

## Résumé :

Cette thèse a pour but de résoudre une problématique qui a toujours été présente dans les systèmes d'apprentissage à distance. C'est le problème d'interopérabilité de ces systèmes qui demeure omniprésent dans les domaines de la recherche scientifique, surtout avec la multitude des plateformes commercialisées et l'apparition des moyens technologiques efficaces tels que les Smartphones et les tablettes qui ont révolutionné ce domaine par l'apparition d'un nouveau champ d'application qui est le M-learning.

Cette thèse a pour objectif de fournir les moyens et les techniques pour garantir l'interopérabilité des fonctionnalités et les services des plateformes d'apprentissage à distance anciennes ou nouvelles et les adapter afin qu'on puisse les utiliser autant en E-learning qu'en M-learning. Ce travail permet aussi d'offrir aux utilisateurs de ces plateformes, un dépôt simplifié et rapide de ressources et de scénario pédagogique et un archivage fiable, durable et sécurisé.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons proposé une nouvelle approche qui vise à garantir l'interopérabilité dans les architectures distribuées particulièrement dans les services web, ainsi elle permet de faciliter la tâche d'identification, de réutilisation, de partage et d'adaptation d'objets d'enseignements et d'apprentissages en se basant sur les spécifications de la prochaine génération de la norme SCORM tels que les spécifications xAPI et CMI5. Afin d'améliorer la performance d'interopérabilité et automatiser le travail des enseignants, nous avons proposé une nouvelle approche de conception des solutions web sémantique qui s'est focalisée sur la question de l'interopérabilité sémantique du contenu d'apprentissage sous un angle nouveau et inexploité dans le domaine d'apprentissage à distance, sous la base de la norme RDF afin d'assurer une haute qualité d'échange et de partage de données ainsi de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques.

L'implémentation de notre approche montre de nombreux avantages techniques et pédagogiques, elle contribue à l'amélioration de la qualité de formation en ligne en favorisant le soutien et la collaboration entre les différents acteurs et représentants du processus de l'enseignement.

**Mots clés :** Interopérabilité, E-learning, M-learning, Normes d'Apprentissage, Web Service, Web Sémantique, JSON-LD, LMS, LRS, SCORM, xAPI, CMI-5.

2021

L'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage à Distance :  
Élaboration d'une Approche Orientée Service et Sémantique basée sur la Prochaine Génération  
de la Spécification SCORM  
Abdellah BAKHOUI



N° d'ordre : MITI/192/2021

Université Hassan II de Casablanca

Thèse de Doctorat

Présentée par :

Abdellah BAKHOUI

Spécialité :

Informatique

Sujet de la thèse :

**L'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage à Distance :  
Élaboration d'une Approche Orientée Service et Sémantique à la base des  
Spécifications de la Prochaine Génération de la norme SCORM**

Thèse présentée et soutenue à la Faculté des Sciences Ben M'Sik,

Le 03/04/2021

Devant le jury composé de :

|                    |     |   |                         |
|--------------------|-----|---|-------------------------|
| El FAJRI Abdelkrim | PES | Faculté des Sciences d'El Jadida  | Président et Rapporteur |
| BAKALI Assia       | PH  | Ecole Royale Navale Casablanca  | Rapporteur              |
| RIDA Mohamed       | PH  | Faculté des Sciences Aïn Chock Casablanca                                 | Rapporteur              |
| TRAGHA Abderrahim  | PES | Faculté des Sciences Ben M'Sik Casablanca                                 | Examineur               |
| EDDAOUI Ahmed      | PH  | Faculté des Sciences Juridique Economique et Sociale Ain Sebaâ Casablanca | Examineur               |
| DEHBI Rachid       | PH  | Faculté des Sciences Aïn Chock Casablanca                                 | Co-Encadrant de thèse   |
| TALEA Mohamed      | PES | Faculté des Sciences Ben M'Sik Casablanca                                 | Directeur de thèse      |

Etablissement : Faculté des Sciences Ben M'Sik

CEDoc : Sciences et Applications

Formation Doctorale : Mathématiques et Informatique et Traitement de l'Information (MITI)

Nom du laboratoire : Laboratoire de Traitement de l'Information (LTI)



[www.univh2c.ma](http://www.univh2c.ma)

19, Rue Tarik IbnouZiad, B.P.9167, MersSultan Casablanca- Maroc  
Tél. +212 5 22.43.30.30/31 | Fax: +212 5 22 27 61 50

E-mail: [presidence@univcasa.ma](mailto:presidence@univcasa.ma)

Avenue Hassan II B.P. 150, Mohammedia, Maroc

Tél : +212 5 23 31 46 35/36 Fax : +212 5 31 46 34

E-mail : [presidence@univcasa.ma](mailto:presidence@univcasa.ma)

N° d'ordre :

MITI/192/2021



---

## Remerciements

Je tiens à remercier très vivement **Allah** qui a mis à ma disposition toutes les personnes qui ont participé au bon déroulement de mon travail.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à Monsieur **Mohamed TALEA**, directeur scientifique de cette thèse pour les efforts constructifs déployés afin de développer et réussir ce projet.

Je tiens énormément et de tout mon cœur à remercier Monsieur **Rachid DEHBI**, mon encadrant, je suis heureux d'avoir eu la chance durant ces quatre années de partager ses réflexions et de disposer de son expertise scientifique pour mener à bien cette thèse.

J'exprime ma gratitude à Madame **Assia BAKKALI**, à Monsieur **Abdelmajid KADDOURI** et à Monsieur **Monsef Sedki ALAOUI**, pour leurs orientations et leurs compétences, ils m'ont permis d'approfondir et de mieux situer mon approche scientifique.

Je remercie tous les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'être rapporteur de juger mon travail. Nos intéressantes interactions ont permis d'alimenter ma réflexion.

Je remercie également l'ensemble des doctorants de la faculté des Sciences Ben M'Sik pour leurs soutiens et la bonne collaboration.

Je souhaite associer à ces remerciements ma famille, et particulièrement **mes parents** pour leurs soutiens, leurs patiences et leurs investissements dans ce projet.

Je remercie **mes sœurs et mes frères**, pour m'avoir communiqué sa passion envers les sciences et sa soif de connaissances.

Mes sincères remerciements vont finalement à tous ceux qui ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.

---

## Résumé

Cette thèse a pour but la résolution d'une problématique qui a toujours été présente dans les systèmes d'apprentissage à distance. C'est le problème d'interopérabilité de ces systèmes qui demeure omniprésent dans les domaines de la recherche scientifique surtout avec la multitude des plateformes commercialisées et l'apparition des moyens technologiques efficaces tels que les Smartphones, et les tablettes qui ont révolutionné ce domaine par l'apparition d'un nouveau champ d'application qui est le M-learning.

Cette thèse a pour objectif de fournir les moyens et les techniques pour garantir l'interopérabilité des fonctionnalités et les services des plateformes d'apprentissage à distance anciens ou nouveaux et les adapter. Afin qu'on puisse les utiliser autant en e-learning qu'en M-learning. Ce travail permet aussi d'offrir aux utilisateurs de ces plateformes, un dépôt simplifié et rapide de ressources et de scénarios pédagogiques et un archivage fiable, durable et sécurisé.

Dans le cadre de cette recherche, nous avons proposé une nouvelle approche qui vise à garantir l'interopérabilité dans les architectures distribuées particulièrement dans les services web. Ainsi, elle permet de faciliter la tâche d'identification, de réutilisation, de partage et d'adaptation d'objets d'enseignements et d'apprentissages en se basant sur les prochaines générations de la spécification SCORM telles que les spécifications xAPI et CMI5. Afin d'améliorer la performance d'interopérabilité et faciliter l'utilisation de cette dernière et automatiser le travail des enseignants, nous avons proposé une solution web sémantique qui s'est focalisée sur la question de l'interopérabilité sémantique du contenu d'apprentissage sous un angle nouveau et inexploité dans le domaine d'apprentissage à distance sous la base de la norme RDF afin d'établir une haute qualité d'échange et de partage de données et ainsi de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques.

L'implémentation de notre approche montre de nombreux avantages techniques et pédagogiques, elle contribue à l'amélioration de la qualité de formation en ligne tout en favorisant le soutien et la collaboration entre les différents acteurs de l'enseignement.

---

## ملخص

يهدف هذا المشروع إلى حل مشكلة كانت موجودة دائمًا في أنظمة التعلم عن بعد. إنها مشكلة قابلية التشغيل البيئي لهذه الأنظمة التي لا تزال موجودة في كل مكان في مجالات البحث العلمي وخاصة مع العديد من المنصات المسوقة وظهور وسائل تكنولوجية فعالة مثل الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية التي أحدثت ثورة في هذا المجال مع ظهور نظام جديد مجال التطبيق وهو التعلم الإلكتروني.

تهدف هذه الرسالة إلى توفير الوسائل والتقنيات لضمان التشغيل البيئي لوظائف وخدمات منصات التعلم عن بعد القديمة أو الجديدة والمنهجيات المعدلة. بحيث يمكن استخدامها في كل من التعلم الإلكتروني والتعليم الإلكتروني المتنقل. يتيح هذا المشروع أيضًا تقديم مستخدم هذه المنصات لإيداع مبسط وسريع للموارد والسيناريوهات التعليمية وأرشفة موثوقة ودائمة وأمنة.

في إطار هذه الأطروحة، اقترحنا مقارنة جديدة تهدف إلى ضمان إمكانية التشغيل المتبادل في البنى الموزعة، خاصة في خدمات الويب، وبالتالي تسهيل مهمة تحديد وإعادة استخدام ومشاركة وتكييف عناصر التدريس والتعلم استنادًا إلى الجيل التالي من مواصفات SCORM. من أجل تحسين جودة قابلية التشغيل البيئي وتسهيل استخدام هذا الأخير وتسهيل عمل المدرسين، اقترحنا حل الويب الدلالي الذي يركز على مسألة قابلية التشغيل البيئي لمحتوى التعلم تحت زاوية جديدة وغير مستغلة في مجال التعلم عن بعد على أساس معيار RDF من أجل تأسيس جودة عالية لتبادل البيانات ومشاركتها وتطبيقها على تأهيل وإدارة البيانات الدلالية.

يُظهر تطبيق نهجنا العديد من المزايا التقنية والتربوية، فهو يساهم في تحسين جودة التدريب عبر الإنترنت من خلال تعزيز الدعم والتعاون بين مختلف الجهات التعليمية.

