons décrit ensuite l'impact de nos propositions sur les praticiens et les chercheurs.

Partie A :

Etude

Bibliographique

Chapitre I : Les systèmes de la e-Education

Introduction

Dans la science de l'éducation, il est question de formations d'apprenants en présentiel. Les apprenants acquièrent des connaissances avec l'aide de l'enseignant. Ce dernier use de ces stratégies d'enseignement et des activités d'évaluation pour différencier sa pédagogie. Les systèmes de la E-éducation permettent d'acquérir des connaissances sans avoir à fréquenter un établissement d'enseignement et sans la présence physique d'une personne qui enseigne. Le terme E-éducation est utilisé pour désigner des scénarios pédagogiques s'appuyant sur les TIC. Le 'e' renvoie à 'électronique' ou 'en ligne' pour permettre d'inclure divers formules d'introduction de TIC ou TICE dans les processus de formation / enseignement / apprentissage pour, à priori améliorer l'accessibilité et/ou la qualité de l'apprentissage. De manière général, un système de la E-éducation est caractérisé par des supports de cours (en ligne ou hors ligne), un apprentissage individuel ou collectif, la présence ou non d'un tuteur et des possibilités de guidage (aides). Dans ces systèmes, la différenciation et l'adaptation des parcours notamment le 'quand' et 'ou' apprendre est devenu possible, ce qui renforce l'autonomie des apprenants.

L'avènement des réseaux, ainsi que les technologies de l'information et de la communication (TIC) a permis de développer une multitude de systèmes d'enseignement / apprentissage en ligne. Cette apparition a engendré une nouvelle forme d'apprentissage à distance, les MOOCs (Massive Open Online Courses) qui proposent des cours en ligne, ouverts et destinés à un nombre nom limité de participants. Ces MOOCs sont devenues un sujet d'actualité pour la communauté. Dans ce premier chapitre, nous avons présenté l'évolution des systèmes de la E-éducation. Nous avons porté une attention particulière aux MOOCs, objet de notre travail.

I.1. Evolution et catégorisation des systèmes de la E-éducation

L'univers de la E-éducation se retrouve avec des notions exprimées sous forme d'acronymes et de sigles divers. Dans certains cas, la E-éducation est mise en parallèle avec le e-learning (d'apprentissage en ligne ou formation à distance). Dans la communauté francophone, la E-éducation apparaît sous le terme d'Environnements Informatique d'Apprentissage Humain (EIAH). Ce dernier englobe à la fois les systèmes d'auto-apprentissage et le E-learning. C'est-à-dire que ces systèmes permettent aux apprenants d'accéder à une formation en utilisant ou non internet. En passant en revue la littérature, nous distinguons trois grandes catégories qui constituent l'évolution des systèmes de la E-éducation: les systèmes destinés à l'auto-apprentissage, le E-learning et les systèmes basés sur l'approche connectivisme. Ces catégories sont identifiées en se basant sur deux principaux critères : le degré d'interaction et le degré de liberté des apprenants. Nous avons remarqué que l'évolution des systèmes de la E-éducation à travers le temps est accompagné d'une augmentation du degré d'interaction entre les apprenants d'une part et la souplesse du guidage des apprenants car avec ces systèmes nous allons de plus en plus vers des apprentissages centrés apprenant.

I.1.1. Systèmes destinés à l'auto-apprentissage

I.1.1.1. Systèmes d'Enseignement Assistés par Ordinateur (EAO)

Le terme EAO est apparu dans les années soixante. Dans son sens littéral, c'est un enseignement où l'ordinateur est utilisé en tant qu'outil. Ces systèmes consistaient à présenter à l'apprenant une notion particulière, ensuite à l'interroger en lui posant différentes questions. La première machine créée en 1958 présentait les connaissances à l'apprenant d'une manière séquentielle. L'apprenant ne pouvait passer à la connaissance suivante que lorsqu'il avait bien assimilé la connaissance courante. La seconde machine créée en 1959 est semblable à la première, sauf que les erreurs de la part de l'apprenant ne l'empêchent pas de poursuivre son apprentissage.

L'utilisation et la construction de ces machines étaient très compliquées. Ainsi, le développement de l'informatique durant les années soixante a donné naissance aux systèmes d'enseignement, nommés les systèmes "si...alors...sinon", qui consistaient à présenter à l'apprenant une notion, ensuite à l'interroger à travers un QCM dont le résultat est déterminé à l'avance. Mais de tels systèmes étaient très coûteux et il manquait de flexibilité dans l'interaction homme-machine.

I.1.1.2. Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO₁)

L'évolution de l'intelligence artificielle dans le domaine de la résolution de problèmes et le développement des outils de représentation et de traitement des connaissances vers les années soixante-dix, a permis d'ajouter une certaine dose d'intelligence dans les systèmes d'enseignement, d'où la naissance des enseignements intelligents connus sous l'acronyme de l'EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur). Ces systèmes se caractérisaient par (Jorion, 1990):

- Une modélisation des connaissances du domaine et des mécanismes de raisonnement, qui dote les systèmes de capacité à résoudre des problèmes et de répondre à des questions non explicitement prévues.
- Une modélisation (ou prise en compte) de l'apprenant pour permettre au système de s'adapter dynamiquement et de façon individualisée à son interlocuteur, connaissant son degré de maîtrise des connaissances du domaine et son comportement.
- Une modélisation des stratégies des tutoriels, qui autorise le système à intervenir en fonction de la situation, des objectifs pédagogiques ou du modèle de l'apprenant.
- Des capacités de communication souples et variées, avec des possibilités d'intervention et de prise d'initiative de l'apprenant.

Les plus grandes familles que nous pouvons citer dans ce cadre sont les STI (Système Tutoriel Intelligent), qui peuvent être définis comme étant des systèmes d'enseignement capables de transmettre des savoirs à l'apprenant, mais surtout de le suivre, tester ses connaissances et lui fournir des conseils. Généralement, l'architecture des STI comporte quatre composants indépendants : le module 'expert du domaine', le module 'modèle de l'élève', le module 'tuteur' et le module 'interface'. L'expert possède la maîtrise du domaine à enseigner, le tuteur surveille et dirige l'acquisition des connaissances et des raisonnements, le modèle de l'apprenant permet d'intégrer le comportement de ce dernier dans le STI et l'interface assure le dialogue entre l'apprenant et le système.

Comme exemple de système d'EIAO, nous pouvons citer SCHOLAR de Carbonell (Dillenbourg, 1994), le premier système utilisant une représentation des connaissances à enseigner par un réseau sémantique. Son domaine d'application étant la géographie de l'Amérique du Sud.

I.1.1.3. Enseignement Interactif Assisté par Ordinateur (EIAO₂)

Un autre courant se développe après la seconde guerre mondiale : la théorie constructiviste. Plusieurs systèmes informatiques issus de cette théorie ont vu le jour : les micro-mondes (EIAO₂). Delestre (2000) définit un Micro-Monde comme étant un logiciel éducatif dénué de toute connaissance, mais qui offre de l'interaction avec l'utilisation permettant ainsi d'assimiler et de comprendre plus facilement des connaissances.

'Logo' est le premier micro-monde qui ait été développé. L'idée est de créer des environnements dans lesquels les apprenants agissent sur des objets d'un monde simplifié pour manipuler des concepts abstraits et construire ainsi leurs propres connaissances. La première version graphique permet d'exploiter les concepts géométriques comme le triangle. Aujourd'hui, il est utilisé principalement comme langage d'initialisation à la robotique.

Un autre exemple est celui de Cabri-géomètre qui donne la possibilité à l'utilisateur d'exploiter les propriétés géométriques et mathématiques. Son principe de fonctionnement est de construire une figure géométrique en expliquant certaines propriétés ; ensuite, de modifier la figure. Nous remarquons que les propriétés mathématiques sont conservées.

I.1.1.4. Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO₃)

C'est aux environs des années quatre-vingt-dix qu'opère un changement dans la vision de l'apprentissage en passant d'une vision centrée sur le transfert des connaissances à une vision selon laquelle l'apprenant construit son apprentissage où la machine l'accompagne dans son cheminement. Ainsi, l'appellation Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO₃) est proposée pour se démarquer de l'ancien sigle. Ce changement de sigle est plus qu'un effet de style et a une signification plus profonde. Selon Mendelsohn (1998), « *un EIAO est un système qui réalise la synthèse entre, d'une part, les avantages de l'exploration libre et de la construction progressive des objets de connaissance (comme le Micro-monde classique) et, d'autre part, l'intérêt du guidage propre aux systèmes tutoriels. L'idée centrale est de permettre à l'apprenant de transformer rapidement et efficacement ses expériences en connaissances organisées* ».

En effet, l'EIAO₃ sont des systèmes dont l'objectif est de prendre ce qu'il y a de meilleur dans les EIAO₁, c'est-à-dire les capacités du système à pouvoir raisonner sur un domaine spécifique et de prendre également ce qu'il y a de meilleur dans les EIAO₂, c'est-à-dire l'apprentissage par l'interaction.

I.1.2. E-learning

Système d'apprentissage en ligne, e-formation, formation à distance sont des termes équivalents pour désigner le e-learning. Ce dernier indique selon les certains spécialistes tout dispositif d'enseignement à distance médiatisé et pour certains il désigne un dispositif utilisant les ressources d'internet. C'est la deuxième acceptation qui prévaut actuellement. Le préfixe 'e' signifie 'électronique' ou 'en ligne' qui s'applique à tout enseignement / apprentissage opéré via internet. Le e-learning permet à l'apprenant de se former seul face à une machine. Cette nouvelle approche de la formation autorise une grande souplesse d'utilisation pour l'apprenant qui peut se former à son rythme en fonction de ses besoins et de ses disponibilités. Dans ce qui suit, nous présentons quelques systèmes du e-learning, à savoir les LMS, les campus numériques et les sites web éducatifs.

I.1.2.1. Learning Management System (LMS)

LMS (Learning Management System) désigne une plateforme logicielle permettant aux enseignants de faciliter la gestion des cours, la diffusion du contenu, l'ordonnancement des modules, l'organisation de parcours individualisés, le suivi par le tuteur et du tutorat (gestion intégrée des interactions apprenants-formateur), etc. Les services offerts incluent généralement un contrôle d'accès ainsi que des outils de communication (synchrones et/ou asynchrone). Cependant, ils fournissent des fonctionnalités restreintes en termes de conception de cours. C'est pourquoi les LCMS (Learning Content Management System) ont récemment émergé pour aider les entreprises à créer, stocker et diffuser des contenus d'apprentissage à partir d'une base de données centrale. L'objectif est de permettre la délivrance de contenus propriétaires personnalisés, tout en réduisant les coûts de création de contenu, par la réduction des temps de développement de ces contenus. Cette solution est donc particulièrement intéressante pour les entreprises qui ont beaucoup de contenu à créer et/ou à gérer.

Parmi les plates-formes e-learning libres les plus utilisées, nous pouvons citer Claroline et Moodle. Claroline¹ permet à des centaines d'institutions à travers le monde (universités, établissements scolaires, associations, entreprises, etc.) de créer et d'administrer des formations et des espaces de collaboration en ligne. Moodle² sert à créer des communautés d'apprenants autour des contenus et d'activités pédagogiques. À un système de gestion de contenu, Moodle ajoute des fonctions pédagogiques ou communicatives pour créer un environnement d'apprentissage en ligne.

¹<https://www.claroline.net>

²<https://moodle.com>

Notons que LMS se retrouve sous d'autres appellations : MLE (Managed Learning Environment), VLE (Virtual Learning Environment), CMS (Course Management System) , LSS (Learning Support System), etc.

I.1.2.2. Campus numériques

Les campus numériques (université numérique ou encore cyber-université) sont proposés par des établissements publics d'enseignement supérieur. Ils offrent un certain nombre de services tels que : tutorat, utilisation d'une plate-forme comme environnement de travail, outils de communication comme la messagerie et le forum, supports et ressources, etc. Les campus numériques reproduisent les services et la configuration d'une université, pour laquelle ils constituent le volet 'formation à distance'. Il propose un dispositif de formation modulaire, c'est-à-dire un enseignement organisé à partir d'unités pédagogiques définies en termes de contenus et d'heures. Un campus ne s'agit pas d'un dispositif d'autoformation, car il implique obligatoirement la présence d'un formateur.

Les campus numériques sont un moyen permettant d'impulser l'innovation pédagogique apportée par les TIC. La structure des campus doit répondre à des exigences précises qui se présentent comme autant de critères de sélection. L'accent est mis sur la nécessité de construire des consortiums, c'est-à-dire des regroupements d'établissements publics qui s'associent à d'autres partenaires publics ou privés, de développer des projets reposant sur une ingénierie de formation solide et de qualité, où s'articulent à la fois des ressources éducatives, des services et une logistique (Miladi, 2006). EMPHIS³ (Euro Mediterranean Public Health Information System) est un exemple de campus numérique.

I.1.2.3. Sites web éducatifs

Plusieurs sites web éducatifs existent. Nous distinguons les sites d'accompagnement pédagogique, les sites web pour les professionnels et les sites experts.

- **Les sites d'accompagnement pédagogique**

Les sites d'accompagnement pédagogique constituent un regroupement pour la mise en commun de supports pédagogiques (présentés essentiellement sous la forme de cours). L'objectif de ces sites est l'accompagnement pédagogique, mais de fait, les services sont limités et se résument à de l'autoformation partielle (Buisson et Al., 2004). La différence entre ces sites et les campus numériques, est que ces sites offrent d'une part un tutorat et d'autres part des

³<http://emphis.org>

formations diplômantes. UMVF⁴ (Université Médicale Virtuelle Francophone) illustre ce type de site.

- **Les sites web pour les professionnels**

Les sites web pour les professionnels ont été élaborés dans un but commercial par des organismes privés. Ils proposent des formations payantes, très professionnelles et spécialisées (Elisabeth, 2007). Le suivi pédagogique y est très personnalisé, par des bilans ou par des parcours de formation. Les sites insistent sur la plus-value qu'ils apportent. Humanis⁵ relève de cette catégorie. Ces sites présentent les critères principaux suivants (Buisson et Al., 2004) :

- Un objectif marketing affiché,
- La dimension professionnelle des formations proposées,
- La personnalisation des services,
- De nombreux outils de communication, synchrones ou asynchrones.

- **Les sites experts**

Les sites experts rassemblent des sites axés soit sur la promotion de la formation ouverte à distance, soit sur la promotion des TIC. Ces sites, privés ou publics, proposent des services à valeur ajoutée et sont destinés aux formateurs essentiellement. Leur offre tourne surtout autour de la veille technologique et de la veille documentaire, avec donc des services qui ne sont à proprement parler pas pédagogiques : actualités, forums, etc. (Elisabeth, 2007). Il ne s'agit pas de services de suivi pédagogique, ils se rapprochent néanmoins des ressources. Ces dernières se présentent souvent sous la forme de dossiers, de lexiques, ou de fiches synthétiques. Educnet⁶ en est un bon exemple de ce type de site.

I.1.3. Systèmes basés Connectivisme

La théorie du connectivisme a été introduite dans les systèmes d'apprentissage en ligne par George Siemens et Stephen Downes (Downes, 2012, Siemens, 2005). Elle s'intéresse à l'apport des nouvelles technologies dans l'apprentissage et plus particulièrement à l'apprenant qui travaille en interaction avec ses pairs et son environnement.

Les systèmes de la E-éducation qui s'appuient sur le connectivisme se caractérisent par un degré d'interaction élevé entre apprenants et une liberté dans le sens où n'importe qui peut

⁴ <http://www.umvf.prd.fr/>

⁵ <http://www.humanis.qc.ca/>

⁶ <http://www.educnet.education.fr/>

participer. Parmi ces systèmes, nous pouvons citer les systèmes collaboratifs, les réseaux sociaux et les MOOCs.

I.1.3.1. Systèmes collaboratifs

Le travail collaboratif assisté par ordinateur est une notion ancienne. Elle fait son apparition dans les années 60 au Research Institute de Stanford aux Etats-Unis. Mais c'est dans les années 90, avec l'entrée dans l'ère de la gestion et de l'économie de l'information et de la communication et avec le développement de la bureautique individuelle que le groupware⁷ prend son essor. Il devient enfin connu du grand public avec la commercialisation de ses produits comme celle du célèbre logiciel : Lotus Notes. Par la suite, les années 2000 voient apparaître de nouveaux types d'outils de travail collaboratif comme les logiciels libres et le collaboratif web. Le web 2.0, avec les blogs et les sites de type wiki, facilite l'utilisation du web pour les novices et offre des interfaces plus ergonomiques spécialement pensées pour les utilisateurs.

Une plateforme de travail collaboratif est un ensemble d'outils permettant l'échange et le stockage centralisé d'informations et de documents liés à la conduite d'un travail collectif. Elle intègre des outils de communication synchrone et asynchrone, des espaces de stockage et de gestion de documents. Grâce au support qu'offre Internet, la contrainte inhérente à la distance est atténuée, les plateformes offrent la possibilité de communiquer en direct comme en différé.

I.1.3.2. Réseaux sociaux

Les réseaux sociaux (Linkedin, Researchgate, etc.) est un moyen approprié pour modéliser l'apprentissage en réseau à l'ère du numérique. Ils permettent aux apprenants de stimuler et de maintenir la circulation des connaissances. L'apprentissage en réseau est une approche permettant de promouvoir des connexions entre un apprenant et des ressources humaines et non humaines afin de permettre à cet apprenant d'augmenter sa capacité d'apprendre. Selon George Siemens (2005), la métaphore du réseau social et des liens à la modélisation des domaines de connaissances peuvent d'appliquer dans une perspective d'un apprentissage personnel.

Les réseaux sociaux sont l'occasion pour tous d'apprendre à veiller sur l'information et à développer une intelligence informationnelle collaborative au cœur de laquelle un tuteur peut être un véritable modérateur pour la gestion et la création de nouvelles connaissances par l'apprenant (Pinte, 2016). Arnaud (2012) explique que de nos jours l'apprentissage par les

⁷ Le groupware est un néologisme inventé par Peter et Trudy JOHNSONLENZ en 1980 qui rassemble à la fois la notion de travail en groupe « group » et l'aspect technologique du logiciel avec « ware » de « software ».

réseaux sociaux est incontournable dans les organisations du fait la pratique des réseaux sociaux par les jeunes générations.

I.1.3.3. Systèmes MOOCs

L'idée de concevoir des systèmes destinés à une massivité d'apprenants vient d'universités américaines. Le premier site désigné sous l'appellation OpenCourseWare (MIT OCW) a été lancé en 2001 au MIT (Massachusetts Institute of Technology). Dans ce site, on y retrouve en général les cours magistraux sous forme vidéo, examens, devoirs, ainsi que les prises de notes des apprenants. Rapidement le MIT OCW devient la tête de pont d'un mouvement qui prend le nom d'OpenCourseWareConsortium (Pappano, 2012).

C'est finalement en 2008 qu'apparaît le sigle MOOCs (Massive Open Online Courses). Ce dernier a été lancée par Dave Cormier, professeur à l'université de Prince Edward d'Islande ; pour désigner un cours nommé Connectivism and Connective Knowledge, ou CCK08, organisé par Georges Siemens de l'Université d'Athabasca et Stephen Downes du National Research Council (Siemens, 2012, 2013 ; Stephen, 2012). Ce cours a été dispensé à 25 étudiants de l'Université de Manitoba et 2300 participants y ont pris part en ligne (McAuley et Al., 2010). Les participants aux cours étaient libres de collaborer et d'enrichir le cours avec les outils de leur choix. Ce premier MOOC a inspiré d'autres auteurs parmi eux on distingue le MOOC sur l'intelligence artificielle, proposé en 2011 par Sebastian Thrun (Siemens, 2013). Il a été suivi par 160 000 personnes de 190 pays alors que seulement 10.000 étaient attendus ; plus de 15% vont jusqu'au bout. Suite à ce succès, plusieurs plateformes de la E-éducation ont vu le jour. La première plateforme MOOC qui a été développé c'est Udacity en février 2012. Deux cours sont lancés : un cours de programmation intitulé : Building a Search Engine et un cours d'intelligence artificielle, et un autre intitulé : Programming a Robotic Car. Le premier MOOC à emboîter le pas à Udacity est Coursera, en 2012, dont les fondateurs sont Andrew Ng et DaphneKoller (Pappano, 2012). La plateforme Coursera ne produit pas ses cours, elle noue, dès ses débuts, des partenariats avec des universités américaines. Contrairement à Udacity qui se focalise sur quelques cours et produit elle-même son contenu.

Dans le point qui suit, nous présentons des généralités sur les MOOCs (définition, typologies et plateformes) qui constitue le champ de notre étude.

I.2. Apprentissage basé sur les MOOCs

I.2.1. Définition du terme MOOC

La définition du terme MOOC (Massive Open Online Course) reste large. Souvent le terme MOOC est employé pour désigner des plateformes, mais dans certains cas il peut être utilisé pour désigner les cours eux-mêmes (Colajanni et Al., 2014 ; Cisel et Al., 2013 ; Cormier et Al., 2010). Tout au long de cette thèse, nous utilisons le terme MOOC pour désigner les cours. Dave Cormier (2010), l'un des inventeur des MOOCs, donne la définition suivante : « *Un MOOC n'est pas seulement un cours en ligne [...], c'est un événement où des personnes qui s'intéressent à un sujet se réunissent, travaillent sur le sujet en question et en parlent de manière constructive. Un MOOC est ouvert, participatif [...], une manière d'échanger, de développer des compétences, ce qui revient à s'engager dans un processus d'apprentissage.* ». Le terme MOOC est l'acronyme de Massif (nombre non limité de participants), Open (cours ouverts à tous les internautes), Online (cours peuvent être suivi en ligne) et Course (cours avec des objectifs pédagogiques).

Un MOOC est un mode de formation en ligne qui accompagne une formation avec formateur, visant à créer un environnement plus attractif et plus interactif. Il se caractérise par la manière dont les cours sont conçus afin de soutenir et d'adapter les besoins des participants, l'introduction de nouvelles technologies ainsi que l'évaluation par les pairs qui est intégrée avec une collaboration entre ces pairs. Une autre caractéristique des MOOCs auxquelles différents auteurs se sont focalisée c'est l'interactivité entre les participants (Huang et Al., 2017 ; Gamage et Al., 2015 ; Breslow et Al., 2013 ; Li et Al., 2014, Pappano, 2012).

I.2.2. Typologies de MOOCs

La littérature distingue plusieurs typologies de MOOCs (Conole, 2016, Pilli et Al., 2016, Rosselle, 2014 ; Siemens, 2014 ; Donald, 2013 ; Cisel, 2013b ; Gilliot, 2013 ; Lane, 2012 ; Reich, 2012). Nous présentons dans ce qui suit les plus répandues :

I.2.2.1. Typologie proposée par Georges Siemens et Stephen Downes

Georges Siemens et Stephen Downes, pionniers du domaine, distinguent deux grands types de MOOC : cMOOC et xMOOC (Cf Figure 1). Les cMOOC (la lettre c signifiant connectivity) reposent sur la génération de savoirs par les apprenants (Siemens, 2014). Ils nécessitent un réel engagement personnel de l'apprenant, à la fois dans l'élaboration d'objectifs d'apprentissage et la production de contenus de cours grâce aux échanges entre les participants (Karsenti, 2013). Les xMOOC (centrés sur l'enseignant) se concentrent sur la transmission de

savoirs déjà existants afin d'obtenir une forme quelconque de certification de réussite. Ainsi, le contenu et les objectifs d'apprentissage sont définis par les professeurs et spécialistes du domaine.

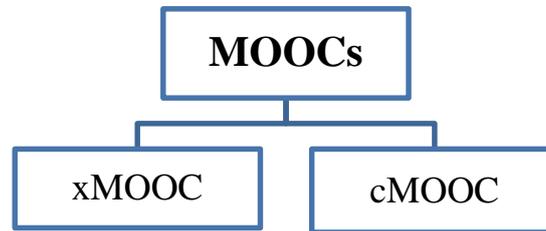


Figure 1: Typologie de MOOCs proposée par George Siemens et Stephen Downes

Les cMOOC sont les premiers à avoir été développés, nous pouvons citer les cours proposés par David Wiley's dans 'Open Education'⁸, 'Personal Learning Environments and Networks (CCK11)'⁹ et 'Learning Analytics (LAK12)'¹⁰ (Conole, 2015). Vu la complexité de conception des cMOOC, la majorité des MOOCs dispensés actuellement dans les plateformes (telles que Udacity, EdX et Coursera.) sont des xMOOC.

I.2.2.2. Typologie proposée par Lisa Lane

Lisa Lane a proposé trois types de MOOCs (Lane, 2012) : Network-based MOOC, Task-based MOOC et Content-based MOOC (Cf Figure 2).

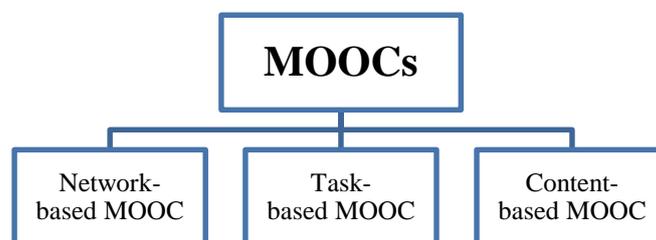


Figure 2 : Typologie de MOOCs proposée par Lisa Lane

- **Network-based MOOC** : sont des MOOCs qui ne s'intéressent pas au contenu ou à l'acquisition de connaissance, ils se focalisent plutôt sur l'interaction entre les participants ainsi que les connaissances socialement construites. La pédagogie de ces MOOCs est basée sur des méthodes du connectivisme.

⁸<https://learn.canvas.net/courses/4>

⁹<http://cck11.mooc.ca/>

¹⁰<http://lak12.mooc.ca/>

- **Task-based MOOC** : sont des MOOCs qui s'intéressent aux compétences des apprenants, en leur demandant de compléter certains travaux. Ce type de MOOC a tendance à être un mélange entre le connectivisme et l'instructivisme.
- **Content-based MOOC** : sont des MOOCs qui ne s'intéressent pas à la mise en place du réseau ou l'exécution des tâches. Ils ont tendance à utiliser la pédagogie instructivisme. Dans ce cas, l'évaluation traditionnelle, à la fois formative et sommative, peuvent être appliquées.

L'évaluation des apprenants est difficile à mettre en place dans le cas du Network-based et Task-based MOOC, mais plus simple dans le Content-based MOOC.

I.2.2.3. Typologie proposée par Donald Clack

Donald Clack (2013) a proposé dans son blog 8 catégories de MOOC (Cf Figure 3).

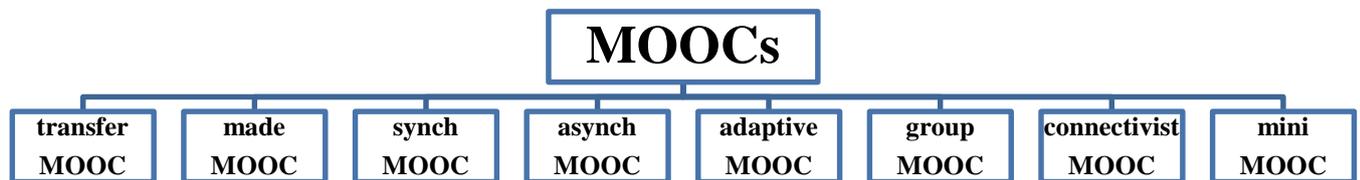


Figure 3 : Typologie de MOOCs proposée par Donald Clack

- **transferMOOCs** : est un MOOC qui se suffit d'un simple dépôt de cours dans une plateforme, afin de transmettre les connaissances. Coursera est l'une des plateformes qui permet de distribuer de tels cours.
- **madeMOOCs** : est un MOOC de nature professionnel qui introduit la vidéo, une variété de situations interactives ainsi que l'évaluation par pairs. Udacity utilise cette approche.
- **synchMOOCs** : dans ce type de MOOC une date de lancement et de fin du cours sont fixés. Ce type de MOOCs aligne la disponibilité des enseignants ainsi que celle des participants. Coursera et Udacity offrent cet avantage.
- **asynchMOOCs** : est un type de MOOC qui permet de suivre les apprenants sans fixer de dates. Ils peuvent travailler à leurs propres rythmes. Udacity offre ce type de MOOC pour réduire les taux d'abandon.
- **adaptiveMOOCs** : propose des apprentissages personnalisés à partir d'algorithmes de traitement de l'évaluation des apprenants. Cogbooks est un excellent exemple de ce type de MOOC.

- **groupMOOCs** : favorise le travail collaboratif de groupe. Les apprenants ont des mentors, qui permettent d'évaluer l'engagement et le progrès de chacun. NovoEd (formerly Venture Lab) est un exemple de plateforme proposant ce type de MOOC.
- **connectivistMOOCs** : est de type cMOOC, il se base sur la création et la production des connaissances. Il repose sur les liaisons entre apprenants que sur le contenu prédéfini, et ce, dans le but de partager les connaissances apportées par ces apprenants.
- **miniMOOCs** : Cours qui durent moins d'un semestre et qui sont centrés sur des sujets bien délimités. Ils sont plus appropriés pour des domaines précis ainsi que des tâches avec des objectifs d'apprentissage bien clairs. Le mouvement Open Badges tend à être aligné avec ce type de MOOC (Hayes, 2015).

I.2.2.4. Typologie proposée par Mattieu Cisel

Mattieu Cisel (2013b) propose dans son blog une typologie de MOOCs centrée sur le public visé. Quatre catégories semblent se dégager (Figure 4):

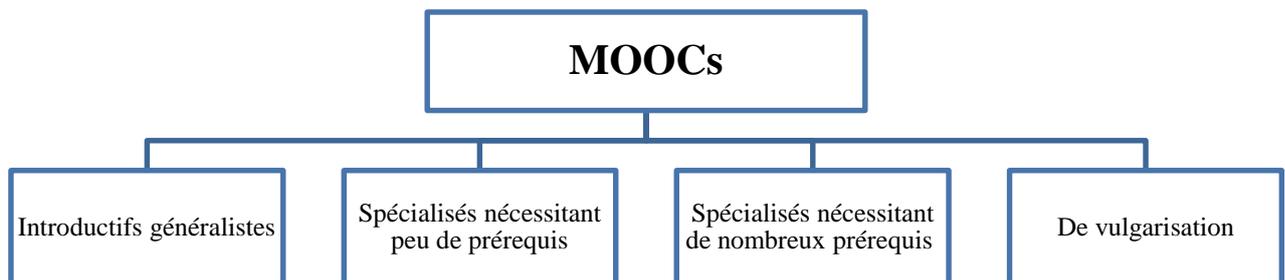


Figure 4 : Typologie de MOOCs proposée par Mattieu Cisel

- **Le cours introductif généraliste** : s'adressent à une audience importante où peu de prérequis sont nécessaires. Au sein de ces cours, l'auteur distingue les MOOCs portant sur des sujets généralistes et ceux traitant de sujets plus spécifiques. Ce type de MOOC est fréquent sur les plateformes américaines, telles que : Introduction to Pharmacy, (Ohio State University), Introduction to Philosophy (University of Edinburgh), ...etc.
- **Le cours spécialisé nécessitant peu de prérequis** : sont proches des cours introductifs généraliste, mais nécessitent un minimum de prérequis et permettent à une audience de suivre le MOOC tout en approfondissant sur le sujet. Computational Molecular Evolution (Technical University of Denmark), Epigenetic Control of Gene expression (University of Melbourne), English Common Law et Structure and

Principles(University of London International Programs) sont des exemples de ce type de MOOC.

- **Le cours spécialisé nécessitant de nombreux prérequis** : sont des MOOCs qui nécessitent de nombreux prérequis. Avant de proposer ce type de MOOC, il est essentiel de commencer par offrir des MOOCs introductifs pour éviter le risque de ne pas trouver le public à viser. Selon l'auteur, certaines universités américaines se dirigent à grands pas vers ce type de MOOC à haute valeur ajoutée.
- **Le cours de vulgarisation** : sont des MOOCs qui envisagent non seulement une simple transmission des connaissances mais aussi de véritables échanges avec le public. L'auteur distingue deux formats de cours : format conférence et format conférence-débat. Les cours de format conférence proches des cours introductifs, mis à part que l'audience visée est le grand public et non les étudiants. Les cours de format conférence-débat portent sur des sujets polémiques tels que le développement durable, nucléaire, etc.

I.2.2.5. Typologie proposée par Gráinne Conole

Gráinne Conole (2016) propose une classification de MOOCs à l'aide de 12 dimensions (voir Figure 5). A chaque dimension correspond trois niveaux : Faible, Moyen et Fort. L'auteur a donné l'exemple de cinq MOOCs dispensés par divers plateformes MOOC, qu'il a classé dans ces dimensions. Cette classification est adaptée et utilisée lors de la conception et l'évaluation des MOOC.

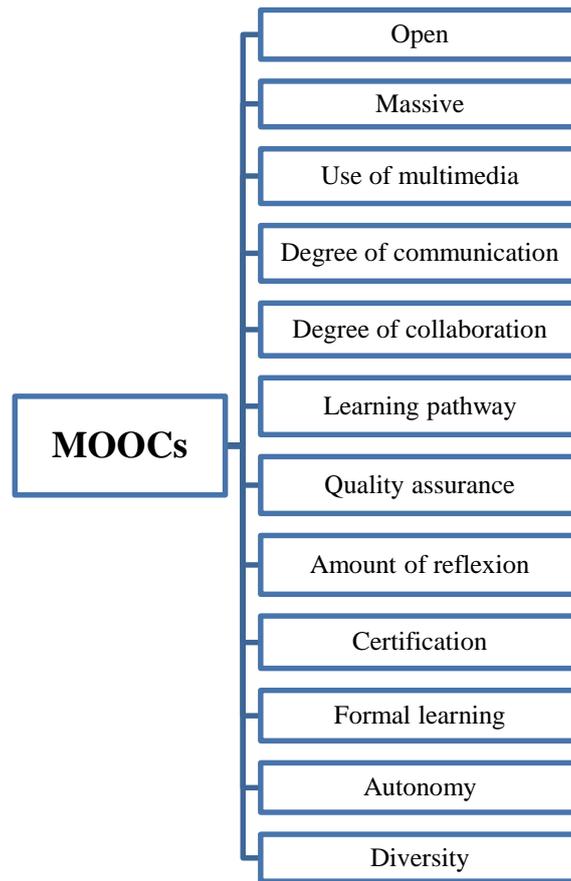


Figure 5 : Typologie de MOOCs proposée par Gráinne Conole

- **Degré d'ouverture (Open) :** la forte ouverture est l'un des facteurs caractérisant les cMOOCs. Le cours est dit fortement ouvert dans le cas où les participants sont encouragés à partager leurs résultats d'apprentissage et à participer à l'amélioration et même à la création du MOOC. Le degré d'ouverture diffère d'un MOOC à un autre.
- **Ampleur de la participation (Massive) :** la massivité constitue une autre caractéristique des MOOCs, des cours qui supportent un très large public. Toute personne peut suivre le MOOC. Cependant, certains MOOCs sont conçus à une certaines catégories de personnes.
- **Degré d'utilisation multimédia (Use of multimedia) :** Cette dimension concerne l'utilisation de différents types de ressources multimédias interactifs (PDF, Podcast, fichiers Power Point, etc.).
- **Degré de communication (Degree of communication) :** La communication entre participants dans les MOOCs se fait généralement via les forums de discussion. Le but étant d'offrir aux apprenants une entraide pour la compréhension de certains aspects du cours.

- **Degré d'intégration de la collaboration (Degree of collaboration)** : La collaboration entre apprenants est fortement présente dans les cMOOCs et moins dans les xMOOCs.
- **Type de parcours de l'apprenant (Learning pathway)** : Certains MOOCs dispensés offrent des versions avancée et allégée. Ceci permet à l'apprenant de choisir le parcours qu'il souhaite suivre.
- **Niveau d'assurance de la qualité (Quality assurance)** : Afin d'avoir des cours de bonne qualité, les créateurs MOOCs propose le contenu du cours pour les experts du domaine. Ceci permet de détecter les insuffisances et d'améliorer le MOOC avant d'être suivi par des milliers d'apprenants.
- **Degré d'encouragement à la réflexion (Amount of reflexion)** : Certains participants interagissent sur le MOOC suivi en dehors de la plateforme : sur les blogs, sur les réseaux sociaux, etc.
- **Niveau d'évaluation (Certification)** : Plusieurs niveaux de certification sont proposés par les MOOCs. Chaque apprenant est amené à réaliser des unités d'évaluation et même dans certains cas à payer certains frais pour qu'une attestation de réussite lui soit attribuée.
- **Manière de l'apprentissage (Formal Learning)** : informel ou formel.
- **Autonomie (Autonomy)** : Dans certains MOOCs l'intervention du tuteur est fréquente tout au long de l'apprentissage. Dans d'autres cas, les apprenants peuvent s'entraider entre eux mais sans un tuteur expert du domaine.
- **Diversité des participants (Diversity)** : Certains MOOCs sont dispensés pour une certaine catégorie de personnes et d'autres sont ouverts pour toute personne qui désire apprendre, peu importe l'âge, les prérequis, etc.

I.2.2.6. Autres Catégories de MOOCs

De nouvelles variantes de MOOCs ont émergé, dont certaines se sont éloignées un peu du concept original des MOOCs. Ces nouvelles variantes sont proposées pour améliorer l'apprentissage et l'expérience des apprenants (Sanchez-Gordon, 2014). Dans la suite, nous en énumérons quelques-uns :

- *SPOCs (Small Private Online Courses)*

Le SPOC est né du croisement du cours fermé et du MOOC : c'est un cours en ligne de type MOOC, mais réservé à un groupe fermé, composé de quelques dizaines ou centaines de

participants, beaucoup plus encadré, et qui demande généralement plus de travail que dans la version grand public (Lu, 2018 ;Fox, 2013). Comme dans les MOOC, les interactions entre participants jouent un rôle important ; il est fréquent d'y voir de petits groupes de pairs travailler ensemble dans un SPOC. Pour le grand public, l'accès à un SPOC est payant (beaucoup moins cher néanmoins qu'une session de formation en présence) et la réussite aux épreuves d'évaluation donne droit à une attestation de réussite.

- *SMOCs (Synchronous Massive Online Courses)*

Ce sont des cours, sous forme de MOOC, qui mettent l'accent sur l'accroissement de la participation des apprenants, l'établissement d'un sentiment d'appartenance à la communauté chez les apprenants et le sentiment d'appartenance à la classe pour tous les participants (Sanchez-Gordon, 2014). Ils sont encouragés à poser des questions et à interagir avec les instructeurs et leurs camarades de classe par le biais de groupes de discussion interactifs.

- *MOOR (Massive Open Online Research)*

Un MOOR est essentiellement un MOOC qui met un accent particulier sur la recherche. Il permet aux apprenants du monde entier (dans toutes leurs expériences et points de vue variés) de travailler ensemble de manière très pratique (Chammas, 2014). Au moins un expert en éducation estime qu'il a le potentiel d'améliorer les résultats d'apprentissage de manière significative (Hosler, 2014).

- *COOC (Community Open Online Course)*

Un COOC c'est un MOOC spécialisé dans le B to B, destinés aux salariés de l'entreprise, à des candidats potentiels ou plus largement à tous les partenaires de l'entreprise, afin de partager le savoir entre eux (Pfeiffer, 2015). Néanmoins, rassembler une équipe complète demande beaucoup d'effort, de temps et un budget conséquent. Les COOC sont l'équivalent des MOOCs mais dans un univers clos, généralement une entreprise d'une certaine taille : plusieurs centaines ou milliers de collaborateurs suivent le cours en même temps, et ce dernier est scénarisé comme un MOOC (Comrie, 2013). Un COOC, par définition, n'est pas ouvert au grand public.

- *POOC (Personalized Open Online Course)*

Un POOC met l'accent sur l'utilisation de la technologie pour analyser les caractéristiques qui caractérisent le profil d'apprentissage des apprenants et analyser leur production dans le réseau social afin d'établir des parcours d'apprentissage individualisés et d'obtenir des éléments

d'évaluation et de rétroaction dans le processus d'apprentissage (Sanchez-Gordon, 2014 ; Zapata-Ros, 2013).

- *Flex-MOOC*

C'est un MOOC qui offre du contenu dans des modules que l'apprenant peut rassembler en un "cours" adapté à ses besoins personnels et qui donne aux apprenants un contrôle sur le contenu, la séquence et la chronologie (Peck, 2013). Cette catégorie de MOOC met l'accent sur l'adaptation du contenu du cours selon le profil apprenant.

- *SPOC (Self-Paced Online Course)*

Les SPOCs ne posent pas la contrainte des semaines où dates (début et fin du cours). Les apprenants peuvent suivre le cours selon leur propre horaire, en prenant des détours éducatifs en cours de route si nécessaire (Muñoz-Merino, 2015).

Plusieurs autres catégories ont fait leur apparition depuis la création des MOOCs en 2012. Chacune s'intéresse à un aspect particulier pour concevoir le MOOC. Nous pouvons citer d'autres catégories telles que : MOOL (Massive Open Online Labs), MobiMOOC (Mobile MOOC), NOOCs (Nano Open Online Courses), HOOC (Hybrid Open Online Course), DOCCs (Distributed Online Collaborative Courses), etc.

I.2.3. Plateformes MOOC

Les MOOCs utilisent des plateformes qui rassemblent l'ensemble des cours et les mettent à la disposition des apprenants. Parmi les plateformes les plus connues nous pouvons citer : Coursera, EdX, Udacity et FUN.

- **Coursera**¹¹

Elle propose à ses participants (plus de 7,3 millions d'étudiants au mois de septembre 2014) une diversité de cours (plus de 400 cours produits par 87 universités en 7 langues) en libre accès (Lucien, 2013). Les apprenants qui s'y inscrivent constituent une large communauté virtuelle que fédère un forum où ils sont incités à se retrouver pour échanger et réaliser les exercices qui leur sont proposés. Ainsi, toutes les questions posées sont redirigées vers le / les enseignant(s) concerné(s). Daphne Koller suggère Coursera comme alternative à l'enseignement universitaire pour soulager les pays du tiers monde, notamment l'Afrique du Sud, de la pression qui les pousse à trouver leurs propres solutions indigènes pour accéder à l'enseignement supérieur (Bates, 2012). Le catalogue de cette plateforme est sans doute l'un de

¹¹ www.coursera.org

ses plus grands atouts. Nous retrouvons des sciences informatiques, de la biologie, de la physique, de la théologie, du droit, de l'histoire et plein d'autres domaines (Civera, 2014).

- **Open EdX¹²**

Cette plateforme comporte plus de 53 établissements d'enseignement supérieur. Elle propose à ses participants (2,5 millions) l'accès à des modules d'enseignements virtuels, des exercices, des matériaux de cours et un forum d'étudiants pour échanger entre eux autant qu'avec leurs enseignants (Lucien, 2013). Les cours sont dispensés par des professeurs d'université de premier plan recrutés dans les meilleures universités du monde (Ferschke, 2015). Open EdX est similaire à Coursera, cependant elle se concentre principalement sur des examens corrigés par ordinateur et non pas sur l'évaluation par les pairs. Le catalogue est moins fourni que celui de Coursera (Civera, 2014).

- **Udacity¹³**

La plateforme Udacity est née d'une expérience à l'Université de Stanford dans laquelle Sebastian Thrun et Peter Norvig ont proposé un cours sur l'intelligence artificielle (Shumski, 2013). Initialement, les MOOCs dispensés dans cette plateforme étaient sous forme de cMOOC. Les MOOCs proposés utilisent toutes les capacités que permettent les techniques de communications et d'interaction modernes et sont complétés par des exercices qui offrent aux apprenants la possibilité de vérifier couramment le niveau des connaissances qu'ils ont acquises (Lucien, 2013). Cependant, les cours offerts sont principalement orientés vers l'informatique et les sciences. L'inconvénient de cette plateforme est que les cours sont payants contrairement aux à EdX ou à Coursera où nous retrouvons des MOOCs gratuits et payants. Sur certains cours d'Udacity il est possible de visionner les vidéos gratuitement, mais il n'est pas possible de participer aux projets des classes, ni recevoir un certificat (Civera, 2014).

- **FUN¹⁴ (France Université Numérique)**

La plateforme FUN arrive en tête de l'offre française. Lancée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche en octobre 2013. Tous les cours présents sur FUN sont conçus par des professeurs d'universités et écoles françaises et leurs partenaires académiques internationaux. Il est à noter que cette plateforme utilise le code source d'open EdX (Civera, 2014). Nous retrouvons donc une interface et des systèmes d'examens, cours, etc. quasi identiques de celle d'EdX. Cependant, dans FUN, nous remarquons des outils et moyens

¹² www.edx.org

¹³ www.udacity.com

¹⁴ www.fun-mooc.fr

d'évaluation beaucoup plus sophistiqués ainsi qu'une interface plus conviviale que les autres plateformes MOOC.