---

## Abstract

This project aims to solve a problem that has always been present in distance learning systems. It is the problem of the interoperability of these systems that remains omnipresent in the fields of scientific research especially with the multitude of platforms marketed and the emergence of efficient technological means such as smartphones, and tablets which have revolutionized this field with the emergence of a new field of application which is M-learning.

This thesis aims to provide the means and techniques to guarantee the interoperability of the functionalities and services of old or new distance learning platforms and the adapted ones. So that they can be used both in e-learning and in M-learning. This project also makes it possible to offer users of these platforms a simplified and rapid deposit of resources and educational scenarios, and reliable, durable and secure archiving.

As part of this thesis, we have proposed a new approach which aims to guarantee interoperability in distributed architectures, particularly in web services, thus facilitating the task of identification, reuse, sharing and adaptation of teaching and learning objects based on the next generation of the SCORM specification. In order to improve the quality of interoperability and facilitate the use of the latter and automate the work of teachers, we proposed a semantic web solution which focused on the question of the semantic interoperability of learning content under a new and untapped angle in the field of distance learning under the basis of the RDF standard in order to establish a high quality of data exchange and sharing and to apply them to the qualification and management of semantic data.

The implementation of our approach shows many technical and pedagogical advantages, it contributes to improving the quality of online training by promoting support and collaboration between the different education players.

---

## Table des Matières

|  |    |
|--|----|
| Remerciements .....  | 2  |
| Résumé .....   | 3  |
| ملخص.....  | 4  |
| Abstract .....   | 5  |
| Liste des Figures .....  | 13 |
| Liste des Tableaux.....  | 17 |
| Liste des acronymes .....  | 18 |
| I. Introduction générale.....  | 23 |
| 1. Contexte de la Thèse .....  | 23 |
| 2. Problématique.....  | 24 |
| 3. Objectifs et Contributions de la Thèse .....                        | 25 |
| 4. Structure de la thèse.....  | 27 |
| Chapitre 1 - Concepts de Base du E-learning et Sa Tendence Mobile..... | 31 |
| I. Concepts de Base du E-learning .....                                | 33 |
| 1. Introduction .....  | 33 |
| 2. Définition de l'apprentissage en ligne .....                        | 33 |
| 3. Avantages de l'apprentissage en ligne .....                         | 36 |
| 4. Les systèmes E-learning.....  | 37 |
| 4.1. Caractéristiques Générales et Composants .....                    | 38 |
| 4.2. Système de Gestion d'Apprentissage .....                          | 39 |
| 4.3. Systèmes de gestion de contenu .....                              | 42 |
| 4.4. Systèmes de Gestion de Contenu d'Apprentissage .....              | 44 |

---

|  |    |
|--|----|
| 4.5. Référentiels d'Objets d'Apprentissage.....  | 46 |
| 5. Plateformes de système d'apprentissage en ligne .....   | 48 |
| 5.1. Les initiatives Open Source incluent :.....   | 48 |
| 5.2. Les solutions propriétaires incluent :.....   | 48 |
| II. Tendances du E-learning vers le Mobile Learning.....   | 49 |
| 1. Définitions :.....  | 49 |
| 2. Avantages de l'apprentissage mobile dans un environnement d'apprentissage....                 | 51 |
| III. Défis d'interopérabilité entre E & M-learning .....   | 53 |
| 1. Interopérabilité sémantique :.....  | 53 |
| 2. Interopérabilité organisationnelle : .....  | 55 |
| 3. Interopérabilité technologique et syntaxique : .....  | 56 |
| IV. Conclusion.....  | 58 |
| Chapitre 2 - Études Comparatives des Systèmes d'Apprentissage à Distance .....                   | 59 |
| I. Introduction .....  | 61 |
| 1. Qu'est-ce que le système d'aide à la décision ? .....   | 63 |
| 2. Prise de décision multicritères (MCDM).....   | 63 |
| II. Étude Comparative Avancées Et Analyse Multicritères Des LMSs Commerciaux Et Open Source..... | 67 |
| 1. Analyse SWOT des LMSs.....  | 68 |
| 2. Sélection des systèmes de gestion de l'apprentissage .....                                    | 72 |
| 3. Caractéristiques et capacités du LMS .....  | 72 |
| 4. Comparaison basée sur les fonctionnalités de LMS.....   | 73 |
| 5. Étude comparative multicritères .....   | 75 |
| 5.1. La méthode de la somme pondérée WSM : .....   | 75 |
| 5.2. Analyse Multicritères Des LMS Commerciaux Et Open Source en appliquant la méthode WSM ..... | 76 |

---

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III. Analyse Multicritères de l'Interopérabilité des LMS en utilisant la Méthode COPRAS .....</b>                                    | <b>79</b> |
| 1. La Méthode AHP.....  | 79        |
| 2. Sélection de Systèmes d'Apprentissage en Ligne .....   | 80        |
| 3. Choix des critères de poids en utilisant la méthode AHP .....  | 81        |
| 3.1. Sélection des critères d'évaluation .....  | 81        |
| 3.2. Application de la méthode AHP .....  | 82        |
| 4. Sélection des meilleurs LMS en interopérabilité en appliquant la méthode COPRAS .....  | 84        |
| 4.1. La méthode de décision COPRAS.....   | 84        |
| 4.2. Choix du meilleur LMS en appliquant la méthode COPRAS.....   | 86        |
| <b>IV. Conclusion.....</b>  | <b>88</b> |
| <b>Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble .....</b> | <b>89</b> |
| <b>I. Introduction .....</b>  | <b>91</b> |
| <b>II. Enjeux d'Interopérabilité et de Normalisation des Systèmes d'Apprentissage en Ligne .....</b>                                    | <b>92</b> |
| 1. Le défi de l'interopérabilité .....  | 92        |
| 2. Types de Normes d'Interopérabilité d'E-learning .....  | 93        |
| 4.1. <i>Metadata</i> .....  | 93        |
| 4.2. <i>Content packaging</i> .....   | 94        |
| 4.3. <i>Learner Profile</i> .....   | 94        |
| 4.4. <i>Learner Registration</i> .....  | 94        |
| 4.5. <i>Content Communication</i> .....   | 94        |
| 3. Normalisation de Technologie d'Apprentissage .....   | 94        |
| 5.1. Objectifs .....  | 95        |
| 5.2. Le processus.....  | 95        |

---

---

|   |            |
|---|------------|
| <b>III. Évolution de la normalisation et de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne.....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>1. IMS Global Learning Consortium.....</b>   | <b>99</b>  |
| 1.1. IMS Learning Tools Interoperability (LTI) .....  | 99         |
| 1.2. IMS Common Cartridge (CC).....   | 101        |
| 1.3. IMS Learning Information Services (LIS) .....  | 101        |
| 1.4. IMS Question & Test Interoperability (QTI).....  | 101        |
| 1.5. IMS Caliper Analytics (CA).....  | 103        |
| <b>2. IEEE LTSC Learning Technology Standards Committee .....</b>   | <b>105</b> |
| 2.1. LTSC Working Groups and Study Groups.....  | 105        |
| 2.2. Accredited Learning Technology Standards.....  | 106        |
| 3.1. AICC Guidelines and Recommendations .....  | 109        |
| 3.2. Rapports techniques et livres blancs de l'AICC.....  | 110        |
| 3.3. Documents de travail .....   | 111        |
| <b>4. ADL Advanced Distributed Learning Initiative .....</b>  | <b>113</b> |
| 4.1. SCORM Standard.....  | 114        |
| 4.2. Tin Can API (Next Generation of SCORM) .....   | 117        |
| 4.3. CMI-5 Standard (“extra rules” for xAPI) .....  | 122        |
| <b>IV. Discussion et problèmes actuels .....</b>  | <b>125</b> |
| <b>V. Conclusion.....</b>   | <b>127</b> |
| <b>Chapitre 4 - Une nouvelle Approche pour améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM .....</b> | <b>128</b> |
| <b>I. Introduction .....</b>  | <b>130</b> |
| <b>II. Les normes d'apprentissage pour l'interopérabilité et Travaux SOA .....</b>  | <b>131</b> |
| 1. Les normes d'apprentissage pour l'interopérabilité .....   | 131        |
| 2. Travaux SOA pour l'interopérabilité.....   | 132        |

---

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>III. Une nouvelle Approche de Service Web pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning et leurs Extensions Mobile.</b> .....   | <b>136</b> |
| 1. Approche proposée.....  | 136        |
| 2. Modèle & Composants d'Architecture Logicielle de la Prochaine Génération de SCORM dans la plateforme LMS.....   | 138        |
| 2.1. Les cas d'utilisation.....  | 138        |
| 2.2. Diagramme de séquence .....   | 140        |
| 2.3. Modèle de domaine .....   | 144        |
| <b>IV. Implémentation &amp; Intégration de la prochaine génération de SCORM dans la Plateforme LMS</b> .....   | <b>145</b> |
| 1. Intégration les principaux composants de la prochaine génération de la spécification SCORM.....   | 145        |
| 1.1. Choix de l'Outils ADL LRS en tant que LRS .....   | 145        |
| 1.2. Utilisation du Plug-in de Moodle "LogStore xAPI" .....  | 147        |
| 1.3. L'emballage du contenu .....  | 149        |
| 1.4. Contenu externe .....   | 149        |
| 1.5. Mécanisme de lancement « LaunchMethod » .....   | 151        |
| 2. Réalisation des Interactivités d'Apprentissage pour Améliorer l'Interopérabilité d'Apprentissage en Ligne .....   | 155        |
| 2.1. Réalisation de la 1 <sup>ère</sup> interactivité « visualiser la vidéo interactive ».....   | 155        |
| 2.2. Réalisation de la 2 <sup>ème</sup> interactivité « Tableau de bord de l'enseignant » .....  | 162        |
| <b>V. Conclusion</b> .....   | <b>174</b> |
| <b>Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM</b> ..... | <b>176</b> |
| <b>I. Introduction</b> .....   | <b>178</b> |
| <b>II. Le web sémantique dans E-learning</b> .....   | <b>179</b> |
| <b>III. Pile Web Sémantique</b> .....  | <b>181</b> |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| 1. RDF (Resource Description Framework) .....   | 182 |
| 1.1. Vue d'ensemble.....  | 182 |
| 1.2. Concepts de base .....   | 183 |
| 1.3. Formats de Sérialisation.....  | 186 |
| 2. Le schéma RDF (Resource Description Framework) .....   | 186 |
| 2.1. Vue d'ensemble.....  | 186 |
| 2.2. Primitives de modélisation .....   | 187 |
| 3. Langages de requête RDF.....   | 188 |
| 3.1. Différents langages de requête.....  | 188 |
| 3.2. SPARQL .....   | 188 |
| 4. Applications implémentées .....  | 189 |
| 5. Discussion et Décision .....   | 190 |
| IV. Solution Web Sémantique pour un Système d'Apprentissage en Ligne à l'aide de<br>la prochaine génération de SCORM..... | 190 |
| 1. Objectif & Approche.....   | 190 |
| 2. Architecture du mécanisme de mappage JSON-LD .....   | 191 |
| 3. Solution Web sémantique « JSON2RDF TransLRS » en utilisant le mécanisme de<br>mappage JSON-LD .....                    | 191 |
| 4. Evaluation & Etude de performance de l'approche .....  | 194 |
| 4.1. Ensemble de données pour les tests (dataset) .....   | 194 |
| 4.2. Configuration de l'environnement de test .....   | 195 |
| 4.3. Evaluation de l'approche .....   | 195 |
| 4.4. Comparaison des résultats .....  | 196 |
| 5. Discussion.....  | 198 |
| 6. Conclusion.....  | 198 |
| Conclusion et Perspectives.....   | 199 |
| Bibliographie.....  | 203 |