I.3. Avantages des MOOCs

Les MOOCs sont des cours en ligne proposés de plus en plus par des universités de par le monde. De nombreux établissements de forte renommée offrent depuis le lancement des MOOCs en 2012 ce type de formation car ils offrent de nombreux avantages. En se basant un ensemble d'article publiés (Haddadi et Al., 2017c ; Gamage et Al., 2015 ; Jansen et Al., 2015 ; Boyatt et Al., 2014 ; Colajanni et Al., 2014 ; Guo et Al., 2014 ; Hollands et Al., 2014 ; Lane et Al., 2014 ; Luo et Al., 2014 ; Mazoue et Al., 2014, Yousef et Al., 2014; Kay et Al., 2013 ; Siemens, 2013 ; Stewart, 2013 ; Mackness et Al., 2010), nous avons recensés les avantages des MOOCs qui se résument comme suit :

- Les MOOCs sont gratuits et ouverts à toutes personnes intéressées (Gamage et Al., 2015 ; Lane et Al., 2014 ; Siemens, 2013, 2010, Stewart, 2013).
- Les participants n'ont besoin que d'un ordinateur et d'une connexion internet pour suivre un MOOC dispensé par universités prestigieuses du monde entier comme Oxford, Harvard, MIT, etc. sans avoir à se déplacer dans un établissement (Guo et Al., 2014 ; Hollands et Al., 2014 ; Siemens, 2013).
- Les productions des apprenants peuvent être critiquées par les autres participants au MOOC dans le cadre de l'évaluation par les pairs (Luo et Al., 2014 ; Yousef et Al., 2014).
- Les MOOCs suppriment toutes les charges exorbitantes que coûtent l'école (Colajanni et Al., 2014 ; Hollands et Al., 2014) comme les salles de cours (les tables, les bureaux, etc.), l'eau, l'électricité, la rémunération du personnel, etc.
- Les MOOCs proposent des vidéos de cours, en général très courtes, et à des fonctionnalités d'interaction entre les participants (Gamage et Al., 2015 ; Boyatt et Al., 2014 ; Kay et Al., 2013 ; Mackness et Al., 2010). Ces fonctionnalités sont mieux développées que les précédents systèmes de la E-éducation en ligne en permettant par exemple aux participants de poser des questions et de se faire aider par ses pairs et le travail d'équipe qui est vivement encouragé.
- Pour une perspective de recrutement, les MOOCs semblent être un moyen renforçant le CV (Haddadi et Al., 2017c ; Jansen et Al., 2015 ; Mazoue et Al., 2014). En effet, suivre

et obtenir des certificats MOOCs est une preuve qu'une personne peut facilement s'investir lui-même dans n'importe quel domaine.

- Les personnes ayant une activité professionnelle intense peuvent suivre les cours à distance à l'heure qui les arrangent sans avoir la contrainte de se déplacer.
- Ce mode de formation permet d'améliorer le cours proposé en tenant compte des critiques et commentaires des apprenants ayant suivis le MOOC,

I.4. Défis des MOOCs

Les MOOCs combinent les avantages des systèmes de la E-éducation, tout en assurant la gratuité des formations, ainsi que la massivité et l'interaction entre participants. Néanmoins, quelques défis nécessitent d'être soulevés. En se basant sur un ensemble d'articles publiés (Jung et Al., 2018 ; Xing et Al., 2018 ; Bakki et Al., 2015 ; Koutropoulos et Al., 2015 ; Colajanni et Al., 2014 ; Gasevic et Al., 2014 ; Sheard et Al., 2014 ; Cisel et Al., 2013 ; Clow, 2013 ; Hill, 2013 ; Kizilcec et Al., 2013 ; Meinel et Al., 2013 ; Yuan et Al., 2013 ; Hill, 2012 ; Kop, 2011), nous avons recensés les défis des MOOCs qui se résument comme suit :

- Les apprenants sont livrés à eux-mêmes (Meinel et Al., 2013). Ils sont responsables de leur propre apprentissage, car ils ne sont pas suivis par des enseignants, comme dans les cours en présentiel.
- Les plateformes, telle que Coursera, commencent à mettre en place des services payants. La caractéristique « Open » des MOOCs, est remise en cause car beaucoup de plateformes exigent un paiement pour pouvoir avoir accès au MOOC.
- La conception d'un MOOC nécessite des moyens, une équipe pédagogique et technique, studio d'enregistrement, etc. Ce qui engendre un coût de réalisation proportionnellement élevé et un investissement en temps considérable (Cisel et Al., 2013).
- Une attention a été portée par plusieurs chercheurs sur le manque de motivation des apprenants dans les MOOCs (Koutropoulos et Al., 2015 ; Yuan et Al., 2013). Il est important d'appréhender la diversité des motivations des uns et des autres pour répondre aux besoins des apprenants et maintenir un niveau élevé de motivation tout au long du cours. La motivation, notamment intrinsèque, est étroitement liée à l'engagement et la satisfaction des apprenants. En effet, la non satisfaction et le non engagement des participants représentent deux autres challenges qui nécessitent beaucoup d'intérêts de

la part des chercheurs (Jung et Al., 2018 ; Koutropoulos et Al., 2015 ; Sheard et Al., 2014 ; Kizilcec et Al., 2013 ; Kop, 2011).

- Le taux élevé d'abandons constitue l'un des plus grand défis dans les MOOCs. Nombreux sont les travaux de recherche qui ont abordé la problématique du taux élevé l'abandon (Xing et Al., 2018 ; Gasevic et Al., 2014 ; Clow, 2013). Certains auteurs affirment que ces taux peuvent s'expliquer par un problème de motivation et l'engagement des participants (Cisel et Al., 2013 ; Clow, 2013). D'autres études se sont mises en place autour de l'engagement des apprenants au sein d'un MOOC (Hill, 2013 ; Kizilcec et Al., 2013). D'un autre point de vue, l'abandon est souvent lié à la difficulté de l'apprentissage en autonomie mais aussi au manque d'outils et méthodes qui permettent de personnaliser les activités pédagogiques (Bakki et Al., 2015).
- Les apprenants peuvent préférer une structure d'apprentissage plus traditionnelle de type cours en présentiel. Avec les MOOCs, il n'existe pas de liens directs entre apprenants et tuteurs. Les relations et interactions sociales entre participants sont remises en cause. Beaucoup de personnes croient qu'il est impossible d'apprendre seulement à l'aide d'outils en ligne, et que l'interaction en personnes est nécessaire.
- Ce mode d'enseignement n'est pas adapté à tous les profils. Certaines personnes espèrent obtenir un diplôme reconnu. Cependant, les certificats délivrés par les plateformes MOOCs ne sont pas reconnus par le ministère.

Nous avons également recensés un ensemble de limites concernant la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs. Ces limites sont présentées dans le chapitre IV.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait un tour d'horizon des systèmes de la E-éducation. Nous avons détaillé la dernière génération de ces systèmes en l'occurrence les MOOCs, objet de notre travail. Nous avons donné un aperçu général sur les MOOCs notamment sur les typologies, plateformes, avantages et défis. Le prochain chapitre présente une étude bibliographique sur la modélisation des apprenants dans les systèmes de la E-éducation.

Chapitre II : Modélisation des Apprenants dans les Systèmes de la E-éducation

Introduction

La modélisation de l'apprenant est une représentation exploitable des apprenants qui vise à donner une description aussi complète et fidèle que possible des caractéristiques (cognitives, intellectuelles, motivationnelles, comportementales, etc.) de l'apprenant (Woolf, 2010). L'intérêt de cette modélisation réside dans le fait qu'elle s'articule parfaitement avec les conditions d'un système d'enseignement informatisé (Giardina et Al., 1999). En effet la prise en compte des profils apprenants, permet aux systèmes de les identifier, mesurer leurs performances, etc. Dans ce chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les différentes informations (caractéristiques) modélisées, la catégorie de modèles d'apprenants existants, les processus d'élaboration de ces modèles ainsi que quelques techniques de représentation des connaissances de l'apprenant.

II.1. Paramétrage du modèle apprenant

Le Modèle de l'Apprenant (MA) contient un ensemble d'information structurées, de natures très diverses, permettant de sauvegarder et gérer les informations sur l'apprenant (Brusilovsky, 1994). Le rôle du MA est essentiellement de suivre la progression de l'apprenant et de contribuer à la personnalisation de son apprentissage (Wenger, 1987, 2014). Cette personnalisation considère l'adaptation de l'enseignement ainsi que la planification et l'organisation des activités et des contenus pédagogiques. Le MA doit également prendre en compte le cheminement de l'apprenant pour présenter des situations d'apprentissage adaptées au profil de l'apprenant. Ce dernier fait référence aux informations concernant un individu donné dans un contexte donné, alors que le terme de modèle correspond à la modélisation générique des apprenants dans un système informatique (Jean-Daubias et Al., 2010). Le profil peut être considéré comme l'instanciation du modèle de l'apprenant dans le système (Jean-Daubias et Al., 2009). Les informations contenues dans le profil sont déduites à partir d'une ou plusieurs activités pédagogiques, qu'elles soient ou non informatisées.

Il n'existe pas de modèle à contenu standard. Beaucoup de travaux ont été menés afin de construire les modèles adaptés au contexte (Sottolare et Al., 2013 ; Zhang, 2010 ; Kobsa, 2001 ; Kass, 1991 ; Brusilovsky, 1996 ; Borgman, 1989). Dans cette section, nous avons présenté quelques travaux avec une étude comparative.

II.1.1. Modèle apprenant selon Self (1988)

Self considère ce modèle comme un quadruplet (P, C, T, H) de paramètres, où :

- 'P' décrit les connaissances procédurales de l'apprenant,
- 'C' représente les connaissances conceptuelles de l'apprenant,
- 'T' représente les traits particuliers de l'apprenant,
- 'H' décrit les traces d'un apprenant.

L'auteur a identifié six principales fonctionnalités qu'un système d'apprentissage doit assurer :

- Corriger les erreurs de l'apprenant.
- Intervenir pour compléter les connaissances de l'apprenant.
- Changer de stratégie suite à l'analyse des traces de l'apprenant.
- Découvrir et déduire les intentions de l'apprenant.
- Prévoir le comportement de l'apprenant en simulant le MA.
- Reconstruire le processus d'apprentissage à partir de son historique.

II.1.2. Modèle apprenant selon Brusilovsky (1996)

Brusilovsky (2007, 1996) représente de façon explicite certains types d'informations modélisées dans les hypermédias adaptatifs. Ces informations peuvent être exploitées dans différents environnements d'apprentissage en ligne. Elles permettent d'avoir une idée générale sur le contenu du modèle apprenant. Ces informations sont : la connaissance, l'expérience, le background, les buts et les traits individuels.

- *La connaissance*

Stocke des valeurs qui reflètent le niveau de connaissance de l'apprenant. Le modèle de connaissances peut être représenté par un ensemble de couple (connaissance, valeur) pour chaque concept du domaine. La connaissance est fréquemment mise à jour par le système. Selon Brusilovsky (2007), les connaissances d'un apprenant peuvent à la fois être enrichies (par apprentissage) ou diminuées (par oubli ou perte) d'une session à l'autre et même au sein d'une même session. Cela signifie qu'un système doit reconnaître les changements dans l'état des connaissances de l'apprenant et mettre à jour le MA en conséquence.

- *Les intérêts*

Ce paramètre décrit les intérêts de l'apprenant portés à des objets particuliers (ressources, activités, etc.), à un ou plusieurs concepts du cours, etc. Les dispositifs d'apprentissage doivent éveiller les intérêts de l'apprenant en vue de développer leurs méthodes de raisonnement, leurs savoir-faire et leur sens des responsabilités. La plupart des systèmes de le E-éducation n'accordent pas beaucoup d'attention aux intérêts des utilisateurs, mais se concentrent plutôt sur les objectifs d'apprentissage lors de l'ordonnancement du contenu éducatif. Cependant, ce paramètre a toujours constitué la partie la plus importante du profil dans les systèmes adaptatifs et les systèmes de recommandation Web.

- *Les buts*

Ce paramètre est la caractéristique qui répond à la question : Que veut l'utilisateur? Les buts constituent la caractéristique la plus changeante d'un apprenant. Ces buts peuvent être modifiés de session en session et même des fois au cours d'une même session de travail. Brusilovsky distingue deux types de buts : le but d'apprentissage global (qui s'étend tout au long d'une session d'apprentissage) et les tâches de résolution de problème (qui peuvent varier pendant une session d'apprentissage).

- *Le background*

C'est l'ensemble des informations liées aux expériences antérieures de l'apprenant, sa profession, ses responsabilités professionnelles, les compétences linguistiques, etc. La représentation et le traitement des backgrounds apprenants, en particulier dans les systèmes adaptatifs, sont différents. La façon courante de modéliser cette caractéristique du MA est un simple modèle stéréotypé et elle ne change généralement pas pendant et durant la session d'apprentissage. Par conséquent, les backgrounds sont généralement fournis explicitement, soit par l'utilisateur lui-même, soit par un tuteur, soit en se basant sur certaines informations stockées dans profil.

- *Les traits individuels*

Ce sont des informations qui ne sont pas soumises à des changements rapides. Chaque apprenant a ses propres traits (préférences). Bien que différents types de traits d'utilisateur soient amplement discutés dans la littérature psychologique, les travaux actuels sur la modélisation et l'utilisation de traits individuels pour la personnalisation se concentrent principalement sur deux groupes de traits : les styles cognitifs et les styles d'apprentissage. La littérature distingue un certain nombre de dimensions dans lesquelles les styles cognitifs des

utilisateurs peuvent différer : dépendants / indépendants, impulsifs / réfléchissants, conceptuels / inférieurs, thématiques / relationnels, analytiques / globaux (Chen et Al., 2002). Les styles d'apprentissage sont proches des styles cognitifs, mais leur champ d'application est plus étroit en raison de son accent sur l'apprentissage humain.

II.1.3. Modèle apprenant selon Zhang (2010)

Zhang a classifié les paramètres à prendre en considération lors de la construction du MA pour permettre à un EIAH de réaliser ses diverses fonctionnalités, notamment la personnalisation de l'apprentissage. La classification proposée est divisée en cinq catégories : données personnelles, caractéristiques de l'apprenant, état d'apprentissage, connaissances, interaction (système et étudiant).

- Données personnelles

Elles contiennent des informations générales sur l'apprenant, telles son nom, son âge, genre, ses expériences, ses formations, etc. Ces données personnelles ont des liens moins importants avec la personnalisation de l'apprentissage ou l'évaluation des connaissances de l'apprenant.

- Caractéristiques de l'apprenant

Dans cette catégorie, l'auteur inclut les caractéristiques générales ou psychologiques de l'apprenant, tel que son but d'apprentissage, son type d'apprentissage, ses préférences de style d'apprentissage, ses expériences informatiques, son niveau de concentration, le niveau de détail désiré, sa disponibilité, etc. Ces caractéristiques peuvent être exploitées pour préciser les besoins anticipés de chaque apprenant.

- Etat d'apprentissage

Cette catégorie contient des informations sur : le chemin (historique) d'apprentissage, le plan des activités et d'apprentissage, le programme suivi, etc. Ces informations sont utilisées pour analyser et conserver la situation de l'apprenant.

- Connaissances de l'apprenant

Les informations sauvegardées sont : le niveau de connaissances, les notes des examens, les patrons d'échecs, l'explication des erreurs commises et/ou incompréhensions, les croyances de l'apprenant, les concepts acquis et non acquis et les degrés de correction. Les données des autres catégories peuvent être utilisées pour inférer les connaissances de l'apprenant dans un but de personnalisation de l'apprentissage.

- *Interaction (système et étudiant)*

Ces interactions peuvent être subdivisées en deux sous parties : les visites du système et les réponses aux questions. Pour les visites, le MA tient compte des visites sur les contenus pédagogiques, telles le nombre de visites d'une même unité, la durée de la même visite, le type de contenu, moment / heure de l'interaction, etc. Le nombre d'exemples ou d'aides demandés est aussi enregistré. Ensuite, les réponses incluent les réponses correctes et les réponses erronées.

II.1.4. Modèle apprenant selon Sottolare et Al. (2013)

Les caractéristiques retenues par Sottolare et Al., sont classifiées en deux grandes catégories : les informations spécifiques au domaine et les informations indépendantes du domaine.

- *Les informations spécifiques au domaine*

Ce sont des informations dynamiques et automatiquement mises à jour par le système. Elles reflètent l'état et le niveau de connaissances de l'apprenant dans un domaine particulier. Certaines de ces informations sont obtenues directement en observant les actions de l'apprenant, où bien elles sont inférées à partir d'autres données. Ce type d'information comprend principalement les connaissances acquises au fil du temps, les erreurs commises, les stratégies de résolution de problèmes, etc.

- *Les informations indépendantes du domaine*

Sont des informations qui englobent les données personnelles (nom, prénom, âge, etc.) et les caractéristiques de l'apprenant (objectifs d'apprentissage, motivations, préférences, etc.). Ces informations sont relativement statiques et elles sont généralement fournies par les apprenants eux-mêmes en remplissant des questionnaires. Certaines données peuvent être changées durant le processus d'apprentissage.

II.1.5. Etude comparative

La modélisation de l'apprenant peut concerner un ou plusieurs aspects de l'apprenant : les concepts non maîtrisés, les erreurs commises, le comportement, les préférences, le niveau de concentration, les styles d'apprentissage, les connaissances, etc. Le choix du contenu dépend essentiellement du domaine d'enseignement, des objectifs didactiques et pédagogiques du système, des types possibles d'interactions avec l'apprenant, etc. Cependant, certains paramètres tels que la connaissance (état cognitif), les préférences et l'état de l'apprentissage (historique)

existent dans tous les modèles. Ces paramètres sont indispensables pour le fonctionnement de tout système de la E-éducation. Le tableau 1 une comparaison entre certains MA proposés dans la littérature.

Tableau 1: Comparaison entre certains MA proposés dans la littérature

caractéristiques du MA		(Sottolare et Al., 2010)	(Zhang, 2010)	(Brusilovsky, 1996)	(Self, 1988)
Connaissance (Etat cognitif)		+	+	+	+
Caractéristiques générales et psychologiques	Préférences	+	+	+	+
	Styles d'apprentissage	+		+	+
	Intérêts d'apprentissage			+	
	Niveau de concentration	+			
	Disponibilité	+			
	Buts (motivations) d'apprentissage			+	+
	Stratégies de résolution de problème		+		
Données personnelles (nom, prénom, âge, genre, etc.)		+	+	+	
Expériences et formations			+	+	
Etat d'apprentissage (Historique)		+	+	+	+
Interaction (apprenant, système)			+		+

A travers notre étude, nous avons déduit qu'il n'existe pas un contenu standard pour tous les modèles des systèmes de la E-éducation. Le MA est proposé selon de contexte de l'étude. Brusilovsky par exemple propose un contenu du MA le plus adapté dans le contexte hypermédia adaptatif. Sottolare de son côté englobent les différentes caractéristiques en deux grandes catégories : spécifique et indépendantes du domaine. Zhang s'est basé sur 15 articles pour proposer les éléments du MA dont le système aura besoin dans un but de personnalisation de l'apprentissage.

II.2. Catégories de Modèle Apprenant

Il existe plusieurs typologies de modèle apprenant (Holt et Al., 1994 ; Kass, 1987 ; Zhang, 2010). Holt (1994) et Kass (1987) proposent une catégorisation en sept types de modèle : implicite, explicite, statique, dynamique, spécifique, de surface et profond. Il est à noter qu'un modèle peut appartenir à plusieurs catégories différentes, c'est-à-dire il peut être implicite et dynamique en même temps.

- *Le modèle Implicite / Explicite*

Un modèle est dit implicite lorsque les informations décrivant le comportement de l'apprenant et influençant le déroulement de l'interaction sont incorporées et utilisées par le concepteur dans le système. Les modèles implicites sont construits en utilisant toutes les informations que l'apprenant fournit à son insu via le système. Un modèle est dit explicite lorsque les informations sur l'apprenant sont séparées du reste du système. Les modèles explicites sont construits à partir des informations fournies par les apprenants concernant leurs domaines d'intérêts, leurs préférences, etc.

- *Le modèle Statique / Dynamique*

Un modèle statique est un modèle où les connaissances de l'apprenant sont déterminées avant de commencer une nouvelle session et ne peuvent être susceptible à un changement. Un modèle dynamique est fréquemment mis à jour. Les informations de ce modèle peuvent être ajoutées ou modifiées en cours de session.

- *Le modèle de surface / profond*

Un modèle apprenant est dit de surface s'il ne contient que les éléments décrivant le comportement déductible à partir des réponses de l'apprenant. Un modèle profond est un modèle qui contient des caractéristiques plus représentatives de l'état cognitif de l'apprenant comme les erreurs commises, les incompréhensions, etc.

- *Le modèle spécifique*

Lorsqu'un modèle peut être adapté à une catégorie d'apprenants, il est dit modèle spécifique.

Zhang propose une autre catégorisation du MA (Zhang, 2010) à savoir : le modèle cognitif, le modèle dynamique, le modèle distribué, le modèle incertain, le modèle collaboratif, le modèle interactif et le modèle avec méprise.

- *Le modèle cognitif*

Des caractéristiques cognitives de l'apprenant tels que : l'attitude de l'apprentissage, la capacité de la mémoire, etc. sont souvent incluses dans le MA. Le modèle cognitif signifie que les caractéristiques cognitives sont mises en avant lors de la modélisation. Le but étant d'adapter des stratégies pédagogiques aux besoins de l'apprenant en lui proposant des contenus pertinents au moment opportun. De nombreux chercheurs (Kavcic, 2004 ; Dimitrova et Al., 2003) ont appliqué les théories cognitives à la modélisation dans diverses mesures.

- *Le modèle dynamique*

Cette catégorie sauvegarde en temps réel des informations relatives à l'interaction entre l'apprenant et le système telles que les visites du système, les réponses aux questions, etc. Ces informations peuvent être modifiées dynamiquement durant le processus d'apprentissage. Cependant, le système doit supporter la navigation dynamique dans les ressources pédagogiques et adapter le contenu de façon active.

- *Le modèle distribué*

Le modèle distribué consiste à recueillir des informations sur l'apprenant à partir de sources potentiellement diverses. Ces informations peuvent être des données brutes enregistrées par une application, des informations enregistrées par un tuteur ou des pairs, un historique des actions de l'apprenant, etc. (McCalla et Al., 2000). Cette catégorie de MA est fréquemment utilisée dans l'environnement distribué.

- *Le modèle incertain*

Le modèle incertain se focalise sur le traitement de l'incertitude des connaissances des apprenants. Ce traitement pourrait assister les tuteurs et aider à atteindre certains résultats sur les connaissances de l'apprenant ou sur les stratégies pédagogiques, à partir d'autres informations (Hatzilygeroudis et Al., 2004). Ces informations concernent par exemple le niveau de connaissances de l'apprenant qui sont souvent imprécises et incomplètes dans la situation réelle.

- *Le modèle collaboratif*

Ce genre de modèle est exploité dans le contexte de l'apprentissage collaboratif. Il permet de repérer des pairs qui pourraient donner ou voudraient recevoir des rétroactions au sujet de certains aspects de leurs travaux (McCalla et Al., 2000). Le système peut également assembler des étudiants selon des paramètres pertinents, pour résoudre un problème et surmonter un obstacle de façon coopérative.

- *Le modèle interactif*

Le modèle interactif, appelé aussi modèle ouvert, met à disposition de l'apprenant le contenu du modèle qui était jusque-là conservé dans les systèmes. Il permet aux apprenants d'avoir un certain contrôle sur l'inspection du diagnostic et sur la modification du contenu du modèle. Cette catégorie de modèle semble efficace puisqu'elle provoque une réflexion plus approfondie chez l'apprenant et lui fait prendre conscience de l'état de ses connaissances (forces

et faiblesses) pour lui faciliter sa réflexion sur son apprentissage (Bull et Al., 2005). L'ouverture de ce modèle facilite la comparaison des progrès des apprenants au fil du temps. Il permet également de comparer leurs propres progrès avec ceux des pairs (Bull et Al., 2004 ; Mabbott, 2006). Ce modèle est utilisé pour encourager les apprenants à réfléchir sur leurs apprentissages et adapter l'enseignement à l'individu ou au groupe (Dimitrova et Al., 2003 ; Kay, 2000).

- *Le modèle avec méprise*

Le modèle avec méprise stocke les différentes erreurs et/ou incompréhensions fréquentes des apprenants ainsi que les explications et/ou causes de ces erreurs. Cette catégorie de MA est généralement employée pour simuler le processus de résolution de problèmes et diagnostiquer ses erreurs potentielles (Kabassi et Al., 2004). Elle est également utilisée pour la construction automatique d'exercices, par exemple dans les cas de questions à choix multiples, pour produire automatiquement les réponses erronées les plus couramment données par les étudiants (Chun-Yu, 2004).

Il est difficile de donner à ces différentes catégories des frontières rigides et définitives (Zhang, 2010). Certains modèles possèdent plusieurs caractéristiques et peuvent donc appartenir à plusieurs catégories différentes. Cependant, le choix d'un modèle apprenant reste une tâche délicate, en particulier les caractéristiques évolutives de ces modèles. Nous distinguons trois éléments essentiels à prendre en considération lors de la construction du modèle apprenant :

- Il faut vérifier si un modèle devra, au-delà des connaissances de l'apprenant, tenir compte de variables telles que son style d'apprentissage, sa motivation, ses intérêts et ses stratégies métacognitives.
- Il faut penser aux mécanismes de mises à jour de certaines informations, générées ou non par le système. Tout nouveau comportement de l'apprenant doit s'ajouter à la base des informations disponibles. Le modèle doit également être susceptible aux modifications.
- Le modèle doit être mis en œuvre de façon à offrir de l'aide à la décision, le contenu du cours, l'orientation de l'apprenant, l'e-recrutement, etc.

II.3. Processus d'élaboration du Modèle Apprenant

Le processus d'élaboration du MA est divisé en trois principales étapes : définition des paramètres du modèle, initialisation et mise à jour.

II.3.1. Définition des paramètres

Cette première étape est la phase la plus importante dans le processus d'élaboration du MA car c'est là que l'on s'interroge sur ce que l'on cherche à modéliser et sur le comment on va le faire. La définition des paramètres du MA (construction d'un MA) consiste à définir la nature et la signification des informations qui vont figurer dans le modèle ainsi que leurs représentations informatiques (Fragne, 2009). Elle consiste également à déterminer les liens entre les différents éléments concrets qui sont nécessaires dans la problématique annoncée.

En effet, il est important de déterminer la façon de représenter efficacement la structure des éléments constituant le MA et d'extraire les informations à partir des études empiriques (Hatzilygeroudis et Al., 2004). Deux aspects nécessitent réflexion lors de la construction du MA : la composition ainsi que la représentation d'un MA. Ces aspects sont liés entre eux et s'influencent mutuellement (Zhang, 2010). Rajoutons à cela, la modélisation des connaissances des apprenants qui est une question cruciale dans le développement du MA. Cette modélisation permet de connaître et mettre en évidence les informations sur le parcours de l'apprenant, ses connaissances et ses compétences pour proposer un apprentissage adapté au profil apprenant.

II.3.2. Etape d'initialisation

L'initialisation est une étape aussi importante dans le processus du développement du MA. Un profil initial d'apprenant peut être construit manuellement par des pré-tests, à travers des valeurs précédentes, des stéréotypes, des valeurs par défaut ou de façon vide. Cependant, pour obtenir de meilleures performances, certains systèmes combinent plusieurs méthodes d'initialisation :

- *Manuellement* : Le système propose à l'apprenant un questionnaire (pré-test) concernant ses préférences, les domaines qui l'intéressent, etc. Certains systèmes fournissent un test simple sur les concepts du cours avant de commencer son apprentissage pour connaître le niveau de connaissances initial de l'apprenant. Ce type d'initialisation est souvent appliqué (Carmona et Al., 2004 ; Cheung et Al., 2003) car elle est pratique et relativement facile à implémenter.

- *A travers des valeurs précédentes* : Dans ce cas, des données antérieures sont utilisées pour initialiser le profil apprenant. Par exemple, les expériences (modèles) précédentes des étudiants individuels ou des groupes sont utilisées comme stéréotypes pour les futurs apprenants qui sont introduites par Atif et Al. (2003).
- *A travers des stéréotypes* : Les stéréotypes c'est le groupement des apprenants en fonction de certaines informations (personnelles, connaissances, etc.) (Kay, 2000b). Chaque apprenant est donc assigné à une des classes prédéfinies (soit des stéréotypes). La tâche majeure de l'initialisation revient à sélectionner le stéréotype approprié pour un apprenant (Hatzilygeroudis et Al., 2004). L'inconvénient de cette méthode c'est qu'elle a besoin de toutes les informations personnelles de l'apprenant mais parfois qui ne sont pas toujours disponibles (Berkane, 2012). Il est donc difficile de faire une classification en se basant sur des informations manquantes.
- *A travers des valeurs par défaut* : Des valeurs initiales sont assignées selon le cas dans le processus du traitement. Ces valeurs sont ensuite ajustées durant le processus d'apprentissage (Virvou et Al., 2003). Les valeurs par défaut sont utilisées fréquemment dans les systèmes traditionnels.
- *De façon vide* : Lorsque l'apprenant interagit avec le système, son profil va être mis à jour, mais initialement tout est vide 'NULL'.

II.3.3. Mise à jour

Le MA est mis à jour durant le processus d'apprentissage. Des techniques implicites (feedbacks de l'apprenant) et explicites (feedbacks du système) sont utilisées. Les techniques implicites se basent sur des mesures calculées pour obtenir les informations à mettre à jour. Ces informations ne permettent pas à l'apprenant de donner explicitement un feedback. Les techniques explicites se basent sur les changements effectués suite à des commandes apprenants tel que les préférences. Cette technique est largement utilisée mais elle présente un problème concernant la véracité des informations.

Afin d'obtenir des résultats satisfaisants, les deux techniques sont souvent combinées. Cependant, certains éléments du MA sont fréquemment mis à jour tel que les scores, les concepts préférés, les erreurs commises, etc. Il est donc important d'avoir des techniques supportant ces changements réguliers.

II.4. Approches de modélisation des connaissances des apprenants

Il existe plusieurs techniques de représentation de la connaissance de l'apprenant. Parmi ces techniques, nous présentons la technique de recouvrement (Overlay), la technique avec méprise (Budget) et celle de perturbation (Mixte).

II.4.1. Modèle de représentation par recouvrement (Overlay model)

Cette approche consiste à représenter les connaissances de l'apprenant comme un sous-ensemble des connaissances de l'expert (Carr et Al., 1977). Elle permet d'attribuer à chaque concept d'un cours donné, une valeur booléenne (1,0) ou (oui, non), indiquant les éléments que l'apprenant connaît et ceux qu'il ne connaît pas (Brusilovsky et Al., 2007). Cette approche est largement appliquée depuis qu'elle a été proposée par Carr et Goldstein en 1977 (Virvou et Al., 2003). Parmi les premiers systèmes se reposant sur ce type modèle nous pouvons citer : SCHOLAR (Carbonell, 1970) et GUIDON (Clancey, 1979). Cependant, l'inconvénient avec une telle approche c'est qu'elle ne permet pas de rendre compte de la façon dont la connaissance évolue par des processus (Danine, 2010). De plus, les travaux sur la modélisation des connaissances de l'apprenant basés sur cette approche ne permettent pas de prendre en considération les résultats incorrects de l'apprenant. D'où l'approche de modélisation avec méprise (Buggy model).

Le modèle de recouvrement a été étendu vers le modèle différentiel qui intègre les lacunes et la notion de connaissances attendues par rapport à un niveau d'enseignement. Cette nouvelle approche ne retient que les entités qui représentent la différence entre la connaissance de l'expert et celle acquise par l'apprenant. Le premier système utilisant ce modèle est WEST (Brown et Al., 1978).

II.4.2. Modèle de représentation avec méprise (Buggy model)

Ce type de modélisation prend en compte les erreurs commises par un apprenant sur les connaissances supposées maîtrisées par l'apprenant et dont l'origine est les croyances erronées de l'apprenant sur certains concepts du domaine. Ce modèle est composé du modèle de représentation par recouvrement et d'un sous-ensemble des connaissances incorrectes qui sont générées par analyse empirique des erreurs (énumération) ou obtenues à partir d'un processus cognitif (Virvou et Al., 2003). Ces erreurs sont considérées comme des perturbations de la connaissance experte. L'avantage de cette approche est qu'elle considère les erreurs de l'apprenant pour induire des stratégies basées sur la remédiation. L'inconvénient c'est l'identification exhaustive des erreurs qui est relativement difficile d'un côté et d'un autre côté

il n'est pas évident que ces erreurs soient suffisantes pour déterminer les types d'intervention à effectuer. Le premier système qui a introduit cette approche est BUGGY (Brown et Al., 1978). Ce système faisait l'analyse du processus de résolution de soustraction avec retenue. L'objectif était de donner la réponse que devait fournir un apprenant donné compte tenu de ses fausses représentations (Giardina et Al., 1999). Parmi les systèmes ayant introduit ce type de modélisation nous pouvons citer DEBUGGY (VanLehn, 1982) et PROUST (Johnson et Al., 1986b).

II.4.3. Modèle hybride (Perturbation model)

Le modèle hybride ou de perturbation est une combinaison des deux modélisations précédentes (Overlay et Buggy models). Les connaissances de l'apprenant sont considérées partiellement comme un sous-ensemble des connaissances de l'expert et aussi partiellement comme un ensemble des incompréhensions que l'apprenant pourrait entretenir (Virvou et Al., 2003).

II.5. Techniques de représentation de la connaissance

Les informations présentées dans le MA doivent être représentées clairement pour pouvoir être exploitées facilement par le système. Il existe plusieurs techniques permettant de représenter les connaissances pour faciliter l'inférence de nouvelles connaissances. Fragne (2009) présente un ensemble de techniques à savoir : les systèmes à base de règles, les réseaux sémantiques, les systèmes basés sur la logique et les systèmes basés sur les réseaux bayésiens. A ces techniques, Fragne (2009) a rajouté un système basé sur les multi-agents. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à la représentation des connaissances à l'aide d'une ontologie, qui sont plus adaptée dans le cadre des MOOCs. En effet, le type de représentation est choisi en fonction de la nature des informations que l'on souhaite représenter dans le contexte de l'étude.

II.5.1. A base de règles

Cette technique consiste à déterminer un ensemble de règles de production qui modélisent la connaissance considérée d'une façon uniforme (Kass, 1987). Une règle de production est sous la forme : SI <condition> ALORS <action>. L'avantage avec cette technique c'est qu'elle permet d'exprimer la problématique posée en tâches et sous-tâches afin de faciliter la résolution des problèmes. Elle offre également un cadre déclaratif pour mieux représenter des

connaissances procédurales ou des savoir-faire. L'inconvénient réside dans le fait que la connaissance n'est pas bien structurée car elle est éparpillée au sein des différentes règles.

II.5.2. Basées sur les réseaux sémantiques

Un réseau sémantique est un graphe constitué d'un ensemble de nœuds et d'ensemble d'arcs liant deux nœuds. Un nœud représente un concept, un attribut, un objet, etc. Un arc représente une relation binaire entre deux ou plusieurs concepts précisant le type de relation modélisée. Les réseaux sémantiques mettent l'accent sur les diverses relations existantes entre les concepts, ce qui permet de récupérer les informations explicites ou implicites à l'image des cartes mentales ou des associations mentales de l'être humain. Cependant, il est difficile de définir le niveau de détail pour une meilleure expression des concepts et des relations.

II.5.3. Basées sur la logique

Cette technique consiste à présenter la connaissance de l'apprenant sous forme d'un ensemble de formules auxquelles des valeurs de vérité et un mécanisme permettant d'inférer de nouvelles formules à partir des connaissances possédées. Les systèmes basés sur la logique sont couramment utilisés, notamment dans l'intelligence artificielle, car ils fournissent un formalisme clair permettant de manipuler facilement certaines notions cognitives élémentaires en leur donnant un sens précis. Néanmoins, cette technique comporte deux principaux inconvénients.

- Les mécanismes de raisonnement utilisent des algorithmes généraux qui ne sont pas toujours assez efficaces pour la résolution des problématiques posées.
- Les objets sont décrits par leurs noms qui ne portent pas d'information sur leurs sens et leurs structures.

II.5.4. Basées sur les réseaux bayésiens

Un réseau bayésien est un graphe dont les nœuds sont des variables aléatoires et les dépendances entre ces variables s'expriment au travers de la topologie du graphe (Pearl, 2014 ; Russell et Al., 2003). La représentation des connaissances basées sur les réseaux bayésiens est fondée sur des outils probabilistes. L'avantage des réseaux de bayes c'est qu'ils permettent de représenter simplement (ou facilement) les liens de causalité du MA. L'inconvénient de cette technique c'est qu'elle requiert des experts pour déterminer la structure des informations et disposer de tests permettant de recueillir les probabilités initiales.

II.5.5. Basées sur les systèmes multi-agents

Cette technique se base sur les multi-agents pour représenter les connaissances. L'environnement AMICAL (Architecture Multi-agents Compagnon pour l'Apprentissage de la Lecture) (Fragne, 2009) est un exemple adaptant cette technique. Un agent peut être vu comme tout ce qui peut percevoir son environnement par des capteurs et d'agir sur cet environnement par des effecteurs. Ces agents ne sont pas nécessairement développés par la même personne ni même dans le même contexte matériel-logiciel. Ils peuvent donc être conçus de différentes manières (Fragne, 2009). Le modèle de l'apprenant dans ce cas est composé d'agents de connaissance où chacun a en charge une petite partie du modèle. Le MA dans un système basé multi-agents devient dynamique et se maintient tout seul à jour ce qui permet d'avoir une plus grande souplesse en termes de représentation des connaissances de l'apprenant. Cependant, un tel système nécessite de nombreuses réflexions sur de nombreux domaines, notamment dans l'ajout de règles d'analyse qui doivent émettre des hypothèses sur les nouvelles entrées du modèle.

II.5.6. Basées Ontologies

L'ontologie est une modèle intéressant et efficace pour représenter et organiser des connaissances d'un domaine d'application (indexation et recherche d'information, aide à la spécification de systèmes d'information, la communication, l'éducation, etc.), afin que ces connaissances puissent être traitées et manipulées par les machines (Fensel, 2001 ; Uschold et Al., 1996). Les ontologies se composent d'un ensemble d'éléments spécifiant la sémantique du domaine dans un cadre opérationnel donné. La construction de ces ontologies n'intervient qu'après une étape de conceptualisation qui consiste à identifier, au sein d'un corpus, les connaissances (éléments) spécifiques au domaine de connaissances à représenter (Gruber, 1993). Ces éléments sont (Gomez-Pérez, 1999) :

- *Les concepts* : correspondant aux abstractions pertinentes d'un segment. Ces concepts peuvent être classifiés en plusieurs dimensions : niveau d'abstraction (concret ou abstrait), atomicité (élémentaire ou composée), niveau de réalité (réel ou fictif). Ces concepts sont le plus souvent organisés en une hiérarchie de classes et de sous-classes obéissant à la relation de spécification « est-un », le tout prenant corps sous forme arborescente.
- *Les relations* : traduisant les liens entre les différents concepts. Ces relations peuvent être des associations de type : généralisation, spécialisation, agrégation, composition, instance, etc.

- *Les fonctions* : où un élément de la relation est défini en fonction d'un autre élément.
- *Les règles d'inférence* : représentant les intentions des concepts ou des relations. Elles permettent de déterminer certaines propriétés des relations sous forme d'assertions vraies.

Les ontologies mettent en avant la réutilisation qui est rendue possible en publiant sous format ouvert des spécifications qui sont le plus souvent complétées par des guides de bonne pratique. Elles sont également utilisées pour offrir une flexibilité dans la représentation des connaissances pédagogiques et faciliter l'interopérabilité des applications, ce qui constitue un préalable à l'évaluation des apprenants.

Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons exposé une synthèse sur la modélisation de l'apprenant. Nous avons présenté le paramétrage des MA proposés dans la littérature, les processus d'élaboration de ces modèles ainsi que les techniques de représentation de la connaissance de l'apprenant. Dans le chapitre qui suit, nous avons abordé l'évaluation des travaux des apprenants dans la science de l'éducation et dans les systèmes de le E-éducation.

Chapitre III : Evaluation des Apprenants

Introduction

Au cours d'un processus d'apprentissage, les apprenants sont confrontés à plusieurs activités d'évaluation qui peuvent être de natures différentes et apparaissant à différents moments d'un apprentissage. Pour évaluer ces activités, des méthodes d'évaluation sont utilisées. Ce chapitre dresse un état de l'art sur l'évaluation dans les processus d'apprentissage. Nous présentons dans un premier temps l'évaluation des apprenants dans la science de l'éducation. Nous détaillons ensuite l'évaluation automatisée et l'évaluation par les pairs des connaissances d'apprenants dans les systèmes de la e-éducation.

III.1. Evaluation des apprenants dans la science de l'éducation

Depuis plusieurs années, l'évaluation des apprenants a pris une place très importante dans les sciences de l'éducation (Valérie, 2008 ; Kellaghan et Al., 2001 ; NRC, 1996 ; Sampson et Al., 2008). Cette évaluation met plutôt l'accent sur l'évaluation des productions réalisées par les apprenants en vue de se prononcer sur le développement de savoirs et compétences. Les apprenants sont confrontés à plusieurs situations d'évaluation sous le contrôle d'un enseignant, tout au long de leurs processus d'apprentissage.

Les institutions considèrent les résultats scolaires comme l'aspect le plus important pour émerger la valeur des apprentissages des apprenants (Sampson et Al., 2008) et de leurs donner accès ou non à des programmes particuliers. Les résultats scolaires obtenus servent à de nombreuses décisions importantes pour l'avenir des apprenants. En effet, l'attribution des diplômes se basent sur ces résultats (Bercier-Larivière et Al., 1999 ; Endrizzi et Al., 2008). Tandis que d'autres chercheurs professionnels de l'éducation affirment que l'évaluation devrait être radicalement différente, ou même abolie (Deschênes, 2012). Selon Bercier et Al., (1999) le domaine de l'éducation ne possède pas de modèle théorique adéquat de la qualité des résultats d'évaluation des apprentissages en salle de classe, il n'a pas de schéma auquel se référer de manière à arriver à des résultats représentant fidèlement le développement de chaque apprenant (Bercier-Larivière et Al., 1999).

III.1.1. Types d'évaluation

Il existe principalement trois types d'évaluation des apprenants : pronostique, formative et sommative. Ces évaluations ont des objectifs différents selon le moment d'intervention. L'enseignant peut évaluer les apprenants avant (évaluation pronostique), pendant (évaluation formative) et à la fin (évaluation sommative) du processus d'apprentissage.

III.1.1.1. L'évaluation pronostique

L'évaluation pronostique (diagnostique / prédictive) fait le point de la situation de départ de l'apprenant. Elle est utilisée pour définir le niveau de connaissances (acquis) et de vérifier les prérequis de l'apprenant afin de l'orienter vers un cursus scolaire qui lui convient. En effet, bien utilisée cette évaluation permet aux enseignants de travailler directement à partir du niveau des apprenants pour gagner du temps lors du processus d'apprentissage.

III.1.1.2. L'évaluation formative

Elle se préoccupe de la qualité des réponses des apprenants qui peuvent être utilisées pour améliorer ses compétences et subvenir à l'apprenant durant son processus d'apprentissage (Sadler, 1989). Ce type d'évaluation fournit des repères pour orienter l'apprenant et l'aider à mieux structurer ses connaissances (Iniesto et Al., 2014). C'est-à-dire que l'enseignant se base sur les difficultés et les obstacles rencontrés par l'apprenant au cours de son processus d'apprentissage et lui offre des outils pour l'aider à les vaincre.

III.1.1.3. L'évaluation sommative

Qui est fréquemment utilisée, fournit un classement plus objectif des apprenants (Thomas et Al., 2004) permettant de vérifier l'acquisition de ses savoirs et compétences. Il s'agit d'un contrôle des acquis à la fin du cours, en attribuant à chaque apprenant une note ainsi que son classement. Dans le cas où ce type d'évaluation débouche sur la délivrance d'un certificat ou d'un diplôme, on parle d'une évaluation certificative.

Pour ces types d'évaluation des objectifs de la formation peuvent être définis, on parle d'une évaluation critériée. Cette dernière permet d'induire une pédagogie de remédiation en encourageant l'apprenant à sérier ses erreurs et, du coup, à mieux les repérer. Pour ce type d'évaluation, l'enseignant est amené à fixer des critères précis pour éviter, ou du moins réduire, le jugement subjectif. L'évaluation normative permet d'évaluer un apprenant au sein d'un groupe, en se référant à une échelle graduée de notes. Ensuite, les apprenants sont classés les uns par rapport aux autres.