---

---

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| <b>ANNEXES</b> .....  | <b>212</b> |
| <b>ANNEXE 1</b> ..... | <b>213</b> |
| <b>ANNEXE 2</b> ..... | <b>220</b> |

---

## Liste des Figures

|  |     |
|--|-----|
| Figure 1.4: Structure et Composants des Systèmes E-learning. ....  | 39  |
| Figure 1.5: Aperçu des Fonctionnalités d'un Système de Gestion de l'Apprentissage<br>(LMS) [extrait de Nichani [46]]...... | 41  |
| Figure 1.6: Composants des Systèmes de Gestion de Contenu Internes et Externes [51].<br>.....                              | 44  |
| Figure 1.7: Composants des Systèmes de Gestion de Contenu d'Apprentissage. ....  | 46  |
| Figure 2.1: Classification Générale des Méthodes MCDM. ....  | 62  |
| Figure 2.2: Classification de MCDM [118] .....   | 64  |
| Figure 2.3: Modèles de décision multicritères [136]......  | 65  |
| Figure 2.4: Une taxonomie des méthodes MCDM [137]......  | 65  |
| Figure 2.5: Processus Décisionnel Général [140] [141]. ....  | 66  |
| Figure 2.6: Matrice SWOT.....  | 70  |
| Figure 2.7: Score Final par LMS. ....  | 79  |
| Figure 2.8: Chronologie du développement des majeurs LMSs. ....  | 81  |
| Figure 2.9: Score Final de Performance par LMS.....  | 87  |
| Figure 3.1: Modèle de développement collaboratif pour les normes d'apprentissage<br>formel [220]......                     | 96  |
| Figure 3.2 : E-Learning System Standards and Organizations .....   | 98  |
| Figure 3.3: Avantages de la norme LTI [230]......  | 100 |
| Figure 3.4: Séquence de lancement IMS LTI. ....  | 100 |
| Figure 3.5: Le rôle des tests d'évaluation et des éléments d'évaluation .....  | 102 |
| Figure 3.6: Le modèle de données complet «edu graph». Source: (IMS Global Learning<br>Consortium 2013) .....               | 104 |
| Figure 3.7: Représentation de haut niveau de l'environnement Caliper. ....   | 105 |
| Figure 3.8: Comment fonctionne l'AICC .....  | 108 |
| Figure 3.9: Chronologie de l'évolution des normes AICC.....  | 109 |
| Figure 3.10: Chronologie de l'évolution du standard SCORM. ....  | 113 |
| Figure 3.11 : Comment fonctionne SCORM .....   | 114 |
| Figure 3.12: SCORM est composé de quatre éléments.....   | 114 |
| Figure 3.13: Chronologie de l'évolution du standard Tin Can API (xAPI)......   | 117 |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figure 3.14: Représentation JSON d'une déclaration xAPI.</b> .....  | <b>118</b> |
| <b>Figure 3.15: Comment fonctionne xAPI</b> .....  | <b>119</b> |
| <b>Figure 3.16: Le contenu d'apprentissage est livré à un LRS.</b> .....   | <b>119</b> |
| <b>Figure 3.17: Les relevés envoyés à plusieurs LMS, LRS ou outils de reporting.</b> .....   | <b>120</b> |
| <b>Figure 3.18: Chronologie de l'évolution de la norme de projet CMI-5.</b> .....  | <b>122</b> |
| <b>Figure 3.19: Modèle d'information cohérent</b> .....  | <b>125</b> |
| <b>Figure 4.1: Architecture SOA pour l'interopérabilité des LMS et les applications<br/>mobiles [285] [286]</b> .....  | <b>137</b> |
| <b>Figure 4.2: Les cas d'utilisation</b> .....   | <b>139</b> |
| <b>Figure 4.3: Diagramme de séquence d'interactivité "visualiser une vidéo massive"[286].</b><br>.....   | <b>141</b> |
| <b>Figure 4.4: Diagramme de séquence d'interactivité "Tableau de bord (1)"[ ]</b> .....  | <b>144</b> |
| <b>Figure 4.5: Diagramme de séquence d'interactivité "Tableau de bord (2)"[ ]</b> .....  | <b>144</b> |
| <b>Figure 4.6: Représentation de composants du domaine d'application [286].</b> .....  | <b>145</b> |
| <b>Figure 4.7: Pile logicielle LRS et interaction</b> .....  | <b>146</b> |
| <b>Figure 4.8: Flux de protocole abstrait OAuth 2.0.</b> .....   | <b>147</b> |
| <b>Figure 4.9: Exemple de déclarations xAPI / TinCan produites par le plug-in Moodle<br/>Logstore [257] [ ]</b> .....  | <b>148</b> |
| <b>Figure 4.10: Une vue simplifiée du processus en six étapes définit les trois parties du<br/>plug-in [ ]</b> .....   | <b>149</b> |
| <b>Figure 4.11: Une structure de cours de spécification de contenu xAPI natif.</b> .....   | <b>150</b> |
| <b>Figure 4.12: Manifestes dans cmi5 - Structure du cours</b> .....  | <b>150</b> |
| <b>Figure 4.13: Format de l'URL de lancement.</b> .....  | <b>151</b> |
| <b>Figure 4.14: URL de lancement de notre implémentation.</b> .....  | <b>152</b> |
| <b>Figure 4.15: Application Postman.</b> .....   | <b>153</b> |
| <b>Figure 4.16: capture d'écran de l'interface utilisateur offerte par le simulateur UA de<br/>cmi-5.</b> .....  | <b>154</b> |
| <b>Figure 4.17: xAPI &amp; CMI5 prennent en charge une architecture distribuée, dans<br/>laquelle les flux de déclarations peuvent provenir de diverses sources et être<br/>transmis à plusieurs points de terminaison</b> ..... | <b>154</b> |
| <b>Figure 4.18: Un exemple d'une demande de déclaration auprès du LRS.</b> .....   | <b>155</b> |
| <b>Figure 4.19: Interface d'un prototype fonctionnel du profil vidéo en action.</b> .....  | <b>155</b> |
| <b>Figure 4.20: Capture d'une déclaration xAPI "Initialisée" sous format JSON.</b> .....   | <b>156</b> |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| Figure 4.21: Capture d'une déclaration xAPI "Jouée" sous format JSON. ....  | 157 |
| Figure 4.22: Capture d'une déclaration xAPI "Mise en Pause" sous format JSON. ....  | 158 |
| Figure 4.23: Capture d'une déclaration xAPI "Mise en Cherchant" sous format JSON.<br>.....                                    | 159 |
| Figure 4.24: Capture d'une déclaration xAPI "Interaction" sous format JSON. ....  | 160 |
| Figure 4.25: Capture d'une déclaration xAPI "Complétée" sous format JSON. ....  | 161 |
| Figure 4.26: Capture d'une déclaration xAPI "Mise à la Fin" sous format JSON. ....  | 162 |
| Figure 4.27: Tableau de bord de l'enseignant. ....  | 163 |
| Figure 4.28: L'interface ADL LRS pour l'administrateur. ....  | 164 |
| Figure 4.29: La visionneuse de déclarations xAPI a été modifiée par nous pour offrir<br>davantage d'options de filtrage. .... | 165 |
| Figure 4.30: Activité par utilisateur dans le LRS.....  | 167 |
| Figure 4.31: Score moyen dans le LRS.....   | 167 |
| Figure 4.32: Score moyen par activité. ....   | 167 |
| Figure 4.33: Diagramme à barres avec le score moyen par activité. ....  | 168 |
| Figure 4.34: Score moyen des étudiants. ....  | 168 |
| Figure 4.35: Analytiques pour un individu.....  | 169 |
| Figure 4.36: Données agrégées pour les étudiants.....   | 170 |
| Figure 4.37: L'activité pour chaque utilisateur de notre évaluation. ....   | 171 |
| Figure 4.38: Le score moyen pour chaque utilisateur de notre évaluation.....  | 171 |
| Figure 4.39: Le score pour chaque déclaration de l'utilisateur (Graphique circulaire et<br>tableau).....                      | 172 |
| Figure 4.40: Le formulaire de requête indiquant quels étudiants ont effectivement cliqué<br>sur le bouton. ....               | 173 |
| Figure 5.1: Pile Web sémantique .....   | 181 |
| Figure 5.2: RDF triple modélisé sous forme de graphe orienté .....  | 183 |
| Figure 5.3: Exemple de graphe RDF .....   | 185 |
| Figure 5.4: Exemple pour Faire une nouvelle déclaration RDF en utilisant la réification<br>.....                              | 186 |
| Figure 5.5: Résultat de la requête basée sur le graphique RDF .....   | 189 |
| Figure 5.6: Partie de l'architecture des services Web [254] [255].....  | 191 |
| Figure 5.7: Architecture du mécanisme de mappage JSON-LD [295] [296]. ....  | 191 |