III.1.1.4. L'évaluation par les pairs

Les apprenants évaluent la qualité des travaux respectifs de leurs camarades et éventuellement même leur propre travail (Topping, 1998). Ce type d'évaluation confère aux apprenants une tâche authentique, car elle se rapproche des pratiques professionnelles. Ce caractère facilite la motivation et l'instruction des apprenants quant à la bonne exécution de la tâche (Van Den Berg et Al., 2006).

L'évaluation par les pairs en classe peut constituer une technique très efficace pour l'apprentissage. C'est une stratégie particulière d'intervention qui consiste à impliquer les apprenants dans l'évaluation formative de leurs apprentissages (Desrosiers et Al., 1990). Elle a pour effet d'impliquer cognitivement les apprenants non engagés lors de la séquence d'apprentissage. Ceux-ci démontrent une capacité d'observer et d'évaluer de manière juste leurs pairs à condition que les critères de réussite de tâches motrices leur soient bien expliqués (Alem et Al., 1998 ; Boudreau, 1987, Dassé, 1986). Ce format d'évaluation est intéressant mais périlleux. En effet, les apprenants n'ont pas toujours confiance dans le jugement de leurs pairs, qui sont parfois complaisants dans l'évaluation d'un travail ou tout simplement ne consacrent pas l'effort nécessaire pour donner une rétroaction de qualité (Louis, 2015).

Certaines études ont montré que les notes obtenues via l'évaluation par les pairs sont fortement corrélés à celles données par les examinateurs professionnels (Sadler, 2010). Cependant, on lui reproche souvent de ne pas être pertinente dans la mesure où les participants n'ont a priori pas la compétence requise pour pouvoir évaluer les travaux de leurs pairs (Bachelet et Al., 2013).

III.1.2. Activités d'évaluation

La qualité des réponses des apprenants dépend généralement de la qualité des activités d'évaluation proposées. Ces activités sont diverses et variées. Nous distinguons différents types d'activités permettant l'évaluation des apprenants : questions fermées, semi-ouvertes et ouvertes.

III.1.2.1. Les questions fermées

Ce type de questions propose aux apprenants un choix parmi des réponses préétablies qui permettent un traitement simple et rapide. Les QCM (Questions à choix multiples) sont les plus utilisées, car leur correction est simple et rapide et peut être effectuée de façon automatique. Dans (Lepage et Al., 2009), Lepage et al distinguent trois types de QCM : à réponses multiples, avec solutions générales implicites et avec degrés de certitude. Les QCM à réponses multiples proposent à l'étudiant une ou plusieurs solutions correctes. Pour les QCM avec solutions

générales implicites, l'apprenant est averti qu'en plus des solutions propres à chaque question (k), il doit prendre en considération x autres solutions (Leclerqet Al., 1986). Ces solutions générales visent à mesurer les processus mentaux d'analyse et de synthèse, et diminuent la chance aux apprenants de fournir une bonne réponse grâce au seul hasard. Les QCM avec degrés de certitude tendent à réduire les effets du hasard, en donnant la possibilité à l'apprenant d'estimer sa probabilité de réponse correcte ainsi que son degré de certitude, pour pouvoir établir un score global de l'étudiant qui sera augmenté ou diminué de quelques points. Nous distinguons également d'autres types de questions fermées, plus au moins utilisées, telles que :

- Les textes à trous qui sont courants dans l'apprentissage des langues. Ce type de question consiste à remplir un texte dans lequel manque un certain nombre de mots.
- Les questions de type association ou appariement qui proposent à l'apprenant deux listes de choix où il devra faire correspondre des éléments de la première liste avec un ou plusieurs éléments de la deuxième liste. La complexité de la question est augmentée si l'appariement entre les deux listes n'est pas bijectif, c'est-à-dire, si un élément de la première liste peut être associé à plusieurs éléments de la seconde, et vice versa (Tanana, 2009).
- Les listes déroulantes qui se rapprochent des QCM,
- Les questions glisse-déposer qui se rapprochent des questions de type association ou appariement,
- Les images cliquables, où les apprenants sont amenés à cliquer sur une ou plusieurs zone(s) d'une image pour indiquer votre réponse.
- Etc.

III.1.2.2. Les questions semi-ouvertes

Ce type de questions est un compromis entre les questions fermées et ouvertes (Hargreaves, 1984). Parmi les questions semi-ouvertes nous pouvons distinguer les questions : à choix multiple avec champs libre, composées, à réponse courte et précise et de type carte conceptuelle. Les questions à choix multiple avec champ libre proposent aux apprenants un choix parmi des réponses préétablies ainsi qu'un champ libre pour répondre librement afin de justifier son choix (Covacevich, 2014). Les questions composées permettent à l'apprenant d'ordonner les réponses pour aboutir à une solution complète de l'activité. Pour les questions à réponse courtes, les réponses des apprenants correspondent à des mots ou de courtes expressions. Les réponses à ce genre de questions sont préétablies (Tanana, 2009). Ces questions sont un peu plus complexes que les questions fermées de type textes à trous.

L'apprenant dans ce cas est appelé à résoudre une activité et de donner le résultat final qui est une réponse préétablie. Les questions de type « carte conceptuelle », introduites par (Novak et Al., 1984) permettent de représenter les concepts d'un domaine de connaissances donné et les liens entre ces concepts. L'enseignant construit une carte des différentes notions modélisées, qui est utilisée comme référence pour évaluer les cartes des autres apprenants.

III.1.2.3. Les questions ouvertes

Les questions ouvertes sont sous formes d'exercices ou de situations problème (SP). Ce type de questions ne propose pas un choix de réponses préétablies. Les apprenants sont entièrement libres dans leurs réponses, c'est-à-dire qu'ils sont amenés à s'exprimer avec leur propre langage et leur style, où ils doivent se servir de leurs connaissances pour y répondre. Les exercices prennent des tonalités particulières lorsqu'on parle d'évaluation de compétences. Dans ce cas on parle plutôt de situations problème (études de cas ou projets). Une SP consiste en une étude approfondie sur un sujet précis. Les exercices sont conçus pour appliquer des savoirs et les consolider. Contrairement aux SPs où il ne suffit pas de collecter des savoirs qui passent à l'oubli mais aussi de transférer des connaissances théoriques pour actualiser ces savoirs en SPs. Ces dernières ont comme but d'évaluer les compétences des apprenants en matière d'analyse et de résolution d'un problème donné, et évalue aussi leurs capacités à appliquer leurs connaissances dans une situation particulière d'un domaine précis.

III.2. Evaluation des apprenants dans les systèmes de la E-éducation

L'expansion du réseau Internet ainsi que les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont donné naissance à des systèmes de la E-éducation désigné sous le vocable de e-learning. Ces derniers doivent fournir les moyens nécessaires pour assister les tuteurs et/ou enseignants dans leurs tâches, notamment l'évaluation des apprenants. En effet, des activités d'évaluation sont présentées aux apprenants afin de vérifier leur niveau d'acquisition de connaissances dans une discipline donnée. Dans ce qui suit, nous présentons les techniques d'évaluation automatisée existantes dans les systèmes de l'E-éducation. Nous nous sommes intéressé particulièrement à l'approche ODALA, sur laquelle notre solution est fondée. Nous présentons également un processus élaboré d'évaluation par les pairs.

III.2.1. L'évaluation automatisée des activités d'apprentissage

Les activités d'évaluation les plus répandus dans les systèmes de la E-éducation sont les questions fermées de type (QCM). Étant donné que toutes les réponses possibles sont préenregistrées a priori, une analyse automatique des réponses par le système est très aisée et simple à mettre en œuvre (Delorme et Al., 2004 ; Alber et Al., 2013). Bien que les QCM soient largement utilisés, ils ne permettent pas d'évaluer correctement le niveau de connaissances des apprenants. En effet, il est difficile de savoir si l'apprenant a répondu par rapport à ses connaissances acquises ou bien par hasard. Certains auteurs (Bernard et Al., 1982 ; Haladyna et Al., 2002 ; Van-Minh et Al., 2015a, 2015b] ont tenté d'optimiser la qualité des QCM en proposant des consignes de rédaction de ce type de question. D'autres auteurs proposent des méthodes, techniques, approches ou modèles pour l'évaluation automatisée dans le cas des exercices, où l'apprenant dispose d'une plus grande liberté pour s'exprimer. Dans ce qui suit nous allons présenter quelques-uns de ces travaux :

III.2.1.1. Systèmes d'évaluation automatisée des programmes informatiques

Plusieurs travaux (Pieterse, 2013 ; Gupta et Al., 2012 ; Joy et Al., 2005 ; Higgins et Al., 2003 ; Cheang et Al., 2003 ; Jackson et Al., 1997 ; Kay et Al., 1994 ; Johnson, 1986) se sont intéressés à l'évaluation automatisée des exercices de programmation. Nous avons constaté que les systèmes proposés incluent un compilateur permettant de vérifier la conformité de la solution donnée par les apprenants. Proust (Johnson, 1986) est le premier système destiné pour l'enseignement de la programmation Pascal, des buts et des règles de prédiction des « intentions du programmeur » sont définis en plus des plans.

Dans (Gupta et Al., 2012), les auteurs proposent une nouvelle approche facilitant l'enseignement des cours de programmation en C aux apprenants, tout en vérifiant les exercices soumis conformément aux instructions de l'enseignant (formules mathématiques, matrices, textes, ...etc.). Trois acteurs sont impliqués dans l'approche proposée : l'enseignant, l'étudiant et le système. L'enseignant diffuse les énoncés des exercices, en langage naturel, aux apprenants. Il inclut un programme de vérification par lequel le système pourra vérifier la solution soumise par l'apprenant. Lorsque l'étudiant soumet son travail, le système l'évalue et sauvegarde en parallèle les erreurs courantes des apprenants sous formes de pourcentages, le nombre d'entrées ainsi que le temps mis pour la résolution du problème. Toutes ces informations serviront l'enseignant dans l'évaluation de son cours et des étudiants.

De leur côté, Joy et Al. (2005) proposent le système BOSS qui permet d'effectuer cinq tâches principales.

- Des tests automatiques pouvant être exécutés sur l'ensemble des soumissions des apprenants, et dans le cadre du processus de marquage.
- Détection de plagiat.
- Visualisation des résultats des tests automatiques, l'exécution du programme présenté et l'affichage du code source soumis.
- Possibilité de modérer aux marques données au travail des étudiants par d'autres marqueurs.
- Des feedbacks communiqués aux apprenants concernés.

III.2.1.2. Système d'évaluation automatisée pour les questions ouvertes de type MOQ¹⁵ et POQ¹⁶

Elsayed et Al. (2013) proposent une méthodologie permettant d'améliorer les outils d'évaluation dans les systèmes d'apprentissage sémantique. L'objectif de leur proposition est d'évaluer deux types de questions ouvertes de type MOQ et POQ. Pour le type MOQ, la technique d'évaluation automatisée proposée utilise les matrices. Chaque matrice génère un ensemble de valeurs correctes, qui peuvent exister dans la solution, précise l'importance de chaque élément de la solution et évalue à la fin les réponses. Ainsi, à travers cette solution une similitude entre les réponses des apprenants peut être mesurée. Pour les POQ, qui sont des exercices de mathématiques, les auteurs proposent de connecter directement les réponses avec les objets du contenu pédagogique et non pas avec modèle de la solution type. Ces réponses connectées dépendent des clés de la solution, qui sont des règles et des théorèmes. Pour ce faire, les auteurs utilisent CMS (Content Management System) pour implémenter leur technique, qui est basée sur une ontologie. Après soumission des réponses, l'enseignant pourra visualiser les réponses des apprenants ainsi leurs classement.

III.2.1.3. Système SAVE

Sil et Al. (2012) présentent le système SAVE qui propose à l'apprenant de résoudre un problème dans le domaine la physique, observe son comportement, et déduit ses connaissances. SAVE est un projet visant à évaluer la compréhension de l'apprenant au travers d'un monde virtuel à travers deux jeux : Jeu de Basketball et Weather Trouble. L'objectif principal de leurs recherches vise à fournir un système automatisé permettant d'évaluer la capacité des apprenants de réaliser une recherche scientifique, sur la base de leur comportement dans le monde virtuel, et ce en se basant sur les questions à choix multiples ainsi que des réponses rédigées (exercices).

¹⁵ Multi Operations Question

¹⁶ Proof Open Questions

SAVE utilise aussi des modèles de prédiction (à l'aide de formules mathématiques), qui se basent sur les données des réponses des apprenants, issues de leurs comportements dans le monde virtuel. Le but étant de garder trace de toutes les réponses données et de détecter les erreurs fréquentes.

III.2.1.4. Approche ODALA (Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach)

L'approche ODALA (Bouarab et Al., 2009, 2011) propose une méthodologie et des techniques pour le développement d'un système d'évaluation automatisée des exercices. Cette approche repose sur une ontologie de domaine disciplinaire Onto_TDM dont l'instanciation fournit une représentation complète des concepts (notions, sous notions, éléments de connaissance, exemples, erreurs potentielles, unités d'évaluation, etc.) liés à une discipline considérée. La Figure 6 illustre un diagramme UML de cette ontologie:

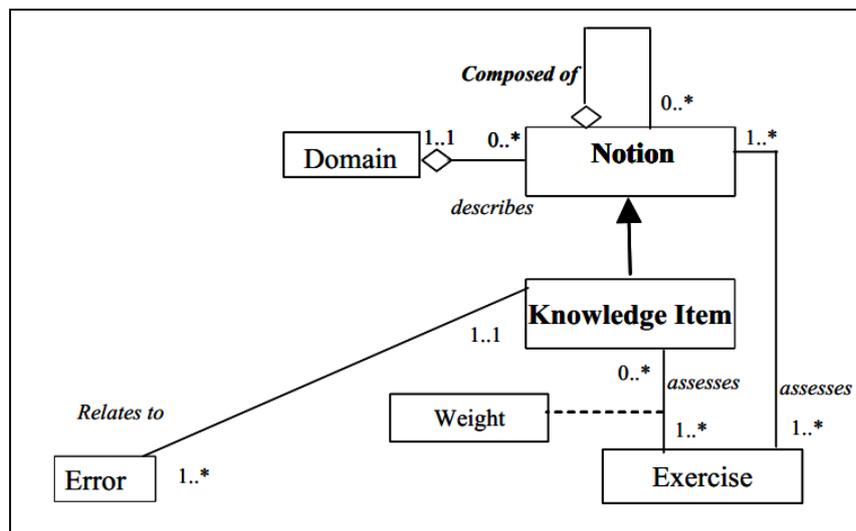


Figure 6 : Diagramme UML de l'ontologie de domaine Onto_TDM (Bouarab et Al., 2010 ; 2015b)

Dans ce méta-modèle, une notion peut être décomposée en plusieurs sous notions, et une sous notion en un ensemble d'item de connaissances (IC). Et afin d'accroître l'efficacité de détection des erreurs, ces derniers sont liés aux IC. L'évaluation de la maîtrise d'une connaissance dans l'approche ODALA s'effectue sur la base de plusieurs IC. Il faut donc examiner l'ensemble des réponses correspondant aux différents items évaluant cette connaissance ainsi que les erreurs effectuées pour identifier précisément ce qui est acquis et ce qui reste à acquérir par l'apprenant. Le processus de conception de cette méthode d'évaluation automatisée commence alors avec une génération d'une base de connaissances du domaine a

enseigné par l'instanciation de l'ontologie Onto-TDM. Cette instanciation nous donne une représentation complète d'une discipline comme suit :

- Les concepts à enseigner représentés comme des notions, des sous notions et des IC. Ces derniers sont définis comme les connaissances les plus granulaires composant la discipline.
- Les exemples liés à une notion, à un élément de connaissance ou même à une erreur.
- Les erreurs potentielles qui sont collectées par des enseignants ayant une expérience de l'enseignement de la discipline donnée. Ces erreurs peuvent être des erreurs de forme ou sémantiques qui sont systématiquement liés à des éléments de connaissances et par transitivité à toutes les notions de niveaux plus élevés de la taxonomie de composition définie par l'ontologie de domaine et instanciée pour une discipline donnée.
- Les unités d'évaluation comme les d'exercices, les questions, études de cas, etc. évaluant les concepts précédents.
- Des fichiers documentaires (appelés ressources pédagogiques) comme des documents textuels, des vidéos, des sons, etc.

L'approche ODALA est proposée comme une solution pour améliorer l'évaluation automatisée dans les systèmes EIAH proposant principalement ces trois éléments (voir Figure 7):

- Une représentation ontologique de discipline en proposant un méta-modèle ontologique appelé Onto-TDM
- Un diagnostic basé erreurs pour les corrections des réponses des apprenants valable pour le cas de réponses libres aux questions ouvertes.
- Une méthode de notation graduelle et automatisée utilisant les erreurs détectées lors du diagnostic et des formules de calculs adéquate. Des structures de données sont aussi définies pour le modèle de l'apprenant pour sauvegarder ces résultats comme état cognitif.
- Un système de profilage pour une génération adaptée de contenus

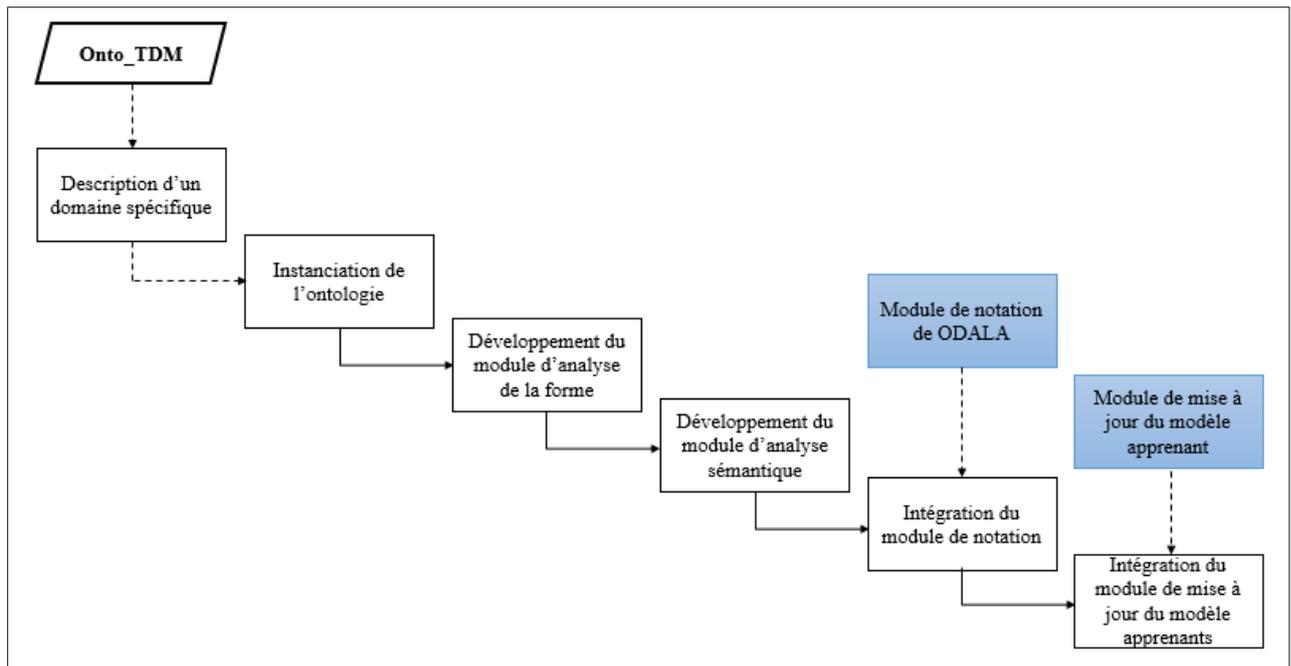


Figure 7 : Etapes de développement d'un système d'évaluation avec l'approche ODALA (Bouarab, 2010)

Afin de valider leurs propositions, les auteurs ont développé un prototype pour deux modules de formation universitaire LMD (Licence, Master, Doctorat) qui sont l'algorithmique de base et les bases de données relationnelles. Ils ont ensuite expérimenté les possibilités d'un environnement d'apprentissage de plusieurs domaines basés sur la plateforme MOODLE où les prototypes développés pour l'auto-apprentissage sont intégrés.

III.2.2. L'évaluation par les pairs

Le concept d'évaluation par les pairs a suscité beaucoup d'intérêt auprès de différentes plateformes de la E-éducation. Il s'agit d'une méthode d'évaluation couramment utilisée dans l'enseignement supérieur. L'apprenant est invité à évaluer une ou plusieurs copies de ses camarades en se basant sur les résultats d'apprentissage et la grille d'évaluation. En effet, plus les apprenants reçoivent des rétroactions descriptives et spécifiques durant leur apprentissage, plus ils peuvent apprendre (Anne, 2008). L'évaluation par les pairs offre aux apprenants l'occasion de développer les compétences dont ils ont besoin pour surveiller et ajuster leur propre rendement. En évaluant le travail de chacun, les apprenants prennent le rôle d'évaluateurs et, avec le temps, acquièrent les compétences dont ils ont besoin pour faire des jugements sur leur propre travail (Sadler, 2010).

III.2.2.1. Etapes

Les principales étapes de l'évaluation par les pairs sont (Staubitz et Al., 2016) : soumission des travaux, formation des groupes, l'évaluation par les pairs proprement dite et la synthèse des résultats.

- *Soumission des travaux*

Dans un premier temps, les apprenants doivent rendre leur propre travail avant de pouvoir évaluer leurs pairs. L'anonymat du correcteur dans cette étape est un élément important pour éliminer le biais lié aux amitiés / rivalités entre apprenants. En effet, l'anonymat impacte de manière considérable la sévérité de la notation et la nature des commentaires laissés par les évaluateurs (Cisel, 2013a). Cependant, certains évaluateurs risquent de profiter de l'anonymat pour faire des commentaires agressifs. Une solution dans ce cas est de permettre aux apprenants de signaler les commentaires qui leur semblent injustifiés afin que l'enseignant / tuteur les contrôle (Galtier, 2016).

En outre, il existe toujours une date limite de rendu des travaux et une date limite de rendu des évaluations. Ces deux dates dépendent généralement de la complexité du travail demandé. Elles s'étendent en général de quelques jours à un peu plus d'une semaine. Laisser peu de temps pour la correction des copies, c'est prendre le risque d'avoir des évaluations bâclées. Laisser trop de temps, c'est courir le risque de voir l'évaluation des productions empiéter sur le suivi du reste du cours (Cisel, 2013a).

- *Formation des groupes*

L'apprentissage en groupe (équipe) est un domaine de recherche très actif. Il a été initié dans le domaine de la gestion des ressources humaines (GRH) (Wi et Al. 2009, Rodrigues et Al., 2005) et les réseaux sociaux (Spoelstra et Al., 2013 ; Monclar et Al., 2011). Puis, il est devenu l'une des questions les plus essentielles dans le domaine de la E-éducation (Spoelstra et Al., 2013). La formation de groupe est considérée comme un préalable au début du processus d'apprentissage. Elle peut se faire de manière aléatoire, semi-aléatoire ou bien supervisée (Galtier, 2016) :

- Aléatoire : Les groupes sont formés de manière aléatoire.
- Semi-automatique : Qui peut tenir compte de certaines contraintes. Par exemple, si un apprenant a été sévère dans sa correction envers un apprenant dans le passé, il ne doit pas évaluer la même personne (sinon on aura les productions d'un apprenant sous-cotées).

- Supervisée : Le système / tuteur attribue les copies selon des critères liés au profil apprenant (connaissances antérieures, préférences, etc.).

En passant en revue la littérature, nous avons recensé un ensemble de systèmes approches permettant la formation de groupes (Ardaiz-Villanueva et Al., 2011 ; Ounnas et Al., 2009 ; Pollalis et Al., 2009 ; Soh et Al., 2008 ; Wang et Al., 2007 ; Tobar et Al., 2007 ; Christodoulopoulos et Al., 2007 ; Graf et Al., 2006 ; De Faria et Al., 2006, Wessner et Al., 2001 ; Hoppe, 1995). Ces systèmes se basent généralement sur une formation de groupes d'une manière aléatoire ou supervisée. Dans ce qui suit, nous présentons les systèmes les plus répondus où nous nous intéressons plus particulièrement aux données du profil apprenant utilisées pour la constitution des groupes :

Ardaiz-Villanueva et al. (2011) proposent un système qui vise à améliorer les compétences créatives des apprenants. Il se base sur deux paramètres du modèle apprenant suivants : la créativité et l'originalité. Le système calcule une valeur de créativité en fonction du nombre et de la longueur des réponses fournies par un apprenant autour d'une idée générée. L'originalité des propositions / idées est également calculé par le système. La créativité est combinée l'originalité pour suggérer des groupes qui vont s'évaluer.

Ounnas et al. (2009) proposent un système de formation de groupes d'apprenants en raisonnant sur des données sémantiques des participants potentiels. Le système vise à accroître la satisfaction des contraintes de regroupement en utilisant les technologies du web sémantique et la logique de programmation. Il permet également de classer les apprenants non affectés à une équipe après la fin du processus de formation de l'équipe. Les données utilisées pour la formation du groupe sont : informations personnelles (genre, nationalité, âge), notes obtenues, rôle dans l'équipe et style d'apprentissage.

Pollalis and Mavrommatis (2008) décrivent une méthode de construction de cours qui se base essentiellement sur la collaboration. Le but étant de réaliser un objectif éducationnel commun pour la communauté des apprenants. La méthode crée des groupes de collaborateurs appropriés et sélectionne des objets d'apprentissage (contenu, exemple, activités, etc.) appropriés pour former le noyau du cours correspondant à chaque groupe. Le système se base sur les connaissances des apprenants pour les regrouper. Cette méthode est exploitée par certains systèmes pour former des groupes qui vont s'évaluer entre eux.

Wang et al. (2007) présentent un système assisté par ordinateur appelé DIANA qui utilise des algorithmes génétiques. Ce système permet de créer des groupes hétérogènes de personnes. Le regroupement s'effectue de manière à former des groupes équitables en termes du nombre

d'apprenants dans chaque groupe. Ce système sur base sur les styles de pensée recueillis à partir de questionnaires.

Graf et Bekele (2006) proposent une approche mathématique pour former des groupes hétérogènes d'apprenants en fonction de leurs traits de leurs personnalités ainsi que leurs niveaux de performance. Cette recherche utilise l'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis pour attribuer chaque personne au groupe le plus approprié qui maximiserait la diversité de ce groupe tout en gardant un écart minimum entre les différents groupes.

Nous remarquons que ces différents systèmes / approches supervisée fixent les paramètres du modèle apprenant à prendre en considération lors de la formations des groupes. Cependant, il est plus intéressant de donner au tuteur la possibilité de choisir ces paramètres en fonction de leurs besoins.

- *Approches / Systèmes de l'évaluation par les pairs*

Une fois le délai de soumission des productions est écoulé et la formation des groupes est établie, l'évaluation proprement dites est lancée. Chaque apprenant du même groupe est amené à corriger les travaux des apprenants du même groupe. Des travaux antérieurs ont proposé différentes approches et systèmes pour générer des évaluations basées sur l'évaluation par les pairs works (de Alfaro et Al., 2013, 2014; Walsh, 2014; Wang et Al., 2014; Kaufman et Al., 2011; Joordens et Al., 2009; Mulder et Al., 2007; Chapman et Al., 2001; Bhalerao et Al., 2001; Lin et Al., 2001; Gehringer, 2001). Dans ce qui suit nous présentons quelques-uns :

CrowdGrader (de Alfaro et Al., 2013, 2014) est un système qui définit un algorithme crowdsourcing pour l'évaluation par les pairs. Les auteurs affirment que lorsque l'évaluation est réalisée par une seule personne, les résultats obtenus ne sont pas objectifs. La méthode proposée dans CrowdGrader propose à plusieurs apprenants de corriger les travaux de leurs camarades. Le choix des apprenants est basé sur leurs réputations. La réputation de chaque apprenant (ou son degré de précision) est mesurée en comparant les résultats d'évaluation de l'apprenant à celles de ses camarades pour les mêmes tâches. L'algorithme exécute un nombre fixe d'itérations en utilisant la note consensuelle pour estimer la réputation des apprenants et, à son tour, utilise la réputation de l'apprenant mise à jour pour calculer des évaluations suggérées plus précises.

PeerRank (Walsh, 2014) est une méthode d'évaluation par les pairs proposée par Toby Walsh. Cette méthode est basée sur des notes pondérées données par les évaluateurs (Cf. les agents). En effet, pour chaque évaluateur lui est attribuée une valeur de capacité de corriger correctement, sur la base des notes déjà attribuées aux apprenants ainsi que les notes que ces

apprenants lui ont attribuées. Dans ses travaux (Walsh, 2014), l'auteur présente les différentes formules permettant de calculer la capacité de chaque apprenant de corriger, les moyennes pondérées, etc.

Calibrated Peer Review (Chapman et Al., 2001), ou CPR, est un outil en ligne pour la soumission des travaux des apprenants et l'évaluation par les pairs. Ce système offre aux instructeurs le choix de créer leurs propres tâches et/ou d'utiliser les tâches existantes (Walvoord et Al., 2008). Les apprenants dans ce système sont appelés à exécuter trois principales tâches. La première étape c'est la soumission de leurs travaux au format spécifié par l'instructeur. Ensuite, ces apprenants vont évaluer quelques (généralement trois) exemples de tests (calibration essays). Cette étape est appelée "calibration process", où pour chaque apprenant lui est attribué une capacité à évaluer efficacement le travail de ses camarades. La troisième étape consiste en l'évaluation par les pairs proprement dite. Une mauvaise capacité d'évaluation diminue l'impact des notes que ces apprenants attribuent au travail de leurs pairs.

Bhalerao et Al. (2001) ont développé et utilisé le système d'évaluation par les pairs, nommé OASYS. C'est l'une des premières implémentations en ligne de l'évaluation par les pairs. Le système présente aux apprenants des QCM ainsi des questions ouvertes accompagnés d'une solution type et d'une grille d'évaluation. Les pairs doivent fournir des commentaires utiles sur l'évaluation des travaux mais aussi de démontrer que les objectifs d'apprentissage sont bien atteints (Ashley, 2000). Ceci implique la délivrance d'un certificat de réussite.

- *Synthèse des résultats*

La synthèse des résultats consiste à donner une note finale pour un apprenant en se basant sur les différentes évaluations des autres apprenants du même groupe. Cette synthèse se fait généralement sur la moyenne des différents scores attribués par les pairs ou d'une manière obscure comme dans Moodle (Mostert et Al., 2013). Elle se base également dans certains cas sur une moyenne pondérée, à l'image du Calibrated Peer Review (Chapman et Al., 2001), où pour chaque apprenant lui est attribué une capacité à évaluer efficacement le travail de ses camarades. La note finale est donc calculée en pondérant les scores attribués par les pairs avec leurs capacités à évaluer.

III.2.2.2. Avantages

L'évaluation par les pairs comporte un certain nombre d'avantages que nous résumons comme suit :

- Permettre à l'évaluateur de se remettre en question, détecter les parties les plus importantes de son travail, et adopter un regard critique sur ses propres processus (tant pour l'évaluateur que pour l'évalué) (Topping, 1998).
- Les critères de réussite sont mieux expliciter dans l'évaluation par les pairs (Hernandez, 2010 ; Falchikov, 2013),
- Favoriser les échanges et l'interaction entre les participants tout en privilégiant la négociation et l'acceptation des critiques (Sadler et Al., 2006).
- Gagner un temps considérable et obtenir des feedbacks plus rapidement sur lequel se baser pour améliorer itérativement les productions des apprenants (Galtier, 2016),
- Les apprenants seront plus enclins à s'entraider et ils se respecteront davantage (Galtier, 2016),

III.2.2.3. Limites

L'évaluation par les pairs comporte un certain nombre de limites que nous résumons comme suit :

- Risque d'avoir des insatisfaits qui ne vont pas accepter les critiques de leurs pairs (Topping, 1998),
- Validité et fiabilité des évaluations réalisées par des pairs qui se pose tant au niveau de leur valeur que de leur précision (Bostock, 2000),
- Dans certains cas, les notes attribuées ne sont pas suffisamment précises et les productions sont sur ou sous-évaluées. Et même dans certains cas ces notes sont contradictoires (Galtier, 2016),
- Les apprenants n'ont pas suffisamment de connaissances et compétences pour évaluer leurs pairs ou bien ils ne prennent pas l'évaluation au sérieux,
- Certains apprenants peuvent se montrer réticents à endosser une responsabilité traditionnellement réservée à l'enseignant, soit par esprit d'opposition soit car ils ne se sentent pas légitimes (Galtier, 2016),
- La formation de groupes se fait généralement d'une manière aléatoire ou en se basant sur les seules connaissances des apprenants.

Conclusion

L'évaluation est sans contredit un élément clé de tout programme de formation, qui contribue à une meilleure efficacité et à une meilleure équité des systèmes éducatifs. En effet, elle est au centre des préoccupations des apprenants ainsi que l'ensemble de tous les partenaires

d'apprentissage : parents, enseignants, équipe de direction et équipe pédagogique. Dans le chapitre suivant, nous avons présenté la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs.

Chapitre IV : Modélisation et Evaluation des Apprenants dans les MOOCs

Introduction

Dans les premiers chapitres, nous avons présenté respectivement les systèmes de la E-éducation, la modélisation et l'évaluation des apprenants. Dans ce chapitre, nous abordons la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs. Nous présentons notamment les techniques de modélisation des apprenants, les types d'évaluation utilisées ainsi que les défis constatés concernant la modélisation et l'évaluation dans les MOOCs.

IV.1. Modélisation des apprenants dans les MOOCs

Pour modéliser les apprenants, les MOOCs s'inspirent des travaux proposés dans les systèmes de la E-éducation notamment en ce qui concerne les techniques et le paramétrage du modèle. Les techniques utilisées sont celles décrites dans le deuxième chapitre. Concernant le paramétrage du MA, la plupart des travaux permet de remarquer que certains paramètres sont visibles pour l'apprenant et d'autres non. Parmi les paramètres visibles citons : les informations personnelles, l'historique des MOOCs suivis et les résultats des tests d'évaluation. Parmi les paramètres non visibles pourtant utiles citons le comportement (le nombre de visites, podcast téléchargés, etc.). Certains travaux (Maalej et Al., 2016 ; Cook et Al., 2015 ; Sunar et Al., 2015 ; Ramesh et Al., 2013) précisent des paramètres spécifiques dans les MOOCs pour la construction du MA. Le choix de ces paramètres dépend essentiellement du domaine d'enseignement, des objectifs didactiques et pédagogiques du MOOC, des types d'interactions entre apprenants, etc.

- Wiem Maalej et Al. (2016) proposent une modélisation de compétences pédagogiques dans les MOOCs afin de garantir une certaine adaptabilité des parcours. Leur approche favorise l'attractivité des apprenants sur la base d'une approche adaptative dans les MOOCs et définit un modèle global d'apprenant, qui regroupe ses compétences et ses pratiques dans les réseaux sociaux.

- Cook et Al. (2015) proposent une plateforme MOOC, appelée MOOCIm, qui a été conçue pour exploiter les données massives en les transformant en un modèle d'apprenant indépendant. Les auteurs illustrent l'une de ces utilisations, dans une interface de modèle apprenant ouvert (open learner model) et attestent que le MOOCIm est un cadre uniforme facilitant les modèles d'apprentissage tout au long de la vie. Leur contribution est l'intégration de bout en bout de la conception du curriculum, de la construction de du contenu du cours et l'intégration du modèle ouvert qui simplifie la réutilisation et l'apprentissage tout au long de la vie (life long learning).
- Arti Ramesh et Al. (2013) se concentrent sur la modélisation de l'engagement de l'apprenant dans les MOOCs en utilisant les probabilités (Probabilistic Soft Logic). Les auteurs font un premier pas vers la compréhension de l'engagement de l'apprenant et de son effet sur la performance de l'apprenant. Ensuite, ils utilisent les probabilités pour modéliser l'engagement de l'apprenant sur la base leurs interactions. Ce modèle est testé sur la plateforme Coursera et a démontré que la modélisation de l'engagement est utile pour prédire le rendement des apprenants.

IV.2. Evaluation dans les MOOCs

Deux méthodes d'évaluation sont utilisées dans les MOOCs : l'évaluation automatisée et l'évaluation semi-automatique par les pairs.

IV.2.1. Evaluation automatisée

Nous avons remarqué que l'utilisation des Questionnaires à Choix Multiples (QCM) est l'une des solutions les plus utilisées dans les MOOCs (Xiong et Al., 2018). La correction de ces QCM est réalisée automatiquement. Dans certaines plateformes MOOC, lorsque l'une des réponses fournie est incorrecte, on indique simplement à l'apprenant la bonne réponse. Dans d'autres plateformes MOOCs, on l'invite à revoir les notions déjà présentées dans la cours (Xiong et Al., 2018 ; Karsenti, 2013). Les MOOCs utilisant d'autres outils comme les textes à trous, les images cliquables, les questions de type association ou appariement, les listes déroulantes, etc., utilisent également une évaluation automatisée.

Certaines plateformes intègrent des techniques pour la correction automatisée des exercices comme l'évaluation par les programmes de test et l'évaluation automatisée des copies

(Cisel et Al., 2013). L'évaluation par des programmes de test est utilisée dans les cours impliquant la rédaction de programmes informatiques. Ce type d'évaluation est bien antérieur à l'avènement des MOOCs. Les plateformes comme edX ou Coursera n'ont fait qu'intégrer les techniques d'évaluation automatisée des exercices de programmation proposées dans les systèmes de e-learning (Pieterse, 2013 ; Gupta et Al., 2012 ; Joy et Al., 2005 ; Higgins et Al., 2003 ; Cheang et Al., 2003 ; Jackson et Al., 1997 ; Kay et Al., 1994 ; Johnson, 1986). Quant à l'évaluation automatisée de copies qui est introduite au sein d'edX, elle se base sur le Machine Learning¹⁷. Cette technique implique un investissement initial de la part de l'équipe pédagogique. Cette dernière doit noter manuellement des dizaines de copies pour calibrer le système. Les travaux de Del Fatto et Al. (2017) étant un exemple de ce type d'évaluation.

D'autres chercheurs ont proposé des méthodes d'évaluation automatisée des exercices pour un domaine particulier. Ces méthodes sont inspirées des travaux qui sont présentés dans le chapitre précédent (Section III.2.1). Il s'agit de l'évaluation automatisée des questions ouvertes (exercices) dans les systèmes de la E-éducation. Les travaux de Salinas et Al. (2015) étant un exemple. Les auteurs ont proposé une évaluation automatisée des exercices de mathématiques.

IV.2.2. Evaluation semi-automatique

Une autre technique semi-automatique également disponible pour la correction des questions ouvertes, c'est l'évaluation par les pairs. Ce type d'évaluation consiste à envoyer plusieurs productions des autres participants à évaluer au participant ayant soumis une production. Les étapes, techniques, avantages et inconvénients de l'évaluation par les pairs dans les MOOCs sont les mêmes que celles que nous retrouvons dans les systèmes de la E-éducation et qui sont présentés dans le chapitre précédent (Section III.2.2). Certaines études ont montré que les notes obtenues via l'évaluation par les pairs étaient fortement corrélées à celles données par les examinateurs professionnels (Sadler et Al., 2006). Cependant, on lui reproche souvent de ne pas être pertinente dans la mesure où les participants n'ont a priori pas la compétence requise pour pouvoir évaluer les copies de leurs pairs (Bachelet et Al., 2013).

Statistiquement, la corrélation est importante entre notation des apprenants et des tuteurs. Cependant, d'un point de vue pédagogique il n'est pas possible de considérer les différents scores d'apprenants comme valides sans une révision de ces scores par un tuteur ou un expert

¹⁷Le Machine Learning est une technologie d'intelligence artificielle permettant aux machines d'apprendre et de se développer sans avoir été programmées explicitement à cet effet. Les machines ont toutefois besoin de données à analyser et sur lesquelles s'entraîner.

du domaine (Sadler & Good, 2006). C'est pourquoi différentes méthodes existent pour pondérer, corriger ou assister les tuteurs dans la validation des notations d'apprenants de MOOC. Ces différentes méthodes sont inspirées des méthodes utilisées dans les systèmes de la E-éducation et qui sont présentées dans le chapitre précédent (Section III.2.2).

IV.3. Modélisation et évaluation des apprenants : Défis des MOOCs

Dans le chapitre I, section I.5, nous avons présenté les défis des MOOCs excepté ceux relatifs à la modélisation et l'évaluation des apprenants. Dans ce qui suit, nous présentons ces défis auxquels nous nous intéressons dans le cadre de cette thèse. Ces défis nous les avons recensés en se basant sur nos expériences sur les plateformes MOOCs et sur quelques articles qui ont détaillés la question de la modélisation et l'évaluation des apprenants (Huisman et Al., 2018 ; Cirulli et Al., 2017 ; Staubitz et Al, 2016 ; Admiraal et Al., 2015 ; Koutropoulos et Al., 2015 ; Hew et Al., 2014 ; Iqbal et Al., 2014 ; Sheard et Al., 2014 ; Alber et Al., 2013 ; Miranda et Al., 2013 ; Piech et Al., 2013 ; Daradoumis et Al., 2010) :

- L'évaluation automatisée des activités dans les MOOCs se base sur des outils assez simples tels que les questions fermées avec des réponses prédéfinies (Koutropoulos et Al., 2015 ; Iqbal et Al., 2014 ; Sheard et Al., 2014 ; Alber et Al., 2013 ; Daradoumis et Al., 2010). Cependant, ce type de questions ne peut pas montrer en profondeur les faiblesses des apprenants. Les statistiques soulignent que beaucoup d'autres défis tels que la motivation des apprenants, le taux élevé d'abandon, non engagement des apprenants, etc. sont principalement liés aux méthodes d'évaluation inefficaces (Miranda et Al., 2013 ; Admiraal et Al., 2015). Il est donc nécessaire de penser à améliorer la conception des activités proposées et l'évaluation des MOOCs (Cirulli et Al., 2017).
- L'évaluation par les pairs proposée dans les MOOCs constitue un ensemble de faiblesses. Le premier point à souligner c'est les méthodes de formation des groupes qui se fait de manière aléatoire ou en se basant seulement sur les connaissances ultérieures (Huisman et Al., 2018 ; Staubitz et Al, 2016 ; Piech et Al., 2013). De plus, certains apprenants n'ont pas suffisamment de connaissances et compétences pour évaluer leurs pairs ou bien ils ne prennent pas l'évaluation au sérieux (Hew et Al., 2014). Un autre point qui est la validité et fiabilité des évaluations ainsi que les méthodes proposées pour la synthèse des résultats sont basées sur des formules assez simples (généralement la

moyenne des scores attribués par les pairs). Il s'agit d'un véritable problème de fiabilité des scores.

- La modélisation de l'apprenant, notamment l'état cognitif, ne concernait qu'une simple notation des quiz proposés alors qu'il serait souhaitable d'aller dans les détails des notions pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte des connaissances antérieures des apprenants. Une meilleure modélisation de l'apprenant permet de stimuler la motivation et faciliter l'évaluation (Iqbal et Al., 2014). Une capitalisation de connaissance semble indispensable pour offrir un contenu pertinent et améliorer le processus d'apprentissage (Hammid et Al., 2017)
- La certification dans les MOOCs n'est pas forcément crédible (Koutropoulos et Al., 2015). Un véritable problème concernant l'identité de la personne à certifier est présent. En effet, il semble difficile d'empêcher la fraude dans la mesure où, sur internet, on peut toujours se faire passer pour quelqu'un d'autre.

Conclusion

Après avoir présenté la modélisation et l'évaluation des apprenants dans les MOOCs, nous avons recensé les différents défis rencontrés. Dans le chapitre suivant, nous avons présenté notre proposition qui consiste à proposer une nouvelle modélisation des apprenants dans le but d'améliorer l'évaluation dans les systèmes MOOC. Nos contributions sont fondées sur l'approche ODALA. Le but étant de résoudre certains défis cités dans ce chapitre.

Partie B :

Propositions et leurs validations

Chapitre V : Modélisation et Evaluation des Apprenants dans un MOOC basé sur l'Approche ODALA

Introduction

Les MOOCs constituent actuellement l'un des sujets les plus discutés en E-éducation. L'étude faite sur les MOOCs existants a montré que les deux principales composantes qui nécessitent une amélioration sont le modèle de l'apprenant (notamment son état cognitif) et le modèle de l'évaluation de l'apprenant en vue d'une certification. L'état cognitif de l'apprenant tel que considéré dans ces systèmes, ne concernait qu'une simple notation des quiz proposés alors qu'il serait souhaitable d'aller dans les détails des notions pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte des connaissances des apprenants sous une forme adaptée. Quant à l'évaluation automatisée dans ces systèmes, elle se base sur des outils assez simples. Dans ce chapitre, nous avons présenté une nouvelle modélisation des apprenants ainsi qu'une approche d'évaluation graduelle dans les MOOCs basées sur l'approche ODALA.

V.1. Contexte général de nos propositions

L'évaluation et modélisation des apprenants proposés dans cette thèse se situent dans le cadre d'un système MOOC. Ce dernier est composé d'un outil d'ingénierie et d'une plateforme MOOC (Cf. Figure 8). Ces deux composantes sont basées sur l'approche ODALA décrite dans (Bouarab et Al., 2009 ; 2010). Nous empruntons l'ontologie disciplinaire Onto-TDM (OntologicalTeaching Domain Modelling) définie dans cette approche, comme colonne vertébrale des processus d'ingénierie et d'utilisation du MOOC avec possibilité d'évaluation sophistiquée. Dans ce qui suit, nous donnons des détails sur les différentes parties de l'architecture du système MOOC proposé.

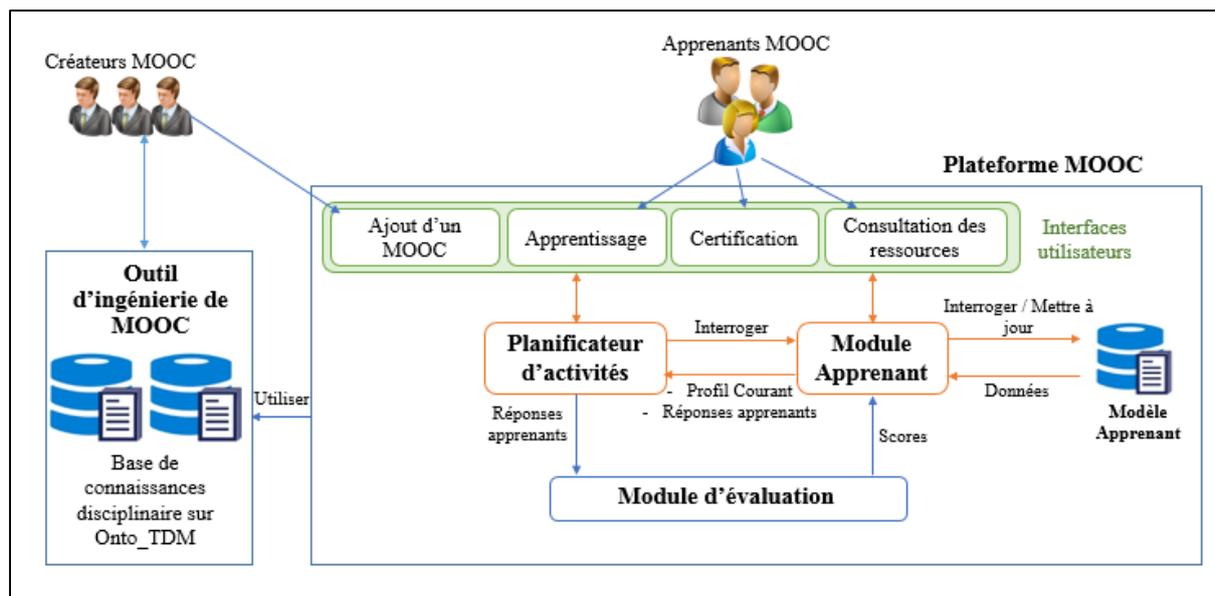


Figure 8: Architecture globale du système MOOC projeté

V.1.1. Outil d'ingénierie de MOOCs

L'ingénierie de MOOCs est un processus de représentation du contenu de MOOC et sa conception en utilisant les ressources pédagogiques et les technologies d'ingénierie pédagogique comme l'infographie. Ce processus est composé des deux étapes successives définies dans (Hammid et Al., 2016, 2017) : Capitalisation des connaissances et l'ingénierie pédagogique des supports de cours et des activités d'apprentissage. L'architecture de l'outil d'ingénierie de MOOC est illustrée dans la Figure 9 suivante :

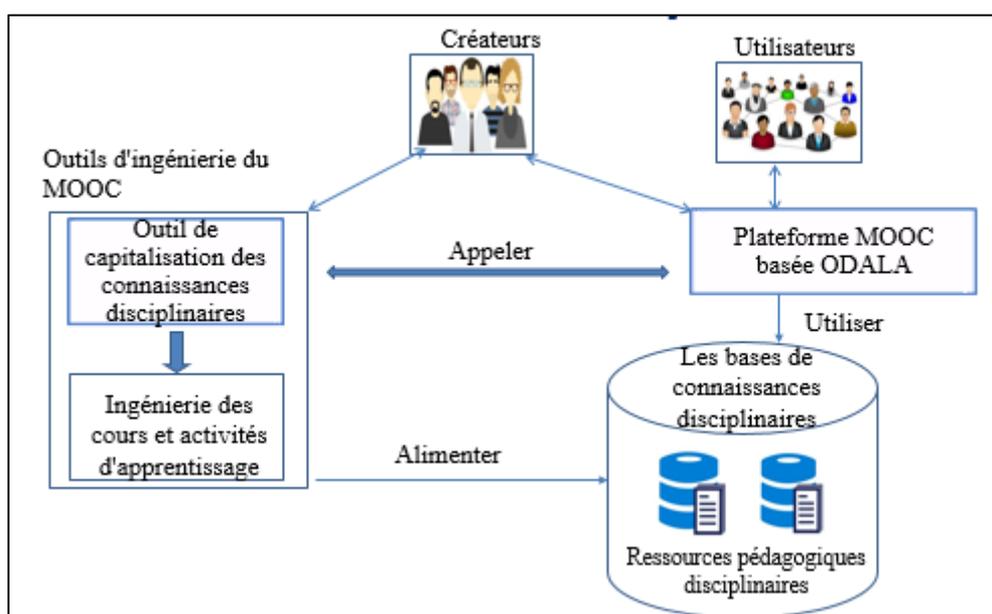


Figure 9 : Architecture du module d'ingénierie de MOOC (Hammid et Al., 2017)

- **Capitalisation des connaissances**

Son objectif est d'obtenir des bases de connaissances (notions et ressources) disciplinaires à partir d'experts en la matière en suivant des étapes de collecte, comparaison de versions, gestion de conflits, etc. pour aboutir à un consensus. Le processus de capitalisation de ces connaissances utilise comme support l'ontologie Onto-TDM (Bouarab et Al., 2010), via un espace collaboratif par des experts du domaine pour donner lieu à une base de connaissances consensuelle pour la discipline concernée sur une certaine portée (universités, un groupe de pays, etc.). Cette capitalisation nous semble beaucoup plus importante pour l'ingénierie des MOOCs que pour les autres systèmes EIAH.

- **Ingénierie pédagogique des supports de cours et des activités d'apprentissage**

Cette étape se base sur les connaissances construite précédemment pour organiser les cours sous forme de plans guide adaptatifs de notions connectées à des ressources web pédagogiques (Podcast, vidéos de simulation, documents avec animations, etc.) et à des activités d'apprentissage et d'évaluation en fonction des objectifs du cours et de ceux de l'apprenant.

V.1.2. Conception de la plateforme MOOC

V.1.2.1. Définition des besoins

La plateforme MOOC est conçue selon les besoins des différents utilisateurs. Ces besoins sont :

- **Les besoins des créateurs de MOOCs**

Ce besoin concerne les enseignants désirant ajouter de nouveaux MOOCs dans la plateforme. L'enseignant est invité à fournir les détails (généraux et spécifiques) sur le (les) MOOC(s) ajouté (s). Les détails généraux sont : le titre, le domaine de la discipline et une courte description. Le volet spécifique (technique) consiste à importer les fichiers composant tout MOOC. Chaque fichier doit contenir la base de connaissances et des ressources obtenue par le module de l'ingénierie dans un format donné, par exemple en format OWL (Ontology Web Language) ou bases de données relationnelles.

- **Les besoins des apprenants**

Les classifications existantes sur les MOOCs a montré que chaque MOOC est axé sur un besoin particulier d'apprenant (obtenir une certification de réussite/participation, consulter des informations sur un concept spécifique, développer de nouvelles connaissances, etc.). Or

l'aspect social des MOOCs est une excellente valeur d'apprentissage lorsque l'on considère les différents besoins de l'apprenant dans un même cours. Nous proposons dans notre cas d'utiliser les besoins donnés par notre classification dans (Haddadi, 2017b) à savoir : Apprentissage, Certification et Consultation des ressources (Voir Figure 10 ci-dessous).

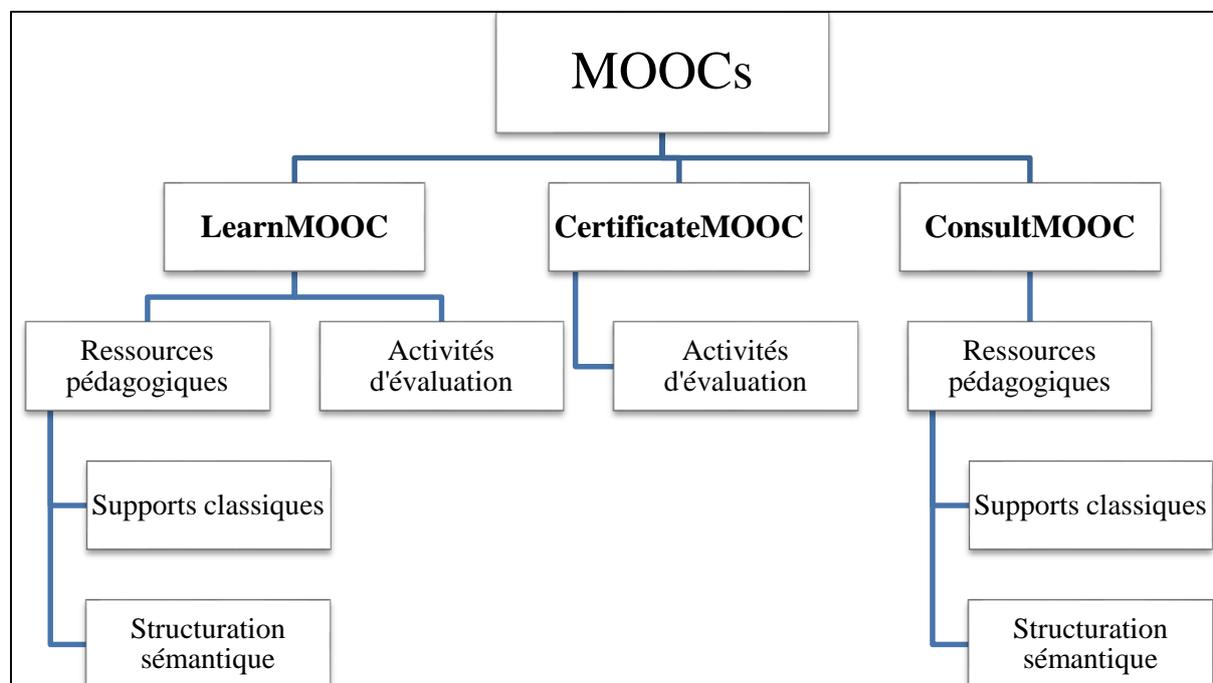


Figure 10 : Typologie proposée Haddadi Lynda et Al. (2017b)

- **Apprentissage** : Ce besoin s'adresse aux apprenants ayant l'intention d'apprendre toute la discipline et obtenir la certification. Les fonctionnalités offertes à l'apprenant sont :
 - La planification de la navigation dans la discipline (connaissances, compétences et ressources) sous forme de plans d'adaptation pour guider l'apprenant dans le MOOC,
 - La planification de l'évaluation et la construction de l'e-portfolio de l'apprenant.
- **Certification** : Ce besoin s'adresse aux apprenants ayant une connaissance préalable de la discipline du MOOC, cherchant la certification. Dans ce cas, seules les fonctionnalités reliées à l'évaluation et à la certification sont affichées.
- **Consultation de ressources pédagogiques** : Ce besoin s'adresse aux utilisateurs (apprenants et créateurs de MOOCs) désirant se documenter sur la discipline concernée, en consultant les supports de cours ou toute ressource connectée via des liens dans le MOOC. Pour faciliter la navigation, nous nous basons sur la sémantique de l'ontologie disciplinaire en background de tout MOOC.

V.1.2.2. Composition et fonctionnement

La plateforme MOOC (Cf Figure 8) est composée de l'interfaces utilisateur (apprenants et créateurs de MOOCs) et d'un ensemble de modules inter-reliés sémantiquement et traduisant le fonctionnement de notre système.

- Modèle Apprenant,
- Module Apprenant,
- Module d'évaluation,
- Planificateur d'activités.

La plateforme a pour rôle d'afficher des MOOCs pour tout apprenant désirant d'y accéder selon son besoin (décrits un peu plus bas). Dans le fonctionnement de la plateforme, le module de l'apprenant est au centre de tous les autres modules de la plateforme. On distingue deux cas :

- Cas 01 : Dès qu'un nouvel apprenant s'inscrit dans un MOOC, le module de l'apprenant se charge de lui créer un profil initial et de lui afficher l'interface qui correspond au besoin choisi.
- Cas 02 : Dès qu'un apprenant déjà inscrit se connecte, le module de l'apprenant interroge le modèle de l'apprenant, en vue d'extraire toutes les données sur les apprenants (connaissances, informations personnelles, etc.), constituant son profil actuel. Le planificateur se charge, sur la base du profil de l'apprenant, de choisir le contenu du cours et / ou des activités d'évaluation. Dans le cadre d'un contenu portant sur des activités, le planificateur distribue les réponses de l'apprenant au correcteur concerné : de questions fermées, de questions semi-ouvertes, de questions ouvertes ou de situations problématiques (voir Figure 17). Le module d'évaluation corrige les réponses de l'apprenant et envoie les scores au module de l'apprenant pour apporter les mises à jour nécessaires dans le modèle de l'apprenant.

Notons que lors de la conception de notre plateforme, nous avons tenu compte de la contrainte multilingue. Cette contrainte est un facteur qui affecte essentiellement trois éléments : le contenu des MOOCs via l'ingénierie, les interfaces utilisateurs et les modules de diagnostic d'erreur proposés dans l'approche ODALA.

V.2. Modélisation de l'apprenant

La modélisation est une représentation exploitable des apprenants à l'aide d'un modèle apprenant. Cette modélisation devrait prendre en considération les caractéristiques (paramètres) de l'apprenant telles qu'elles se présentent et évoluent tout au cours du processus

d'apprentissage. Pour une modélisation efficace de l'apprenant nous présentons dans ce qui suit un modèle apprenant conforme à la réalité ainsi qu'un module apprenant permettant d'interroger le modèle préalablement construit.

V.2.1. Paramétrage du modèle de l'apprenant

Les paramètres du modèle apprenant proposé sont organisés en cinq dimensions : informations générales, état cognitif, styles d'apprentissage, préférences et comportement. Ces éléments sont considérés comme importants pour décrire les caractéristiques des apprenants. La Figure 12 illustre la représentation graphique (sous forme de carte mentale) du modèle de l'apprenant.

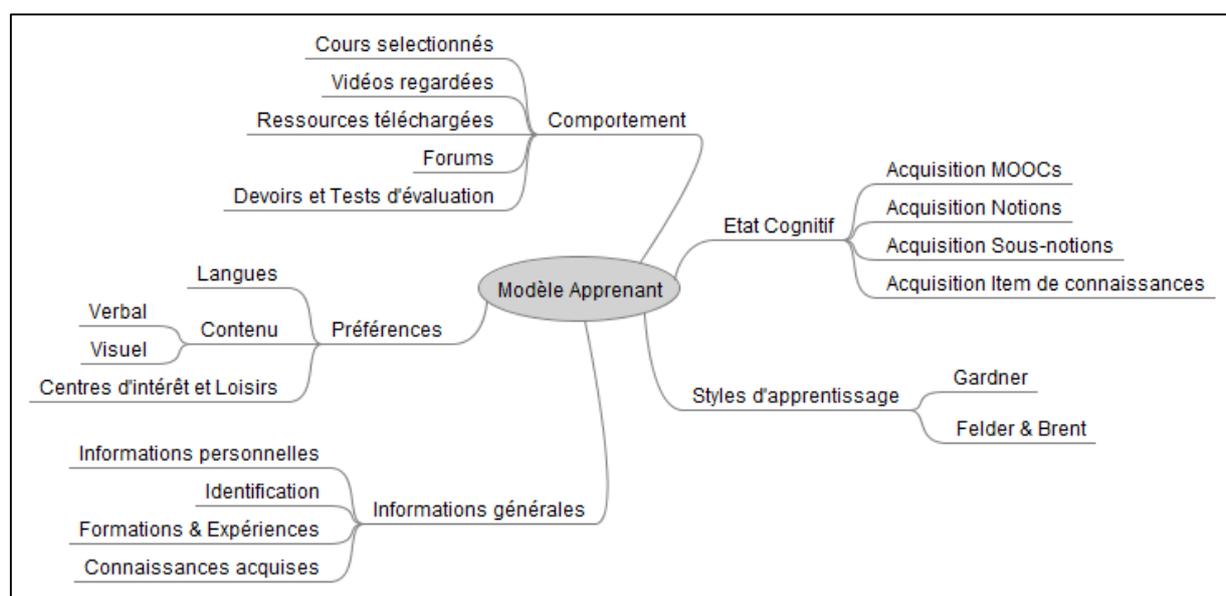


Figure 11 : Représentation graphique du modèle apprenant

V.2.1.1. Informations Générales

Cette dimension comprend quatre sous-dimensions (Figure 12), chacune ses caractéristiques.

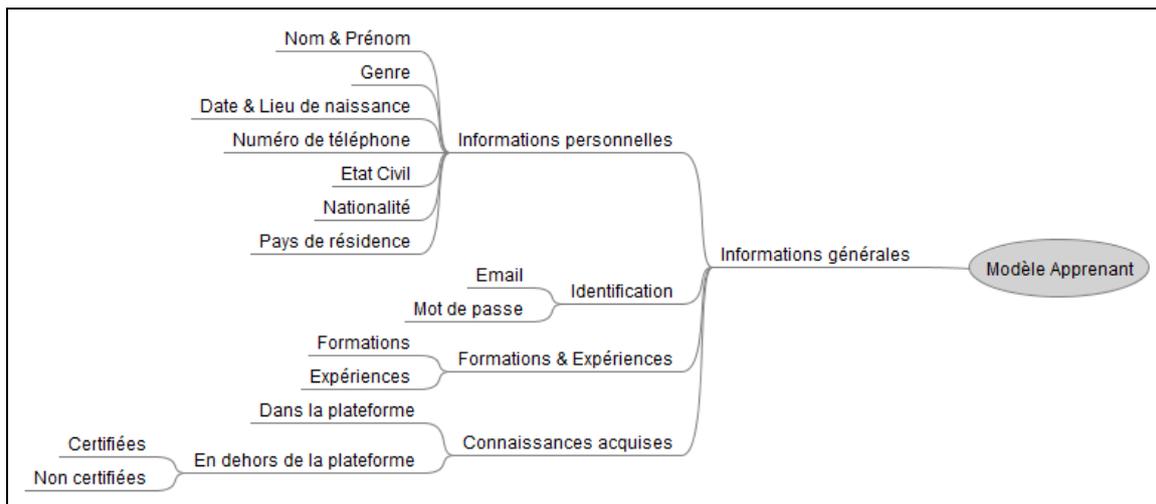


Figure 12: Dimension "Informations personnelles"

- Informations personnelles : nom, genre, nationalité, pays de résidence. Cette dernière caractéristique est importante pour la perspective du recrutement des apprenants,
- Identification composé d'une adresse électronique et d'un mot de passe,
- Formations et Expériences de l'apprenant qui peuvent servir pour le processus d'embauche,
- Connaissances antérieures : connaissances acquises dans la plateforme MOOC et en dehors des MOOCs. Dans le premier cas, les connaissances sont obtenues par la dimension de l'état cognitif. Dans le deuxième cas, les connaissances sont saisies par l'apprenant. Pour vérifier la véracité de ces informations, le système propose à l'apprenant tous les MOOCs de la plateforme liée aux disciplines concernées pour la certification. Si l'apprenant n'acquiert pas les connaissances dans un MOOC donné, le système lui propose le MOOC pour l'apprentissage.

V.2.1.2. Style d'Apprentissage

Différentes classification de styles d'apprentissage existent dans la littérature. Nous optons pour la théorie des intelligences multiples proposée par Howard Gardner (2011) et le modèle de style d'apprentissage de Felder et Al. (1988 ; 2005) (Cf Figure 13).

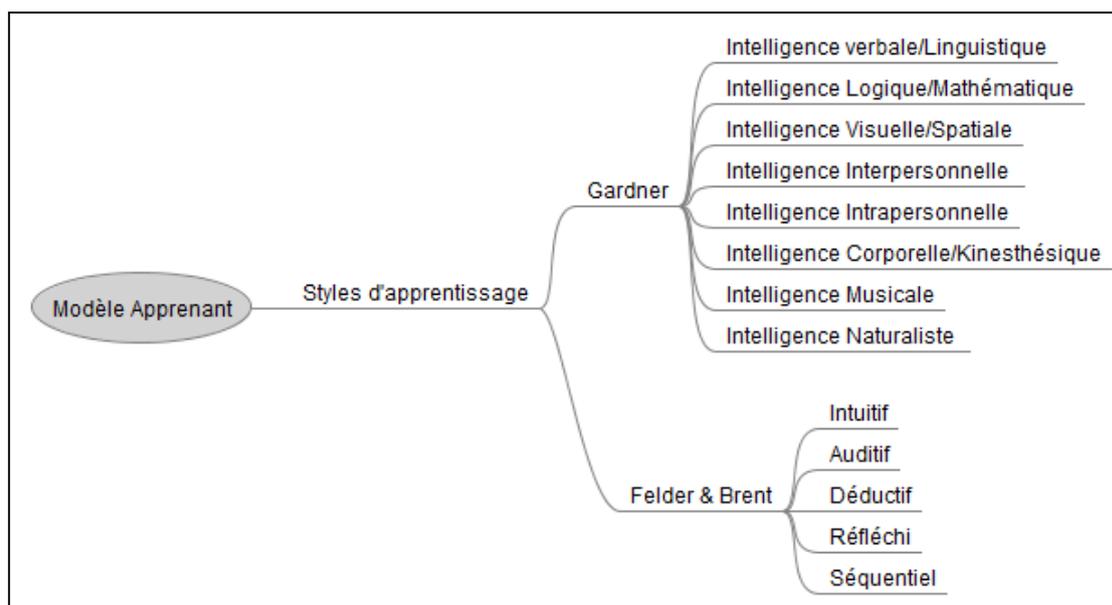


Figure 13: Dimension "Style d'Apprentissage"

Les intelligences multiples de Gardner ont l'avantage d'explorer la relation entre les intelligences et les différents domaines / disciplines qui existent dans diverses cultures, afin de guider les apprenants vers les métiers appropriés (Gardner, 2011). Ces intelligences sont décrites dans le Tableau 2 suivant :

Tableau 2: Les intelligences multiples de Gardner

Intelligence	Description
Intelligence Verbale / Linguistique	C'est la capacité à être sensible aux structures linguistiques sous toutes ses formes.
Intelligence Logique / Mathématique	C'est la capacité à raisonner, à calculer, à tenir un raisonnement logique, à ordonner le monde, à compter.
Intelligence Visuelle / Spatiale	C'est la capacité à créer des images mentales, et à percevoir le monde visible avec précision dans ses trois dimensions.
Intelligence Interpersonnelle	C'est la capacité à entrer en relation avec les autres.
Intelligence Intrapersonnelle	C'est la capacité à avoir une bonne connaissance de soi-même.
Intelligence Corporelle / Kinesthésique	C'est la capacité à utiliser son corps d'une manière fine et élaborée, à s'exprimer à travers le mouvement, d'être habile avec les objets.
Intelligence Musicale	C'est la capacité à être sensible aux structures rythmiques et musicales.
Intelligence Naturaliste	C'est la capacité à reconnaître et à classer, à identifier des formes et des structures dans la nature, sous ses formes minérale, végétale ou animale.

Le style d'apprentissage proposé par Felder et Al. est le plus utilisé au cours de dernières années. Les styles proposés par ces auteurs sont présentés dans le Tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Le style d'apprentissage de Felder et Al.

Style	Description
Sensoriel Intuitif	- Concret, pratique, orienté vers les faits et procédures. - Conceptuel, innovateur, orientés vers les théories.
Visuel Verbal	- Préfère les représentations visuelles avec des images, diagrammes, etc. - Préfère les explications écrites ou verbales.
Inductif Déductif	- Préfère les présentations qui commencent par le spécifique vers le général. - Préfère les présentations qui commencent par le général vers le spécifique).
Actif Réflexif	- Préfère travailler en équipe - Préfère travailler seul.
Séquentiel Global	- Linéaire, bien ordonné - Holistique, penseur, systématique.

Certains chercheurs affirment que le style d'apprentissage de Felder et Silverman est le plus approprié, puisqu'il donne une description plus détaillée du style (Özpolat, 2009). En effet, la connaissance des styles d'apprentissage aide les apprenants à comprendre pourquoi ils trouvent l'apprentissage parfois difficile et comment développer leurs faiblesses (Graf, 2007). Ces deux modèles sont utilisés dans notre cas pour obtenir le style de l'apprenant. Si une contradiction est trouvée dans les résultats des deux tests, le système se charge de réajuster ces incohérences.

V.2.1.3. Préférences

Cette dimension comprend les langues parlées et écrites, la présentation du contenu (selon le style de l'apprenant verbal et visuel), les centres d'intérêt et loisirs (Cf Figure 14).

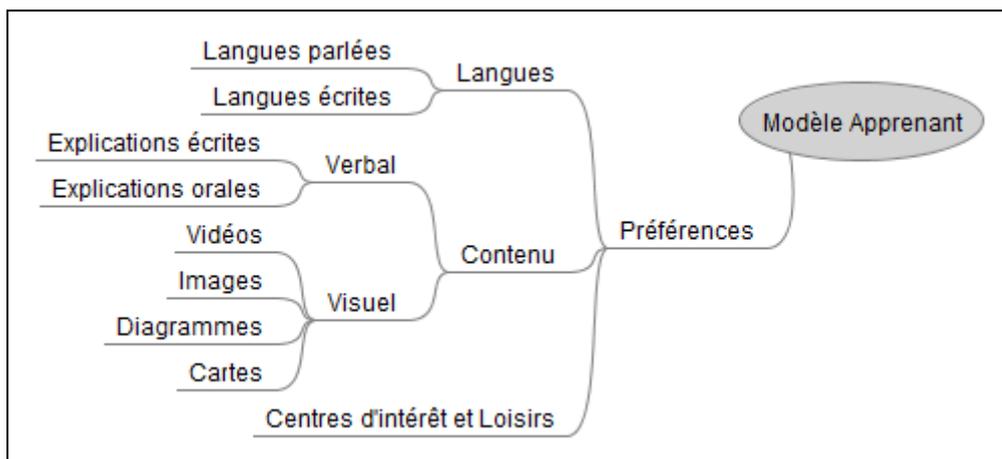


Figure 14: Dimension "Préférences"

Les préférences permettent aux apprenants de spécifier leurs souhaits. Cette dimension peut aider à résoudre les problèmes de motivation de l'apprenant et les taux élevés de décrochage dans les MOOC, en adaptant le contenu des cours en fonction des préférences des apprenants.

V.2.1.4. Comportement

Son rôle est de collecter des données sur le comportement de l'apprenant durant son apprentissage. Selon Hongyan Wang and Al., dans les MOOCs le comportement des apprenants est divisé en cinq catégories (Wang et Al., 2016) (Cf Figure 15):

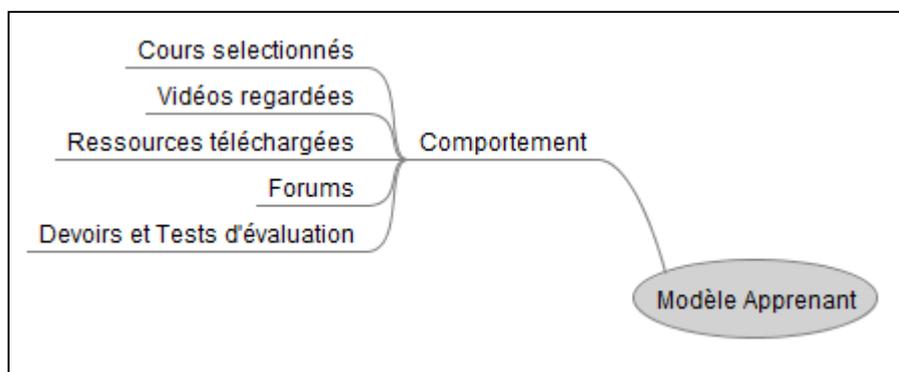


Figure 15: Dimension "Comportementale"

- Cours sélectionnés : la sélection des cours est un préalable avant de débiter l'apprentissage,
- Vidéos regardées : constituent le moyen le plus direct de montrer le contenu pédagogique d'un cours,
- Ressources téléchargeables : les documents (les PDF, les fichiers PowerPoint, etc.) sont un contenu supplémentaire à la vidéo,

- Forums : un espace de discussion fourni pour les apprenants et les tuteurs, leur permettant de poster des questions et d'obtenir des réponses. Les temps et le contenu des messages postaux peuvent refléter l'esprit collaboratif de certains apprenants,
- Devoirs et tests d'évaluation : c'est un moyen efficace de tester les résultats d'apprentissage.

V.2.1.5. Etat Cognitif

Cette dimension couvre le pourcentage d'acquisition des différents concepts (notions, sous-notions, items de connaissances) lors de l'apprentissage dans la plateforme. Ces concepts sont empruntés à l'ontologie de domaine disciplinaire Onto_TDM définie dans ODALA. Une instantiation de l'ontologie pour le domaine des bases de données relationnelles est présentée dans le Tableau 7.

L'acquisition de ces concepts doit s'effectuer sur différents niveaux (paliers) comme illustré dans la pyramide (Voir Figure 17). Pour chaque palier de la pyramide, une unité d'évaluation est présentée à l'apprenant. Une unité d'évaluation contient un ensemble de questions aléatoires. Chaque question est reliée à un ou plusieurs concepts (IC, sous-notions et notions) de l'ontologie.

La carte conceptuelle relative de la dimension état cognitif est illustrée dans la Figure 16 suivante.

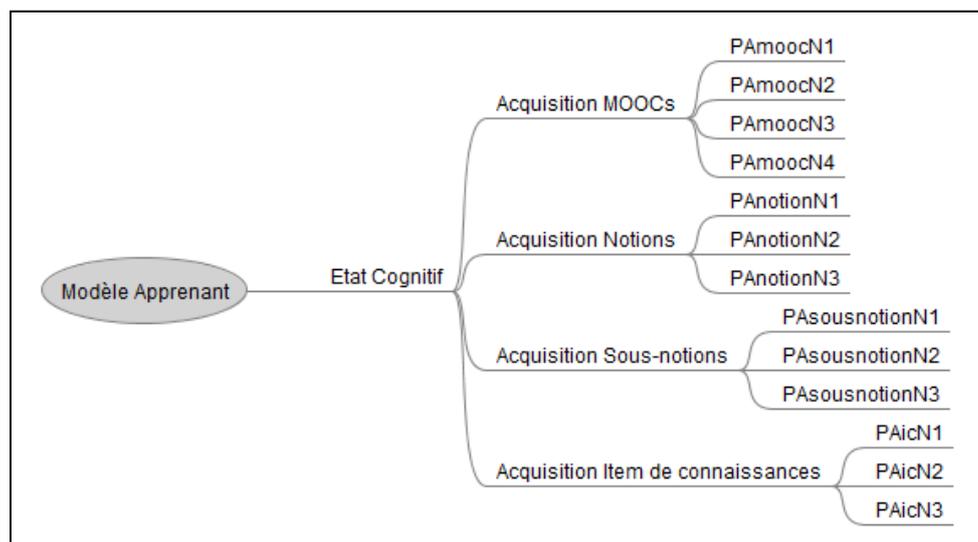


Figure 16: Dimension " Etat cognitif"

Le modèle relationnel permettant de représenter les relations à l'aide de tables (à deux dimensions) de l'état cognitif proposé est le suivant. Notons que les situations problème sont présentées aux apprenants à la fin du MOOC. Une évaluation par les pairs est souhaitable à ce niveau et une note globale de tout le MOOC est calculée.

MOOC_{acqu} (Id_{mooc}, Intitule_{mooc}, PA_{moocN1}, PA_{moocN2}, PA_{moocN3}, PA_{moocN4})

- MOOC_{acqu} : Table contenant la liste des MOOCs suivis avec leurs identifiants (Id_{mooc}) et leurs intitulés (Intitule_{mooc}).
- PA_{moocN1} : Pourcentage d'acquisition de chaque MOOC dans le cas des questions fermées (Niveau 01).
- PA_{moocN2} : Pourcentage d'acquisition de chaque MOOC dans le cas des questions semi ouvertes (Niveau 02).
- PA_{moocN3} : Pourcentage d'acquisition de chaque MOOC dans le cas des questions ouvertes (Niveau 03).
- PA_{moocN4} : Pourcentage d'acquisition de chaque MOOC dans le cas des situations problème (Niveau 04).

Notion_{acqu} (Id_{notion}, Intitule_{notion}, Id_{mooc}, PA_{notionN1}, PA_{notionN2}, PA_{notionN3})

- Notion_{acqu} : Table contenant la liste des notions avec leurs identifiants (Id_{notion}) et leurs intitulés (Intitule_{notion}). Chaque notion est reliée à un MOOC donné (Id_{mooc}).
- PA_{notionN1} : Pourcentage d'acquisition de chaque notion dans le cas des questions fermées (Niveau 01).
- PA_{notionN2} : Pourcentage d'acquisition de chaque notion dans le cas des questions semi ouvertes (Niveau 02).
- PA_{notionN3} : Pourcentage d'acquisition de chaque notion dans le cas des questions ouvertes (Niveau 03).

SousNotion_{acqu} (Id_{sousnotion}, Intitule_{sousnotion}, Id_{notion}, PA_{sousnotionN1}, PA_{sousnotionN2}, PA_{sousnotionN3})

- SousNotion_{acqu} : Table contenant la liste des sous notions avec leurs identifiants (Id_{sousnotion}) et leurs intitulés (Intitule_{sousnotion}). Chaque sous notion est reliée à une notion donnée (Id_{notion}).
- PA_{sousnotionN1} : Pourcentage d'acquisition de chaque sous notion dans le cas des questions fermées (Niveau 01).
- PA_{sousnotionN2} : Pourcentage d'acquisition de chaque sous notion dans le cas des questions semi ouvertes (Niveau 02).
- PA_{sousnotionN3} : Pourcentage d'acquisition de chaque sous notion dans le cas des questions ouvertes (Niveau 03).

$IC_{acqui} (Id_{ic}, Intitule_{ic}, Id_{sousnotion}, PA_{icN1}, PA_{icN2}, PA_{icN3})$

- IC_{acqui} : Table contenant la liste des IC avec leurs identifiants (Id_{ic}) et leurs intitulés ($Intitule_{ic}$). Chaque IC est relié à une sous notion donnée (Id_{notion}).
- PA_{icN1} : Pourcentage d'acquisition de chaque IC dans le cas des questions fermées (Niveau 01).
- PA_{icN2} : Pourcentage d'acquisition de chaque IC dans le cas des questions semi ouvertes (Niveau 02).
- PA_{icN3} : Pourcentage d'acquisition de chaque IC dans le cas des questions ouvertes (Niveau 03).

Cette dimension fait l'objet de notre recherche pour représenter progressivement l'état cognitif. Les formules mathématiques permettant de calculer le pourcentage d'acquisition des différents concepts sont présentées un peu plus bas. Notons que la dimension état cognitif peut facilement être exploitée par les tuteurs pour mettre en place une remédiation adaptée.

V.2.2. Module de l'apprenant

Les principales fonctionnalités de ce module sont :

- Instanciation du modèle de l'apprenant : à chaque inscription, un profil initial est affecté à l'apprenant. Ce profil renferme les informations générales de l'apprenant et les résultats des pré-tests selon les styles d'apprentissage de Gardner et Felder.
- Extraction de profils : permet de déterminer les profils actuels des apprenants pour les besoins des différents modules du système, en particulier le planificateur d'évaluation.
- Clustering des apprenants : se charge de regrouper les apprenants dans le cadre d'une évaluation par les pairs des activités de type SP, en fonction de certains paramètres du modèle de l'apprenant tel que l'état cognitif.
- Mise à jour : deux types de modifications peuvent s'effectuer dans le modèle de l'apprenant : des modifications automatiques et d'autres semi-automatiques. Les modifications automatiques portent sur l'état cognitif, les préférences et le comportement. Concernant l'état cognitif, la modification est déclenchée par les scores envoyés par le module d'évaluation. Les modifications semi-automatiques sont initiées par l'apprenant. Elles concernent ses informations personnelles, son style d'apprentissage et ses préférences.

V.3. Le Système d'évaluation proposé

Le planificateur de contenu de l'architecture proposée a pour rôle de fournir le contenu (cours et/ou activités) selon le profil de l'apprenant. Dans notre cas, nous nous intéressons aux activités concernant les besoins d'apprentissage et / ou de certification. Le planificateur dans ce cas planifie les activités en paliers (niveaux) d'une pyramide (Voir Figure 17) en vue de faciliter l'évaluation de l'apprentissage. A chaque niveau de la pyramide correspond une unité d'évaluation (UE) à fournir à l'apprenant. Une fois que l'apprenant a répondu à une UE, le planificateur d'activités envoie les réponses données au correcteur du palier approprié. Ce dernier corrige les réponses et envoie les scores (concernant le pourcentage d'acquisition des IC, sous notions, notions, MOOC) au module apprenant pour mettre à jour le profil apprenant. Des informations additionnelles (indications sous forme de consignes, solution type, erreurs potentielles, etc.) peuvent être présentées aux apprenants dans certains cas.

V.3.1. Référentiel ontologique

Le système MOOC proposé est basé sur l'approche ODALA qui repose sur une ontologie de domaine disciplinaire `Onto_TDM` dont l'instanciation donne une représentation complète des concepts (savoir, notions, sous notions, éléments de connaissance, exemples, erreurs potentielles, unités d'évaluation, etc.) liés à une discipline donnée. Cette ontologie sert de colonne vertébrale pour toute évaluation des apprenants vue l'interconnexion entre ces trois concepts : les notions composantes, les unités d'évaluation et les erreurs potentielles. Nous rappelons que dans le cadre d'un EIAH, ODALA opère en trois principales étapes :

- Un diagnostic basé sur les erreurs pour la correction des réponses des apprenants, valable uniquement pour le cas de réponses libres aux questions ouvertes,
- Une méthode de notation graduelle et automatisée utilisant les erreurs détectées lors du diagnostic et des formules de calculs adéquates. Des structures de données sont aussi définies pour le modèle de l'apprenant pour sauvegarder ces résultats dans un état cognitif,
- Un système de profilage pour une génération adaptée de contenus.

Dans le système MOOC proposée, nous avons utilisé trois principes de l'approche ODALA :

- La représentation du domaine ontologique (`Onto-TDM`) qui permet une réutilisation simple de la connaissance du domaine. Par exemple, le MOOC intitulé «Introduction à la programmation en JAVA» existe dans différentes plateformes

MOOC (Coursera, FUN, etc.). Si ces plateformes ont partagé la même ontologie, l'information peut être extraite simplement des différentes plateformes.

- Le diagnostic d'erreur de l'apprenant qui permet la correction d'une solution donnée par un apprenant à un exercice. Nous utilisons ce diagnostic au troisième niveau de la pyramide pour assurer une évaluation automatisée des exercices.
- Dans l'approche ODALA, les auteurs ont proposé plusieurs formules pour l'évaluation de la solution de l'apprenant. Dans notre plateforme MOOC, nous reprenons uniquement la formule pour évaluer un IC dans un exercice qui sera présenté plus bas dans ce document.

L'approche ODALA utilisée pour l'évaluation automatisée des apprenants dans les EIAH consolide au mieux la construction des activités, qui est rendue plus simple grâce à l'ontologie proposée dans cette approche, ainsi qu'aux erreurs potentielles reliées aux items de connaissance. De plus, les résultats de cette approche constituent un moyen efficace pour la construction du profil apprenant, tenant en compte les acquis et se servant de ces renseignements pour l'aider à progresser de façon gérable, efficace et respectueuse. En outre, nous avons constaté un grand intérêt des ontologies, particulièrement dans le cadre des MOOCs. En effet, les ontologies offrent de nombreux avantages dans le contexte du Linked Data (Parundekar et Al., 2010 ; Poggi et Al., 2008), par rapport aux ressources classiques utilisées dans les MOOCs. De plus, l'utilisation des ontologies permet une réutilisation des collections des URIs, ce qui induit moins d'efforts lors de la modélisation, etc.

Nous avons choisi d'utiliser l'approche ODALA dans les MOOCs pour sa gestion efficace des erreurs commises par les apprenants et donc à une meilleure structuration des cours et des ressources dans les MOOCs. De plus, les erreurs potentielles qui sont reliées aux items de connaissance, permettent de donner des feedbacks à l'apprenant en lui précisant l'erreur qu'il a commise et la connaissance qu'il n'a pas bien maîtrisée.

V.3.2. Hiérarchisation des niveaux d'évaluation

Nous proposons pour chaque discipline un ensemble d'activités que nous classons par paliers. Chaque palier renferme un type d'activité que l'apprenant doit effectuer et sur lequel il sera évalué. Nous proposons une classification en quatre paliers des travaux de (Haddadi et Al., 2016). Les différents niveaux considérés sont illustrés dans la Figure 17 suivante :

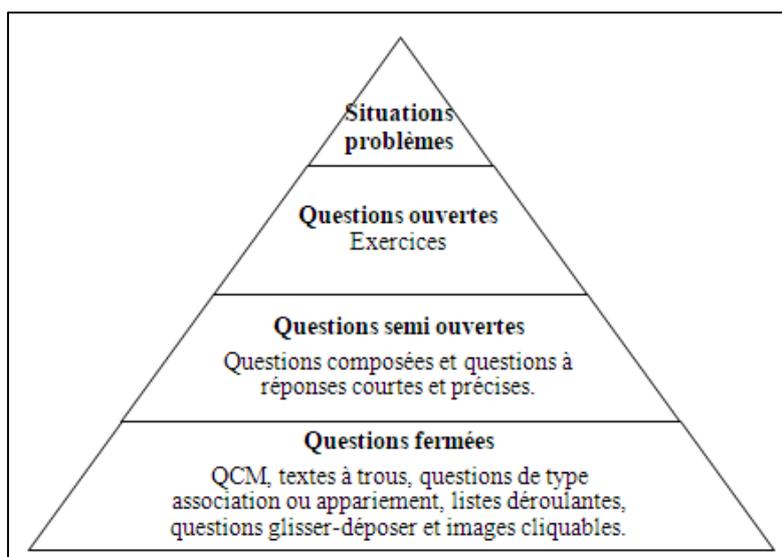


Figure 17 : Planification des activités d'évaluation

Dans cette pyramide, les paliers (niveaux) sont conçus selon un degré de difficulté croissant des activités liées à une discipline donnée et aux deux théories de Bloom (Anderson et Al., 2001, Bloom, 1964) et Dany Grimard (Web). La taxonomie de Bloom classe les objectifs d'apprentissage du domaine cognitif en six niveaux allant du plus simple au plus complexe (Cf Tableau 4). Cette taxonomie nous a aidés dans le choix des objectifs à fixer dans les niveaux de la pyramide.

Tableau 4: Taxonomie de Bloom

Objectif	Signification
Reconnaître	puiser dans la mémoire à long terme des données factuelles.
Comprendre	démontrer sa compréhension en établissant des liens significatifs entre ce que l'on se rappelle et une nouvelle tâche.
Appliquer	placer ses connaissances ou sa compréhension à un exercice pratique en transférant une procédure apprise à une tâche familière ou non.
Analyser	fractionner ses connaissances sur un sujet en composantes et démontrer les liens unissant les parties entre elles et avec le tout.
Evaluer	exercer son jugement, détecter les éléments inappropriés et manquant de logique, démontrer son esprit critique.
Créer	élaborer un plan détaillé, étape par étape, pour produire un objet, un projet, une solution à un problème, un projet de recherche ou un essai.

Dany Grimard a proposé quatre niveaux de motivation (Cf Tableau 5). Ces niveaux nous ont aidés dans le choix du type de motivation à créer chez l'apprenant.