---

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figure 5.8: Capture d'écran de la fenêtre de l'outil JSON2RDF TransLRS [295] [296].</b> |            |
| .....  | <b>192</b> |
| <b>Figure 5.9: Capture d'écran du résumé du programme JSON2RDF TransLRS [295]</b>          |            |
| <b>[296].</b> .....  | <b>193</b> |
| <b>Figure 5.10: Durée de chargement des données en (s) [332].</b> .....                    | <b>195</b> |
| <b>Figure 5.11: Durée d'exécution de TransLRS en (s) [332].</b> .....                      | <b>196</b> |
| <b>Figure 5.12: Résultats de comparaison entre TransLRS et GrassBlade LRS [332].</b> ..... | <b>197</b> |

---

## Liste des Tableaux

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tableau 1.5: Certaines des méthodes de prestation d'apprentissage en ligne que nous prenons en considération. ....</b> | <b>42</b>  |
| <b>Tableau 2.1: Analyse SWOT des LMSs. ....</b>   | <b>71</b>  |
| <b>Tableau 2.2: LMS commerciaux et open source [173].....</b>   | <b>72</b>  |
| <b>Tableau 2.3: Caractéristiques et capacités du LMS.....</b>   | <b>73</b>  |
| <b>Tableau 2.4: Caractéristiques et Qualités des Huit LMSs. ....</b>  | <b>74</b>  |
| <b>Tableau 2.5: Les Poids des Critères.....</b>   | <b>77</b>  |
| <b>Tableau 2.6: Matrice de Choix Multicritères. ....</b>  | <b>78</b>  |
| <b>Tableau 2.7: LMS commerciaux et open source [177].....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>Tableau 2.8: Échelle de comparaison des attributs.....</b>   | <b>83</b>  |
| <b>Tableau 2.9: Matrice de Jugement. ....</b>   | <b>83</b>  |
| <b>Tableau 2.10: Les Poids des Critères.....</b>  | <b>84</b>  |
| <b>Tableau 2.11: Matrice de Décision.....</b>   | <b>86</b>  |
| <b>Tableau 5.1: Ensemble de données générées ....</b>   | <b>194</b> |
| <b>Tableau 5.2: Durée de chargement des données en (s) [332].....</b>   | <b>195</b> |
| <b>Tableau 5.3: Durée d'exécution de TransLRS en (s) [332]. ....</b>  | <b>196</b> |
| <b>Tableau 5.4: Comparaison entre TransLRS et GrassBlade LRS [332]. ....</b>  | <b>196</b> |

---

## Liste des acronymes

|                |   |
|----------------|---|
| <b>ADL</b>     | Advanced Distributed Learning                       |
| <b>AGR</b>     | AICC Guidelines and Recommendations                 |
| <b>AHP</b>     | Analytic Hierarchy Process                          |
| <b>AICC</b>    | Aviation Industry Computer-Based Training Committee |
| <b>ALIC</b>    | Advanced Learning Infrastructure Consortium         |
| <b>API</b>     | interface de programme d'application                |
| <b>AU</b>      | Unités assignables                                  |
| <b>BPMN</b>    | Business Process Modeling Notation                  |
| <b>CAM</b>     | Content Aggregation Model                           |
| <b>CDN</b>     | Content Delivery Network                            |
| <b>CMC</b>     | Computer Mediated Communication                     |
| <b>CMC</b>     | Computer Mediated Communication                     |
| <b>CMI</b>     | Computer Managed Instruction                        |
| <b>CMI5</b>    | Computer Managed Instruction 5                      |
| <b>CMS</b>     | Content Management System                           |
| <b>COPRAS</b>  | COmplex PROportional Assessment                     |
| <b>DCMI</b>    | Dublin Core Metadata Initiative                     |
| <b>DREL</b>    | Digital Rights Expression Languages                 |
| <b>EAI</b>     | Enterprise Application Integration                  |
| <b>EdNA</b>    | Education Network Australia                         |
| <b>HACP</b>    | HTTP AICC Communication Protocol                    |
| <b>IDPF</b>    | International Digital Publishing Forum              |
| <b>IEEE</b>    | Institute of Electrical and Electronics Engineers   |
| <b>IMS</b>     | Integrated Management Standards                     |
| <b>IMS CA</b>  | IMS Caliper Analytics                               |
| <b>IMS CC</b>  | IMS Common Cartridge                                |
| <b>IMS LIS</b> | IMS Learning Information Services                   |
| <b>IMS LTI</b> | IMS Learning Tools Interoperability                 |
| <b>IMS QTI</b> | IMS Question & Test Interoperability                |
| <b>JSON</b>    | JavaScript Object Notation                          |
| <b>JSON-LD</b> | JSON for Linking Data                               |
| <b>LCMS</b>    | Learning Content Management System                  |
| <b>LIP</b>     | Learner Information Package                         |
| <b>LMS</b>     | Learning Management System                          |
| <b>LOM</b>     | Learning Object Metadata                            |
| <b>LOR</b>     | Learning Object Repository                          |
| <b>LRS</b>     | Learning Record Store                               |
| <b>MADM</b>    | Multiple Attribute Decision-Making                  |
| <b>MCDA</b>    | Multiple-Criteria Decision Analysis                 |
| <b>MCDM</b>    | Multiple-Criteria Decision-Making                   |
| <b>MODM</b>    | Multi-Objective Decision Making                     |
| <b>OMA</b>     | Open Mobile Alliance                                |

---

|               |  |
|---------------|--|
| <b>ORB</b>    | Object Request Broker                                    |
| <b>OUN</b>    | Open University of Nietherlande                          |
| <b>OWL</b>    | Web Ontology Language                                    |
| <b>PENS</b>   | Package Exchange Notification Services                   |
| <b>RDF</b>    | Resource Description Framework                           |
| <b>RDF(S)</b> | RDF Schema   |
| <b>RMDI</b>   | Rogers Model of Diffusion of Innovation                  |
| <b>RTE</b>    | Run-Time Environment                                     |
| <b>SCORM</b>  | Sharable Content Object Reference Model                  |
| <b>SIS</b>    | Student Information System                               |
| <b>SN</b>     | Sequencing and Navigation                                |
| <b>SOA</b>    | Service-Oriented Architecture                            |
| <b>SOAP</b>   | Simple Object Access Protocol                            |
| <b>SPSML</b>  | Scaffolding Participatory Simulation for Mobile Learning |
| <b>SWOT</b>   | Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats         |
| <b>TIC</b>    | Technologies de l'Information et de la Communication     |
| <b>TLA</b>    | Training Learning Architecture                           |
| <b>URI</b>    | Uniform Resource Identifier                              |
| <b>VLE</b>    | Virtual Learning Environment                             |
| <b>W3C</b>    | World Wide Web Consortium                                |
| <b>WBT</b>    | Web-Based Training                                       |
| <b>WG</b>     | Working Group  |
| <b>WIMP</b>   | Windows, Icons, Menus, Pointer                           |
| <b>WSDL</b>   | Web Services Description Language                        |
| <b>WSM</b>    | Weighted SumModel  |
| <b>XAPI</b>   | eXperience Application Programming Interface             |
| <b>XML</b>    | eXtensible Markup Language                               |





# Introduction générale

### I. Introduction générale

#### 1. Contexte de la Thèse

Au cours des dernières années, la croissance dans le domaine des technologies de l'information (TI) a été très rapide, cette dernière améliore profondément nos façons de nous informer, de communiquer et de nous former et les différentes applications en fonction de l'information sont également modifiées de manière très drastique. L'une des applications informatiques extrêmement populaires est un nouveau mode d'apprentissage connu sous le nom E-learning.

E-Learning est l'un des systèmes de partage et d'échange d'informations et de connaissances, qui représente un processus plus large dans lequel l'innovation continue devient un objectif, dans le cadre de l'apprentissage à distance et également permet de développer les compétences des apprenants, tout en rendant le processus d'apprentissage indépendant du temps et du lieu.

À l'heure actuelle, les apprenants ont besoin du soutien d'un apprentissage personnalisé efficace, cela leur permet d'atteindre plus facilement leurs objectifs éducatifs. En conséquence, nous pouvons trouver de nombreuses applications d'apprentissage utilisant la technologie mobile pour améliorer le processus d'apprentissage ainsi, les interactions sociales dans Facebook, Twitter et Youtube. Nous devons permettre l'utilisation de ces nouvelles technologies et d'applications dans les systèmes d'e-learning. Pour intégrer la nouvelle génération d'applications dans les systèmes E-learning, il est nécessaire d'interopérer entre les systèmes. L'interopérabilité est l'une des exigences pour qu'un système d'information fédéré puisse accéder et utiliser les ressources d'un autre système. L'interopérabilité joue un rôle clé dans la standardisation d'apprentissage en ligne. Ainsi, les plateformes informatiques de différents types peuvent tous échanger des e-mails, des pages Web et plus, généralement sans problèmes de compatibilité importants. Dans le domaine de l'e-learning, l'interopérabilité suggère le stockage, le traitement et l'échange de contenu pédagogique, les dossiers d'étudiants et d'autres types d'informations par des systèmes différents et souvent divers tels que les banques de ressources, et les systèmes d'apprentissage en ligne.

Les efforts actuels en matière de normalisation des ressources d'apprentissage Web sous la forme de dépôts interopérables d'objets, de contenus d'apprentissage permettent de penser à des environnements d'e-learning dans lesquels l'information peut être facilement disponible et adaptée à des besoins spécifiques d'apprentissage. Ces environnements d'apprentissage

devraient non seulement faciliter l'interaction avec le matériel d'apprentissage, mais aussi la technologie utilisée et les informations disponibles auprès des étudiants, des enseignants et d'autres composants (logiciels éducatifs externes, simulations et tuteurs artificiels ou compagnons).

Parallèlement, les progrès technologiques extraordinaires réalisés dans les réseaux sans fil et la technologie de traitement des données mobiles ont permis une intégration efficace des appareils mobiles dans plusieurs applications, y compris celles relatives à l'apprentissage. Ces développements ont donné naissance à un nouveau concept parallèle à E-learning : M-learning, une nouvelle version de l'e-learning améliorée vers l'utilisation des technologies mobiles.

Par conséquent, le besoin semble presser de manière concrète pour assurer l'exploitation des atouts pré-existants de l'e-learning et éviter toute reproduction inutile. En outre, il est important d'assurer la communication, les échanges, le partage des ressources pédagogiques et les données entre les deux environnements.

## 2. Problématique

Les progrès récents dans les capacités du smartphone couplé avec son omniprésence inhérente ont conduit à un intérêt accru à tirer parti des appareils mobiles pour l'apprentissage. Les appareils mobiles peuvent donner accès à des supports de formation et de support de performance en cas de besoin. Poussé par l'amélioration des logiciels, l'amélioration du matériel et l'évolution des habitudes des utilisateurs d'appareils mobiles, les opportunités ont augmenté encore plus significativement ces dernières années, surtout à l'époque actuelle ; en raison de la crise du COVID-19, il est devenu le principal moyen de développement des processus d'enseignement et d'apprentissage.

La prolifération continue de smartphones personnels avec des navigateurs Web avancés a créé une opportunité incroyable qui ne peut être ignorée. Il est désormais possible de diffuser du contenu de cours sur de nombreuses plateformes à l'aide du navigateur mobile.

Plusieurs laboratoires de recherche s'intéressent à divers aspects de l'apprentissage mobile. La plupart d'entre eux commencent par des recherches sur leur relation à l'e-learning. Malgré la diversité de leurs visions, il existe un consensus sur la coexistence de ces deux environnements d'apprentissage. Mais le problème de l'interopérabilité existe toujours là surtout aux fonctionnalités et services de stockage, le traitement et l'échange de contenu pédagogique, les dossiers d'étudiants et d'autres types d'informations par des systèmes différents et souvent

divers tels que les banques de ressources, et les systèmes d'apprentissage en ligne soit open source, soit commercial.

Ainsi, nous devons masquer l'hétérogénéité et en particulier, les échanges de données et de communication sur ces environnements. Toutefois, certaines de ces échanges d'apprentissage ne sont pas réalisables avec des normes et spécifications d'interopérabilité, certains contenus fonctionnent seulement dans un navigateur et non pas sur les applications mobiles de plus ; avec ce limite d'interopérabilité des fonctionnalités, il n'est pas possible de suivre et de collecter des données sur les expériences d'apprentissage des apprenants vu la limite de communication entre le système de gestion d'apprentissage et le contenu. En d'autres termes, il est nécessaire de fournir les moyens et les techniques pour assurer l'interopérabilité des plateformes d'apprentissage à distance anciens ou nouvelles et les adaptés. Afin qu'on puisse les utiliser autant en e-learning qu'en M-learning.

### **3. Objectifs et Contributions de la Thèse**

La formulation de notre approche est passée par plusieurs étapes :

Un état de l'art rapportant le concept de E-learning et ses avantages, son adoption, la performance de l'e-learning dans l'enseignement supérieur en général, ainsi de présenter le concept du M-learning, et une comparaison de E-learning et M-learning avec ses avantages, ses limites et défis dans un environnement d'apprentissage sont abordés. Cela nous a permis d'évoquer les défis de l'interopérabilité entre l'E & M-learning et identifie les niveaux d'interopérabilité:

Une première étude multicritère sur les différents systèmes d'apprentissage en ligne commerciaux et open source existants en se basant sur l'analyse SWOT (Strength, Weaknesses, Opportunities and Threats), sur la méthode WSM (Weight Sum Method), ainsi que l'aide à la prise de décision multicritère (MCDA).

Une deuxième étude multicritères cette fois autour du problème d'interopérabilité de ces systèmes d'apprentissage en ligne en se basant sur la méthode processus d'analyse hiérarchique AHP, sur la méthode mathématique d'évaluation proportionnelle complexe COPRAS.

Nous avons ensuite présenté le progrès et l'évolution de la normalisation et de l'interopérabilité du contenu des systèmes E-learning. Cette étape se concentre spécifiquement sur les normes d'apprentissage en ligne les plus répandues et émergentes d'organisations bien

connues et qui contribuent à assurer l'interopérabilité, à réutiliser et à maintenir un contenu de haute qualité lorsqu'un échange transfère ainsi des données entre les systèmes d'apprentissage en ligne. Elle se concentre également sur quatre organisations, chacune jouant un rôle dans le développement de l'interopérabilité des normes E-learning. Nous parlons également d'un récent projet de collaboration entre organisations qui a été développé par AICC et ADL comme CMI-5. Une discussion sur l'évolution des normes d'interopérabilité pour le e-learning et son impact sur les plateformes de l'enseignement supérieur et leurs perspectives avec les nouvelles technologies telles que le mobile learning est présentée qui nous a aidé de révéler le problème d'hétérogénéité croissante des systèmes d'apprentissage à distance.

La mise en œuvre de l'architecture logicielle qui se concentre notamment sur l'intégration des spécifications de nouvelle génération de SCORM afin d'adapter les fonctionnalités et les mécanismes du système de gestion de l'apprentissage et son extension au scénario mobile. Cette architecture est implémentée pour le célèbre LMS open source Moodle et s'est concentrée sur deux interactivités qui ne sont pas encore réalisables avec les spécifications de la prochaine génération de SCORM. Elle consiste à utiliser le système LRS qui constitue le noyau de xAPI illustrant ses fonctionnalités et sa flexibilité, en assurant une communication transparente entre le contenu du LMS, le LRS et les unités de données (UA) en faisant la liaison grâce à la mise en place du plug-in Moodle Logstore et de bibliothèques JavaScript. Cette implémentation a également été caractérisée par l'utilisation des fonctionnalités de la norme CMI-5 comme mécanisme de communication standard de base, dans l'objectif d'adapter le contenu du LMS aux caractéristiques spécifiques de l'appareil mobile.

Proposition d'une approche web sémantique appelée "JSONtoRDF TransLRS" visant à transformer les déclarations de format JSON en format RDF en utilisant le mécanisme de mappage JSON-LD sur le système LRS pour résoudre le problème de l'hétérogénéité du contenu e-learning

Pour répondre aux verrous de l'hétérogénéité des systèmes d'apprentissage en ligne sous un angle nouveau et inexploité dans ce domaine. Nous voulions établir une haute qualité d'échange et de partage de données entre le LRS et le CDN, ou entre le LRS et le système LMS afin de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques. Nos objectifs principaux dans ce travail sont:

Premièrement, l'amélioration de l'interopérabilité entre les différents systèmes d'apprentissage et en particulier leur extension mobile utilisant / basée sur RDF.

Deuxièmement, le but de l'application logicielle appelée "JSONtoRDF TransLRS" est de transformer les fichiers stockés dans le système LRS (Learning Record Store) contenant les déclarations du système LMS. Ces fichiers JSON seront transformés en RDF à l'aide du mappage JSON-LD.

Troisièmement, afin de concrétiser le fruit de notre travail de manière à ce que l'environnement d'apprentissage en ligne et son extension mobile soit réutilisable et interopérable, on a essayé de tester la solution proposée qui consiste à transformer les déclarations JSON en RDF grâce au mécanisme de mappage JSON-LD.

### **4. Structure de la thèse**

Ce document, qui constitue le mémoire de la thèse, est divisé en cinq chapitres organisés comme suit :

Le premier chapitre du rapport dresse les concepts de base de l'E-learning et sa tendance mobile. Dans la première partie, nous présentons le concept de l'E-learning et ses avantages, son adoption, performance de l'e-learning dans l'enseignement supérieur en général, développement de la performance e-learning. Ensuite, on identifie les systèmes e-learning et leur caractéristiques générales et composants, ainsi que les plateformes E-learning les plus utilisées et répandues. Dans la deuxième partie, on met le point sur le concept du M-learning, et une comparaison de E-learning et M-learning. En outre, la motivation et les opportunités, ainsi que les avantages, les limites et défis de l'apprentissage mobile dans un environnement d'apprentissage sont abordé(e)s. Enfin, la dernière partie traite les défis de l'interopérabilité entre l'E & M-learning ainsi identifie les niveaux d'interopérabilité.

Le deuxième chapitre est consacré à fournir une meilleure compréhension de ces systèmes LMS avec leurs types existants et une première étude comparative détaillée basée sur les capacités et les fonctionnalités des systèmes de gestion d'apprentissage commerciaux et open source, qui seront utilisés dans le cadre d'études comparatives multicritères à l'aide d'une méthode de décision WSM. Dans notre deuxième étude, elle va spéculer sur une analyse multicritère de l'interopérabilité des systèmes de gestion de l'apprentissage, les plus largement utilisés aujourd'hui. Nous définissons les quatre systèmes de gestion de l'apprentissage dotés

de huit attributs en calculant leur poids par la méthode AHP (Analyse Multicritère Hiérarchique). Ils sont analysés et résolus à l'aide d'une analyse multicritères en appliquant la méthode d'évaluation proportionnelle complexe (COPRAS).

Le troisième chapitre présente les progrès et l'évolution de la normalisation et l'interopérabilité du contenu des systèmes de e-learning; il se concentre fondamentalement sur les normes d'e-learning les plus répandues et les organisations émergentes qui ont un rôle dans le processus de développement de l'interopérabilité de ces normes E-learning. Nous parlons également d'un récent projet de collaboration entre les organisations qui a été développé par AICC et ADL comme CMI-5. Enfin, une discussion sur l'évolution des normes d'interopérabilité pour l'e-learning et son impact sur les plateformes de l'enseignement supérieur et leurs perspectives avec les nouvelles technologies telles que le Mobile Learning est présentée qui nous a aidé de révéler le problème d'hétérogénéité croissante des systèmes d'apprentissage à distance.

Le quatrième chapitre s'est concentré sur la proposition d'une nouvelle approche logicielle à base du web service permettant de participer à la résolution d'hétérogénéité croissante et l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes d'E-learning afin qu'ils communiquent avec ses applications mobiles, notamment nous avons présenté l'architecture de l'approche ainsi que la modélisation des interactivités qui n'étaient pas réalisables avec les spécifications de la prochaine génération de SCORM.

Par ailleurs, cette nouvelle approche a été implémentée en utilisant le système LRS qui constitue le noyau de xAPI ainsi en illustrant ses fonctionnalités et sa flexibilité, pour assurer une liaison transparente entre le contenu du LMS et le LRS, grâce à la mise en place du plug-in Moodle Logstore et de bibliothèques JavaScript. Cette implémentation a également été caractérisée par l'utilisation des fonctionnalités de la norme xAPI et CMI-5 comme mécanisme de communication standard de base, dans l'objectif d'adapter le contenu du LMS aux caractéristiques spécifiques de l'appareil mobile.