Tableau 5: Niveaux de motivation de Dany Grimard

Type de motivation	Signification
Passion	C'est l'état de bonheur ressenti quand la performance et la conscience du moment présent sont à leur comble, et que la notion de temps est abolie.
Autonomie	c'est la capacité de répondre à ses propres besoins, de prendre et d'assumer ses décisions, tout en tenant compte de son entourage et de son environnement.
Maitrise	c'est le désir de toujours être meilleur dans une activité donnée et, fait intéressant, se former et développer ses compétences constituent de puissants leviers de motivation.
Sens	c'est avoir des objectifs qui nous sont propres et un travail qui va dans le même sens que la mission que nous nous sommes donnés.

- **Questions Fermées**

Ce niveau renferme des questions fermées sous forme de QCM, de textes à trous et autres questions (de type association ou appariement, de listes déroulantes, glisser-déposer et images cliquables). Ce type de questions propose aux apprenants un choix parmi des réponses préétablies, avec des difficultés graduelles visant à créer une relation de confiance avec l'apprenant, de le conduire progressivement à se décider à apprendre et à puiser dans sa mémoire à long terme des données factuelles, tout en créant en lui en certaine passion et une volonté pour atteindre le niveau supérieur. Les savoirs acquis dans ce niveau peuvent disparaître avec le temps si elles ne sont pas institutionnalisées, d'où l'intérêt des niveaux qui suivent.

- **Questions Semi Ouvertes**

Ce niveau contient des questions semi ouvertes (composées, à réponses courtes et précises), un peu plus complexes que les précédentes. Dans ce niveau, l'apprenant comprend l'information et en saisit le sens, tout en créant en lui une certaine autonomie qui est l'une des conditions essentielles de réussite à la motivation intrinsèque (Spratt et Al., 2002 ; Dickinson, 1995). Avec ce type de questions, nous visons à s'assurer que les savoirs acquis sont maintenus et que l'apprenant peut combiner ses connaissances pour rédiger une réponse, et ce grâce à l'autonomie créée en lui, tout au long de ce niveau.

- **Questions Ouvertes**

Dans cette étape de la planification, des questions ouvertes sont présentées à l'apprenant d'une façon claire et précise, et qui contient toute les informations pour la résolution du problème. L'apprenant met alors en pratique une règle, une méthode, ou mobilise des

connaissances dans une situation ordinaire. Ainsi, une maîtrise est créée chez lui, où le désir de toujours être meilleur dans une activité donnée, se former et développer ses compétences constitue de puissants leviers de motivation. Dans ce niveau, l'enseignant est amené à fixer des critères précis ainsi que des objectifs quantitatifs de qualité afin de s'assurer du savoir-faire acquis par l'apprenant. Mais pour parler de compétences, l'apprenant doit faire face à des situations problèmes, présentées dans le niveau qui suit.

- **Situations Problème**

Une fois que l'apprenant ait bien maîtrisé les concepts, nous lui présentons des situations problèmes. Ces dernières permettent d'analyser une situation réelle, afin d'en extraire des conclusions pour enrichir les connaissances, développer le raisonnement de l'apprenant, stimulé son sens de créativité et augmenter sa confiance en soi. Les apprenants atteignant ce niveau, trouve un sens et des objectifs qui leurs sont propres, nous les classifions donc comme des élites. Concernant la méthode utilisée pour évaluer l'ensemble des productions réalisées par les participants du MOOC, nous optons pour l'évaluation par les pairs. Le Tableau 6 résume les quatre paliers de la pyramide :

Tableau 6 : Tableau résumant les différents niveaux de notre système d'évaluation

	Palier 01	Palier 02	Palier 03	Palier 04
Outils d'évaluation	Questions fermées	Questions semi-ouvertes	Questions ouvertes	Situations problème
Motivation visée	La passion	La passion et l'autonomie	L'autonomie et la maîtrise	La maîtrise et le sens
L'apprenant	Fait des erreurs	Fait des erreurs	Fait des erreurs	Se trouve face à des obstacles
Objectifs à atteindre	Un savoir	Un savoir et un savoir-faire	Un savoir-faire	Compétences
Objectifs cognitifs	Reconnaitre Comprendre	Comprendre	Appliquer	Analyser, Evaluer, et Créer
Mise à jour modèle apprenant	Concepts d'Onto-TDM	Concepts d'Onto-TDM	Concepts d'Onto-TDM	Score global du MOOC
Approche d'évaluation	Nouvelles Formules	Nouvelles Formules	ODALA	Evaluation par les pairs

V.3.3. Le Module d'évaluation

La planification pédagogique consiste en grande partie en l'organisation d'activités pédagogiques consacrées à l'atteinte d'objectifs ou de compétences d'un cours. Les différents paliers proposés sont conçus selon un degré de difficulté croissant des activités d'évaluation.

Le processus d'évaluation proposée dans le cadre de la thèse propose deux méthodes d'évaluation : une évaluation automatisée et une évaluation semi-automatique par les pairs. La méthode d'évaluation automatisée concerne les activités (questions fermées, semi-ouvertes et ouvertes (exercices)) de bas niveaux de la pyramide. L'évaluation semi-automatique concerne d'évaluation par les pairs de l'activité Situation Problème (SP) située dans le haut de la pyramide. Pour résoudre ces situations et être évalués, seuls les apprenants ayant réussis dans les activités de bas niveaux, sont concernés. Car, ils / elles sont censés avoir suffisamment d'aptitudes pour résoudre des SP et donc aptes à participer aux évaluations par les pairs.

Dans les systèmes MOOCs existants, l'état cognitif de l'apprenant ne concernait qu'une simple notation des quiz proposés alors qu'il serait souhaitable d'aller dans les détails des notions pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte des connaissances des apprenants sous une forme adaptée. Le module d'évaluation proposé se base sur les différents niveaux de la pyramide proposés (Figure 17) et l'ontologie de domaine disciplinaire Onto_TDM (Figure 1). La Figure 18 suivante illustre le processus de l'évaluation proposée :

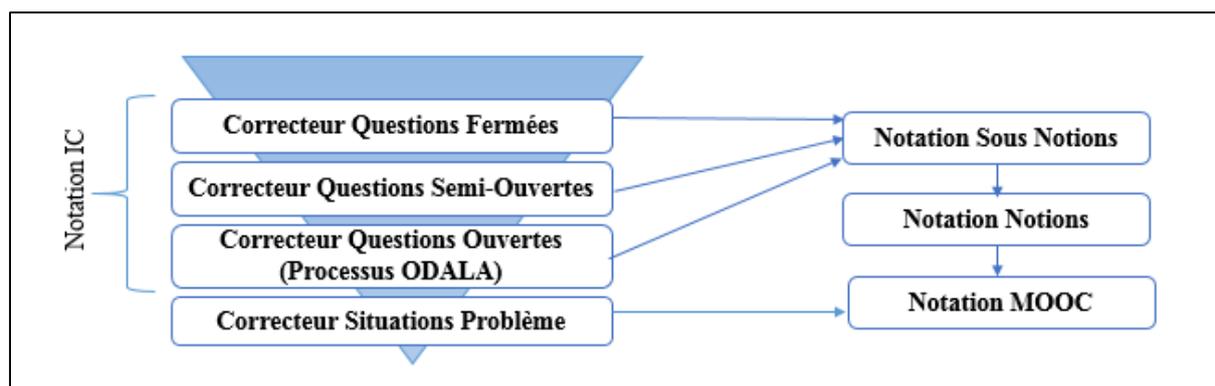


Figure 18: Processus de l'évaluation proposée

Pour chaque palier de la pyramide, une unité d'évaluation est présentée à l'apprenant. Une unité d'évaluation contient un ensemble de questions aléatoires. Chaque question est reliée à un ou plusieurs concepts (IC, sous-notions et notions) de l'ontologie (Onto-TDM). Nous proposons également d'afficher la liste des erreurs potentielles susceptibles d'être commises par les apprenants. L'acquisition des différents concepts est rattachée le seuil de réussite, défini par les experts du domaine. Dans ce qui suit, nous présentons les différents correcteurs d'activités ainsi que les formules mathématiques permettant de calculer l'acquisition des concepts de l'ontologie.

Le Tableau 7 suivant représente l'instanciation d'une partie d'Onto-TDM relative au MOOC : Bases de données relationnelle (BDDR). Cette ontologie est nommée Onto-RDB (Bouarab-Dahmani et al., 2015).

Tableau 7: Instanciation d'une partie d'Onto-RDB pour le domaine BDDR

Notions	Sous-notions	IC
- N1: Introduction au modèle relationnel	- SN1: Historique sur les Bases de Données (BDD)	- C'est quoi une BDD? - Histoire, - Généralités.
	- SN2: Historique du modèle relationnel	- Origine du modèle relationnel, - Objectifs du modèle relationnel,
	- SN3: La relation	- Attributs d'une relation, - Degré d'une relation, - Clé d'une relation, - Cardinalités d'une relation.
	- SN4: Règles d'intégrité	- Clés primaires, - Clés étrangères, - L'intégrité référentielle.
- N2: Règles d'intégrité Référentielle	- SN1: Algèbre Relationnel	- Union, intersection et différence, - Sélection, - Projection, - Jointures,

Dans les parties qui suivent, nous présentons le système de notation proposé pour chaque niveau de la pyramide en se basant sur Onto-RDB pour donner des exemples concrets. Nous présentons tout d'abord les formules mathématiques pour calculer le pourcentage de l'acquisition des IC, qui sont les notions élémentaires (granulaires) composant le domaine, dans les différents paliers de la pyramide. Ensuite, nous exposons les formules permettant de calculer le pourcentage d'acquisition des autres notions ainsi que du MOOC.

V.3.3.1. Notation des questions fermées

L'acquisition d'un IC diffère d'un type de question à une autre. Dans la suite, nous présentons la formule qui nous a permis de calculer le pourcentage d'acquisition des IC d'une unité d'évaluation qui contient n questions. Cette formule concerne les questions à choix multiples et les listes déroulantes. Pour calculer le pourcentage d'acquisition d'un item de connaissance nous proposons la formule suivante :

$$PA_{\text{Item } i} = \frac{\sum_{j=1}^n (\alpha_j \times \sum_{k=1}^m R_{ijk})}{\sum_{j=1}^n (\alpha_j)} \quad \text{Formule 01}$$

Où :

- i : $i^{\text{ème}}$ item de connaissance,
- j : $j^{\text{ème}}$ question dans l'UE,
- k : $k^{\text{ème}}$ proposition dans une question j ,
- n : nombre de questions dans une UE,
- m : nombre de proposition dans une question,
- $PAItem_i$: C'est le pourcentage d'acquisition d'un item i dans une UE,
- R_{ijk} : Dénoté comme booléen. Précise si la réponse est correcte pour l'item i dans la question j (1 si oui et 0 sinon)
- α_j : Coefficient correspondant à la complexité de chaque question qui est relié au nombre des IC au quelle la question j est connectée. $0 \leq \alpha \leq 1$

$$\alpha_j = NQ / NQN \quad \text{Formule 02}$$

- NQ : Nombre des items de connaissances auxquels est reliée une question,
- NQN : Nombre des items auxquels est relié l'UE.

Afin de mieux comprendre les formules 01 et 02, nous présentons un exemple (Figure 19) pour une UE relative à la Sous-notion "Historique sur les bases de données" et les réponses soumises par un apprenant donné. Cette sous-notion contient trois IC (Tableau 7).

Unité d'évaluation reliée à "Historique sur les BDD"	Réponses d'un apprenant
<p>1. Une BDD :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Est-ce une collection de données connexes. Relié à l'IC 01</p> <p><input type="checkbox"/> Traite les données comme une collection de relations. IC 03</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Est une collection structurée d'enregistrements. IC 01</p>	<p>1. Une BDD :</p> <p><input type="checkbox"/> Est-ce une collection de données connexes. Relié à l'IC 01</p> <p><input type="checkbox"/> Traite les données comme une collection de relations. IC 03</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Est une collection structurée d'enregistrements. IC 01</p>
<p>2. Fin des années 1960 et 1970 :</p> <p><input type="checkbox"/> Utilisation des bandes magnétique pour le stockage. IC 02</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Le disque dur permet un accès direct aux données. IC 02</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Connue comme système de traitement de fichiers. IC 02</p> <p><input type="checkbox"/> Les bandes fournissent uniquement un accès séquentiel. IC 02</p>	<p>2. Fin des années 1960 et 1970 :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Utilisation des bandes magnétique pour le stockage. IC 02</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Le disque dur permet un accès direct aux données. IC 02</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Connue comme système de traitement de fichiers. IC 02</p> <p><input type="checkbox"/> Les bandes fournissent uniquement un accès séquentiel. IC 02</p>
<p>3. Le modèle de données sert à décrire de façon formelle la manière dont les données sont vues à différents niveaux d'abstraction :</p> <p><input type="checkbox"/> Niveaux physique et conceptuel. IC 03</p> <p><input type="checkbox"/> Niveau conceptuel. IC 03</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Niveaux physique, conceptuel et de vue. IC 03</p>	<p>3. Le modèle de données sert à décrire de façon formelle la manière dont les données sont vues à différents niveaux d'abstraction :</p> <p><input type="checkbox"/> Niveaux physique et conceptuel. IC 03</p> <p><input type="checkbox"/> Niveau conceptuel. IC 03</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Niveaux physique, conceptuel et de vue. IC 03</p>

Mauvaise réponse

Figure 19: Exemple d'une UE relatif au 1^{er} palier de la pyramide d'évaluation

L'acquisition des IC est essentiellement axée sur R_{ijk} et α_j . La première étape consiste à calculer la complexité de chaque question. R_{ijk} dépend de la question j , de la proposition k de

la question j et de l'item i . Dans l'exemple de la Figure 19, $R_{111} = 0$ parce que l'apprenant donne une mauvaise réponse, $R_{111} = \text{NULL}$ parce que la troisième proposition de la première question n'inclut pas l'item $_{01}$ et $R_{113} = 1$ parce que l'apprenant donne une bonne réponse.

Le Tableau 8 montre les différentes valeurs de chaque α_j , selon l'exemple illustré dans l'exemple la Figure 19.

Tableau 8: Les différentes valeurs du coefficient de complexité d'une question (α_j)

Question j	α_j	Value
Question 01	α_1	2/3
Question 02	α_2	1/3
Question 03	α_3	1/3

Le Tableau 9 montre les différentes valeurs de R_{ijk} . Ce dernier dépend de la question j , de la proposition k dans la question j et de l'item i . Dans l'exemple de la Figure 19, $R_{111} = 0$ parce que l'apprenant donne une mauvaise réponse, $R_{111} = \text{Nul}$ car la troisième proposition de la première question n'inclut pas l'item 01 et $R_{113} = 1$ parce que l'apprenant donne une réponse correcte.

Tableau 9: Valeurs du booléen R_{ijk}

Question j	Proposition k	Item i		
		Item 01	Item 02	Item 03
Question 01	Proposition 01	0	Nul	Nul
	Proposition 02	Nul	Nul	1
	Proposition 03	1	Nul	Nul
Question 02	Proposition 01	Nul	0	Nul
	Proposition 02	Nul	1	Nul
	Proposition 03	Nul	1	Nul
	Proposition 04	Nul	1	Nul
Question 03	Proposition 01	Nul	Nul	1
	Proposition 02	Nul	Nul	1
	Proposition 03	Nul	Nul	1

L'acquisition des IC selon la Formule 01 est résumée dans le Tableau 10 suivant :

Tableau10: Acquisition des items de connaissances selon la Formule 01

Item $_i$	Acquisition item $_i$	Pourcentage Acquisition item $_i$
Item 01	$PA_{\text{Item}_1} = 0.5$	50%
Item 02	$PA_{\text{Item}_2} = 0.75$	75%
Item 03	$PA_{\text{Item}_3} = 1$	100%

V.3.3.2. Notation des questions semi-ouvertes

Ce niveau comprend des questions semi-ouvertes. Afin de calculer l'acquisition des éléments de connaissance, nous proposons la formule suivante qui concerne des questions avec des réponses courtes et précises :

$$PAItem\ i = \frac{\sum_{l=1}^k (\sum_{j=1}^n (\alpha l * \frac{R_{ij}}{n}))}{\sum_{l=1}^k \alpha l} \text{Formule 03}$$

Où :

- l : question l dans une UE,
- j : j^{ème} sous-question de la question l,
- i : i^{ème} item de connaissance,
- k : Nombre totale de question dans une UE,
- n : Nombre de sous-questions dans une question,
- R_{ij} : (Booléen) Si la réponse est correcte R_{ij}=1 sinon R_{ij}=0.
- α_l: Coefficient correspondant à la complexité de chaque question, calculé avec la Formule 02.

Certaines sous-notions ne nécessitent pas des UE pour un certain palier de la pyramide. Dans l'exemple de la Figure 19, relatif à la sous-notion « Historique sur les BDD », nous avons présenté une UE pour le premier palier de la pyramide. Cependant, cette sous-notion ne nécessite pas une UE pour le deuxième palier car ce n'est pas l'objectif principal du MOOC intitulé « Les BDD relationnelles ». Par conséquent, nous présentons ci-dessous un exemple (Figure 20) d'une UE relative à la sous-notion «La relation». Cette dernière contient quatre (4) IC.

Evaluation unit related to "The relation"	L'unité d'évaluation soumise par un apprenant								
<p>1. Question 01: Reliée à l'IC 01 et l'IC 02 Quelle est le degré de chacune des relations suivantes ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Person (ID_P, First_name, Last_name, Date_birth) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">4</td></tr></table> • Running (ID_R, Postal_code, City) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table> • Result (ID_Re, Time, Score) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table> 	4	3	3	<p>1. Question 01: Reliée à l'IC 01 et l'IC 02 Quelle est le degré de chacune des relations suivantes ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Person (ID_P, First_name, Last_name, Date_birth) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">4</td></tr></table> • Running (ID_R, Postal_code, city) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table> • Result (ID_Re, Time, Score) <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table> 	4	3	3		
4									
3									
3									
4									
3									
3									
<p>2. Question 02: Reliée à l'IC 01 Listez les différents attributs dont le domaine est un ensemble fini:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Person (ID_P, First_name, Last_name, Gender, Civil_status) • Travel (ID_T, Destination, Stay_duration) <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Gender</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Civil status</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Destination</div> </div>	<p>2. Question 02: Reliée à l'IC 01 Listez les différents attributs dont le domaine est un ensemble fini:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Person (ID_P, First_name, Last_name, Gender, Civil_status) • Travel (ID_T, Destination, Stay_duration) <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Gender</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Civil status</div> </div>								
<p>3. Question 03: Reliée à l'IC04 Listez les clés primaires et étrangères des relations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Customer (ID_C, Name, Address) • Vehicle (ID_V, Mark, Model, Year, Proprietor) • Contract (ID_Ce, Type, Date, Customer, Vehicle) <p><u>Clés primaires</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_C</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_V</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_Ce</div> </div> <p><u>Clés étrangères</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Proprietor</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Vehicle</div> </div>	<p>3. Question 03: Reliée à l'IC04 Listez les clés primaires et étrangères des relations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Customer (ID_C, Name, Address) • Vehicle (ID_V, Mark, Model, Year, Proprietor) • Contract (ID_Ce, Type, Date, Customer, Vehicle) <p><u>Clés primaires</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_C</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_V</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">ID_Ce</div> </div> <p><u>Clés étrangères</u></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Proprietor</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px 10px; margin: 2px;">Vehicle</div> </div>								
<p>4. Question 04 : Reliée à l'IC03 Dans la société X, une direction contient un ensemble de sous-directions, qui comprend un ensemble de services. Voici le diagramme E / A correspondant:</p> <p>Donnez les cardinalités des relations (séparez la valeur minimale de la valeur maximale par une virgule) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, n</td></tr></table> • B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, 1</td></tr></table> • C <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, n</td></tr></table> • D <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, 1</td></tr></table> 	1, n	1, 1	1, n	1, 1	<p>4. Question 04 : Reliée à l'IC03 Dans la société X, une direction contient un ensemble de sous-directions, qui comprend un ensemble de services. Voici le diagramme E / A correspondant:</p> <p>Donnez les cardinalités des relations (séparez la valeur minimale de la valeur maximale par une virgule) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • A <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, n</td></tr></table> • B <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">0, 1</td></tr></table> • C <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">1, n</td></tr></table> • D <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px; text-align: center;">0, 1</td></tr></table> 	1, n	0, 1	1, n	0, 1
1, n									
1, 1									
1, n									
1, 1									
1, n									
0, 1									
1, n									
0, 1									

Figure 20: Exemple d'une UE relatif au 2^{ème} palier de la pyramide d'évaluation

L'acquisition des IC, selon la Formule 03, est essentiellement axée sur R_{ij} , α_1 et n . La première étape consiste à calculer la complexité (α_1) ainsi que le nombre de sous-questions (n) dans chaque question. En se basant sur l'exemple de la Figure 20, nous calculons (α_1 , α_2 , α_3 et α_4) selon la Formule 02. Le Tableau 11 illustre les différentes valeurs de α_1 et n .

Tableau 11: Les différentes valeurs de α_1 et n

Question l	α_1	Value	N
Question 01	α_1	2/4	3
Question 02	α_2	1/4	3
Question 03	α_3	1/4	5
Question 04	α_4	1/4	4

Le Tableau 12 illustre les différentes valeurs de R_{ij} relatif à l'UE présenté dans la Figure 20 précédente. Où, chaque question est reliée à un ou plusieurs IC.

Tableau 12: Les différentes valeurs de R_{ij}

Question I	Sous question j	Item i			
		Item 1	Item 2	Item 3	Item 4
Question 01	Sous question 1	1	1	Nul	Nul
	Sous question 2	1	1	Nul	Nul
	Sous question 3	1	1	Nul	Nul
Question 02	Sous question 1	1	Nul	Nul	Nul
	Sous question 2	1	Nul	Nul	Nul
	Sous question 3	0	Nul	Nul	Nul
Question 03	Sous question 1	Nul	Nul	Nul	1
	Sous question 2	Nul	Nul	Nul	1
	Sous question 3	Nul	Nul	Nul	1
	Sous question 4	Nul	Nul	Nul	1
	Sous question 5	Nul	Nul	Nul	1
Question 04	Sous question 1	Nul	Nul	1	Nul
	Sous question 2	Nul	Nul	0	Nul
	Sous question 3	Nul	Nul	1	Nul
	Sous question 4	Nul	Nul	0	Nul

Les "Null" signifient que la sous notion n'inclut pas l'item i. L'acquisition des IC selon la Formule 03 est résumée dans le Tableau 13 suivant :

Tableau 13: Acquisition des items selon la Formule 03

Item i	Calcul et valeur	Pourcentage Acquisition Item i
Item 01	$PA_{Item_1} = 0.89$	89%
Item 02	$PA_{Item_2} = 1$	100%
Item 03	$PA_{Item_3} = 0.5$	50%
Item 04	$PA_{Item_4} = 1$	100%

V.3.3.3. Notation des questions ouvertes

Pour ce type de questions, nous suivons la méthode de notation proposée dans ODALA (Bouarab et Al., 2009, 2010) pour le cas des questions ouvertes. La note d'un item de connaissance (N_{ij}) par rapport à un exercice dépend du nombre d'erreurs détectées sur cet item (ND_{ij}) et du nombre total (NT_i) d'erreurs référencées dans la base d'erreurs et qui sont reliées à cet item. N_{ij} dans ce cas est calculé par la formule suivante :

$$N_{ij} = (1 - ND_{ij} / NT_i) \quad \text{Formule 04}$$

Avec : $0 \leq N_{ij} \leq 1$ et $NT_i > 0$

Afin d'obtenir le pourcentage d'acquisition d'un IC dans une UE qui contient plusieurs exercices, ou chaque exercice est relié à un ou plusieurs IC, nous utilisons la formule suivante (Bouarab et Al. 2009) :

$$PAItem\ i = \frac{\sum_{j=1}^n(N_{ij})}{\sum_{j=1}^n(E_j)} \quad \text{Formule 05}$$

- PAItem_i : C'est le pourcentage d'acquisition d'un item i dans le questionnaire, qui correspond dans ce cas à la somme des pourcentages d'acquisition de cet item dans chaque exercice divisé sur le nombre d'exercice qui inclut l'item i,
- n : nombre total d'exercices dans une UE,
- N_{ij} : La note d'un IC dans un exercice,
- E_j : Si l'exercice j inclut l'item i alors E_j=1 sinon E_j=0.

Nous présentons ci-dessous un exemple (Figure 21) pour un exercice lié à la sous-notion "Algèbre Relationnelle", la réponse donnée par un apprenant ainsi que les différentes erreurs commises détectées.

<p>Enoncé de l'exercice :</p> <p>On considère la base de données 'AIRBASE' suivante :</p> <p>PILOTE (NUMPIL : D_NUMPIL, NOMPIL : D_NOMPIL, ADR : D_VILLE, SAL : D_SAL)</p> <p>AVION (NUMAV : D_NUMAV, NOMAV : D_NOMAV, CAP : D_CAP, LOC : D_VILLE)</p> <p>VOL (NUMVOL : D_NUMVOL, NUMPIL : D_NUMPIL, NUMAV : D_NUMAV, VILLE_DEP : D_VILLE, VILLE_ARR : D_VILLE, H_DEP : D_HEURE, H_ARR : D_HEURE)</p> <p>Quels sont les numéros des pilotes qui ne sont pas en service ?</p>
<p>Réponse de l'apprenant :</p> <p>RUNION = INTER (PILOTE, AVION) ;</p>
<p>Erreurs commises :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Les deux relations utilisées dans la jointure extérieure n'ont pas d'attributs communs, 2. Opérateur algébrique de différence introuvable alors qu'il est prévu dans l'exercice, 3. Opérateur algébrique de la jointure extérieure trouvé alors qu'il n'est pas prévu dans l'exercice, 4. Opérateur algébrique de projection introuvable alors qu'il est prévu dans l'exercice.

Figure 21: Affichage des erreurs détectées après la résolution d'un exercice par un apprenant

Dans cet exemple, nous avons constaté, après le diagnostic de l'ODALA, que l'apprenant avait commis quatre erreurs. Parmi celles-ci, deux erreurs concernant la jointure et la différence. D'un autre côté, nous avons 14 erreurs qui peuvent être commises par les apprenants qui sont liées à cet élément. Selon la Formule 7, la note de l'item 01 dans l'exercice 01 est de 86%.

Selon les domaines, plusieurs techniques de diagnostic peuvent être utilisées. Pour l'algorithme par exemple, des règles de prédiction correspondant aux intentions du programmeur sont définis (Bouarab et Al., 2009). Dans les domaines où les solutions sont présentées sous forme de raisonnement, des bases de règles sont utilisées, comme les règles de transformation dans (Nicaud et Al., 2006). La construction de grammaires est une autre technique utilisée pour analyser la solution des apprenants. Cette approche est basée sur l'analyse de la langue naturelle dans le cas de l'apprentissage de langues comme (Bird et Al., 2009).

V.3.3.4. Synthèse

Le pourcentage d'acquisition des sous notions est la moyenne des pourcentages d'acquisition des IC qu'elle contient, et cela se calcule selon la formule suivante :

$$PA_{\text{notion } i} = \frac{\sum_{i=1}^n (PA_{\text{item } i})}{n} \text{Formule 09}$$

Où :

- i : $i^{\text{ème}}$ items de connaissance.
- $PA_{\text{item } i}$: Le pourcentage d'acquisition de l'item i .
- n : Le nombre d'items de connaissance que contient la sous-notion.

Le pourcentage d'acquisition des notions est la moyenne des pourcentages d'acquisition des sous notions qu'elle contient, et cela se calcule avec la formule suivante :

$$PA_{\text{notion } i} = \frac{\sum_{i=1}^n (PA_{\text{notion } i})}{n} \text{Formule 10}$$

Où :

- i : $i^{\text{ème}}$ sous-notion.
- $PA_{\text{notion } i}$: Le pourcentage d'acquisition de la sous-notion i .
- n : Le nombre de sous notion que contient la notion.

Le pourcentage d'acquisition du MOOC globale est la moyenne des pourcentages d'acquisition des notions du MOOC, cela se calcule selon la formule suivante :

$$P_{Amooc} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{Anotioni})}{n} \text{Formule 11}$$

Où :

- i : $i^{\text{ème}}$ notion.
- $P_{Anotioni}$: Le pourcentage d'acquisition de la notion i .
- n : Le nombre de notion que contient le MOOC.

V.3.4. Evaluation par les pairs

Dans cette partie, nous présentons la méthode d'évaluation (évaluation par les pairs) choisie pour l'activité Situation Problème (SP) située dans le haut de la pyramide. Rappelons que l'évaluation par les pairs actuellement faites dans les MOOCs constitue de réels problèmes. L'un des principaux problèmes c'est la formation de groupes qui se fait d'une manière aléatoire ou en se basant uniquement sur les connaissances des apprenants. En effet, dans notre approche comme dans d'autres (Staubitz et Al., 2016 ; Kulkarni et Al., 2015 ; O'Toole, 2013), chaque apprenant est tenu de noter le travail des autres apprenants du même groupe. Il semble essentiel, avant le PEP, de former des groupes appropriés. L'approche adoptée dans ce document s'intéresse particulièrement à la formation de groupes hétérogènes afin d'avoir des scores et feedbacks complémentaires. Un autre problème rencontré c'est que certains apprenants n'ont pas les connaissances et l'expérience nécessaires pour évaluer le travail de leurs pairs (Hew et Al., 2014). Le troisième défi est que certains apprenants prennent la responsabilité de l'EP au sérieux et formulent des commentaires significatifs, mais que les majorités sont à peine engagées (Krause, 2013). Enfin, les méthodes proposées pour la synthèse des résultats sont basées sur des formules assez simples (généralement la moyenne des scores attribués par les pairs). Il s'agit là d'un réel problème de fiabilité des scores.

V.3.4.1. Processus Global de l'Evaluation par les Pairs Proposé

Avant de lancer le PEP, nous considérons un ensemble de conditions préliminaires qui se résument comme suit :

- Pour résoudre ces situations et être évalués, seuls les apprenants ayant réussis dans les activités de bas niveaux avec succès (trois premiers niveaux de la pyramide), sont concernés. Ainsi, ces apprenants sont censés avoir suffisamment de connaissances et donc aptes à participer à l'EP. Ceci permet de remédier à l'un des défis cités précédemment qui est : les apprenants n'ont pas suffisamment de connaissances pour évaluer leurs pairs,

- La SP doit être construite dans le module d'ingénierie MOOC, accompagné d'une grille d'évaluation critériée et normative avec une échelle associée (Bouarab-Dahmani & Viallet, 2014)
- La grille d'évaluation est affichée aux apprenants avant la résolution de chaque SP.
- Une date limite pour chaque soumission d'une SP est fixée.

Tout au long de l'apprentissage avec un MOOC donné, le modèle de l'apprenant est instancié et les profils respectifs des apprenants sont construits en temps réel au fur et à mesure des sessions. Au cours du processus d'EP proposé, plusieurs données du profil de l'apprenant sont prises en compte. Ainsi, nous donnons aux tuteurs la possibilité de choisir les paramètres du modèle de l'apprenant qu'ils souhaitent prendre en considération lors du processus d'évaluation par les pairs (PEP). Ensuite, les apprenants sont tenus d'évaluer la tâche de leurs pairs du même groupe. Une synthèse des différents scores est établie et distribuée aux apprenants. Enfin, un espace de discussion collective est ouvert à tous les apprenants insatisfaits. La Figure 22 illustre une vue générale du PEP proposé.

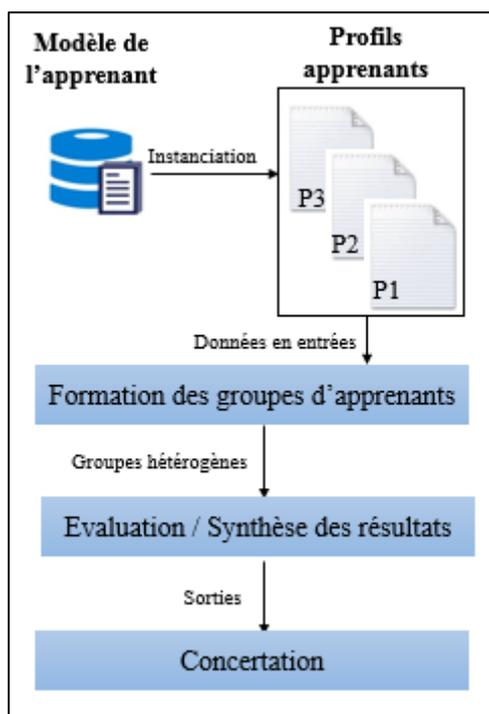


Figure 22: Vue générale du PEP proposé

Comme mentionné un peu plus haut, nous donnons la possibilité aux tuteurs de choisir les paramètres à prendre en considération dans le PEP. Dans notre cas, nous prenons les paramètres suivants comme exemples : l'état cognitif, le nombre de certificats obtenus, l'implication dans les forums et la capacité à évaluer.

- L'état cognitif (E_i) : qui contient les connaissances acquises durant les activités des trois premiers niveaux de la pyramide. Ces données sont utilisées pour calculer l'acquisition du MOOC pour ces trois paliers, selon la Formule 12 suivante :

$$\text{MOOCacqu} = \delta_1 * \text{Niveau}_1 + \delta_2 * \text{Niveau}_2 + \delta_3 * \text{Niveau}_3 \quad \text{Formule 12}$$

Où :

- o MOOCacqu : Pourcentage d'acquisition du MOOC,
- o Niveau₁: Pourcentage d'acquisition du MOOC pour le premier niveau avec un coefficient d'importance $\delta_1=1/6$,
- o Niveau₂: Pourcentage d'acquisition du MOOC pour le premier niveau avec un coefficient d'importance $\delta_2=1/3$,
- o Niveau₃: Pourcentage d'acquisition du MOOC pour le premier niveau avec un coefficient d'importance $\delta_3=1/2$.

Par exemple, un apprenant ayant un score de 87% dans le premier palier, 77% dans le second et 81% dans le troisième, son état cognitif ($\text{MOOCacqu}=80,67\%$).

- Le nombre de certificats obtenus ($\text{Nbr}C_i$) dans un MOOC déjà suivi : Ces certificats sont obtenus si ces deux conditions sont complétées : atteindre le seuil rattaché à chaque SP dans un MOOC donné et avoir corrigé tous les travaux du même groupe. Le nombre de certificats obtenus est converti en pourcentage (C_i) pour faciliter le calcul du score final. Les pédagogues et les experts du domaine suggèrent des valeurs du paramètre C_i (le Tableau 14 donne des exemples de valeurs)-

Tableau 14: Valeurs du pourcentage du nombre de certificats obtenus (C_i)

Nombre de certificats obtenus ($\text{Nbr}C_i$)	C_i
0	0%
Entre 1 et 5	25%
Entre 5 et 10	50%
Entre 10 et 15	75%
Plus de 15	100%

- L'implication dans les forums (I_i) : qui est devenu d'un des principaux paramètres dans plusieurs plateformes MOOC. Plusieurs travaux (Coffrin & Al., 2014; Ferguson and Clow, 2015; Kizilcec & Al. 2013; Poquet and Dawson, 2015; Wong & Al., 2015) ont été proposés pour analyser les discussions dans les forums MOOC. La valeur du paramètre (I_i) est calculé précédemment en utilisant des techniques tel que : l'analyse du texte, etc. Il est utilisé durant cette thèse comme un pourcentage.

- La capacité à évaluer (P_i): qui est obtenue en se basant sur des tests psychotechniques proposés par des psychologues. Ces tests sont utilisés pour valider chez l'individu une qualité précise requise. Dans notre cas, un test psychotechnique est présenté aux apprenants afin d'évaluer leurs capacités à raisonner et à corriger les travaux. Ce test est proposé aux apprenants avant le PEP.

V.3.4.2. Formation de groupes

Le processus de formation des groupes d'apprenants que nous proposons a pour rôle de regrouper les apprenants par affinités de certains paramètres pour favoriser l'évaluation par les pairs. Ainsi, les apprenants d'un même groupe vont interagir pour s'entre évaluer. Le processus préconisé opère en deux phases (Cf. Figure 23): le clustering d'apprenants et la formation de groupes hétérogènes.

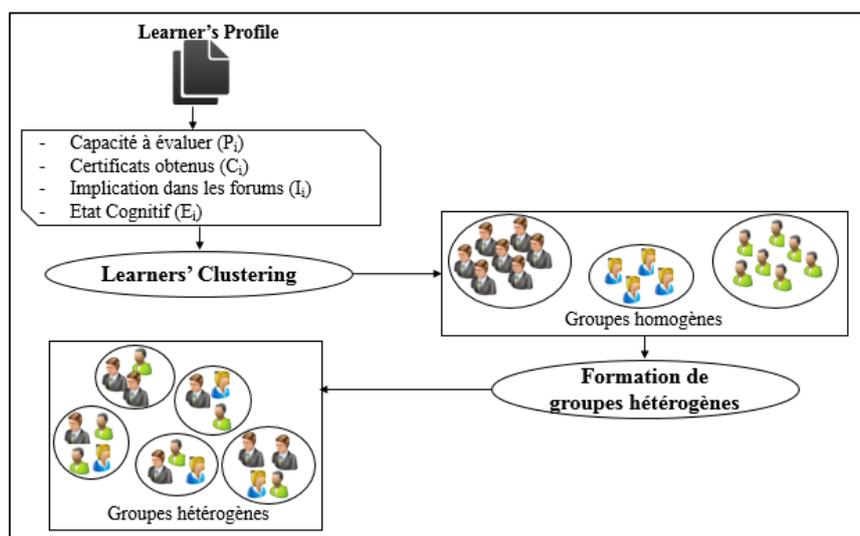


Figure 23: Processus de formation de groupes

Phase 1 : Le système classe les apprenants en groupes homogènes selon quatre paramètres : la capacité à évaluer, les certificats obtenus, l'implication dans les forums et l'état cognitif. Pour cela, des techniques de clustering sont utilisées. Le but des algorithmes de clustering est de minimiser la distance intra-classe et de maximiser la distance interclasse afin d'obtenir des sous-ensembles le plus distincts possible (Hartigan & Wong, 1979). Nous avons choisi d'utiliser l'algorithme de k-means qui permet de classer un ensemble de données parmi un certain nombre K de clusters fixé a priori. L'idée principale est de définir K centroïdes, un pour chaque cluster (Hartigan & Wong, 1979).

K-means Algorithm

Inputs

- L : Learners' profiles with N parameters
- K : Number of clusters

Outputs:

- Learners' clusters (C_1, C_2, \dots, C_k)

Begin

```

    M ← Nbr_Learners (L);
  If (M > K) then
    Random initialization of Ck centres ( $\mu_k$ ); //  $\mu_k$  centre of the cluster K
    Repeat
      // Generate a new cluster by assigning each object to the group whose centre is closest.
      For each learner
        If ( $\forall_j |L_i - \mu_k| = \min |L_i - \mu_j|$ ) then
           $C_k \leftarrow L_i$ ;
        EndIf
      EndFor
      // Calculate the centres of the new cluster
      For each cluster
         $\mu_k = \frac{1}{X_k} \sum_{L \in C_k} L$  //  $X_k$  is the number of learners in the cluster  $C_k$ 
      EndFor
    Until the convergence of the algorithm to stable clusters
  EndIf

```

End

Phase 2 : Une étape de formation de groupes d'apprenants, les plus hétérogènes possibles, sera établie. Cette phase consiste à répartir tous les apprenants des groupes formés dans des groupes de K (4 à 10) apprenants. Dans notre cas, le nombre de clusters K fixé dans l'algorithme de k-means dépend du nombre d'apprenants dans chaque groupe hétérogène. L'idée est de prendre un apprenant de chaque cluster (C_1, C_2, \dots, C_k) obtenus lors de l'exécution de l'algorithme k-means ci-dessus. Ceci nous permet d'obtenir des groupes hétérogènes ($G_1, G_2, \dots, G_{Nbr_G}$) constitués de K apprenants. Si tous les apprenants d'un groupe C_k sont classés, les groupes G_{Nbr_G} sont formés sur la base des autres groupes. Si le dernier groupe contient moins de K apprenants, ils sont assignés à d'autres groupes G_{Nbr_G} déjà formés. Ainsi, chaque groupe hétérogène va renfermer des apprenants avec des profils différents. Nous présentons dans ce qui suit l'algorithme proposé pour la formation de groupes hétérogènes.

Heterogeneous Group Formation Algorithm

```

struct cluster {      array Ck; // Array containing learners Ids
                    struct cluster* next; };

Inputs
- Q: Learners' clusters (C1, C2, ..., Ck) // Cluster struct
- M: the number of learners concerned by peer assessment
Outputs - Learners' Heterogeneous Groups' (G1, G2, ..., GNbr_G) //Array containing learners Ids
Begin
    // Sort Q list in descending order
    Sort(Q);
    struct P*;
    P ← Q.head;
    Nbr_G ← DIV ( M / K ); // The number of groups containing K learners.
    Nbr_L ← MOD ( M / K ); //The number of remaining learners to be assigned to the groups already trained
    Repeat
        For (i=1 ; i<= Nbr_G ; i++)
            For (j=1 ; j<= K ; j++)
                Gi ← P.data (Ck);
                // delete the current Id from the array
                Delete (Q, P.data (Ck));
                // If the table does not contain learners then we remove the node
                If (P.data (Ck) is EMPTY) then Delete (Q, P.next);
                // If the table does not contain learners then we remove the node
                If (P.next = Nil) then P ← head (Q);
            EndFor
        EndFor

        //Assign the remaining learners –that form a group of less than k learners- to the other GNbr_G groups
        already trained
        For (z=1 ; z<= Nbr_L ; z++)
            Gz ← P.data (Ck);
            Delete (Q, P.data (Ck));
            If (P.data (Ck) is EMPTY) then Delete (Q, P.next);
            If (P.next = Nil) then P ← head (Q);
        EndFor
    Until (Q.head = Nil)
End

```

Nous présentons dans la Figure 24 un déroulement de l'algorithme développé avec $K=3$ et $M=11$. Nous prenons l'exemple de trois clusters C_1 , C_2 et C_3 avec six, trois et deux apprenants, respectivement. Dans un premier temps, nous allons ordonner les listes chaînées par ordre décroissant du nombre d'apprenants avant de lancer l'algorithme. Le nombre de groupe à former est égale à $DIV (M/K) = 3$. Le nombre d'apprenant restants $MOD (M/K) = 2$. Ces deux apprenants sont distribués au premier et deuxième groupe formés.

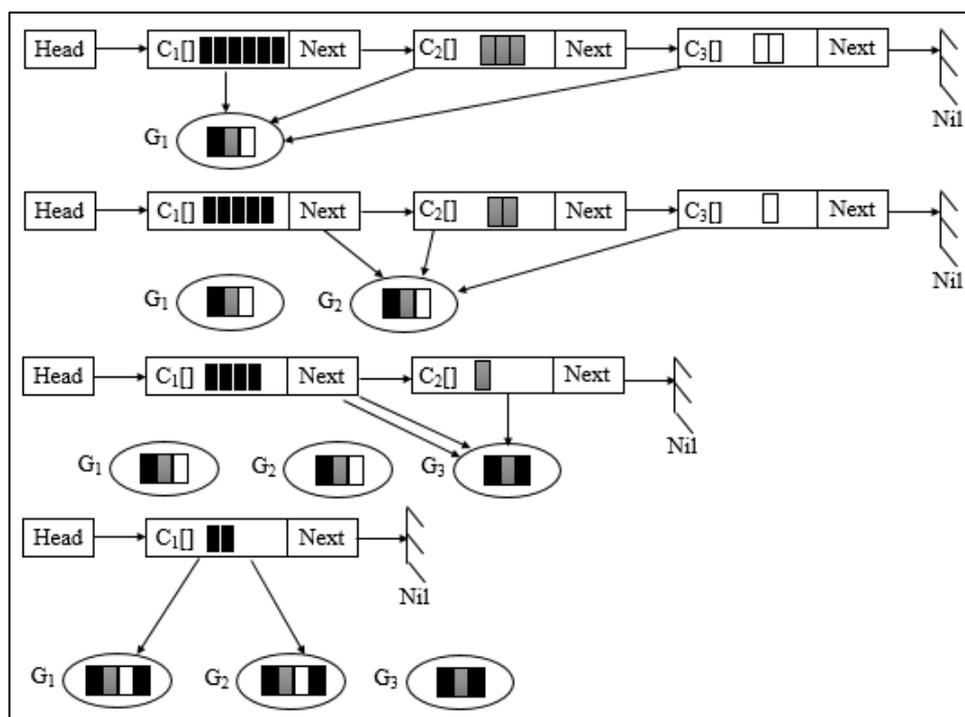


Figure 24: Déroulement de l'algorithme de formation de groupes hétérogènes

Nous remarquons que chaque groupe hétérogène contient des apprenants de profils différents. Pour avoir une certification, chaque membre du groupe hétérogène doit corriger les copies anonymes des autres membres du groupe. L'évaluation par des pairs hétérogènes aura un impact positif sur les notes et les feedbacks à fournir aux apprenants évalués. Il semble que ces notes et feedbacks seront complémentaires et équilibrés dans tous les groupes constitués. Toutes les appréciations et feedbacks peuvent être utiles la construction d'autres SPs. Weaver and Cotrell (1986) affirment que les pairs consacrent beaucoup plus de temps et offrent plus de détails dans les feedbacks que les tuteurs.