Ensuite, nous avons essayé de tester de notre approche par l'utilisation de la bibliothèque open source "xAPI-Dashboard" qui a été implémentée en JavaScript pour améliorer notre "tableau de bord de l'enseignant" qui fournit à l'enseignant un formulaire de requête, des rapports et des graphiques illustrant les statistiques de l'utilisation de notre cours afin de concrétiser le fruit de notre travail et montrer la faisabilité et l'adaptabilité de l'environnement d'apprentissage en ligne et son extension mobile.

## Introduction générale

---

Dans le cinquième chapitre, nous avons proposé une solution web sémantique qui s'est focalisée sur la question de l'interopérabilité sémantique du contenu d'apprentissage sous un angle nouveau et inexploité dans le domaine du LMS sous la base de la norme RDF afin d'établir une haute qualité d'échange et de partage de données ainsi de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques. Ensuite nous allons tester cette solution en comparant avec d'autres solutions afin d'évaluer notre travail en termes d'efficacité et de performance d'interopérabilité.

En guise de conclusion, nous offrons une synthèse des points élaborés dans notre recherche, en jetant la lumière sur les perspectives de recherches à venir.



# Chapitre 1 - Concepts de Base du E-learning et Sa Tendence Mobile.

*“Knowledge acquisition is no longer mainly restricted to classical institutions and formal learning (as in schools and universities) but is also connected to informal learning settings at home in leisure time or at the workplace.”*

[Hesse [2009]]

### **Résumé :**

Ce chapitre fournit un aperçu des recherches menées dans cette thèse. Tout d'abord, le chapitre introduit le concept de E-learning et ses avantages, son adoption, performance de l'e-learning dans l'enseignement supérieur en général, développement de la performance e-learning. En outre, le chapitre décrit les systèmes e-learning et leur caractéristiques générales et composants, ainsi que les plateformes E-learning les plus utilisées et répandues.

Deuxièmement, le chapitre présente un aperçu théorique sur le concept du M-learning, et une comparaison de E-learning et M-learning. En outre, la motivation et les opportunités, ainsi que les avantages, les limites et défis de l'apprentissage mobile dans un environnement d'apprentissage sont abordées. Enfin, la dernière section présente les défis de l'interopérabilité entre l'E & M-learning ainsi identifie les niveaux d'interopérabilité.

## **I. Concepts de Base du E-learning**

### **1. Introduction**

Premièrement, ce chapitre traitera de ce que l'apprentissage en ligne veut dire et de la façon dont la définition de l'apprentissage en ligne a été développée jusqu'à nos jours. Deuxièmement, il discutera des opportunités et des limites liées à l'apprentissage en ligne ; L'apprentissage en ligne dans l'enseignement supérieur et les avantages qui en découlent. Ce chapitre décrit également deux des modèles les plus courants pouvant être appliqués à l'adoption de l'innovation technologique et examine les étapes par lesquelles l'innovation technologique peut se produire. On prétend que le pouvoir des sociétés est fortement affecté par leur stock de connaissances et par la manière dont elles peuvent efficacement utiliser ces connaissances pour créer de nouvelles connaissances [1]

Bhalalusesa et al. [2] ont indiqué que le style d'apprentissage traditionnel retarde la présentation des connaissances à l'ère moderne. Par conséquent, les applications Internet peuvent être intégrées de manière réussie aux approches d'apprentissage mixte, d'apprentissage en ligne et d'apprentissage mobile qui sont utilisées dans cette ère numérique de l'éducation [3].

Ruttenbur et al (p.15) [4] écrivent que "Se tenir au courant des nouvelles informations et savoir les utiliser est une activité" cruciale "pour les entreprises et les particuliers dans un marché où la concurrence ne se caractérise plus par le, mais plutôt par le rapide qui passe devant le lent ". Ils ont également défini la formation et l'éducation comme "donnant aux gens l'information et les compétences dont ils ont besoin pour être compétitifs sur le marché". Ils soulignent également que les établissements d'enseignement et de formation doivent comprendre cette définition de la formation et de l'éducation afin de pouvoir fournir aux individus les moyens de qualifier ceux qui possèdent suffisamment de compétences pour faire face aux exigences de la société actuelle. En outre, ils font valoir que de nombreuses méthodes d'apprentissage traditionnelles ne sont pas adaptées aux économies à croissance rapide fondées sur le savoir.

### **2. Définition de l'apprentissage en ligne**

Le contexte traditionnel de l'apprentissage connaît un changement radical. L'enseignement et l'apprentissage ne sont plus limités aux classes traditionnelles [5].

E-learning est l'un des résultats éducatifs qui a refait surface du développement des TIC. Son concept général est essentiellement un apprentissage qui implique l'utilisation de tout appareil électronique, des ordinateurs aux téléphones mobiles, et qui peut impliquer ou non l'utilisation d'Internet (sites Web + autres applications) ou d'un intranet (système de réseau local).

L'apprentissage en ligne pourrait être présenté au moyen de plusieurs ressources, par exemple : logiciels informatiques et sites Web. De plus, d'autres applications ont été développées spécifiquement pour l'apprentissage en ligne, telles que les environnements d'apprentissage virtuel (VLE), qui offrent à l'utilisateur ou à l'apprenant de nombreuses facilités comme un accès aisé à du matériel d'apprentissage, la communication avec des professeurs ou des formateurs et les autres pairs. Le VLE offre un accès flexible à l'apprentissage, car il est accessible en tout lieu et à tout moment [6]. De nombreux auteurs ont une vision positive de l'apprentissage en ligne. Un tel exemple est Ruttenbur et al, qui décrivent l'e-learning comme « l'utilisation de la technologie en réseau qui fera la révolution possible ». Ruttenbur et al. Affirment en outre que l'apprentissage en ligne jouera un rôle essentiel dans la modification de notre façon de travailler et de vivre [4].

Cependant, d'autres études ont fourni les déclarations suivantes pour décrire et identifier l'idée de l'apprentissage en ligne. La Commission européenne (2001) décrit l'apprentissage en ligne comme suit : « L'utilisation des nouvelles technologies multimédias et d'Internet pour développer la qualité de l'apprentissage et de l'enseignement en facilitant l'accès aux installations et aux services, en plus des échanges et de la collaboration à distance » (La Commission européenne, 2001). Le Comité mixte des systèmes d'information (JISC) a proposé une définition parallèle en 2003, définissant l'apprentissage en ligne comme "un apprentissage facilité et soutenu par l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC)" (JISC, 2003).

De même, Clark & Mayer [7] ont indiqué que l'apprentissage en ligne est un enseignement dispensé sur un ordinateur via un CD-ROM, Internet ou un intranet, avec les qualités suivantes: contenir un contenu pertinent par rapport à l'objectif d'apprentissage; utiliser des méthodes d'instruction qui incluent les exemples et la pratique pour soutenir l'apprentissage; en utilisant les éléments médiatiques, par exemple des mots et des images, pour transporter et diffuser les contenus et les méthodes, en renforçant les connaissances et les compétences liées aux objectifs d'apprentissage individuels ou à l'amélioration des performances organisationnelles [7].

---

Stockley (2005) a défini la formation en ligne comme « la méthode de prestation d'un programme d'apprentissage, de formation ou d'éducation par des moyens électroniques. L'apprentissage en ligne implique l'utilisation d'un ordinateur ou d'un dispositif électronique (un téléphone portable, par exemple) pour dispenser une formation ou un matériel d'apprentissage » [8]. En outre, Oblinger et Hawkins (2005) donnent à penser que l'e-learning a transformé d'être un cours entièrement en ligne d'utiliser la technologie pour fournir des pièces sélectionnées ou tout bien sûr, indépendamment d'un lieu fixe ou le temps. Cela signifie que les étudiants peuvent être domestiques, voyager ou apprendre à n'importe quelle distance [9]. Néanmoins, il existe des divergences de vues concernant la définition de l'apprentissage en ligne par rapport à d'autres professionnels travaillant dans ce domaine, tels que Dublin & Cross (2003) et Oblinger et Hawkins (2005), qui exigent qu'aucune définition ne soit acceptée par tous les chercheurs. Selon Oblinger et Hawkins, "tout le monde sait ce que vous entendez par apprentissage en ligne : toutefois, le terme apprentissage en ligne signifie différentes choses pour différentes personnes" [9]. En 2004, Heinze et Procter et Zemsky & Massy ont également abordé le même point, ajoutant : "Pourtant, l'apprentissage en ligne est un concept à la recherche d'une définition cohérente". Ils ont fait valoir qu'il est difficile de trouver une définition communément acceptée de l'apprentissage en ligne [10] [11].

En résumé, les nouvelles technologies, y compris les réseaux informatiques, les médias interactifs, les technologies numériques et Internet, augmentent considérablement la portée de l'offre d'apprentissage en ligne. Il permet et permet aux étudiants de se connecter et d'interagir les uns avec les autres, et avec leurs enseignants, à tout moment, et a ouvert un marché universel. Ainsi, de nombreuses institutions ont été attirées par les systèmes e-learning et le marché e-learning a connu une croissance continue [12]. En 2003, les analystes du secteur avaient estimé la taille du marché de l'apprentissage en ligne à 3 milliards USD aux États-Unis seulement ; leur nombre a atteint presque 15 milliards USD en 2005, 18 milliards USD en 2010 et devrait atteindre 24 milliards USD d'ici 2015 [13].

Carayannis [14] a décrit les avantages de l'utilisation des systèmes d'apprentissage en ligne dans les établissements d'enseignement modernes. L'apprentissage en ligne, par rapport à l'apprentissage traditionnel, réduit considérablement le temps nécessaire pour localiser les informations. Il offre également un accès aux ressources en ligne, bases de données, périodiques, revues et autres documents. Si un étudiant a du mal à comprendre une partie du cours, il n'aurait pas été plus facile de trouver des conseils en la matière que d'avoir

immédiatement accès en ligne à du matériel supplémentaire, illimité et surtout gratuit. Ces caractéristiques peuvent potentiellement maximiser le temps consacré à l'apprentissage plutôt qu'à la recherche d'informations ; C'est le premier avantage de l'apprentissage en ligne. En outre, il existe de nombreux avantages tels que le coût de la formation ; la rapidité à utiliser les paquets d'éducation plus rapidement sans attendre un représentant de la formation. Aussi, peut fournir des commentaires sur la formation immédiatement.

Cela suggère que l'e-learning offre un large éventail de possibilités qui ont besoin d'explorer et donc la proposition est que l'apprentissage peut être défini à travers trois grands domaines :

- **Le e-learning est une méthode d'enseignement à distance :** La plupart des auteurs travaillant dans ce domaine ont admis que l'idée conceptuelle du terme e-learning désignait l'enseignement à distance ou dispensé en ligne.
- **Le e-learning est un outil de transaction sur le web :** Certains auteurs ont souligné que les fonctionnalités offertes par le système de gestion de l'apprentissage (Learning Management Systems - LMS) constituaient un deuxième grand succès en matière d'apprentissage électronique. La proposition du système de gestion de l'apprentissage est un ensemble complet d'options et d'outils de communication destinés à servir les interactions des professeurs et de leurs étudiants et à mettre en œuvre des activités quotidiennes contribuant à améliorer le processus d'apprentissage.
- **L'apprentissage en ligne est un apprentissage facilité électroniquement :** Ce domaine concerne le matériel des cours d'apprentissage en ligne, plutôt que le système électronique, alors qu'il se concentre sur la conception matérielle des livres électroniques, des CD-ROM et des sites Web, ainsi que sur l'évaluation et les tests électroniques. Même s'il existe des différences naturelles entre tous ces outils, ils font tous l'objet d'une médiation électronique [10].

### 3. Avantages de l'apprentissage en ligne

De nos jours, la formation en ligne est largement utilisée dans la plupart des universités du monde. Il offre un accès flexible au matériel d'apprentissage à un moment et à un endroit appropriés et pratiques pour les apprenants. L'apprentissage en ligne améliore la flexibilité et la qualité de l'apprentissage [15]. Cette flexibilité constitue le fondement de l'enseignement à distance [16]. L'enseignement à distance est apprécié par les adultes qui travaillent et qui

souhaitent poursuivre leurs études sans les contraintes des établissements d'enseignement conventionnel, en plus d'offrir un accès plus facile à l'éducation aux étudiants conventionnels.

Les systèmes d'apprentissage en ligne offrent aux étudiants, enseignants et gestionnaires universitaires avec différents services, y compris la gestion des notes, les commentaires des étudiants et de suivi des élèves [17]. En outre, les étudiants peuvent s'inscrire à des cours, supprimer, ajouter et mettre à jour leurs profils, services qui sont généralement désormais fournis via LMS [17].

Bates (2005) a indiqué que l'apprentissage en ligne implique différentes méthodes d'enseignement, telles que la gestion de l'information, la pensée créative, la pensée critique, l'apprentissage collaboratif et la résolution de problèmes [18]. Une autre étude Harriman (2007) a présenté dix avantages à la mise en œuvre de l'apprentissage en ligne dans l'éducation: (1) la prise en compte de plusieurs styles d'apprentissage, (2) offrant un enseignement individualisé, (3) fournissant un enseignement personnalisé, (4) un accès à la demande, (5) permettre un apprentissage collaboratif, (6) impliquer les utilisateurs, (7) augmenter la rétention, (8) augmenter la cohérence, (9) suivre les apprenants et (10) réduire le temps d'apprentissage [19].

Selon O'Neill et Singh (2004), l'apprentissage en ligne est le seul outil permettant de fournir les ressources nécessaires pour faciliter l'apprentissage tout au long de la vie. En outre, l'apprentissage en ligne peut faciliter une communication plus efficace dans plusieurs langues et aider les apprenants ayant des besoins particuliers [20].

La revue de la littérature de l'apprentissage électronique a indiqué que le système a été utilisé dans l'enseignement supérieur comme élément clé pour fournir des environnements d'apprentissage réussis. Cependant, l'apprentissage en ligne présente encore certaines limites en termes de connectivité et de mobilité. Les systèmes d'apprentissage électronique reposent sur un ordinateur connecté à Internet, ce qui entraîne une limitation relative de la mobilité, ce qui a motivé les chercheurs à étudier ces défis et à proposer des solutions permettant de maximiser l'accessibilité des services du système d'apprentissage électronique.

### **4. Les systèmes E-learning**

L'expansion rapide de l'Internet, combinée avec les tendances indépendantes du lieu d'éducation et d'individualisation, a motivé les universités à investir leurs ressources sur le développement de ce type de programmes en ligne. Toutefois, le développement, la gestion et l'amélioration continue des systèmes du e-Learning sont un vrai défi à la fois pour les

---

établissements d'enseignement et pour l'industrie. En cela, l'évaluation est devenue une exigence essentielle de la boucle de rétroaction pour l'amélioration continue : « Ce qui est mesuré attire l'attention » [21].

La définition de Robson en 1999 des systèmes Web support de cours est : « *A comprehensive software package that support courses that depend on the Web for some combination of delivery, testing, simulation, discussion, or other significant aspect* » [22]. Les systèmes E-Learning permettent à plusieurs utilisateurs ou des applications à télécharger, transférer et échanger simultanément des informations distribuées dans de nombreux endroits physiques.

### 4.1.Caractéristiques Générales et Composants

Trouver un moyen d'organiser, présenter, stocker et mettre à jour efficacement ces expériences d'apprentissage a favorisé l'évolution de quatre types d'applications institutionnelles:

- **Système de Gestion de l'Apprentissage (LMS).**
- **Systèmes de Gestion de Contenu (CMS).**
- **Système de Gestion de Contenu d'Apprentissage (LCMS).**
- **Référentiels d'Objets d'Apprentissage (LOR)**

Ensuite, nous identifions quels composants doivent être pris en compte lorsqu'un système e-learning sera développé. Au cours des dernières décennies, les grandes et petites organisations, ont mis en œuvre une variété de composants du système e-Learning, soit des solutions propriétaires et / ou des libres (Open source) pour servir leurs propres besoins d'apprentissage diversifiée. Il existe une multitude de bases de données isolées et technologiquement distincts contenant une foule de renseignements utiles.

Les Systèmes d'information des apprenants / étudiants (SIS) sont utilisés pour l'admission des élèves dans les programmes d'étude, leurs inscriptions au cours, et d'autres fonctions administratives.

Plus récemment, les organisations impliquées dans l'e-learning ont investi dans les systèmes de gestion d'apprentissage (Learning Management Systems (LMS)) pour diffuser du contenu dans des environnements d'apprentissage qui peuvent inclure une variété de canaux de communication synchrones et asynchrones (e-mail, chat, forums de discussion, tableaux blancs, visio-conférence, voix sur IP, etc) et des outils de soutien pédagogique (carnets de notes, le suivi des étudiants, etc.). Plus récemment encore, le contenu e-learning se développe dans les systèmes de gestion des contenus d'apprentissage (Learning Content Management Systems (LCMSs)) ou avec les référentiels d'objets d'apprentissage (LOR). Ces composants sont représentés à la Figure 1.4

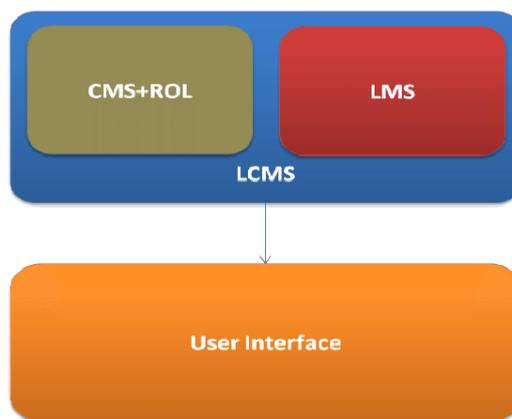


Figure 1.1: Structure et Composants des Systèmes E-learning.

### 4.2.Système de Gestion d'Apprentissage

Un système de gestion de l'apprentissage (ou LMS) est un terme utilisé pour décrire les outils logiciels conçus pour gérer les interventions d'apprentissage des utilisateurs. Ces Systèmes de gestion de l'apprentissage vont bien au-delà de la formation classique de gestion des documents et des rapports. La valeur ajoutée de ces Systèmes est la gamme étendue de fonctionnalités complémentaires qu'ils offrent. Selon *Harman et, al. [23]*: “while the goal of a CMS is to store and distribute content, the goal of learning management system (LMS) is to”*simplify the administration of learning/training programs within an organization*” (*E-LearningPost, 2009*).

Les LMS permettent à l'apprenant de se lancer dans l'e-Learning et facilite la gestion des interactions entre les intervenants, le e-Learning et d'autres ressources connexes. Ces systèmes facilitent aussi aux apprenants la planification et le suivi des progrès dans leur apprentissage. Les LMSs sont "software that automate/s the administration of training events"[24]. L'automatisation des fonctions administratives via LMS garantit une bonne gestion du temps, du personnel et une économie des ressources. Un LMS a d'importantes fonctions administratives, qui aident les organisations à « target, deliver, track, analyze and report on. ... Learning » ; (E-Learning Post, 2009). Ces fonctions administratives robustes permettent aux organisations de suivre l'achèvement de la formation prise en charge, l'attribution des certifications professionnelles (par exemple, aux unités de formation continue pour les professionnels de l'éducation médicale et), et des programmes obligatoires liées aux ressources humaines) [24]. Les LMS intègrent des outils pour gérer le suivi des apprenants et le contenu dans un processus workflow approprié. Cette combinaison d'outils et de processus permet aux LMS de soutenir la prestation, la gestion de l'apprentissage et le suivi des résultats. Selon Watson [25], "learning management systems enable companies to plan and track the learning needs and accomplishments of employees, customers, and partners". Tous les LMS devrait avoir la possibilité d'afficher un catalogue, inscrire les apprenants, assurer le suivi des progrès de l'apprenant, et fournir des rapports. Les LMS doivent "be capable of handling various delivery modes – online, instructor-led, self-paced, collaborative, facilitated, non-facilitated, and the like" [26].

La plupart des LMS sont basé sur le Web afin de faciliter « n'importe quand, n'importe où, à n'importe quel rythme" l'administration, la maintenance et l'accès aux contenus de l'apprentissage, la Figure 1.5 illustre la relation entre les éléments qui composent un système de gestion de l'apprentissage. Un LMS a la capacité de gérer les apprenants et leurs dossiers ainsi que la gestion du processus de l'apprentissage. Dans un LMS, les utilisateurs interagissent avec leurs propres données de l'apprenant et avec la gestion des informations de l'apprentissage. Le contenu de l'apprentissage n'est pas une partie de la configuration.