V.3.4.3. Evaluation des travaux et synthèse de scores

Une fois les groupes hétérogènes sont formés, l'évaluation proprement dite est lancée. Des Situations Problèmes (SPs) authentiques sont présentés aux apprenants afin de tester leurs compétences. Ces SPs sont des tâches complexes, sensées, organisées autour d'obstacles que les apprenants doivent franchir. Dans (Berkane et Al., 2016), les auteurs distinguent trois degrés de complexité de SPs : SPs élémentaires, SPs intermédiaires et SPs globales. Nous proposons de présenter aux apprenants des SPs avec un degré de complexité croissante. Pour chaque apprenant est calculée une note finale sur la base des notes attribuées par les apprenants du même groupe (Voir Figure 25). Ces notes sont pondérées selon le coefficient de capacité à évaluer des apprenants (P_i).

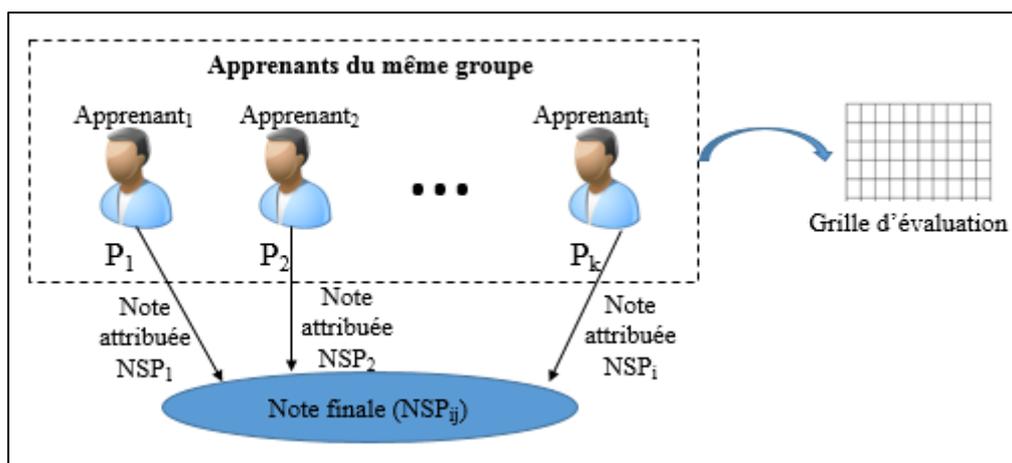


Figure 25: Déroulement du PEP pour une SP donnée

Chaque apprenant d'un groupe hétérogène donné est appelé à corriger les copies des autres apprenants de son groupe (en anonymat) durant une période fixée. La durée de cette période dépend de la difficulté de le SP à corriger (par exemple de quatre à quinze jours). Pour corriger une SP, l'apprenant dispose de la grille d'évaluation correspondante. Cette grille d'évaluation doit contenir des critères clairs et précis pour remédier au problème de la question de la validité et de la fiabilité des évaluations réalisées par des pairs qui se pose tant au niveau de leur valeur que de leur précision. Il est appelé à donner des scores (des notes) et des appréciations sur le travail fourni sur la SP. Ces feedbacks (Notes/Appréciations) - attribués par les pairs - constituent une partie extrêmement importante de l'évaluation. Il a été démontré que, les apprenants réagissent mieux et s'engagent plus pleinement avec les commentaires qu'ils reçoivent de leurs pairs qu'avec les commentaires de leurs tuteurs.

Une fois le délai attribué pour l'évaluation est écoulé, l'étape de synthèse des résultats est lancée. Dans cette étape, le score final de chaque SP réalisée par un apprenant donné, est calculé sur la base des scores attribués par les pairs de l'apprenant (autres apprenants du même groupe hétérogène) aux critères figurant dans la grille d'évaluation accompagnant la SP. La note finale attribuée à un apprenant i pour une SP donnée j est calculé selon la formule suivante :

$$NPS_{ij} = [\sum_{k \neq i} P_k * NPS_k] / [\sum_{k \neq i} P_k] \quad \text{Formule 13}$$

- NPS_{ij} : Note finale attribuée à l'apprenant i pour une SP j ,
- NPS_k : Note finale attribuée par l'apprenant k ,
- P_k : Coefficient de capacité à évaluer d'un apprenant k ,

Nous proposons de présenter aux apprenants des SPs avec un degré de complexité croissante, c'est-à-dire des SPs élémentaires, puis des SPs intermédiaires et enfin des SP globales. La note finale est pondérée selon le degré de complexité des SPs, selon la formule suivante :

$$NPS_i = [\sum_{l=1}^{l=3} \gamma_l * NPS_{li}] / [\sum_{l=1}^{l=3} \gamma_l] \quad \text{Formule 14}$$

- NPS_i : La note finale attribuée à l'apprenant i ,
- NPS_{li} : Les notes obtenues dans chaque niveau (NPS_{Ei} , NPS_{Ii} , et NPS_{Gi}),
- γ_l : Coefficient de complexité, déterminé à l'aide du Tableau 15, attribué à chaque type de SP. Cependant, nous donnons la possibilité d'attribuer d'autres valeurs pour γ_l , selon les besoins.

Tableau 15: Valeurs du coefficient de complexité d'une SP (γ_i)

PS type	$\gamma_l * 100\%$
SP élémentaire	$\gamma_1 = 1/6$
SP intermédiaire	$\gamma_2 = 1/3$
SP globale	$\gamma_3 = 1/2$

V.3.4.4. Concertation

Un espace de discussion collective est ouvert pour tous les apprenants insatisfaits de la correction. Les personnes impliquées dans cette concertation sont : l'apprenant concerné, les correcteurs, les experts et/ou les mentors. L'intérêt de cette étape est de trouver en commun accord, la note finale à attribuer à l'apprenant. Le but est de produire des évaluations plus crédibles :

- Convaincre les apprenants insatisfaits via une discussion de la problématique (selon les commentaires attribués),
- Etablir une liste des apprenants pour lesquels le PEP doit être refait. Soit manuellement si le nombre d'insatisfaits est petit, sinon refaire l'évaluation par les pairs,

Tous les feedbacks peuvent être utilisés pour la construction ou l'amélioration des SPs du MOOC. De plus, plusieurs niveaux de certification peuvent être générés par une note finale obtenue par un apprenant. Par ailleurs, la délivrance d'un certificat à un apprenant est conditionnée par la correction de toutes les copies qu'il a à corriger.

Conclusion

Nous nous sommes intéressés dans le cadre de cette thèse à la modélisation et à l'évaluation graduelle des apprenants dans les MOOCs. Nous avons proposé un paramétrage du MA couvrant cinq dimensions : informations générales, état cognitif, styles d'apprentissage, préférences et comportement. Cependant, nous nous sommes focalisés sur la dimension concernant l'état cognitif pour assurer une meilleure évaluation des apprenants. Nous avons donc proposé un processus d'évaluation organisé en paliers dans une pyramide, selon un ordre de difficulté croissant. Chaque palier renferme un type d'activité que l'apprenant doit effectuer et sur lequel il sera évalué. Ce processus, propose deux méthodes d'évaluation : une évaluation automatisée aux trois premiers niveaux de la pyramide et une évaluation semi-automatique par les pairs pour le dernier niveau où il y a lieu de résoudre des SP authentiques. Dans le prochain chapitre, nous avons présenté l'expérimentation et la validation de nos propositions.

Chapitre VI : Expérimentation et Validation des Propositions

Introduction

Afin de vérifier la faisabilité du système proposé, nous avons procédé à l'évaluation de nos propositions, étape indispensable. Le but étant d'apporter un appui au travail réalisé en relevant les points forts et les limites des propositions faites. Nous avons dans un premier temps choisi le domaine d'enseignement où il y a lieu de générer une base de connaissances disciplinaire par instanciation du méta modèle ontologique utilisé (Onto-TDM). Dans un second temps, nous avons présenté le protocole suivi pour le développement de deux prototypes. Une expérimentation a été effectuée dans laquelle nous avons détaillé la mise en œuvre de nos propositions sur la modélisation et l'évaluation graduelle des apprenants dans un contexte MOOC.

VI.1. Protocole d'évaluation de nos propositions

VI.1.1. Domaine d'application et instanciation de l'ontologie

Les domaines choisis pour réaliser les deux prototypes sont : l'algorithmique, les bases de données relationnelles et l'assurance qualité dans la formation LMD. On rappelle que le premier prototype a concerné l'algorithmique et les bases de données relationnelles. Le deuxième prototype a concerné les bases de données relationnelles et l'assurance qualité. Vu que le domaine des bases de données relationnelles a été testé sur les deux prototypes, nous avons décidé d'évaluer nos propositions sur ce domaine. Le Tableau 16 présente un exemple d'une instanciation de l'ontologie Onto-TDM (Bouarab et Al., 2015b, 2010) avec 5 notions, 16 sous-notions et 112 IC. Une base d'erreurs référencant une centaine d'erreur de forme lexicosyntaxiques et une centaine d'erreurs sémantiques a été aussi implémentée.

On rappelle que l'ontologie Onto-TDM a été représentée à l'aide d'un diagramme de classes UML et implémentée à l'aide de MySQL. Les résultats de manipulation de l'ontologie sont formatés avec le langage XML et des feuilles de style XSL. Notons que dans la littérature, il existe d'autres langages d'implémentation comme RDF (Semantic Web Standards), KIF (Knowledge Interchange Format), OWL (Web Ontology Language), XML (Extensible MarkupLanguage), etc. Nous avons choisi de suivre les travaux sur ODALA.

Tableau 16: RDB-Onto

Notions	Sous Notions	Items de connaissance
Introduction au modèle Relationnel	1. Rappels sur les bases données	1. Principe de l'approche bases de données 2. Définition d'une base de données 3. Catégories des bases de données
	2. Historique du modèle relationnel	4. Origine du modèle relationnel 5. Objectifs du modèle relationnel
	3. La relation.	6. Définition d'une relation 7. Attribut d'une relation 8. Degré d'une relation 9. Clé d'une relation 10. Schéma d'une relation 11. Domaine d'un attribut 12. Valeur nulle d'un attribut 13. Occurrence d'une relation 14. Cardinalité d'une relation
	4. Les règles d'intégrité	15. Contrainte d'unicité de la clé 16. Contrainte de référence 17. Contrainte d'entité 18. Contrainte de domaine
Algèbre Relationnelle	5. Les opérateurs unaires	19. Principe des opérateurs unaires 20. Opérateur de la sélection 21. Opérateur du complément 22. Opérateur de la projection 23. Opérateur de l'auto jointure 24. Syntaxe d'une opération algébrique unaire
	6. Les opérateurs binaires	25. Principe des opérateurs binaires 26. Opérateur de l'union 27. Opérateur de l'intersection 28. Opérateur de la différence 25. Principe des opérateurs binaires 29. Opérateur de l'union 30. Opérateur de l'intersection 31. Opérateur de la différence 32. Opérateur du produit cartésien 33. Opérateur de thêta-produit 34. Opérateur de la jointure naturelle 35. Opérateur de la jointure extérieure 36. Opérateur de la semi-jointure 37. Syntaxe d'une opération algébrique binaire
	7. Opération algébrique	38. Syntaxe de la condition 39. Lexique du mot 40. Syntaxe d'une opération algébrique
Arbre algébrique	8. La représentation graphique des opérateurs unaires	41. Principe des symboles unaires 42. Formalise de la sélection 43. Formalise du complément 44. Formalise de la projection 45. formalise de renommage 46. formalise de représentation des opérateurs unaires
	9. La représentation graphique des opérateurs binaires	47. Principe des symboles binaires 48. Formalise d'union 49. Formalise d'intersection 50. Formalise de la différence 51. Formalise du produit cartésien 52. Formalise thêta-produit 53. Formalise de la jointure naturelle 54. Formalise de la jointure extérieure 55. Formalise de la semi jointure gauche 56. Formalise de la semi jointure droite 57. Formalise de représentation des opérateurs Binaires
Le langage SQL	10. Définition de donnée avec SQL	58. Création d'une base de données relationnelle avec SQL 59. Création d'une table avec SQL 60. Modification d'une table avec SQL

		61. Renommer une table avec SQL 62. Suppression d'une table avec SQL
	11. Manipulation de données avec SQL	63. Expression insert avec SQL 64. Expression update avec SQL 65. Expression delete avec SQL 66. Expression de la projection avec SQL 67. Expression de la sélection avec SQL 68. Expression de complément avec SQL 69. Expression de l'intersection avec SQL 70. Expression de la différence avec SQL 71. Expression de la division avec SQL 72. Expression de l'union avec SQL 73. Expression du produit cartésien avec SQL 74. Expression de la jointure naturelle avec SQL 75. Expression du thêta-produit avec SQL 76. Auto jointure avec SQL 77. Expression de la jointure extérieure avec SQL 78. Expression de la semi-jointure avec SQL
	12. Les autres fonctionnalités du SQL	79. Recherche des valeurs nulles 80. Les opérateurs arithmétiques 81. La fonction MAX avec SQL 82 La fonction MIN avec SQL 83. La fonction COUNT avec SQL 84. La fonction SUM avec SQL 85. La fonction AVG avec SQL 86. La fonction DISTINCT avec SQL 87. La fonction Order By avec SQL 88. La fonction Group By avec SQL 89. La fonction Between avec SQL 90. La fonction Like avec SQL
Dépendances/Normalisation	13. Les dépendances fonctionnelles et les trois formes normales	91. Principe des dépendances fonctionnelles 92. Propriétés des dépendances fonctionnelles 93. Les dépendances fonctionnelles élémentaires 94. Les dépendances fonctionnelles directes 95. Graphe de dépendances fonctionnelles 96. La fermeture transitive 97. La couverture minimale 98. Principe de normalisation 99. La première forme normale 100. La deuxième forme normale 101. La troisième forme normale 102 La forme normale de Boyce_Codd
	14. Les dépendances multivaluées et La quatrième forme normale	103. Principes des dépendances multivaluées 104. Propriétés des dépendances multivaluées 105. Principe de normalisation 106. La quatrième forme normale
	15. Les dépendances de jointures et La cinquième forme normale	107. Principe de dépendances de jointures 108. Principe de normalisation 109. La cinquième forme normale
	16 .Algorithmes de normalisation	110. Principe de normalisation 111. Algorithmes de normalisation par synthèse 112. Algorithmes de normalisation par décomposition

VI.1.2. Développement de prototypes

Les deux prototypes développés ont porté sur les niveaux de la pyramide. Le premier a concerné les trois premiers niveaux, le second a concerné le dernier niveau. Les langages utilisés pour l'exploitation des deux prototypes sont : PHP, HTML, CSS, JavaScripts et Ajax.

- **Le premier prototype**

La simulation de ce prototype a été faite en intranet sans tenir compte de l'aspect 'performance' exigé par le contexte MOOC (massivité, interaction, etc.). Notre priorité était de vérifier la faisabilité des fonctionnalités du système, en particulier celles liées à l'évaluation. Nous avons mené une expérience avec un échantillon de 55 étudiants de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou (UMMTO). Nous avons mis en place un certain nombre d'activités pour les niveaux de la pyramide concernés : 42 questions fermées composées de QCM et de textes troués, 23 questions à semi-ouvertes composées de questions composées et de questions à réponse courte et 10 questions ouvertes (exercices). Pour chaque niveau, le planificateur d'évaluation génère une ou plusieurs UE(s) pour l'apprenant, selon son profil actuel.

- **Le deuxième prototype**

Le protocole d'évaluation que nous avons suivi pour ce prototype est divisé en quatre étapes. Dans la première étape, nous avons procédé à la formation de groupes d'apprenants à l'aide de deux phases : la formation de groupes homogènes et la formation de groupes hétérogènes. La deuxième étape qui suit permet l'évaluation par les pairs proprement dite. Chaque apprenant est invité à évaluer les travaux des apprenants de son groupe d'appartenance. La troisième étape fournit une synthèse des résultats avant la diffusion aux apprenants. L'étape finale a consisté en la simulation d'un PEP afin de tester la pertinence du processus de formation de groupes avec un plus grand nombre de participants (nombre massif d'apprenants). Pour cela, nous avons mis en place un algorithme supplémentaire au prototype pour simuler la génération de profils d'apprenants. Cet algorithme fournit une génération aléatoire de données sur un grand nombre d'apprenants.

VI.2. Expérimentation et validation

L'utilisation conjointe des deux prototypes développés permet de vérifier l'atteinte des objectifs pédagogiques attendus. L'expérimentation réalisée a mis en avant les points forts de à consolider, les points faibles à corriger, et d'éventuelles pistes de recherche liées à de nouvelles problématiques.

VI.2.1. Expérimentation et validation du premier prototype

L'expérimentation a reposé sur l'état cognitif de l'apprenant en temps réel et a concerné des UEs pour le trois niveaux de la pyramide. L'état cognitif représente le niveau d'acquisition

des différents concepts de l'ontologie (notions, sous-notions et IC). Notons que le seuil d'acquisition de ces concepts est fixé par le concepteur de l'ontologie. La Figure 26 fournit une instantiation d'une partie de l'état cognitif initial d'un nouvel apprenant i donné. Initialement les valeurs attribuées aux concepts représentant l'état cognitif sont à 'NULL'. Les 'NULL' spécifient que l'apprenant n'a toujours pas commencé à résoudre des activités. Chaque UE associée à une sous-notion donnée doit porter sur tous les IC non maîtrisés de la sous-notion considérée. Les questions composant une UE sont adaptées au profil apprenant, ce qui requiert une certaine intelligence.

Acquisition des Items de Connaissances					
Notion	Sous notion	Items de connaissances	Palier 01 Palier 02 Palier 03		
1. Introduction au modèle relationnel	1. Rappel sur les bases de données	1. Principe de l'approche base de données	NULL NULL NULL		
		2. Définition d'une base de données	NULL NULL NULL		
		3. Catégories des bases de données	NULL NULL NULL		
		2. Historique du modèle relationnel	4. Origine du modèle relationnel	NULL NULL NULL	
			5. Objectifs du modèle relationnel	NULL NULL NULL	
			6. Attribut d'une relation	NULL NULL NULL	
		3. La relation	7. Degré d'une relation	NULL NULL NULL	
			8. clé d'une relation	NULL NULL NULL	
			9. Schema d'une relation	NULL NULL NULL	
			10. Domaine d'un attribut	NULL NULL NULL	
			11. Valeur d'un attribut	NULL NULL NULL	
			12. Cardinalité d'une relation	NULL NULL NULL	
	4. Les règles d'intégrité	13. Contrainte d'unicité de la clé	NULL NULL NULL		
		14. Contrainte de référence	NULL NULL NULL		
		15. Contrainte d'entité	NULL NULL NULL		
		16. Contrainte du domaine	NULL NULL NULL		
	2. Algèbre relationnelle	5. Les opérateurs unitaires	17. Principe des opérateurs unitaire	NULL NULL NULL	
			18. Opérateur de la sélection	NULL NULL NULL	
			19. Opérateur du complément	NULL NULL NULL	
			20. Opérateur de projection	NULL NULL NULL	
			21. Opérateur de l'auto jointure	NULL NULL NULL	
			22. Syntaxe d'une opération algébrique unaire	NULL NULL NULL	
			6. Les opérateurs binaires	23. Principe des opérateurs binaires	NULL NULL NULL
				24. Opérateurs de l'union	NULL NULL NULL

Figure 26: Partie de l'état cognitif initial

VI.2.1.1. Niveau 01 « Questions Fermées »

Afin de montrer la progression graduelle de l'état cognitif, nous présentons ici une UE du premier niveau de la pyramide d'évaluation, pour un apprenant i donné (Voir Figure 27).

Programme	Palier 01 : questions fermées
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Activités globale ▼ Notions <ul style="list-style-type: none"> ▶ Introduction au modèle relationnel ▶ Rappels sur les bases de données ▶ Historique du modèle relationnel ▼ La relation <ul style="list-style-type: none"> ▼ Items de connaissances <ul style="list-style-type: none"> ▶ Attribut d'une relation ▶ Degré d'une relation ▶ Schéma d'une relation ▶ Domaine d'un attribut ▶ Valeur d'un attribut ▶ Cardinalité d'une relation ▶ Clé d'une relation ▼ Activités <ul style="list-style-type: none"> ▶ Palier 01 : questions fermées ▶ Palier 02 : questions semi ouvertes ▶ Palier 03 : exercices ▶ Consulter les ressources ▶ Les règles d'intégrité ▶ Algèbre relationnelle ▶ Arbre algébrique ▶ Le langage SQL ▶ Dépendances et normalisation 	<p>Question 1 : Le degré de relation R est le nombre d'attributs de celle-ci :</p> <p><input type="checkbox"/> Vrai <input type="checkbox"/> Faux</p> <p>Question 2 : Un domaine d'un attribut est un ensemble :</p> <p><input type="checkbox"/> Fini de ses valeurs possible <input type="checkbox"/> Infini de ses valeurs possibles <input type="checkbox"/> Fini ou infini de valeurs possibles</p> <p>Question 3 : Un attribut d'une relation est :</p> <p><input type="checkbox"/> Un identificateur décrivant une information stockée <input type="checkbox"/> Un nom décrivant une information stockée</p> <p>Question 4 : Choisissez la/les bonnes réponses. Une valeur d'attribut :</p> <p><input type="checkbox"/> Doit être simple <input type="checkbox"/> Peut être nulle <input type="checkbox"/> Doit être composé <input type="checkbox"/> Ne peut pas être multivalué</p> <p>Question 5 : La cardinalité d'une relation est :</p> <p><input type="checkbox"/> L'ensemble des attributs de cette relation</p>

Figure 27: Exemple d'une UE relative au 1^{er} niveau de la pyramide d'évaluation

L'UE présentée dans cette figure contient 14 questions fermées liées à la sous-notion « La relation ». Cette dernière contient 7 IC. Chaque question présentée est liée à un ou plusieurs IC(s). Par exemple la question 01 est liée à l'IC « Degré de la relation », la question 04 est liée à l'IC « Valeur d'un attribut » et la question 05 est liée aux deux IC « Schéma d'une relation » et « Cardinalité d'une relation ».

La Figure 28 décrit l'état cognitif de l'apprenant considéré après avoir répondu à l'UE traitée. Les valeurs attribuées aux concepts de l'état cognitif sont obtenues à l'aide des formules de calcul en pourcentages d'acquisition. Sur cette figure, on distingue pour le premier niveau un pourcentage de 2,83% pour l'acquisition du MOOC, 17% pour l'acquisition de la notion « Introduction au modèle relationnel » et 66 % pour l'acquisition de la sous-notion « La relation ». La Figure 29 fournit le détail de l'état cognitif en précisant le pourcentage d'acquisition des différents IC qui rentrent dans la composition de l'UE traitée.

Acquisition dans le MOOC									
Titre du MOOC		Palier 01 : Questions fermées		Palier 02 : Question semi fermées		Palier 03 : Questions ouvertes		Palier 04 : Etude de cas	
Moooc Bases de données relationnelles		2.83 %		NULL		NULL		NULL	
CACHER LES DETAILS DES NOTIONS ET S'NOTIONS									
Acquisition des notions									
Notions	Palier 01	Palier 02	Palier 03	Sous notions	Palier 01	Palier 02	Palier 03	Palier 04	
1 . Introduction au modele relationnel	17 %	NULL	NULL	1 . Rappel sur les bases de donnees	NULL	NULL	NULL	NULL	
				2 . Historique du modele relationnel	NULL	NULL	NULL	NULL	
				3 . La relation	66 %	NULL	NULL	NULL	
				4 . Les regles d'integrite	NULL	NULL	NULL	NULL	
2 . Algebre relationnelle	NULL	NULL	NULL	5 . Les operateurs unitaires	NULL	NULL	NULL	NULL	
				6 . Les operateurs binaires	NULL	NULL	NULL	NULL	
				7 . Operation algebrique	NULL	NULL	NULL	NULL	
3 . Arbre algebrique	NULL	NULL	NULL	8 . La representation graphique des operateurs unaire	NULL	NULL	NULL	NULL	

Figure 28: Etat cognitif d'un apprenant pour le 1^{er} niveau de la pyramide d'évaluation

Acquisition des Items de Connaissances						
Notion	Sous notion	Items de connaissances	Palier 01	Palier 02	Palier 03	
1 . Introduction au modele relationnel	1 . Rappel sur les bases de donnees	1 . Principe de l'approche base de donnees	NULL	NULL	NULL	
		2 . Definition d'une base de donnees	NULL	NULL	NULL	
		3 . Categories des bases de donnees	NULL	NULL	NULL	
	2 . Historique du modele relationnel	3 . La relation	4 . Origine du modele relationnel	NULL	NULL	NULL
			5 . Objectifs du modele relationnel	NULL	NULL	NULL
			6 . Attribut d'une relation	0 %	NULL	NULL
			7 . Degré d'une relation	100 %	NULL	NULL
	4 . Les regles d'integrite	5 . Les operateurs unitaires	8 . clé d'une relation	100 %	NULL	NULL
			9 . Schema d'une relation	44 %	NULL	NULL
			10 . Domaine d'un attribut	67 %	NULL	NULL
			11 . Valeur d'un attribut	50 %	NULL	NULL
			12 . Cardinalité d'une relation	100 %	NULL	NULL
			13 . Contrainte d'unicité de la clé	NULL	NULL	NULL
2 . Algebre relationnelle		14 . Contrainte de référence	NULL	NULL	NULL	
		15 . Contrainte d'entité	NULL	NULL	NULL	
		16 . Contrainte du domaine	NULL	NULL	NULL	
		17 . Principe des operateurs unitaire	NULL	NULL	NULL	
		18 . Operateur de la sélection	NULL	NULL	NULL	
		19 . Operateur du complément	NULL	NULL	NULL	

Figure 29: Etat cognitif détaillé d'un apprenant pour le 1^{er} niveau de la pyramide d'évaluation

Sur les deux figures 28 et 29 et selon les seuils fixés, les pourcentages en rouge signifient que l'apprenant n'a pas encore atteint le seuil attendu et les pourcentages en vert signifient que l'apprenant a atteint le seuil de réussite attendu. Les résultats de la Figure 29 montrent que l'apprenant a répondu correctement à toutes les questions liées à l'IC 7, l'IC 8 et l'IC 12. Il a donc obtenu un pourcentage d'acquisition de 100% pour les trois IC. Cependant, pour les autres IC, le seuil de réussite fixé n'est pas atteint. Dans ce cas, le planificateur d'activités génère au même apprenant une autre UE contenant uniquement des questions sur les IC non acquis (IC 06, IC 09, IC 10 et IC 11). Les erreurs diagnostiquées et l'analyse de leurs causes permet de suggérer des exemples et des consignes afin de les corriger pour mieux assimiler les concepts non acquis.

VI.2.1.2. Niveau 02 « Questions semi-ouvertes »

Une fois l'apprenant a atteint les seuils de réussite pour un (ou plusieurs IC) dans le premier niveau de la pyramide, le système lui propose au deuxième niveau une UE relative aux IC acquis. En référence à l'état cognitif de la Figure 29, la Figure 30 illustre un exemple d'UE relative aux IC 07, 08 et 12 que l'apprenant a acquis.

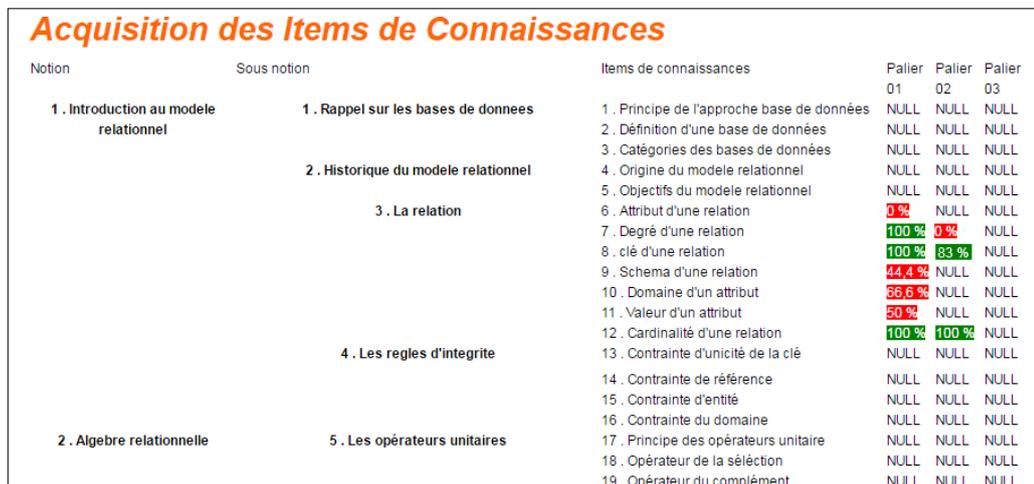
Programme	Palier 02 : questions semi ouvertes
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Activités globale ▼ Notions <ul style="list-style-type: none"> ▶ Introduction au modèle relationnel ▶ Rappels sur les bases de données ▶ Historique du modèle relationnel ▼ La relation <ul style="list-style-type: none"> ▶ Items de connaissances ▶ Activités <ul style="list-style-type: none"> ▶ Palier 01 : questions fermées ▶ Palier 02 : questions semi ouvertes ▶ Palier 03 : exercices ▶ Consulter les ressources ▶ Les règles d'intégrité ▶ Algèbre relationnelle ▶ Arbre algébrique ▶ Le langage SQL ▶ Dépendances et normalisation 	<p>Question 1 : listez les clés primaires et les clés étrangères des relations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Client(num_client, nom, adresse) • Vehicule(num_veh, marque, modele, annee, propriétaire) • Contrat_assurance(num_contrat, type, date, assure, vehicule) <p>Clés primaires</p> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <p>Clés étrangères</p> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <p>Question 2 : Dans l'entreprise X, une direction regroupe un ensemble de sous directions, qui à leur tour regroupe un ensemble de services. Voici le schéma E/A correspondant. En se basant sur l'énoncé, donnez les cardinalités des relations (séparez la valeur minimal de la valeur maximale avec une virgule) :</p> <pre> graph LR Direction -- "1,n" --- regroupe1((regroupe1)) regroupe1 -- "1,1" --- Sous-direction Sous-direction -- "1,n" --- regroupe2((regroupe2)) </pre>

Figure 30 : Exemple d'une UE relative au 2^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

Rappelons que notre système est capable de s'adapter à un apprenant en tenant compte des résultats d'évaluation. Cette adaptation se concrétise par une génération de questions adaptées à l'apprenant. La Figure 31 illustre l'état cognitif de l'apprenant après avoir répondu à l'UE, comportant le pourcentage d'acquisition du MOOC, des notions ainsi que des sous-notions de l'ontologie disciplinaire.

Figure 31 : Etat cognitif d'un apprenant pour le 2^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

La Figure 32 donne le détail sur l'état cognitif en termes de pourcentages d'acquisition des différents IC. Nous constatons que les seuils de réussite concernant l'IC 08 et l'IC 12 sont atteints. Cependant, l'apprenant concerné devra revoir l'IC 12 relatif au « Degré d'une relation » et refaire des UEs pour pouvoir passer au niveau 03 suivant.

Figure 32 : Etat cognitif détaillé d'un apprenant pour le 2^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

Afin d'accéder au troisième niveau, nous avons présenté à l'apprenant d'autres UE de bas niveaux (premier et deuxième), afin de lui permettre l'accès aux exercices.

VI.2.1.3. Niveau 03 « Questions ouvertes »

Ce niveau renferme des questions ouvertes sous forme d'exercices. Nous avons emprunté les exercices du système de la E-éducation développé dans (Bouarab, 2010, 2011, 2015). L'approche ODALA qui résulte de ces travaux est utilisée à ce niveau pour l'évaluation automatisée des exercices proposés. Un exemple d'une UE est présenté dans la Figure 33. L'UE contient un ensemble d'exercices englobant tous les IC d'une même sous-notion. Les résultats des tests obtenus sont encourageants et suggèrent la nécessité d'identifier, de manière plus optimale, toutes les erreurs sémantiques dans le domaine d'Algorithmes et les BDDR. Ils permettent d'envisager la mise en œuvre de cette approche dans différents domaines éducatifs (Bouarab et Al., 2010, 2011).

Programme	Palier 03 : exercices
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Activités globale ▼ Notions <ul style="list-style-type: none"> ▶ Introduction au modèle relationnel ▶ Rappels sur les bases de données ▶ Historique du modèle relationnel ▼ La relation <ul style="list-style-type: none"> ▶ Items de connaissances ▼ Activités <ul style="list-style-type: none"> ▶ Palier 01 : questions fermées ▶ Palier 02 : questions semi ouvertes ▶ Palier 03 : exercices ▶ Consulter les ressources ▶ Les règles d'intégrité ▶ Algèbre relationnelle ▶ Arbre algébrique ▶ Le langage SQL ▶ Dépendances et normalisation 	<p>Exercice 1 :</p> <p>Soit le schéma relationnel suivant :</p> <p>Maire (code-maire, nom , prénom , niveau-études, âge , cod-commune)</p> <p>Commune (code-commune, libelle , localisation , nd-habitants, cod-daïra)</p> <p>Question:</p> <p>Exprimer en algèbre relationnel, la requête suivante : la liste des noms et prénoms de maires dont l'âge supérieur à 40ans.</p> <input style="width: 150px; height: 20px;" type="text"/> <p style="text-align: center;">SOUMETTRE</p>

Figure 33 : Exemple d'une UE relative au 3^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

Selon l'approche ODALA, le diagnostic des erreurs se décompose en deux étapes : l'analyse de la forme et l'analyse de la sémantique. L'analyse de la forme de la solution peut différer d'un domaine à un autre. Par exemple, pour le cas des BDDR, l'analyse de la forme des requêtes peut s'effectuer :

- A l'aide d'un arbre algébrique qui est intégrée à un éditeur d'arbre algébrique proposé à l'apprenant pour construire sa solution en utilisant des symboles dans une table.
- A l'aide d'une expression algébrique qui se fait par une grammaire de type 2, a été conçue et développée par (Bouarab, 2010).

L'analyse de la sémantique permet de détecter des erreurs sémantiques grâce à des fonctions intégrées dans une grammaire d'analyse lexico-syntaxique. Quel que soit la forme de la solution adoptée par l'apprenant, les erreurs sémantiques spécifiques sont détectées par des règles de détections.

Les Figures 34 et 35 illustrent les résultats de l'état cognitif issus de résolution de l'UE comportant des exercices.



Figure 34 : Etat cognitif d'un apprenant pour 3^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

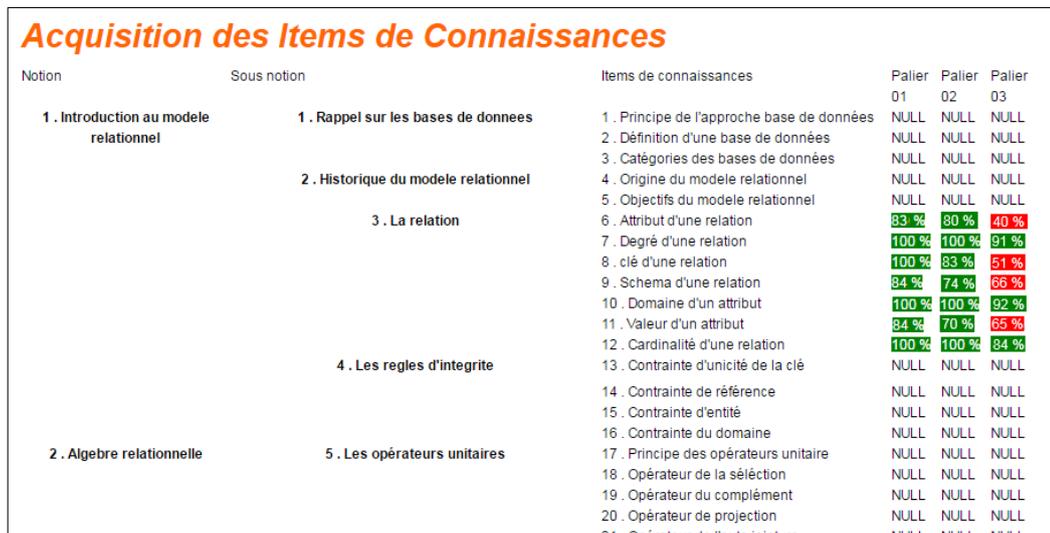


Figure 35 : Etat cognitif détaillé d'n apprenant pour le 3^{ème} niveau de la pyramide d'évaluation

Les résultats fournis précédemment ont concerné un apprenant. Le principe est le même pour tous les apprenants ayant participé à cette évaluation. Initialement, un échantillon de 55 apprenants a suivi le MOOC intitulé «Base de données relationnelle» a pu accéder aux UEs proposés dans le premier niveau. 49 apprenants parmi les 55 ont atteint le deuxième niveau. 38 apprenants ont réussi à faire des exercices du troisième niveau. Parmi tous les apprenants seuls 16 (29%) ont réussi à atteindre le dernier niveau pour résoudre des situations problème. Une

évaluation par les pairs dans ce cas est proposée. La Figure 36 suivante illustre la distribution des apprenants.

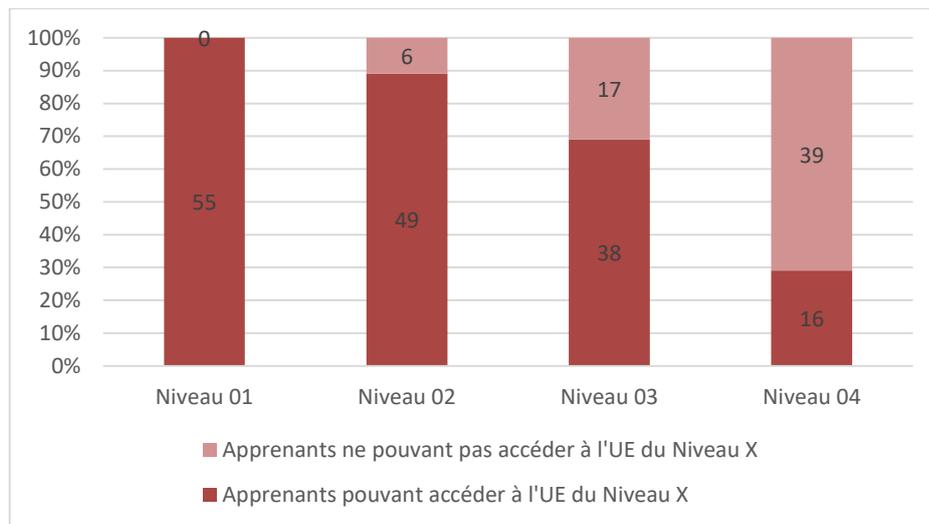


Figure 36: Distribution des apprenants dans chaque niveau

VI.2.2. Expérimentation et validation du deuxième prototype

Le PEP proposé dans le prototype est divisé en quatre étapes: formation des groupes hétérogènes d'apprenants, évaluation des travaux, synthèse des scores et simulation du système d'évaluation par les pairs dans un contexte MOOC.

VI.2.2.1. Formation des groupes d'apprenants

Nous avons mené une expérience auprès d'un échantillon de seize (16) apprenants de notre université ayant complété avec succès les activités des trois premiers niveaux de la pyramide. Nous rappelons que durant cette étape nous donnons aux tuteurs la possibilité de choisir les paramètres du modèle de l'apprenant qu'ils souhaitent prendre en considération lors du processus d'évaluation par les pairs (PEP), et donc dans la formation des groupes. La Figure 37 illustre la liste des étudiants avec trois paramètres stockés dans le modèle de l'apprenant. Le premier concerne les résultats des tests psychotechniques (capacité à évaluer de chacun). Le second concerne l'état cognitif. Le troisième concerne l'implication dans les forums.

Apprenant 01	----->	90%	80%	95%	
Apprenant 02	----->	91%	80%	94%	
Apprenant 03	----->	95%	95%	95%	
Apprenant 04	----->	89%	90%	91%	
Apprenant 05	----->	89%	95%	92%	
Apprenant 06	----->	71%	57%	70%	
Apprenant 07	----->	65%	55%	61%	
Apprenant 08	----->	60%	58%	67%	
Apprenant 09	----->	58%	60%	64%	
Apprenant 10	----->	61%	62%	65%	
Apprenant 11	----->	30%	40%	36%	
Apprenant 12	----->	25%	40%	40%	
Apprenant 13	----->	24%	38%	42%	
Apprenant 14	----->	32%	38%	39%	
Apprenant 15	----->	29%	42%	40%	
Apprenant 16	----->	60%	58%	67%	

Figure 37: Liste des apprenants concernés par l'évaluation par les pairs

La première phase du processus de formation de groupes, c'est le clustering d'apprenants. Nous appliquons l'algorithme K-means sur la liste des apprenants afin de former des groupes de plus homogènes possible. L'exécution de cet algorithme nous renvoie quatre (4) clusters. Chaque cluster contient des apprenants avec des profils similaires. La Figure 38 suivante illustre les différents clusters renvoyés.

Cluster 01					
Apprenant 11	----->	30%	40%	36%	
Apprenant 12	----->	25%	40%	40%	
Apprenant 13	----->	24%	38%	42%	
Apprenant 14	----->	32%	38%	39%	
Apprenant 15	----->	29%	42%	40%	
Cluster 02					
Apprenant 01	----->	90%	80%	95%	
Apprenant 02	----->	91%	80%	94%	
Apprenant 03	----->	95%	95%	95%	
Apprenant 04	----->	89%	90%	91%	
Apprenant 05	----->	89%	95%	92%	
Cluster 03					
Apprenant 06	----->	71%	57%	70%	
Apprenant 07	----->	65%	55%	61%	
Apprenant 08	----->	60%	58%	67%	
Apprenant 09	----->	58%	60%	64%	
Apprenant 10	----->	61%	62%	65%	
Apprenant 16	----->	60%	58%	67%	

Figure 38: Résultat du clustering d'apprenants

La deuxième phase du processus de formation de groupes consiste à former des groupes le plus hétérogènes possibles sur la base des clusters déjà formés. Après l'exécution de l'algorithme nous obtenons les groupes suivants (Figure 39) qui vont s'évaluer entre eux.

Groupe 01			
Apprenant 01	----->	90%	80% 95%
Apprenant 06	----->	71%	57% 70%
Apprenant 11	----->	30%	40% 36%
Apprenant 16	----->	60%	58% 67%
Groupe 02			
Apprenant 02	----->	91%	80% 94%
Apprenant 07	----->	65%	55% 61%
Apprenant 12	----->	25%	40% 40%
Groupe 03			
Apprenant 03	----->	95%	95% 95%
Apprenant 08	----->	60%	58% 67%
Apprenant 13	----->	24%	38% 42%
Groupe 04			
Apprenant 04	----->	89%	90% 91%
Apprenant 09	----->	58%	60% 64%
Apprenant 14	----->	32%	38% 39%
Groupe 05			
Apprenant 05	----->	89%	95% 92%
Apprenant 10	----->	61%	62% 65%
Apprenant 15	----->	29%	42% 40%

Figure 39: Vue sur les groupes hétérogènes formés

Nous pouvons déduire que les groupes formés sont complémentaires et hétérogènes. Il convient de noter que ce processus a été testé - plusieurs fois - sur un grand nombre d'apprenants générés aléatoirement. Les résultats étaient satisfaisants.

VI.2.2.2. Evaluation des Travaux

Une fois les groupes hétérogènes formés, l'évaluation des travaux est lancée. Nous réalisons un test avec les apprenants du premier groupe formé. Chaque apprenant est amené à évaluer les travaux des autres apprenants du même groupe. La Figure 40 montre l'espace dédié à l'évaluation. Nous constatons que l'apprenant a corrigé une seule production, c'est celle de l'apprenant 01 (OK en vert). Il lui reste à présent deux autres productions à corriger.



Figure 40: Vue sur l'espace d'évaluation dans l'IHM de la plateforme

La SP proposée aux apprenants, avec sa grille d'évaluation, est illustrée à la Figure 41. Cette SP concerne les BDDR. Il s'agit de réaliser l'entité association pour un éditeur. Dans la grille d'évaluation, nous trouvons des critères généraux à toutes les disciplines. Par exemple, «Identifier les mots-clés de la SP» est un critère général (voir Figure 41). Nous retrouvons également des critères spécifiques qui dépendent de la SP elle-même. Par exemple, "l'extraction des entités et l'identification des identifiants" est un critère spécifique (voir Figure 41).

Critères	Liste des critères	Scores					Commentaires
		1	2	3	4	5	
Critères Générales	Compréhension de la problématique	<input type="checkbox"/>					
	Identification des mots clés	<input type="checkbox"/>					
	Utilisation des termes relatifs au domaine	<input type="checkbox"/>					
Critères Spécifiques	Extraction des entités et identification des identifiants	<input type="checkbox"/>					
	Détermination des associations	<input type="checkbox"/>					
	Détermination des cardinalités	<input type="checkbox"/>					

Figure 41: Vue sur l'espace du module d'évaluation

Pour chaque situation problème, un délai de soumission est fixé.

Le système calcule les scores finaux selon les formules présentées dans le chapitre précédent (Section V.3.4). Ces scores et commentaires sont envoyés aux apprenants qui peuvent accéder à l'espace dédié à la concertation pour d'éventuelles erreurs.

VI.2.2.3. Synthèse des scores

Dans cette partie, nous allons présenter une synthèse des scores via un exemple de quatre apprenants (du premier groupe formé dans le processus de formation de groupes) pour montrer sa faisabilité. La première étape du processus proposé c'est le calcul de la note finale attribuée à l'apprenant i pour une SP_j précédente. Cette note sera pondérée sur la base de la capacité à évaluer de chaque apprenant. Nous rappelons que la capacité à évaluer de chaque apprenant est calculée au début du PEP. Le Tableau 17 résume les pourcentages précédemment calculés pour les quatre apprenants :

Tableau 17: Valeurs de P_i des quatre apprenants du premier groupe

Apprenant i	P_i
Apprenant 01	90%
Apprenant 06	71%
Apprenant 11	30%
Apprenant 16	60%

Une fois la date limite de soumission des travaux est dépassée, le processus d'évaluation est lancé. Chaque apprenant est appelé à corriger les travaux des trois autres apprenants du même groupe sur la base de la grille d'évaluation critiriée accompagnant la SP. Le Tableau 18 suivant illustre les scores attribués à l'apprenant 01 pour la SP_j présentée dans la Figure 41.

Tableau 18: Scores attribués au premier apprenant

Apprenant 01	NSP_k
Apprenant 06	54%
Apprenant 11	35%
Apprenant 16	51%

Sur la base de la Formule X, la note attribuée à l'apprenant 01 pour la SP_j est de 49,34%. La note finale attribuée à l'apprenant 01 pour toutes les SPs traitées (c'est-à-dire NSP_{Ei} , NSP_{Ii} , et NSP_{Gi}) est calculé selon la Formule X. Le Tableau 19 montre un les scores attribués pour chaque type de SP (élémentaires, intermédiaires et globales).

Tableau 19: Scores attribués pour un apprenant dans chaque type de SP

SP	Note
Elémentaires	65.5%
Intermédiaires	44.9%
Globales	42%

La note finale est pondérée au coefficient de complexité de chaque type de SP, sur la base du Tableau 19. La note calculée est donc de 46,88%.

En effet, nous jugeons cette note beaucoup plus proche de la réalité. Étant donné que, plusieurs paramètres sont pris en considération lors du processus de formation de groupes d'apprenants. En effet, le processus de formation de groupes permet d'obtenir des résultats complémentaires et équilibrés puisque des groupes le plus hétérogènes possible sont formés. Contrairement aux autres systèmes d'évaluation par les pairs existants où la formation des groupes se fait d'une manière aléatoire ou sur la base d'une simple classification (en tenant compte que de l'état cognitif).

VI.2.2.4. Simulation du système d'évaluation proposé dans un contexte MOOC

Le public d'apprenants ayant pris part à notre expérimentation est constitué d'étudiants et d'enseignants du département informatique de l'UMMTO. Cependant, l'une des principales caractéristiques des MOOCs, c'est la massivité des participants. Nous avons donc développé un module supplémentaire permettant de simuler une liste d'apprenants avec des valeurs aléatoires de leurs profils. Des listes de plus de 20 000 apprenants sont ainsi générées. Le système propose aux tuteurs de choisir les paramètres à prendre en compte lors de ce processus. Les valeurs de ces paramètres sont générées de manière aléatoire en fonction de valeurs acceptables. Une fois toutes les données sont disponibles, la création de groupes d'apprenants pour le PEP est lancée.

Voici quelques exemples des résultats obtenus après chaque étape du processus de formation de groupe.

- Nous avons généré une liste de 15 000 apprenants. Le nombre de clusters formés après l'exécution de l'algorithme K-means est de 5. Le premier cluster contient 4429 apprenants. Le deuxième groupe comprend 3752 apprenants. Le troisième contient 2803 apprenants. Le quatrième contient 2366 apprenants. Le cinquième contient 1650 apprenants. Après avoir exécuté notre algorithme de formation de groupes hétérogènes, nous avons obtenu 3000 groupes. Chaque groupe contient 5 apprenants.
- Nous avons généré une liste de 20 000 apprenants. Le nombre de clusters formés après l'exécution de l'algorithme K-means est de 6. Le premier cluster contient 4705 apprenants. Le deuxième groupe comprend 3987 apprenants. Le troisième contient 3951 apprenants. Le quatrième contient 2874 apprenants. Le cinquième contient 2750 apprenants. Le sixième contient 1733 apprenants. Après avoir

exécuté notre algorithme de formation de groupes hétérogènes, nous avons obtenu 3331 groupes contenant 6 apprenants et 2 groupes contenant 7 apprenants.

- Nous avons généré une liste de 23 000 apprenants. Le nombre de clusters formés après l'exécution de l'algorithme K-means est de 6. Le premier cluster contient 5429 apprenants. Le deuxième groupe comprend 4562 apprenants. Le troisième contient 4112 apprenants. Le quatrième contient 3270 apprenants. Le cinquième contient 3124 apprenants. Le sixième contient 2503 apprenants. Après avoir exécuté notre algorithme de formation de groupes hétérogènes, nous avons obtenu 3831 groupes contenant 6 apprenants et 2 groupes contenant 7 apprenants.

Notons que les groupes formés sont également hétérogènes, même lorsque l'algorithme des groupes de formation est appliqué à un très grand nombre d'apprenants.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'évaluation graduelle des apprenants en tenant compte de leurs états cognitifs. Nous avons testé nos contributions avec deux prototypes. Les résultats des tests effectués sur chacun des prototypes ont montré la faisabilité des protocoles suivis. Les expérimentations effectuées ont donné un aperçu sur l'éventuelle validation du système, à travers les points forts et limites constatés. Après une discussion, nous présentons dans le chapitre qui suit ces points forts et limites ainsi que l'impact sur les praticiens et les chercheurs.

Chapitre VII : Discussion et impacts de nos propositions

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons après une discussion, présenté une synthèse de nos propositions détaillant les points forts et les limites constatés après validations et expérimentations. Nous avons également donné un aperçu sur l'impact et l'apport de nos travaux de thèse dans les milieux socioprofessionnels et sur la recherche en E-éducation.

VII.1. Discussion

Nous avons proposé dans cette thèse une modélisation et une évaluation graduelle des apprenants dans les MOOCs, basées sur l'approche ODALA. Le modèle apprenant proposé est composé de cinq dimensions (informations générales, état cognitif, styles d'apprentissage, préférences et comportement). Nous avons focalisé nos travaux sur la dimension état cognitif pour représenter toutes les connaissances acquises par l'apprenant durant son apprentissage. Ces connaissances concernent les concepts (notions, sous-notions et IC) empruntés à l'ontologie de domaine disciplinaire Onto_TDM définie dans ODALA, chacun son pourcentage d'acquisition. Pour évaluer graduellement les apprenants, nous avons proposé une évaluation basée sur une planification pyramidale d'activités selon un ordre croissant de difficultés. Le Tableau 20 illustre une comparaison pour le cadre de l'évaluation entre le système MOOC proposé et quatre plateformes MOOC choisies.

Tableau 20: Comparaison entre le système MOOC proposé et quelques plateformes MOOC

Plateforme	Activités				Evaluation			Certification
	Questions fermées	Questions semi-ouvertes	Questions ouvertes	SP	Automatisé	Semi-Automatique par les pairs	Graduelle	
Coursera	+	+	0	-	+	0	0	+
EdX	+	+	0	-	+	0	0	+
Udacity	+	+	0	-	+	0	0	+
Système proposé	+	+	+	+	+	+	+	+

+ : Oui

- : Non

0 : Rarement

A partir du tableau comparatif, nous constatons que toutes les plateformes MOOC (tel que Coursera, EdX, FUN) évaluent automatiquement les apprenants sur la base d'activités de type questions fermées. Dans certaines, l'évaluation porte sur des questions semi-ouvertes et d'autres sur des exercices. Pour l'évaluation des questions fermées et semi-ouvertes, les simples notations offertes pour chaque cas ne permettent pas de savoirs si l'apprenant a appliqué ses connaissances ou le hasard a fait les choses.

Dans le cadre des exercices où l'apprenant est censé appliquer ses connaissances, l'évaluation automatisée dans certaines plateformes est basée sur des programmes de tests et de copies. Le problème de ces techniques est qu'elles ne sont pas généralisables pour toutes les disciplines. Ce problème est pris en compte dans notre travail grâce à l'approche ODALA. Cette dernière repose sur une ontologie qui permet grâce à sa structure basée sur des relations sémantiques entre les concepts qu'elle représente d'évaluer graduellement et automatiquement les apprenants.

Un autre problème que nous avons pris en compte et auquel les autres plateformes ne font pas référence concerne les activités de type SP. Ces activités relativement aux trois types d'activités précitées ne demandent pas une application directe des connaissances acquises mais leur mobilisation de manière efficace et au temps opportun. Pour ce type d'activité, nous avons proposé une évaluation semi-automatique par les pairs. L'évaluation par les pairs est utilisée dans beaucoup de plateformes pour le cas des exercices. Dans ces travaux nous avons relevé que les groupes d'apprenants correcteurs sont formés aléatoirement ou en se basant uniquement sur les connaissances des apprenants. Dans notre travail, nous avons proposé une méthode d'évaluation basée sur un regroupement hétérogène d'apprenants qui prend en compte plusieurs paramètres (la connaissance, l'implication dans les forums, la capacité à évaluer, les styles d'apprentissage, etc.). Le tableau 21 donne une synthèse des scores obtenue par les groupes formés par notre système, par des groupes formés aléatoirement et par un expert du domaine.

Tableau 21: Scores attribués par des groupes formés aléatoirement, par le processus développé et un expert

Apprenant	Scores des groupes hétérogènes	Scores des groupes aléatoires	Scores d'un expert
Apprenant 01	47%	66%	58%
Apprenant 02	66%	55%	65%
Apprenant 03	91%	97%	89%
Apprenant 04	81%	65%	84%
Apprenant 05	79%	77%	81%
Apprenant 06	24%	43%	27%
Apprenant 07	55%	60%	49%
Apprenant 08	70%	79%	72%
Apprenant 09	42%	29%	39%
Apprenant 10	64%	80%	60%
Apprenant 11	44%	33%	47%
Apprenant 12	49%	70%	49%
Apprenant 13	11%	25%	12%
Apprenant 14	55%	51%	46%
Apprenant 15	18%	21%	16%
Apprenant 16	80%	84%	77%

Pour mieux illustrer et comparer l'écart entre les différents scores, le Tableau 21 précédent est converti en un graphe (Figure 42).

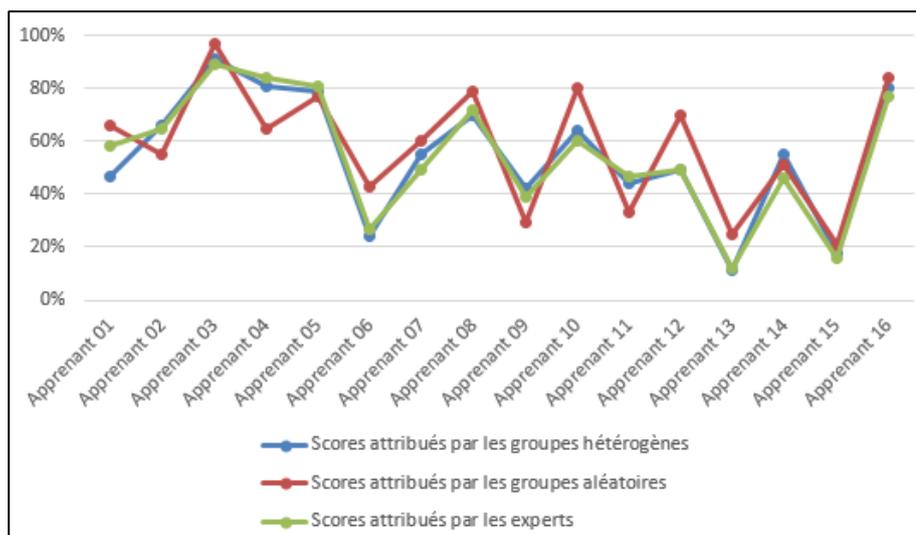


Figure 42: Courbe graphique des différents scores du PEP

Nous constatons que les scores attribués par les groupes formés hétérogènes sont proches de ceux attribués par l'expert. Ces scores reflètent la réalité telle que perçue par l'expert. L'écart considérable constaté entre les scores attribués par les groupes hétérogènes et ceux des groupes aléatoires semblent être dû au non considération d'un profil complet de l'apprenant dans le cadre de la formation de groupes aléatoires.

Le Tableau 22 présente une comparaison entre des systèmes de formation de groupes précités et le processus de formation de groupes d'apprenants proposé. Les critères de comparaison utilisés sont : les données du profil apprenant, la technique utilisée pour former

des groupes, le type de groupes formés (homogènes et hétérogènes) et l'approche (par le système ou le tuteur).

Tableau 22: Comparaison entre les systèmes de formation de groupes

Système de formation de groupes	Données	Technique	Type	Approche
(Ardaiz-Villanueva & Al., 2011)	La créativité et la note obtenue sur les idées.	Algorithme graphique	Homogènes	Système
(Ounnas & Al., 2009)	Genre, nationalité, âge, notes précédentes, rôle dans l'équipe et style d'apprentissage.	Technologies Web sémantiques et programmation Logique	Hétérogènes	Système
(Pollalis and Mavrommatis, 2008)	Etat cognitif	Clustering	Homogène	Système
(Wang & Al., 2007)	Style d'apprentissage.	Algorithme générique	Hétérogènes	Système
(Graf and Bekele, 2006)	Traits de personnalité et performance	Colonies de fourmis	Hétérogènes	Système
Notre proposition	N'importe quel paramètre du modèle apprenant	Clustering et un algorithme développé	Homogènes puis Hétérogènes	Tuteur

Pour permettre aux apprenants de se noter mutuellement (entre eux), la plupart des systèmes fixent à priori un ensemble de paramètres du modèle apprenant qui ne permettent pas une formation de groupes le plus hétérogènes possible. Nous constatons que la prise en compte de plusieurs paramètres du modèle apprenant est plus que nécessaire. Dans cette thèse, nous proposons une méthode d'évaluation par les pairs qui se base sur plusieurs données du profil apprenant en vue de construire des groupes d'apprenants qui se notent mutuellement au sein d'un même groupe. Nous donnons aux tuteurs la possibilité de choisir les paramètres qu'ils jugent les plus appropriés à prendre en considération: l'état cognitif, le nombre de certificats obtenus, l'implication dans les forums, la capacité à évaluer, les informations personnelles (sexe, âge, etc.) , les styles d'apprentissage, etc.

La délivrance d'un certificat est un problème que les plateformes MOOC doivent prendre en compte après avoir suivi un MOOC. Dans notre cas, la délivrance d'un certificat à un apprenant donné est conditionné le nombre de copies qu'il a à corriger. Dans les plateformes existantes la certification n'est pas attribuée automatiquement à l'apprenant ce qui cause une démotivation. Ce problème est pris en compte dans notre cas.

VII.2. Points forts et limites de nos propositions

Nous avons recueilli tout au long de notre travail un ensemble de points forts et de limites de nos propositions. Nous donnons ci-après ces points constatés.

- **Les points forts :**
 - L'ontologie (Onto-TDM) utilisée a un impact positif sur un certain nombre de points.
 - ✓ Elle fournit une bonne structure des concepts disciplinaires au lieu de donner uniquement des ressources pédagogiques (podcast, documents PDF, etc.) pour un cours comme ce fut le cas dans la plupart des plateformes MOOC,
 - ✓ Elle facilite l'accès à toutes les sources de données et permet des échanges plus intelligibles et performants entre différentes plateformes MOOC.
 - ✓ Les erreurs potentielles liées aux concepts de l'ontologie permettent de donner des feedbacks aux apprenants durant leur apprentissage, sur les erreurs commises, les connaissances non maîtrisées, etc. Ceci contribue essentiellement à l'amélioration de la motivation chez les apprenants et à la réduction du nombre d'abandons considéré comme l'un des principaux défis dans les MOOCs.
 - La scénarisation des activités d'apprentissage à l'aide de paliers permet d'assister les apprenants pendant leur progression vers l'objectif fixé. L'ontologie adoptée a largement contribué à la modélisation de l'état cognitif et à l'évaluation des activités des trois premiers paliers de la pyramide. L'approche ODALA nous a facilité l'évaluation automatisée des exercices situés au troisième palier. Tout au long de notre proposition, nous remarquons une adaptation automatique des activités proposées aux apprenants. Cette adaptation vise à fournir des moyens automatiques pour convertir tout contenu existant en une version adaptée aux apprenants et de faciliter la navigation notamment dans les différents niveaux de la pyramide.
 - Le PEP tel que proposé permet aux apprenants ayant les connaissances requises durant les trois premiers paliers de la pyramide d'évaluer le travail de leurs pairs de l'activité du quatrième palier (SP). Nous avons proposé dans l'ordre une formation de groupes, une évaluation proprement dite des travaux et une synthèse des scores obtenus suivie éventuellement d'une concertation. La méthode de formation de groupes d'apprenants proposée permet de former des groupes hétérogènes significatifs pour donner des feedbacks et des scores complémentaires dans tous les groupes constitués. Pour l'évaluation proprement dite, une grille d'évaluation accompagnant la SP est dispatchée à chaque apprenant au début du PEP afin de cadrer le processus de résolution de la SP.

La synthèse des scores permet de calculer des moyennes pondérées (selon la capacité à évaluer des apprenants) qui reflètent plus la réalité.

- Seuls les apprenants qui se sont sérieusement engagés dans le PEP (corriger tous les travaux qui leur ont été assignés) peuvent être certifiés. Cela permet d'accroître la participation des apprenants au PEP.

- **Les points faibles :**

Les limites constatées que nous considérerons dans nos futurs travaux sont :

- L'étape de concertation du PEP n'a pas été bien détaillée dans cette thèse. Nous proposons de développer un espace collaboratif pour les apprenants insatisfaits pour solutionner leur insatisfaction.
- Le prototype développé n'est pas encore opérationnel en ligne ; il y'a lieu de compléter et d'héberger la plateforme proposée pour l'utiliser.

VII.3. Impact de nos propositions sur les praticiens

VII.3.1. Sur l'apprentissage et l'enseignement

- **Dans les sciences de l'éducation**

L'évaluation des productions réalisées par les apprenants prend une place très importante dans les sciences de l'éducation comme le souligne certains auteurs (Valérie, 2008 ; Kellaghan et Al., 2001 ; NRC, 1996 ; Sampson et Al., 2008). Nos propositions durant cette thèse permettent de :

- Offrir une évaluation plus sophistiquée qui poussera les spécialistes à creuser la partie sur l'évaluation par les pairs, notamment les paramètres (la capacité à évaluer, etc.) à prendre en considération dans la formation de groupe,
- Renforcer le Connectivisme et le socio-Connectivisme,
- Améliorer les pédagogies basées problème (Problem Based Learning).

- **Dans la E-éducation**

Le système d'évaluation et de modélisation proposés restent valables pour tous les systèmes de la E-éducation. Nos propositions permettent de :

- Renforcer l'utilisation des TIC dans les institutions de l'éducation-formation,

- Améliorer le tutorat en e-learning et avec les MOOCs car les feedbacks sont plus formatifs (indications d'erreurs et leurs connexions aux concepts de la disciplines). Ceci va contribuer au problème de remédiation dans ces systèmes,
- Proposer des processus d'évaluation automatisée des réponses libres des apprenants plus efficace,
- Obtenir des certifications beaucoup plus crédibles avec une amélioration du processus d'évaluation par les pairs.

VII.3.2. Sur l'employabilité

Le recrutement est l'une des activités majeure des Ressources Humaines (RH). La sélection de la source du recrutement la plus productive devient une tâche de plus en plus difficile pour les recruteurs. Certaines sources de recrutement sont plus efficaces que d'autres, et les recruteurs consomment beaucoup de temps, d'effort et d'argent afin de savoir où ils peuvent trouver les meilleurs candidats, et comment les rejoindre. Plusieurs systèmes de recrutement en ligne ont été proposés dans la littérature, cependant la plupart de ces systèmes se focalisent sur la phase de sélection au détriment de l'évaluation des candidats et de la phase de recherche des candidats. Les MOOCs semblent être un bon moyen pour faciliter cette recherche (Haddadi et Al., 2017c). Ce nouveau moyen de transmission du savoir peut être utilisé comme une nouvelle source de recrutement et une véritable aubaine pour la fonction RH dans son ensemble et pour les recruteurs en particulier. Ces MOOCs de recrutement donnent accès à un vivier de talents pour l'entreprise qu'elle ne pouvait pas toucher auparavant par des processus de recrutement traditionnels (Paul, 2016), et devient ainsi une véritable banque de données de profils constituant une source très importantes pour le recrutement. En plus, les MOOCs peuvent être un moyen de formation continue du personnel.

VII.4. Impact de nos propositions sur la recherche en E-éducation

Notre proposition peut aider les chercheurs. Elle offre de nouveaux horizons pédagogiques et didactiques pour améliorer le processus d'enseignement et d'apprentissage en ligne. Ces offres portent sur :

- Le suivi des apprenants (l'étayage, etc.) et la certification, etc. en utilisant les résultats de l'évaluation multi-niveaux et la base de connaissances du domaine obtenue comme instance d'une ontologie de domaine. Ceci peut s'appliquer à tous les systèmes de la E-éducation (systèmes basés sur l'auto-apprentissage, e-learning et systèmes basés connectivisme) cités dans le premier chapitre.

- L'aide et l'assistance à l'ingénierie du MOOC notamment par la capitalisation des contenus basée ontologie,
- L'adaptation de l'accès aux ressources par le biais de l'ontologie disciplinaire et du profilage dynamique des apprenants.
- La flexibilité dans la représentation des connaissances pédagogiques et l'interopérabilité des applications, ce qui constitue un préalable à l'évaluation des apprenants,
- L'obtention d'un e-portfolio en temps réel et des détails sur les connaissances disciplinaires.
- L'intégration et la réutilisation des technologies RDF, moteurs d'inférences, de raisonnement, etc. car le background du système proposé est sous forme ontologique.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons exposé une discussion qui englobe une synthèse de nos différentes propositions. Nous avons également défini les points forts et les faiblesses de nos propositions. Ce qui nous a conduits à recenser un ensemble de perspectives. Nous avons également fait un tour d'horizon sur l'impact de ces propositions sur les praticiens et la recherche en général.

Conclusion Générale et Perspectives de recherche

Aujourd'hui, des milliers de cours ouverts en ligne sont accessibles dans le monde entier proposant différents MOOCs dans différentes disciplines allant des domaines techniques à la médecine passant par la littérature. Cependant, la conception de ces MOOCs ouvre un grand nombre de questions auxquelles la communauté des chercheurs ne peut rester indifférente. Parmi ces questions, l'évaluation des apprenants figure en premier. En effet le nombre important potentiel de participants dans les MOOCs rend strictement impossible une correction « manuelle » de chaque production rendue. C'est pourquoi la plupart des MOOCs existants ont eu recours à des outils d'évaluation simple tels que les questions fermées. Ces dernières sont intensivement utilisées car ce mode d'évaluation permet un traitement rapide, objectif et facilement programmable des réponses. Cependant, ce mode ne fournit pas une mesure valide des compétences et ne permet pas d'évaluer l'esprit de synthèse, l'invention de nouvelles solutions, etc. Ceci constitue un réel problème quant à la certification. Pour remédier à cela, nous avons proposé une modélisation graduelle des connaissances des apprenants en quatre paliers (questions fermées, semi-ouvertes, ouvertes et situations problème) dans une pyramide. Les différentes activités sont proposées suivant un ordre de difficultés croissant.

Concernant la notation des différentes activités, nous avons proposé un système de notation qui permet d'aller dans les détails des notions en fournissant des formules mathématiques pour le premier et le deuxième palier. En ce qui concerne les questions ouvertes, nous nous sommes basé sur l'approche ODALA. Pour le cas des situations problème, nous avons proposé une nouvelle méthode d'évaluation par les pairs permettant aux apprenants de se noter mutuellement (entre eux). Nous avons constaté que la prise en compte du profil comme critère spécifique est plus que nécessaire.

Nos propositions fournissent une nouvelle forme de collaboration entre les apprenants et une certification plus crédible dans le cadre de l'enseignement et l'apprentissage. Ceci peut s'avérer très efficace dans n'importe quelles plateformes d'apprentissage en ligne comme les LMS en particulier quand l'approche par compétences est adoptée. Le système proposé permet ainsi à chaque participant d'être actif dans son apprentissage. L'analyse et l'évaluation d'un travail effectuée par un apprenant permet la maîtrise du sujet enseigné et les modalités d'évaluations. L'enseignant peut quant à lui se décharger d'une part considérable de son travail.

Nous avons testé nos différentes propositions en développant deux prototypes. Les résultats des tests effectués sur ces prototypes sont encourageants. En effet, ces résultats montrent que nos propositions peuvent être appliquées non seulement dans le cadre de MOOC, mais éventuellement dans tous systèmes de la E-éducation.

Bien que les objectifs fixés pour la thèse soient atteints, le système MOOC proposé reste encore à compléter et à améliorer. En effet, les principales perspectives sont :

-
- Compléter le profil cognitif par la prise en compte du comportement et des styles d'apprentissage,
- Ajouter d'autres paramètres tels que les styles d'apprentissage dans la formation de groupes et tester l'hétérogénéité des groupes formés,
- Mettre en place un système d'aide au recrutement en ligne pour les organisations basé sur le système MOOC proposé,
- Considérer les résultats du processus d'évaluation afin d'améliorer et/ou compléter la conception MOOC proposée dans (Cirulli et Al., 2017).

Références bibliographiques et webographies

Références bibliographiques

- (Admiraal et Al., 2014) Admiraal, W., Huisman, B., & Van de Ven, M. (2014). Self-and peer assessment in massive open online courses. In *International Journal of Higher Education*, 3(3), 119-128.
- (Admiraal et Al., 2015) Admiraal, W., Huisman, B., & Pilli, O. (2015). Assessment in Massive Open Online Courses. In *Electronic Journal of E-learning*, 13(4), 207-216.
- (Alber et Al., 2013) Alber, S., &Debiasi, L. (2013, July). Automated assessment in massive open online courses. In *SeminarausInformatik. University of Salzburg*.
- (Alem et Al., 1998) Alem, J., & Godbout, P. (1998). L'influence de l'évaluation par les pairs sur l'apprentissage du lancer du poids par des élèves du secondaire. In *Sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS)*, (45), 87-93.
- (Anderson et Al., 2001) Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., ... & Wittrock, M. (2001). A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy. *New York. Longman Publishing.*
Artz, AF, & Armour-Thomas, E.(1992). *Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. Cognition and Instruction*, 9(2), 137-175.
- (Anne, 2008) Anne, D. (2008). L'évaluation en cours d'apprentissage, Montréal, Éditions de la Chenelière. Ministère de l'Éducation de l'Ontario (2010). *Faire croître le succès : Évaluation et communication du rendement des élèves fréquentant les écoles de l'Ontario, Première édition, 1re-12eannée*, p. 43.
- (Ardaiz-Villanueva et Al., 2011) Ardaiz-Villanueva, O., Nicuesa-Chacón, X., Brene-Artazcoz, O., de AcedoLizarraga, M. L. S., & de AcedoBaquedano, M. T. S. (2011). Evaluation of computer tools for idea generation and team formation in project-based learning. In *Computers & Education*, 56(3), 700-711.
- (Arnaud, 2012) Arnaud, M. (2012). Apprendre par les réseaux sociaux, qu'est-ce qui change?. *Etudes de communication*, (1), 101-115.
- (Ashley, 2000) Ashley, W. (2000, October). Evaluating OASYS. *Warwick Teaching Certificate * 2 AHB, SBR*.
- (Atif et Al., 2003) Atif, Y., Benlamri, R., & Berri, J. (2003). Dynamic learning modeler. In *Educational Technology & Society*, 6(4), 60-72.
- (Bachelet et Al., 2013) Bachelet, R., & Cisel, M. (2013, May). Évaluation par les pairs au sein du MOOC ABC de la gestion de projet: une étude préliminaire. In *Sixième édition de la conférence Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*.
- (Baehr, 2007) Baehr, M. (2005). Distinctions between assessment and evaluation. In *Program Assessment Handbook*, 7.
- (Bakki et Al., 2015) Bakki, A., Oubahssi, L., Cherkaoui, C., George, S., & Mammass, D. (2015, June). MOOC: Assister les enseignants dans l'intégration des ressorts de motivation dans les scénarios pédagogiques. In *7ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015)* (pp. 450-452).
- (Bercier-Lariviere et Al., 1999) Bercier-Larivière, M., & Forgette-Giroux, R. (1999). L'évaluation des apprentissages scolaires: une question de justesse. In *Canadian Journal of Education/Revue canadienne de l'éducation*, 169-182.

- (Berkane, 2012)** Berkane, T. (2012). *Hypermédia Adaptatif Educatif: Interface Adaptative et Gestion des Profils d'Apprenants (Doctoral dissertation, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou)*.
- (Berkane et Al., 2016)** Berkane, T., Viallet F., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016, November). Un Environnement d'Auto-Apprentissage Constructiviste Basé sur l'Approche Par Compétences. In *Proceeding of the Second International Symposium on Informatics and its Applications*, (p. 65).
- (Bernard et Al., 1982)** Bernard, H., & Fontaine, F. (1982). Les Questions à choix multiple: guide pratique pour la rédaction, l'analyse et la correction. *Université de Montréal, Service pédagogique*.
- (Bhalerao et Al., 2001)** Bhalerao, A., & Ward, A. (2001). Towards electronically assisted peer assessment: a case study. *ALT-j*, 9(1), 26-37.
- (Bird et Al., 2009)** Bird, S., Klein, E., & Loper, E. (2009). *Natural language processing with Python: analyzing text with the natural language toolkit*. O'Reilly Media, Inc.
- (Bloom, 1964)** Bloom, B. S., & Committee of College and University Examiners. (1964). *Taxonomy of educational objectives. New York: Longmans, Green. (Vol. 2)*.
- (Borgman, 1989)** Borgman, C. L. (1989). All users of information retrieval systems are not created equal: An exploration into individual differences. In *Information processing & management*, 25(3), 237-251.
- (Bostock, 2000)** Bostock, S. (2000). Student peer assessment. In *Learning Technology*, 5.
- (Bouarab et Al., 2009)** Bouarab-Dahmani, F., Si-Mohammed, M., Comparot, C., & Charrel, P. J. (2009, March). Learners automated evaluation with the ODALA approach. In *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing* (pp. 98-103). ACM.
- (Bouarab et Al., 2010)** Bouarab-Dahmani, F. (2010). *Modélisation basée ontologies pour l'apprentissage interactif-Application à l'évaluation des connaissances de l'apprenant (Doctoral dissertation, Thèse de DOCTORAT en informatique soutenue à l'UMM de Tizi Ouzou en Algérie)*.
- (Bouarab et Al., 2011a)** Bouarab-Dahmani, F., Si-Mohammed, M., Comparot, C., & Charrel, P. J. (2011). Adaptive exercises generation using an automated evaluation and a domain ontology: the ODALA+ approach. In *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 6(2), 4-10.
- (Bouarab et Al., 2014)** Bouarab-Dahmani, F., & Viallet, F. (2014, January). Acquisition de competences complexes en informatique via un procede d'evaluation criteriee: experimentation avec des etudiants en master 1 professionnel en ingenieries des systemes d'information. In *ADMEE Europe 2014*.
- (Bouarab et Al., 2015a)** Bouarab-Dahmani, F., Si-Mohammed, M., Comparot, C., & Charrel, P. J. (2015). ODALA, An Ontological Model for an Automated Evaluation of the Learner's State of Knowledge: Application to a Web-Based Algorithmic Teaching. In *International Journal of Business and Information*, 4(1).
- (Bouarab et Al., 2015b)** Bouarab-Dahmani, F., & Hammid, N. (2015). Metadata modelling disciplines for e-learning by doing systems. In *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 10(4), 261-280.
- (Boudreau, 1987)** Boudreau, P. (1987). L'évaluation par les pairs. Une étude de sa justesse et de son influence sur l'apprentissage d'une activité physique (hockey)[Peer

- assessment. A study on its reliability and its impact on the learning of a physical activity (hockey)]. *Unpublished master's thesis, Laval University, Quebec, Canada.*
- (Boyatt et Al., 2014)** Boyatt, R., Joy, M., Rocks, C., & Sinclair, J. (2014). What (Use) is a MOOC?. In *The 2nd international workshop on learning technology for education in cloud* (pp. 133-145). Springer, Dordrecht.
- (Breslow et Al., 2013)** Breslow, L., Pritchard, D. E., DeBoer, J., Stump, G. S., Ho, A. D., & Seaton, D. T. (2013). Studying learning in the worldwide classroom: Research into edX's first MOOC. In *Research & Practice in Assessment*, 8.
- (Brown et Al., 1978)** Brown, J. S., & Burton, R. R. (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. In *Cognitive science*, 2(2), 155-192.
- (Brusilovsky, 1994)** Brusilovskiy, P. L. (1994). The construction and application of student models in intelligent tutoring systems. In *Journal of computer and systems sciences international*, 32(1), 70-89.
- (Brusilovsky, 1996)** Brusilovsky, P. (1996). Methods and techniques of adaptive hypermedia. In *User modeling and user-adapted interaction*, 6(2-3), 87-129.
- (Brusilovsky et Al., 2007)** Brusilovsky, P., & Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. In *The adaptive web* (pp. 3-53). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Buisson et Al., 2004)** Buisson, J., Chaynes, J., Delestre, B., Dumoulin, S., & Le Bescond, I. (2004). Apprendre et se former sur le Web: pour une typologie des sites pédagogiques. *Mémoire de recherche, ENSSIB.*
- (Bull et Al., 2005)** Bull, S., Mangat, M., Mabbott, A., Abu Issa, A. S., & Marsh, J. (2005, July). Reactions to inspectable learner models: seven year olds to University students. In *Proceedings of workshop on learner modelling for reflection, international conference on artificial intelligence in education* (pp. 1-10).
- (Bull et Al., 2004)** Bull, S., & McKay, M. (2004, August). An open learner model for children and teachers: inspecting knowledge level of individuals and peers. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 646-655). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Carbonell, 1970)** Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction. In *IEEE transactions on man-machine systems*, 11(4), 190-202.
- (Carmona et Al., 2004)** Carmona, C., & Conejo, R. (2004, August). A learner model in a distributed environment. In *International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* (pp. 353-359). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Carr et Al., 1977)** Carr, B., & Goldstein, I. P. (1977). Overlays: A theory of modelling for computer aided instruction (No. AI-M-406). In *Massachusetts inst of tech cambridge artificial intelligence lab.*
- (Chammas et Al., 2014)** Chammas, M. G., Dannaoui, E. I., & Melki, A. M. (2014). Improved Virtual Research Environment using a Massive Open Online Research (MOOR) Platform.
- (Chapman et Al., 2001)** Chapman, O., & Fiore, M. (2001). Calibrated peer review: A writing and critical thinking instructional tool. *The white paper: A description of CPR. Retrieved November, 4, 2006.*

- (Cheang et Al., 2003)** Cheang, B., Kurnia, A., Lim, A., & Oon, W. C. (2003). On automated grading of programming assignments in an academic institution. In *Computers & Education*, 41(2), 121-131.
- (Chen et Al., 2002)** Chen, S. Y., & Macredie, R. D. (2002). Cognitive styles and hypermedia navigation: Development of a learning model. In *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 53(1), 3-15.
- (Cheung et Al., 2003)** Cheung, B., Hui, L., Zhang, J., & Yiu, S. M. (2003). SmartTutor: An intelligent tutoring system in web-based adult education. In *Journal of Systems and Software*, 68(1), 11-25.
- (Christodoulopoulos et Al., 2007)** Christodoulopoulos, C. E., & Papanikolaou, K. A. (2007). A group formation tool in an e-learning context. In *19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, Vol. 2, pp. 117-123. IEEE.
- (Chun-Yu, 2004)** Chun-yu, C. O. N. G. (2004). Using Web Services for Personalized Web-based Learning. In *Journal of Anhui TV University*, 2, 021.
- (Cirulliet Al., 2017)** Cirulli, F., Elia, G., & Solazzo, G. (2017). A double-loop evaluation process for MOOC design and its pilot application in the university domain. In *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal (KM&EL)*, 9(4), 433-448.
- (Cisel et Al., 2013)** Cisel, M., & Bruillard, É. (2013). Chronique des MOOC. In *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*.
- (Clancey, 1979)** Clancey, W. J. (1979). Tutoring rules for guiding a case method dialogue. In *International Journal of Man-Machine Studies*, 11(1), 25-49.
- (Clow, 2013)** Clow, D. (2013, April). MOOCs and the funnel of participation. In *Proceedings of the Third International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (pp. 185-189). ACM.
- (Colajanni et Al., 2014)** Colajanni, G., Delabre, C., Lobjoit, D., & Guillemot, L. (2014). Les MOOCs remettent-ils en cause le système de l'enseignement supérieur. *Rennes: L'INSA de Rennes*.
- (Conole, 2016)** Conole, G. (2016). MOOCs as disruptive technologies: strategies for enhancing the learner experience and quality of MOOCs. *RED. Revista de Educación a Distancia*, (50).
- (Cook et Al., 2015)** Cook, R., Kay, J., & Kummerfeld, B. (2015, June). MOOCIm: user modelling for MOOCs. In *International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization* (pp. 80-91). Springer, Cham.
- (Cormier et Al., 2010)** Cormier, D., Stewart, B., Siemens, G., & McAuley, A. (2010). What is a MOOC?.
- (Daradoumis et Al., 2010)** Daradoumis, T., Bassi, R., Xhafa, F., & Caballé, S. (2013, October). A review on massive e-learning (MOOC) design, delivery and assessment. In *P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), 2013 Eighth International Conference on* (pp. 208-213). IEEE.
- (Dassé, 1986)** Dassé, B. (1986). Etude sur la capacité des jeunes à évaluer les habiletés motrices de leurs pairs et l'influence sur les gains en apprentissage. *Mémoire de maîtrise en Sciences de l'activité physique, Québec: Université Laval*.

- (De Alfaro et Al., 2013)** De Alfaro, L., & Shavlovsky, M. (2013). Crowdgrader: Crowdsourcing the evaluation of homework assignments. *arXiv preprint arXiv:1308.5273*.
- (De Alfaro et Al., 2014)** De Alfaro, L., & Shavlovsky, M. (2014, March). CrowdGrader: A tool for crowdsourcing the evaluation of homework assignments. In *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 415-420). ACM.
- (De Faria et Al., 2006)** De Faria, E. S. J., Adán-Coello, J. M., & Yamanaka, K. (2006, October). Forming groups for collaborative learning in introductory computer programming courses based on students' programming styles: an empirical study. In *Frontiers in Education Conference, 36th Annual* (pp. 6-11). IEEE.
- (Del Fatto et Al., 2017)** Del Fatto, V., Doderò, G., Gennari, R., Gruber, B., Helmer, S., & Raimato, G. (2017, June). Automating Assessment of Exercises as Means to Decrease MOOC Teachers' Efforts. In *Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development* (pp. 201-208). Springer, Cham.
- (Delestre, 2000)** Delestre, N. (2000). *Metadyne, un hypermedia adaptatif pour l'enseignement. (Doctoral dissertation, Rouen)*.
- (Delorme et Al., 2004)** Delorme, F., Delestre, N., & Pécuchet, J. P. (2004, October). Évaluer l'apprenant à l'aide de cartes conceptuelles. In *Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Industrie* (pp. 25-31). Université de Technologie de Compiègne.
- (Deschênes, 2012)** Deschênes, M. (2012). Évaluation de productions issues de l'intégration pédagogique d'outils du web social. *Collège O'Sullivan de Québec*.
- (Desrosiers et Al., 1990)** Desrosiers, P., Godbout, P., Spallanzani, C., & Boudreau, P. (1990). Les modifications de l'écologie de la classe d'éducation physique provoquées par la participation des élèves à l'évaluation. In G.-R. Roy. *Contenus et impacts de la recherche universitaire actuelle en sciences de l'éducation*, 835-841.
- (Dickinson, 1995)** Dickinson, L. (1995). Autonomy and motivation a literature review. *System*, 23(2), 165-174.
- (Dillenbourg, 1994)** Dillenbourg, P. (1994). Evolution épistémologique en EIAO. In *Sciences et techniques éducatives*, 1(1), 39-51.
- (Dimitrova et Al., 2003)** Dimitrova, V., & Bontcheva, K. (2003, September). The use of conceptual graphs for interactive student modelling and adaptive web explanations. In *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (pp. 230-237). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Downes, 2012)** Downes, S. (2012). Connectivism and connective knowledge. In *Essays on meaning and learning networks*, 493-557.
- (Elisabeth, 2007)** Elisabeth, N. (2007) Apprendre à se former sur le web : les sites pédagogiques. In DUSSART, C. ; PETIT, C. (dir.), *E-learning et santé : de la recherche au terrain*. Paris, Hermes- Lavoisier, (Traité IC2, série management et gestion des STIC).
- (Elsayed et Al., 2013)** Elsayed, E., Eldahshan, K., & Tawfeek, S. (2013). Automatic evaluation technique for certain types of open questions in semantic learning systems. In *Human-centric Computing and Information Sciences*, 3(1), 19.
- (Endrizzi et Al., 2008)** Endrizzi, L., & Rey, O. (2008). L'évaluation au cœur des apprentissages.

- (Falchikov, 2013) Falchikov, N. (2013). Improving assessment through student involvement: Practical solutions for aiding learning in higher and further education. *Routledge*.
- (Felder et Al., 1988) Felder, R. M., & Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. In *Engineering education*, 78(7), 674-681.
- (Felder et Al., 2005) Felder, R. M., & Brent, R. (2005). Understanding student differences. In *Journal of engineering education*, 94(1), 57-72.
- (Fensel, 2001) Fensel, D. (2001). Ontologies. In *Ontologies* (pp. 11-18). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Ferschke et Al., 2015) Ferschke, O., Yang, D., Tomar, G., & Rosé, C. P. (2015, June). Positive impact of collaborative chat participation in an edX MOOC. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 115-124). Springer, Cham.
- (Fox, 2013) Fox, A. (2013). From moocs to spocs. In *Communications of the ACM*, 56(12), 38-40.
- (Fragne, 2009) Fragne, D. (2009). Proposition de l'architecture de l'agent gestionnaire du modèle de l'apprenant dans un système tuteur multi-agents en apprentissage de la lecture: contribution au projet AMICAL (*Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II*).
- (Galtier, 2016) Galtier, V. (2016). L'évaluation par les pairs dans le contexte de la formation (*Doctoral dissertation, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay*).
- (Gamage et Al., 2015) Gamage, D., Perera, I., & Fernando, S. (2015, August). A Framework to analyze effectiveness of eLearning in MOOC: Learners perspective. In *Ubi-Media Computing (UMEDIA), 2015 8th International Conference on* (pp. 236-241). IEEE.
- (Gardner, 2011) Gardner, H. (2011). Frames of mind: The theory of multiple intelligences. *Basic books*.
- (Gasevic et Al., 2014) Gasevic, D., Kovanovic, V., Joksimovic, S., & Siemens, G. (2014). Where is research on massive open online courses headed? A data analysis of the MOOC Research Initiative. In *the International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15(5).
- (Gehring, 2001) Gehring, E. F. (2001). Electronic peer review and peer grading in computer-science courses. In *ACM SIGCSE Bulletin*, 33(1), 139-143.
- (Giardina et Al., 1999) Giardina, M., & Laurier, M. (1999). Modélisation de l'apprenant et interactivité. In *Revue des sciences de l'éducation*, 25(1), 35-59.
- (Gilliot et Al., 2013) Gilliot, J. M., Garlatti, S., Rebaï, I., & Belen-Sapia, M. (2013, May). Le concept de iMOOC pour une ouverture maîtrisée. In *EIAH 2013: atelier thématique MOOC-Massive Open Online Course-État des lieux de la recherche francophone* (pp. 10-p).
- (Gomez-Pérez, 1999) Gómez-Pérez, A. (1999). Ontological engineering: A state of the art. In *Expert Update: Knowledge Based Systems and Applied Artificial Intelligence*, 2(3), 33-43.
- (Graf et Al., 2006) Graf, S., & Bekele, R. (2006, June). Forming heterogeneous groups for intelligent collaborative learning systems with ant colony optimization.

- In *International conference on intelligent tutoring systems* (pp. 217-226). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Graf, 2007)** Graf, S. (2007). Adaptivity in learning management systems focussing on learning styles (*Doctoral dissertation, Vienna University of Technology*).
- (Gruber, 1993)** Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. In *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
- (Guo et Al., 2014)** Guo, P. J., Kim, J., & Rubin, R. (2014, March). How video production affects student engagement: An empirical study of mooc videos. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference* (pp. 41-50). ACM.
- (Gupta et Al., 2012)** Gupta, S., & Dubey, S. K. (2012). Automatic assessment of programming assignment. In *Computer Science & Engineering*, 2(1), 67.
- (Haddadi et Al., 2016)** Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016, July). An Assessment Planner for MOOCs Based ODALA Approach. In *Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress (UIC/ATC/ScalCom/CBDCom/IoP/SmartWorld), 2016 Intl IEEE Conferences* (pp. 855-862). IEEE, Toulouse, France.
- (Haddadi et Al., 2017a)** Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F., Berkane, T., & Lazib, S. (2017, May). Peer assessment in MOOCs based on learners' profiles clustering. In *8th International Conference in Information Technology (ICIT), 2017 on* (pp. 532-536). IEEE, Amman, Jordan.
- (Haddadi et Al., 2017b)** Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F., Tali, M. A., & Lazib, S. (2017, April). MOOC classification centered on learners' needs. In *Actes du colloque international IPAPE '2017* (p. 92), Djerba, Tunisia.
- (Haddadi et Al., 2017c)** Haddadi, L., Tali, M. A., Bouarab-Dahmani, F., & Berkane, T., (2017, December). E-recruitment support system based on MOOCs. In *International Conference in Mathematics and Information Technology (ICMIT), 2017 on* (pp. 234-238). IEEE, Adrar, Algeria.
- (Haladyna et Al., 2002)** Haladyna, T. M., Downing, S. M., & Rodriguez, M. C. (2002). A review of multiple-choice item-writing guidelines for classroom assessment. In *Applied measurement in education*, 15(3), 309-333.
- (Hammid et Al. 2016)** Hammid, N., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016). MOOC Design: Teachers Collaboration and Learning Activities Based on ODALA Approach. In *Proceeding of the 1 st International Conference on Computer Science's Complex Systems and their Applications (ICCSA'2016), Oum El Bouagui, Algérie*.
- (Hammid et Al., 2017)** Hammid, N., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2017). Collaborative MOOC Content Design and Automatic Assessment Based on ODALA Approach. In *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 10(2), 19-39.
- (Hargreaves, 1984)** Hargreaves, D. H. (1984). Teachers' questions: open, closed and half-open. In *Educational Research*, 26(1), 46-51.
- (Hatzilygeroudis et Al., 2014)** Hatzilygeroudis, I., & Prentzas, J. (2004). Using a hybrid rule-based approach in developing an intelligent tutoring system with knowledge acquisition and update capabilities. In *Expert systems with applications*, 26(4), 477-492.
- (Hayes, 2015)** Hayes, S. (2015). MOOCs and Quality: A review of the recent literature.

- (Hernandez, 2010)** Hernandez, R. (2010). Benefits and Challenges of using self and peer assessment. In *UCD Teaching and Learning/Resources*.
- (Hew et Al., 2014)** Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2014). Students' and instructors' use of massive open online courses (MOOCs): Motivations and challenges. In *Educationalresearchreview*, 12, 45-58.
- (Higgins et Al., 2003)** Higgins, C., Hegazy, T., Symeonidis, P., & Tsintsifas, A. (2003). The coursemarker system: Improvements over ceildh. In *Education and Information Technologies*, 8(3), 287-304.
- (Hollands et Al., 2014)** Hollands, F. M., & Tirthali, D. (2014). Why Do Institutions Offer MOOCs?. In *Online Learning*, 18(3), n3.
- (Holt et Al., 1994)** Holt, P., Dubs, S., Jones, M., & Greer, J. (1994). The state of student modelling. In *Student modelling: The key to individualized knowledge-based instruction* (pp. 3-35). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Hoppe, 1995)** Hoppe, H. U. (1995). The use of multiple student modeling to parameterize group learning.
- (Hosler, 2014)** Hosler, A. I. M. M. E. E. (2014). Massive open online research: The MOOC evolves into the MOOR.
- (Huang et Al., 2017)** Huang, L., Zhang, J., & Liu, Y. (2017). Antecedents of student MOOC revisit intention: Moderation effect of course difficulty. In *International Journal of Information Management*, 37(2), 84-91.
- (Huisman et Al., 2018)** Huisman, B., Admiraal, W., Pilli, O., van de Ven, M., & Saab, N. (2018). Peer assessment in MOOCs: The relationship between peer reviewers' ability and authors' essay performance. In *British Journal of EducationalTechnology*, 49(1), 101-110.
- (Iniesto et Al., 2014)** Iniesto, F., & Rodrigo, C. (2014, November). Accessibility assessment of MOOC platforms in Spanish: UNED COMA, COLMENIA and Miriada X. In *Computers in Education (SIIE), 2014 International Symposium on* (pp. 169-172). IEEE.
- (Iqbal et Al., 2014)** Iqbal, S., Zang, X., Zhu, Y., Chen, Y. Y., & Zhao, J. (2014, December). On the impact of MOOCs on engineering education. In *MOOC, Innovation and Technology in Education (MITE), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 101-104). IEEE.
- (Jackson et Al., 1997)** Jackson, D., & Usher, M. (1997, March). Grading student programs using ASSYST. In *ACM SIGCSE Bulletin* (Vol. 29, No. 1, pp. 335-339). ACM.
- (Jansen et Al., 2015)** Jansen, D., Schuwer, R., Teixeira, A., & Aydin, C. H. (2015). Comparing MOOC adoption strategies in Europe: Results from the HOME project survey. In *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 16(6).
- (Jean-Daubias et Al., 2010)** Jean-Daubias, S., Thi-Thu-Hong, P. (2010). Différents niveaux de modélisation pour des profils d'apprenants. *Rapport. Université de Lyon, CNRS*.
- (Jean-Daubias et Al., 2009)** Jean-Daubias, S., Eyssautier-Bavay, C., Lefevre, M., & LIRIS, L. (2009). Modèles et outils pour rendre possible la réutilisation informatique de profils d'apprenants hétérogènes. In *Sticef*, 16, 171-208.
- (Johnson, 1986)** Johnson, W. L. (1986). Intention-based diagnosis of novice programming errors. *Morgan Kaufmann*.

- (Johnson et Al., 1986b)** Johnson, W. L., & Soloway, E. (1985). PROUST: Knowledge-based program understanding. In *IEEE Transactions on Software Engineering*, (3), 267-275.
- (Joordens et Al., 2009)** Joordens, S., Desa, S., & Paré, D. (2009). The pedagogical anatomy of peer-assessment: Dissecting a peerScholar assignment. In *Journal of Systemics, Cybernetics&Informatics*, 7(5).
- (Jorion, 1990)** Jorion, P. (1990). Principes des systèmes intelligents. *Éditions du Croquant*.
- (Joy et Al., 2005)** Joy, M., Griffiths, N., & Boyatt, R. (2005). The boss online submission and assessment system. In *Journal on Educational Resources in Computing (JERIC)*, 5(3), 2.
- (Jung et Al., 2018)** Jung, Y., & Lee, J. (2018). Learning engagement and persistence in massive open online courses (MOOCs). In *Computers & Education*, 122, 9-22.
- (Kabassi et Al., 2004)** Kabassi, K., & Virvou, M. (2004). Personalised adult e-training on computer use based on multiple attribute decision making. In *Interacting with computers*, 16(1), 115-132.
- (Karsentiet Al., 2013)** Karsenti, T. (2013). Révolution ou simple effet de mode?. In *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 10(2).
- (Kass, 1991)** Kass, R. (1991). Building a user model implicitly from a cooperative advisory dialog. In *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 1(3), 203-258.
- (Kass, 1987)** Kass, R. (1987). The Role of User Modelling in Intelligent Tutoring Systems. In *Moore School of Electrical Engineering. Department of Computer and Information Science*.
- (Kavcic, 2004)** Kavcic, A. (2004). Fuzzy user modeling for adaptation in educational hypermedia. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 34(4), 439-449.
- (Kay et Al., 1994)** Kay, D. G., Scott, T., Isaacson, P., & Reek, K. A. (1994, March). Automated grading assistance for student programs. In *ACM SIGCSE Bulletin* (Vol. 26, No. 1, pp. 381-382). ACM.
- (Kay, 2000)** Kay, J. (2000, June). Accretion representation for scrutable student modelling. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 514-523). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Kay, 2000b)** Kay, J. (2000, June). Stereotypes, student models and scrutability. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 19-30). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Kay et Al., 2013)** Kay, J., Reimann, P., Diebold, E., & Kummerfeld, B. (2013). MOOCs: So Many Learners, So Much Potential. In *IEEE Intelligent systems*, 28(3), 70-77.
- (Kaufman et Al., 2011)** Kaufman, J. H., & Schunn, C. D. (2011). Students' perceptions about peer assessment for writing: their origin and impact on revision work. In *Instructional Science*, 39(3), 387-406.
- (Kellaghan et Al., 2001)** Kellaghan, T., & Greaney, V. (2001). Using assessment to improve the quality of education. In *Unesco, International Institute for Educational Planning*.
- (Kizilcec et Al., 2013)** Kizilcec, R. F., Piech, C., & Schneider, E. (2013, April). Deconstructing disengagement: analyzing learner subpopulations in massive open online

- courses. In *Proceedings of the third international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 170-179). ACM.
- (Kobsa, 2001)** Kobsa, A. (2001). Generic user modeling systems. In *User modeling and user-adapted interaction*, 2001, vol. 11, no 1-2, p. 49-63.
- (Kop, 2011)** Kop, R. (2011). The challenges to connectivist learning on open online networks: Learning experiences during a massive open online course. In *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 12(3), 19-38.
- (Koutropoulos et Al., 2015)** Koutropoulos, A., & Zaharias, P. (2015). Down the rabbit hole: An initial typology of issues around the development of MOOCs. In *Current Issues in Emerging Learning*, 2(1), 4.
- (Krause, 2013)** Krause, S. D. (2013). MOOC Response about "Listening to World Music". In *College Composition and Communication*, 64(4), 689-695.
- (Kulkarniet Al., 2015)** Kulkarni, C., Wei, K. P., Le, H., Chia, D., Papadopoulos, K., Cheng, J., ... & Klemmer, S. R. (2015). Peer and self assessment in massive online classes. In *Design thinking research* (pp. 131-168). Springer, Cham.
- (Lane et Al., 2014)** Lane, A., Caird, S., & Weller, M. (2014). The potential social, economic and environmental benefits of MOOCs: operational and historical comparisons with a massive 'closed online' course. In *Open Praxis*, 6(2), 115-123.
- (Li et Al., 2014)** Li, N., Verma, H., Skevi, A., Zufferey, G., Blom, J., & Dillenbourg, P. (2014). Watching MOOCs together: Investigating co-located MOOC study groups. In *Distance Education*, 35(2), 217-233.
- (Lin et Al., 2001)** Lin, S. S. J., Liu, E. F., & Yuan, S. M. (2001). Web based peer assessment: Attitude and achievement. In *IEEE Transactions on Education*, 44(2), 13-pp.
- (Lucien, 2013)** Rapp, L. (2014). Les MOOCs, révolution ou désillusion?: le savoir à l'heure du numérique. *Institut de l'entreprise*.
- (Lu, 2018)** Lu, H. (2018). Construction of SPOC-based Learning Model and its Application in Linguistics Teaching. In *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 13(02), 157-169.
- (Luoet Al., 2014)** Luo, H., Robinson, A. C., & Park, J. Y. (2014). Peer Grading in a MOOC: Reliability, Validity, and Perceived Effects. In *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 18(2), n2.
- (Maalej et Al., 2016)** Maalej, W., Pernelle, P., Amar, C. B., Carron, T., & Kredens, E. (2016, October). Modeling skills in a learner-centred approach within MOOCs. In *International Conference on Web-Based Learning* (pp. 102-111). Springer, Cham.
- (Mabbott et Al., 2006)** Mabbott, A., & Bull, S. (2006, June). Student preferences for editing, persuading, and negotiating the open learner model. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 481-490). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Macknesset Al., 2010)** Mackness, J., Mak, S., & Williams, R. (2010). The ideals and reality of participating in a MOOC. In *Proceedings of the 7th International Conference on Networked Learning 2010*. University of Lancaster.

- (Malmiet Al., 2002) Malmi, L., Korhonen, A., & Saikkonen, R. (2002). Experiences in automatic assessment on mass courses and issues for designing virtual courses. In *ACM SIGCSE Bulletin*, 34(3), 55-59.
- (Mazoue, 2010) Mazoue, J. G. (2014). The MOOC model: Challenging traditional education. In *EDUCASE Review Online*.
- (McCalla et Al., 2000) McCalla, G., Vassileva, J., Greer, J., & Bull, S. (2000, June). Active learner modelling. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 53-62). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (McAuley et Al., 2010) McAuley, A., Stewart, B., Siemens, G., & Cormier, D. (2010). The MOOC model for digital practice. *Created through funding received by the University of Prince Edward Island through the Social Sciences and Humanities Research Council's "Knowledge Synthesis Grants on the Digital Economy"*.
- (Meinelet Al., 2013) Meinel, C., Totschnig, M., & Willems, C. (2013). openHPI: Evolution of a MOOC platform from LMS to SOA. In *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU), INSTICC, Aachen, Germany* (Vol. 5).
- (Mendelson, 1998) Mendelson, P. (1998). Quand les technologies éducatives nous aident à repenser la question de l'efficacité de l'enseignement.
- (Micheline, 2015) Marie-Sainte, M. (2014). Les enjeux économiques et territoriaux du e-learning dans l'enseignement supérieur entre logique de marché et politique éducative (*Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II*).
- (Miladi, 2006) Miladi, S. (2006). Les campus numériques: le paradoxe de l'innovation par les TIC. *Distances et savoirs*, 4(1), 41-59.
- (Miranda et Al., 2013) Miranda, S., Mangione, G. R., Orciuoli, F., Gaeta, M., & Loia, V. (2013, October). Automatic generation of assessment objects and Remedial Works for MOOCs. In *Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2013 International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- (Mostert et Al., 2013) Mostert, M., & Snowball, J. D. (2013). Where angels fear to tread: Online peer-assessment in a large first-year class. In *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 38(6), 674-686.
- (Mulder et Al., 2007) Mulder, R. A., & Pearce, J. M. (2007). PRAZE: Innovating teaching through online peer review. In *ICT: Providing choices for learners and learning. Proceedings of the 24th Annual Conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education* (pp. 727-736).
- (Muñoz-Merino et Al., 2015) Muñoz-Merino, P. J., Ruipérez-Valiente, J. A., Alario-Hoyos, C., Pérez-Sanagustín, M., & Kloos, C. D. (2015). Precise Effectiveness Strategy for analyzing the effectiveness of students with educational resources and activities in MOOCs. In *Computers in Human Behavior*, 47, 108-118.
- (Nicaudet Al., 2006) Nicaud, J. F., Chaachoua, H., & Bittar, M. (2006, June). Automatic calculation of students' conceptions in elementary algebra from Aplusix log files. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 433-442). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (NRC, 1996) National Research Council. (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- (Novak et Al., 1984) Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). In *Learning how to learn*. Cambridge University Press.

- (O'Toole, 2013) O'Toole, R. (2013). Pedagogical strategies and technologies for peer assessment in Massively Open Online Courses (MOOCs). *Unpublished discussion paper. University of Warwick, Coventry. Retrieved from <http://wrap.warwick.ac.uk/54602>*.
- (Ounnaset Al., 2009) Ounnas, A., Davis, H. C., & Millard, D. E. (2009). A framework for semantic group formation in education. In *Journal of Educational Technology & Society*, 12(4).
- (Özpolat et Al., 2009) Özpolat, E., & Akar, G. B. (2009). Automatic detection of learning styles for an e-learning system. In *Computers & Education*, 53(2), 355-367.
- (Pappano, 2012) Pappano, L. (2012). The Year of the MOOC. *The New York Times*, 2(12), 2012.
- (Parundekar et Al., 2010) Parundekar, R., Knoblock, C. A., & Ambite, J. L. (2010, November). Linking and building ontologies of linked data. In *International Semantic Web Conference* (pp. 598-614). Springer Berlin Heidelberg.
- (Paul, 2016) Paul, F. (2016). 4 raisons de recruter avec les MOOCs, Retours d'expériences sur les MOOCs de recrutement. *Case Study : Groupe Eurotunnel*.
- (Pearl, 2014) Pearl, J. (2014). Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. *Elsevier*.
- (Pfeiffer, 2015) Pfeiffer, L. (2015). MOOC, COOC: la formation professionnelle à l'ère du digital. *Dunod*.
- (Piech et Al., 2013) Piech, C., Huang, J., Chen, Z., Do, C., Ng, A., & Koller, D. (2013). Tuned models of peer assessment in MOOCs. *arXiv preprint arXiv:1307.2579*.
- (Pieterse, 2013) Pieterse, V. (2013, April). Automated assessment of programming assignments. In *Proceedings of the 3rd Computer Science Education Research Conference on Computer Science Education Research* (pp. 45-56). Open Universiteit, Heerlen.
- (Pilliet Al., 2016) Pilli, O., & Admiraal, W. F. (2016). A taxonomy for Massive Open Online Courses. In *Contemporary Educational Technology*, 7, 18.
- (Pinte, 2016) Pinte, J. P. (2010). Vers des réseaux sociaux d'apprentissage en éducation. *Les Cahiers Dynamiques*, (2), 82-86.
- (Poggi et Al., 2008) Poggi, A., Lembo, D., Calvanese, D., De Giacomo, G., Lenzerini, M., & Rosati, R. (2008). Linking data to ontologies. In *Journal on data semantics X* (pp. 133-173). Springer Berlin Heidelberg.
- (Pollalis et Al., 2009) Pollalis, Y. A., & Mavrommatis, G. (2009). Using similarity measures for collaborating groups formation: A model for distance learning environments. In *European Journal of Operational Research*, 193(2), 626-636.
- (Rameshet Al., 2013) Ramesh, A., Goldwasser, D., Huang, B., Daumé III, H., & Getoor, L. (2013, December). Modeling learner engagement in MOOCs using probabilistic soft logic. In *NIPS Workshop on Data Driven Education* (Vol. 21, p. 62).
- (Reich, 2012) Reich, J. (2012). Summarizing all MOOCs in one slide: Market, open and Dewey. *EdTechResearcher*, 7, 2012..
- (Rivard, 2013) Rivard, R. (2013). Measuring the MOOC dropout rate. *Inside Higher Ed*, 8, 2013.

- (Rodriguez, 2013)** Rodriguez, O. (2013). The concept of openness behind c and x-MOOCs (Massive Open Online Courses). *Open Praxis*, 5(1), 67-73.
- (Rosselle et Al., 2014)** Rosselle, M., Caron, P. A., &Heutte, J. (2014, February). A typology and dimensions of a description framework for MOOCs. In *European MOOCs Stakeholders Summit 2014, eMOOCs 2014* (pp. 130-139). Proceedings document published in collaboration with eLearning Papers, a digital publication on eLearning by Open Education Europa (www.openeducationeuropa.eu), ISBN 978-84-8294-689-4.
- (Sadler, 1989)** Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. In *Instructional science*, 18(2), 119-144.
- (Sadler et Al., 2006)** Sadler, P. M., & Good, E. (2006). The impact of self-and peer-grading on student learning. In *Educationalassessment*, 11(1), 1-31.
- (Sadler, 2010)** Sadler, D. R. (2010). Beyond feedback: Developing student capability in complex appraisal. In *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(5), 535-550.
- (Salinas et Al., 2015)** Salinas, P., Quintero, E., & Sánchez, X. (2015). Math and Motion: A (Coursera) MOOC to Rethink Math Assessment. In *Learning and Collaboration Technologies* (pp. 313-324). Springer, Cham.
- (Sampson et Al., 2008)** Sampson, V., & Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. In *Science Education*, 92(3), 447-472.
- (Self, 1988)** Self, J. (1988). Student models: what use are they. In *Artificial Intelligence tools in education*, 73-86.
- (Sheard et Al., 2014)** Sheard, J., Eckerdal, A., Kinnunen, P., Malmi, L., Nylén, A., & Thota, N. (2014, November). MOOCs and their impact on academics. In *Proceedings of the 14th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (pp. 137-145). ACM.
- (Siemens, 2005)** Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. In *International journal of instructional technology and distance learning*, 2(1), 3-10.
- (Siemens, 2013)** Siemens, G. (2013). Massive open online courses: Innovation in education. In *Open educational resources: Innovation, research and practice*, 5, 5-15.
- (Sil et Al., 2012)** Sil, A., Ketelhut, D. J., Shelton, A., & Yates, A. (2012, June). Automatic grading of scientific inquiry. In *Proceedings of the Seventh Workshop on Building Educational Applications Using NLP* (pp. 22-32). Association for Computational Linguistics.
- (Soh et Al., 2008)** Soh, L. K., Khandaker, N., & Jiang, H. (2008). I-MINDS: a multiagent system for intelligent computer-supported collaborative learning and classroom management. In *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 18(2), 119-151.
- (Sottolare et Al., 2013)** Sottolare, R. A., Graesser, A., Hu, X., & Holden, H. (Eds.). (2013). In *Design recommendations for intelligent tutoring systems: Volume 1-learner modeling* (Vol. 1). US Army Research Laboratory.
- (Spratt et Al., 2002)** Spratt, M., Humphreys, G., & Chan, V. (2002). Autonomy and motivation: Which comes first?. In *Language teaching research*, 6(3), 245-266.

- (Staubitz et Al., 2016) Staubitz, T., Petrick, D., Bauer, M., Renz, J., & Meinel, C. (2016, April). Improving the peer assessment experience on MOOC platforms. In *Proceedings of the Third (2016) ACM Conference on Learning@ Scale* (pp. 389-398). ACM.
- (Stewart, 2013) Stewart, B. (2013). Massiveness+ openness= new literacies of participation?. In *Journal of Online Learning and Teaching*, 9(2), 228.
- (Sunar et Al., 2015) Sunar, A. S., Abdullah, N. A., White, S., & Davis, H. (2015, May). Personalisation in MOOCs: A critical literature review. In *International Conference on Computer Supported Education* (pp. 152-168). Springer, Cham.
- (Tanana, 2009) Tanana, M. (2009). Évaluation formative du savoir-faire des apprenants à l'aide d'algorithmes de classification. Application à l'électronique numérique (*Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, INSA de Rouen*).
- (Tchounikine, 2002) Tchounikine, P. (2002). Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH. In *Actes des 2ème assises nationales du GdR I3-Groupe de Recherche Information Interaction Intelligence, décembre 2002* (pp. 13-pages).
- (Thomas et Al., 2004) Thomas, P., Haley, D., DeRoeck, A., & Petre, M. (2004, August). E-assessment using latent semantic analysis in the computer science domain: A pilot study. In *Proceedings of the Workshop on eLearning for Computational Linguistics and Computational Linguistics for eLearning* (pp. 38-44). Association for Computational Linguistics.
- (Tobar et Al., 2007) Tobar, C. M., & de Freitas, R. L. (2007, October). A support tool for student group definition. In *Frontiers In Education Conference-Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 2007. FIE'07. 37th Annual* (pp. T3J-7). IEEE.
- (Topping, 1998) Topping, K. (1998). Peer assessment between students in colleges and universities. In *Review of educational Research*, 68(3), 249-276.
- (Tsai et Al., 2018) Tsai, Y. H., Lin, C. H., Hong, J. C., & Tai, K. H. (2018). The effects of metacognition on online learning interest and continuance to learn with MOOCs. In *Computers & Education*, 121, 18-29.
- (Uschold et Al., 1996) Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, methods and applications. In *the knowledge engineering review*, 11(2), 93-136.
- (Valérie, 2008) Valérie, P. U. G. I. N. (2008). L'évaluation en éducation: de l'évaluation de l'élève et du système éducatif à l'évaluation d'une politique éducative locale.
- (Van-Minh et Al., 2015b) Van-Minh, P., Ligozat, A. L., & Grau, B. (2015, June). Distractor quality evaluation in multiple choice questions. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 377-386). Springer, Cham.
- (Van Den Berg et Al., 2006) Van den Berg, I., Admiraal, W., & Pilot, A. (2006). Design principles and outcomes of peer assessment in higher education. In *Studies in Higher Education*, 31(03), 341-356.
- (Van Der Zee et Al., 2018) van der Zee, T., Davis, D., Saab, N., Giesbers, B., Ginn, J., van der Sluis, F., ... & Admiraal, W. (2018, March). Evaluating retrieval practice in a MOOC: how writing and reading summaries of videos affects student learning. In *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge* (pp. 216-225). ACM.
- (Vardi, 2012) Vardi, M. Y. (2012). Will MOOCs destroy academia?. In *Communications of the ACM*, 55(11), 5-5.

- (Virvou et Al., 2003) Virvou, M., & Manos, K. (2003, September). Individualizing a cognitive model of students' memory in Intelligent Tutoring Systems. In *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems* (pp. 893-897). Springer, Berlin, Heidelberg.
- (Vogelsang et Al., 2015) Vogelsang, T., & Ruppertz, L. (2015, March). On the validity of peer grading and a cloud teaching assistant system. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge* (pp. 41-50). ACM.
- (Walsh, 2014) Walsh, T. (2014). The peerrank method for peer assessment. *arXiv preprint arXiv:1405.7192*.
- (Wang et Al., 2014) Wang, Y., Liang, Y., Liu, L., & Liu, Y. (2014). A Motivation Model of Peer Assessment in Programming Language Learning. *arXiv preprint arXiv:1401.6113*.
- (Wang et Al., 2007) Wang, D. Y., Lin, S. S., & Sun, C. T. (2007). DIANA: A computer-supported heterogeneous grouping system for teachers to conduct successful small learning groups. In *Computers in Human Behavior*, 23(4), 1997-2010.
- (Wang et Al., 2016) Wang, H., Hao, X., Jiao, W., & Jia, X. (2016, August). Causal Association Analysis Algorithm for MOOC Learning Behavior and Learning Effect. In *Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech), 2016 IEEE 14th Intl C* (pp. 202-206). IEEE.
- (Walvoord et Al., 2008) Walvoord, M. E., Hoefnagels, M. H., Gaffin, D. D., Chumchal, M. M., & Long, D. A. (2008). An analysis of calibrated peer review (CPR) in a science lecture classroom. In *Journal of College Science Teaching*, 37(4), 66.
- (Wenger, 2014) Wenger, E. (2014). Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge. *Morgan Kaufmann*.
- (Wenger, 1987) Wenger, E. (1987). Artificial intelligence and tutoring system: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge. *California: Morgan Kaufmann Publishers. Textopublicadona: Pátio-revistapedagógica Editora Artes Médicas Sul Ano, 1*, 19-21.
- (Wessner et Al., 2001) Wessner, M., & Pfister, H. R. (2001, September). Group formation in computer-supported collaborative learning. In *Proceedings of the 2001 international ACM SIGGROUP conference on supporting group work* (pp. 24-31). ACM.
- (Woolf, 2010) Woolf, B. P. (2010). Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning. *Morgan Kaufmann*.
- (Xing et Al., 2018) Xing, W., & Du, D. (2018). Dropout Prediction in MOOCs: Using Deep Learning for Personalized Intervention. In *Journal of Educational Computing Research*, 0735633118757015.
- (Xiong et Al., 2018) Xiong, Y., & Suen, H. K. (2018). Assessment approaches in massive open online courses: Possibilities, challenges and future directions. In *International Review of Education*, 64(2), 241-263.
- (Yousef et Al., 2014) Yousef, A. M. F., Chatti, M. A., Schroeder, U., & Wosnitza, M. (2014, July). What drives a successful MOOC? An empirical examination of criteria to

- assure design quality of MOOCs. In *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2014 IEEE 14th International Conference on* (pp. 44-48). IEEE.
- (Yuan et Al., 2013)** Yuan, L., Powell, S., & CETIS, J. (2013). MOOCs and open education: Implications for higher education. *White Paper*.
- (Zhang, 2010)** Zhang, Y. F. (2010). Modélisation de l'apprenant dans le cadre d'un environnement informatique pour l'apprentissage humain offrant des conseils personnalisés (*Doctoral dissertation, Université Laval*).

Références webographies

- (Bates, 2012) Bates, T. (2012). What's right and what's wrong about Coursera-style MOOCs. Consulté le : 08/06/2018. Disponible sur : <https://www.tonybates.ca/2012/08/05/whats-right-and-whats-wrong-about-coursera-style-moocs/>
- (Cisel, 2013a) Cisel, M. (August 08, 2013a). MOOC : comment concevoir une évaluation par les pairs ?. Consulté le : 24/04/2018. Disponible sur: <http://blog.educpros.fr/matthieu-cisel/2013/08/08/mooc-comment-concevoir-une-evaluation-par-les-pairs/>
- (Cisel, 2013b) Cisel, M. (June 30, 2018). Une typologie des MOOCs. Mattieu's (Online) Blog. Consulté le : 23/04/2018. Disponible sur: <http://blog.educpros.fr/matthieu-cisel/2013/06/30/une-typologie-des-mooc/>
- (Civera, 2014) Civera, D. (June 23, 2014). Apprendre en ligne : quel MOOC choisir ?. Consulté le : 21/04/2018. Disponible sur : <http://www.tomshardware.fr/articles/mooc-apprentissage-cours,2-2317.html>
- (Comrie, 2013) Comrie, C. (February 19, 2013). Technology in education new battle lines. Consulté le : 23/04/2018. Disponible sur : <http://www.jisc.ac.uk/blog/technology-in-education-new-battle-lines-19-feb-2013>
- (Donald, 2013) Donald, C. (April 16, 2013) MOOCs: taxonomy of 8 types of MOOC. Consulté le : 20/04/2018. Disponible sur : <http://donaldclarkplanb.blogspot.co.uk/search?q=MOOCs:+taxonomy>
- (Hill, 2012) Hill, P. (July 24, 2012). Four Barriers That MOOCs Must Overcome To Build a Sustainable Model. Consulté le : 26/04/2018. Disponible sur: <http://mfeldstein.com/four-barriers-that-moocs-must-overcome-to-become-sustainable-model/>.
- (Hill, 2013) Hill, P. (August 30, 2013) . Some validation of MOOC student patterns graphic. Consulté le : 26/04/2018. Disponible sur: <https://mfeldstein.com/validation-mooc-student-patterns-graphic/>
- (Lane, 2012) Lane, L. (August 15, 2012). Three kinds of MOOCs. Lisa's (Online) Teaching Blog. Consulté le : 20/04/2018. Disponible sur : <https://lisahistoryblog.wordpress.com/2012/08/15/three-kinds-of-moocs/>
- (Louis, 2015) Louis N. (April 29, 2015). La rétroaction dans une #CLAAC: une stratégie efficace. Consulté le 22/04/2018. Disponible sur : <http://claac.org/tag/evaluation-par-les-pairs/>
- (Peck, 2013) Peck, K. (2013). Flex-MOOCs – An inevitable step in the evolution of Online Learning. Consulté le: 02/06/2017. Disponible sur: <https://coil.psu.edu/blog/flex-moocs/>
- (Siemens, 2012) Siemens, G. (July 25, 2012). MOOCs are really a platform. Consulté le: 23/04/2018. Disponible sur : <http://www.elearnspace.org/blog/2012/07/25/moocs-are-really-a-platform/>
- (Siemens, 2014) Siemens, G. (May 6, 2014). Multiple pathways: Blending xMOOCs & cMOOCs. Consulté le: 23/04/2018. Disponible sur : <http://www.elearnspace.org/blog/2014/05/06/multiple-pathways-blending-xmoocs-cmoocs/>
- (Stephen, 2012) Stephen, D. (March 23, 2012). Education as platform: the MOOC experience and what we can do to make it better. Consulté le: 23/04/2018. Disponible sur:

<http://halfanhour.blogspot.com/2012/02/e-learning-generations.html>.

(Vaufrey, 2016)

Vaufrey, C. (February 16, 2016). MOOC et e-learning, quelle différence ?. Consulté le : 21/04/2018. Disponible sur : <https://www.linkedin.com/pulse/mooc-et-e-learning-quelle-diff%C3%A9rence-christine-vaufrey?published=u>

(Zapata-Ros, 2013)

Zapata-Ros, M. (July 19, 2013). POOC. Consulté le :23/04/2018. Disponible sur : <http://redesabiertas.blogspot.com/2013/07/pooc.html>

Liste des communications et publications personnelles

- **Publications dans des revues internationales**

Haddadi L, Bouarab-Dahmani F, Guin N, Berkane T & Lazib S. Peer assessment and groups formation in massive open online courses. In *Computer Applications in Engineering Education*, 2018;1–15,.<https://doi.org/10.1002/cae.22005>. (to appear).

<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/10990542/homepage/productinformation.html>

Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F. Guin, N., (2018). Multi-Level Learner Assessment in Massive Open Online Courses. In *International Journal of Knowledge and Learning*. (to appear).

<http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=IJKL#absindex>

Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, (2018). Gradual Learners' Assessment in Massive Open Online Courses based on ODALA approach. In *Journal of Information Technology Research (JITR)*. (to appear)

<https://www.igi-global.com/journal/journal-information-technology-research/1100>

Hammid, N., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2017). Collaborative MOOC Content Design and Automatic Assessment Based on ODALA Approach. In *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 10(2), 19-39.

<https://www.igi-global.com/article/collaborative-mooc-content-design-and-automatic-assessment-based-on-odala-approach/178572>

- **Communications internationales**

Haddadi, L., Tali, M. A., Bouarab-Dahmani, F., & Berkane, T., (2017, December). E-recruitment support system based on MOOCs. In *International Conference in Mathematics and Information Technology (ICMIT)*, 2017 on (pp. 234-238). IEEE, Adrar, Algeria.

Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F., Berkane, T., & Lazib, S. (2017, May). Peer assessment in MOOCs based on learners' profiles clustering. In *8th International Conference in Information Technology (ICIT)*, 2017 on (pp. 532-536). IEEE, Amman, Jordan.

Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F. Tali, M. A., & Lazib, S. (2017, April). MOOC classification centered on learners' needs. In *Actes du colloque international IPAPE '2017* (p. 92), Djerba, Tunisia.

Ouammar, L. Haddadi, L., Bouarab-Dahmani, F. & Tahy, R. (2017, April). Tutorat en ligne automatisé basé sur la réutilisation de questions/réponses. In *Actes du colloque international IPAPE '2017* (p. 173), Djerba, Tunisia.

Lazib, S., Bouarab-Dahmani, F., & Haddadi, L. (2016, November). Analyse d'opinions pour l'orientation scolaire. In *Proceeding of the Second International Symposium on Informatics and its Applications*, (p. 87), M'sila, Algeria.

Berkane, T., Viallet F., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016, November). Un Environnement d'Auto-Apprentissage Constructiviste Basé sur l'Approche Par Compétences. *Proceeding of the Second International Symposium on Informatics and its Applications*, (p. 65), M'sila, Algeria.

Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016, July). An Assessment Planner for MOOCs Based ODALA Approach. In *Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress (UIC/ATC/ScalCom/CBDCom/IoP/SmartWorld)*, 2016 Intl IEEE Conferences (pp. 855-862). IEEE, Toulouse, France.

Lazib, S., Bouarab-Dahmani, F., & Haddadi, L. (2016, July). Orientation process for secondary school pupils based on opinion analysis. *Proceeding of the 8th annual International Conference on Education and New Learning Technologies*, Barcelona, Spain.

Hammid, N., Haddadi, L., & Bouarab-Dahmani, F. (2016). MOOC Design: Teachers Collaboration and Learning Activities Based on ODALA Approach. In *Proceeding of the 1 st International Conference on Computer Science's Complex Systems and their Applications (ICCSA'2016)*, Oum El Bouagui, Algeria.

Annexes

Attestations de participation aux conférences





Al-Zaytoonah University of Jordan
Faculty of Science and Information Technology

Certificate of Attendance

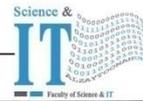
This is to certify that Lynda Haddadi has participated
in the 8th International Conference on Information Technology



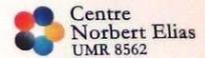
held at Al-Zaytoonah University of Jordan
on May 17th - 18th, 2017 in Amman, Jordan



Abdefatah A. Tamimi
Conference Chair



L'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Djerba
& Centre Norbert Elias UMR



Attestation de participation



Faite à Djerba le 08 Avril 2017

Décernée à :

Lynda HADDADI

Pour sa participation au colloque international sur l'**Innovation Pédagogique, Accompagnement et Professionnalisation des Etudiants (IPAPE'2017)** qui s'est tenu à Djerba - Tunisie du 06 au 08 Avril 2017.

La présente attestation est délivrée à l'intéressé(e) pour servir et valoir ce que de droit.

Anis ASSAS
Directeur de l'ISET de Djerba



Louis BASCO
Centre Norbert Elias



July the 18th, 2016

Dr. Didier El Baz
General Chair of IEEE SmartWorld Congress
General Chair of the Local Organizing
Committee

To whom it may concerns



Laboratoire d'analyse
et d'architecture des systèmes

7, avenue du colonel Roche
BP 54200
31031 TOULOUSE cedex 4
FRANCE

T. +33 (0)5 61 33 62 00
F. +33 (0)5 61 55 35 77
www.laas.fr

This is certify that **HADDADI LYNDA** has attended the **SmartWord Congress 2016** (<http://2016swc.sciencesconf.org>) **from July 18 to July 21, 2016** at University Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, Toulouse, France, and has presented a paper that was accepted by the Program Committee.

The SmartWord Congress is a conjunction of six IEEE Conferences and associated Workshops : IEEE UIC 2016, IEEE ATC 2016, IEEE ScalCom 2016, IEEE CBDCom 2016, IEEE IoP 2016 & IEEE SmartWord Congress.

Sincerely yours,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Didier El Baz'.

Dr. Didier El Baz





RESEARCH LABORATORY
ON
COMPUTER SCIENCE COMPLEX SYSTEMS



Attestation de participation

Délivrée à

Haddadi Lynda

En reconnaissance de la contribution avec une communication intitulée « MOOC design : Teachers collaboration and learning activities based on ODALA approach » à la conférence « ICCSA'16 : the first International Conference on Computer Science's Complex Systems and their Applications », à l'université Larbi Ben M'hidi, d'Oum El Bouaghi qui s'est déroulée du 12 au 14 Avril 2016.

مدير مختبر البحث في الأنظمة
المعلوماتية المركبة
أ. نينسي إبراهيم



OUM EL BOUAGHI, LE 14 AVRIL 2016

LE PRESIDENT DE LA CONFERENCE

Résumé

Le monde de l'enseignement supérieur est en pleine ébullition depuis l'apparition des MOOCs (Massive Open Online Courses). Il s'agit d'une innovation pédagogique qui permet à des dizaines de milliers d'apprenants de suivre en même temps et pendant quelques semaines des cours. L'évaluation des apprenants dans ces MOOCs est considérée comme l'un des défis majeurs, vu le nombre élevé de participants à un même cours. Cette évaluation se base sur des outils de type Questionnaires à Choix Multiples (QCM), textes à trous, applications numériques, etc. Or, avec ce type d'outils, il est difficile de savoir si l'apprenant a répondu par rapport à ses connaissances acquises ou par coup de chance. De plus, l'état cognitif de l'apprenant tel qu'il est considéré dans ces systèmes, ne concerne qu'une simple notation des outils proposés alors qu'il serait souhaitable d'aller dans les détails des notions constituant le cours, pour proposer des contenus plus pertinents et plus accessibles en prenant compte les connaissances antérieures des apprenants.

Notre contribution dans cette thèse est de proposer une architecture d'un système MOOC qui prenne en charge les problèmes précités, notamment la modélisation et l'évaluation des apprenants. Cette architecture intègre un modèle apprenant (MA) ainsi qu'une nouvelle approche d'évaluation des apprenants. Le MA a pour but de faciliter la planification des activités d'évaluation. Nous proposons en plus des outils précités d'autres activités d'évaluation notamment des exercices d'application et des situations problème. La dimension état cognitif du MA doit couvrir toutes les connaissances acquises par l'apprenant durant son apprentissage. Concernant les activités d'évaluation et l'évaluation elle-même, nous avons adopté l'approche ODALA (Ontology Driven for Auto-evaluation Learning Approach). Cette dernière fournit une ontologie de la discipline concernée (Onto-TDM) que nous avons emprunté comme colonne vertébrale du processus d'ingénierie du système MOOC proposé. La structure de l'ontologie nous a servi dans la modélisation cognitive de l'apprenant. Afin de faciliter l'évaluation, nous avons proposé de classer les activités dans une pyramide en quatre paliers : questions fermées, semi-ouvertes, ouvertes et situations problème. Ces paliers sont conçus selon un degré de difficulté croissant. Le processus d'évaluation proposée repose sur deux méthodes d'évaluation : une évaluation automatisée et une évaluation semi-automatique par les pairs. La méthode d'évaluation automatisée concerne les activités (questions fermées, semi-ouvertes et ouvertes) de bas niveaux de la pyramide. L'évaluation semi-automatique concerne d'évaluation par les pairs de l'activité situation problème située en haut de la pyramide. Les résultats des évaluations sont consignés dans le modèle cognitif de l'apprenant.

Afin de vérifier la faisabilité de nos propositions, nous avons développé deux prototypes. Le premier concerne les trois premiers paliers de la pyramide d'évaluation et le deuxième concerne le dernier palier. Nous avons testé le premier prototype avec deux disciplines LMD (License Master Doctorat) : l'algorithmique (de la première année universitaire) et les bases de données relationnelles (de la deuxième année de licence en informatique). Nous avons ensuite testé le deuxième prototype avec deux disciplines enseignées en Master: les bases de données relationnelles et l'assurance qualité.

Mots clés : MOOCs, Evaluation Automatisée, Evaluation par les pairs, Modélisation des Apprenants, Pyramide d'Activités d'apprentissage par l'exercice, Apprentissage en Ligne, l'approche ODALA, Onto-TDM.

Abstract

The world of higher education has been in turmoil since the appearance of MOOC (Massive Open Online Course). This latter is a pedagogical innovation that allows tens of thousands of learners to follow courses at the same time and for a few weeks. Learner Assessment in MOOCs is considered as one of the major challenges, given the high number of participants in the same course. The assessment is based on basic tools such as Multiple Choice Questionnaire (MCQ), text filled, numerical applications, etc. However, with this type of tools, it is difficult to know whether the learner responded in relation to his/her acquired knowledge or by stroke of luck. Moreover, the learner cognitive state concerns only a simple notation of the proposed tools, whereas it would be required to give details of the concepts to propose more relevant and accessible contents by taking into account the previous learners knowledge.

Our contribution in this thesis is to propose a MOOC system that supports the above-mentioned problems, in particular the learner modelling and learner assessment. This system incorporates a Learner Model (LM) and a new approach for learner assessment. The purpose of the LM is to facilitate the planning of assessment activities. In addition, we propose other activities to the above tools, in particular open-ended questions and problem situations. The cognitive state dimension of LM should cover all acquired knowledge by the learner during his/her learning. Regarding assessment activities and the assessment itself, we have adopted the ODALA approach (Ontology Driven for Self-evaluation Learning Approach). This latter provides an ontology of the concerned discipline (Onto-TDM) that we have borrowed as the backbone of the engineering process of the proposed MOOC system. The ontology was used in the learner cognitive state. In order to facilitate the assessment process, we proposed to classify the activities in a pyramid with four levels: closed-ended, half-open, open-ended questions and problem situations. These levels are designed with an increasing degree of difficulty. The proposed assessment process is based on two methods: an automated assessment and a semi-automatic peer evaluation. The automated assessment method concerns the low-level activities (closed-ended, half-open and open-ended questions) of the pyramid. Semi-automatic assessment concerns peer assessment of problem situations activities located at the top of the pyramid. Assessment results are recorded in LM.

In order to verify the feasibility of our proposals, we have developed two prototypes. The first concerns the first three levels of the assessment pyramid and the second concerns the fourth level. We have tested the first prototype with two LMD (License Master Doctorate) disciplines: algorithms (from the first year of university) and relational databases (from the second year of computer science degree). We then tested the second prototype with two disciplines trained in Master: relational databases and quality assurance.

Keywords: MOOCs, Automated Assessment, Peer Assessment, Learner Modeling, Learner Model, Pyramid, Online Learning, ODALA, Onto-TDM.