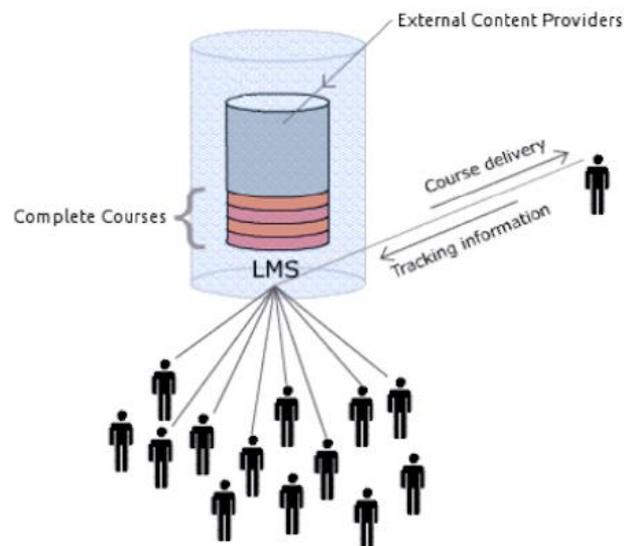


Figure 1.2: Aperçu des Fonctionnalités d'un Système de Gestion de l'Apprentissage (LMS) [extrait de Nichani [46]].

Les LMS peuvent répondre à différents besoins d'éducation, d'administration et de déploiement. Bien qu'un LMS pour la gestion de la formation au sein d'une entreprise ou organisation, par exemple, puisse partager de nombreuses caractéristiques avec un LMS ou un environnement virtuel d'apprentissage pour les établissements d'enseignement, ils ont chacun des besoins uniques/spécifiques. Certains des LMS peuvent avoir un certain niveau de compétences de gestion de contenu, mais ce n'est pas leur objectif principal.

Selon Marc Rosenberg [27], Bien que les LMS diffèrent selon les fournisseurs dans leurs mise au point sur un ou plusieurs de leurs caractéristiques, elles ont tous les mêmes fonctions de base: la gestion du catalogue des cours en ligne; le système d'enregistrement en ligne, l'évaluation des compétences, la capacité de lancer et suivre l'apprentissage en ligne; l'évaluation de l'apprentissage, la gestion du matériel d'apprentissage, l'édition des rapports personnalisables, la collaboration et la synchronisation des outils d'apprentissage et la capacité à s'intégrer avec d'autres applications. Ainsi, le but d'un LMS est de gérer les processus liés à la prestation et à l'administration de la formation et de l'éducation. Ils sont structurés autour du cours plutôt que le contenu des cours, le Tableau 1.5 renforce la liste de Rosenberg selon laquelle les LMS supporte de nombreux fonctions de gestion de l'apprentissage, mais ne les gère pas, créer, ou recherche du contenu pour l'apprenant. Les outils collaboratifs au sein des LMS comprennent des fonctionnalités qui permettent aux apprenants de travailler simultanément avec d'autres apprenants en utilisant une technologie internet, intranet ou extranet couplé avec des CMS.

Tableau 1.1: Certaines des méthodes de prestation d'apprentissage en ligne que nous prenons en considération.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Impression</b>          | texte électronique<br>Manuels<br>e-zines  |
| <b>Vidéo</b>               | Vidéo en streaming<br>Streaming audio<br>Transmission par satellite à bande vidéo<br>Câble                        |
| <b>Audio</b>               | Streaming audio<br>Cassette audio   |
| <b>Révision et examens</b> | Électronique<br>Interactif<br>Papier  |
| <b>Communication</b>       | Asynchrone (courrier électronique, serveurs de listes, forums, journaux Web)<br>Synchrone (chat, vidéoconférence) |

### 4.3. Systèmes de gestion de contenu

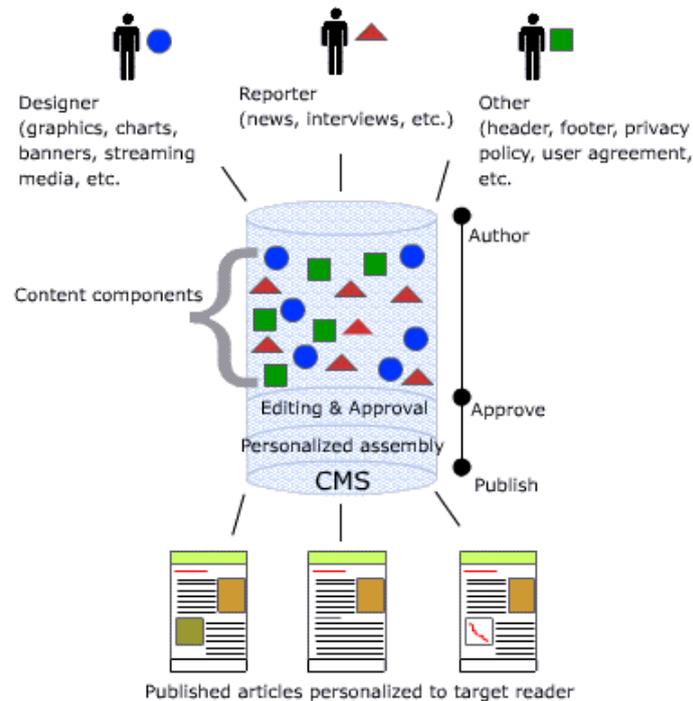
Un système de gestion de contenu (CMS) est une “*collection of policies and technologies that guide and enable corporations to contribute, manage, and share their structured and/or unstructured information*” [28]. Un CMS est un logiciel utilisé pour gérer le contenu. Ils sont déployés principalement pour une utilisation interactive par un nombre potentiellement élevé de contributeurs. Ce sont des entrepôts de données qui peuvent aussi prendre en charge la création du contenu, le séquençage, et les outils d'agrégation de contenu, avec un objectif de ‘*simplifier la création et l'administration du contenu en ligne*’ [29].

A l'origine, le CMS a été développé et utilisé par l'industrie de la presse et adaptée dans le milieu des années 1990 pour gérer de grands volumes de contenu requises pour les sites robustes. Un CMS intègre un processus de workflow et de gestion de l'information fondée sur la recherche et les critères d'extraction [30]. Par exemple, le site de Wikipédia est basé sur des wikis, qui sont un type particulier de système de gestion de contenu. Pour les besoins de cette thèse, la gestion de contenu signifie « Web Content Management ».

Un CMS s'appuie sur un contenu créé une seule fois (éléments de contenu ou LOR) dans le but d'être utilisé plusieurs fois. Par exemple, une image utilisée dans plusieurs articles de journaux différents, s'adressant à des publics différents, cette image doit résider dans le CMS de sorte qu'il ne doit être mis à jour qu'à un seul endroit. Le contenu géré par ces systèmes comprend des fichiers informatiques, les supports des images, des fichiers audio, des documents électroniques et des contenus Web. L'idée d'un CMS est de rendre ces fichiers disponibles entre

bureaux, ainsi que sur le web. Ainsi, Un système de gestion de contenu serait le plus souvent utilisé comme solution d'archivage. Selon Robertson [31], *"un CMS gère de petites unités d'information interconnectées où chaque une est définie par son emplacement sur un site, les CMS sont axées principalement sur la création de page web et l'édition des liens transversaux entre ces pages. Ils fournissent une intégration étroite entre la création et le dépôt (ie : une base de données qui stocke et gère les éléments d'information ou d'apprentissage) avec un moteur puissant d'édition"*.

Tandis que Hall (2002) affirme qu'un CMS *"stocke et distribue le bon contenu au bon apprenant au bon moment"* [32], le WBT Systems estime que : *"Les CMS ne sont pas bien adaptés essentiellement à l'apprentissage car ils sont conçus pour le transfert des informations de base. Ils peuvent tout simplement identifier l'utilisateur et lui fournir les éléments de contenu qu'il lui convient. Tandis que le E-Learning, nécessite des systèmes qui tiennent compte des complexités du domaine d'apprentissage en ligne, telles que le niveau de difficulté d'un cours, la vérification si un élève a rempli les conditions nécessaires et si cette personne apprend mieux en lisant, en écoutant, ou en faisant ces activités d'apprentissage"* [30]. Un CMS facilite l'organisation, le contrôle et la publication d'un grand nombre de documents et d'autres contenus, tels que des images et des ressources multimédias. La figure 1.6 illustre les éléments qui composent typiquement un système de gestion de contenu, illustrant la nature fondamentale de contenu "morceaux" ou de composants et un procédé pour la combinaison de contenu. Essentiellement, le contenu est créé dans un format compatible avec le système référentiel de contenu. Un format de présentation numérique permet généralement aux utilisateurs de ne pas modifier le contenu, mais d'alerter les créateurs s'il y a un besoin de révision.



*Figure 1.3: Composants des Systèmes de Gestion de Contenu Internes et Externes [51].*

Les Systèmes de gestion de contenu sont parfois confondus avec les systèmes de gestion de cours. Les Systèmes de gestion de cours sont plus sophistiqués que CMS par le fait que " les systèmes de gestion des Cours Intègrent des fonctionnalités garantissant la livraison de contenu, la communication, les activités d'apprentissage, le travail collaboratif et ces outils, les commentaires, les essais, le développement du portefeuille, et les outils d'administration pour l'instructeur» [34]. Alors que les CMS, les systèmes de gestion de contenu, sont axés sur le contenu, avec un but de stocker des informations et de la rendre accessible aux demandeurs. En outre, les CMS sont utilisés pour un objectif plus large qui est la gestion organisationnelle des connaissances. [31] mentionnent que «Si un CMS lui-même n'est pas la source du savoir, il peut être un outil très précieux dans le processus de capture des connaissances ".

#### **4.4.Systèmes de Gestion de Contenu d'Apprentissage**

Le but d'un LMS est d'aider à administrer les activités liées à l'apprentissage et qui est centrée sur les cours. Alors que les systèmes de gestion du contenu d'apprentissage (LCMS) permettent de stocker le contenu en ligne, le gérés et le réutilisés par des fonctionnalités intégrées de base de données. Les LCMS sont « des composant logiciels complexe qui dispose des objets d'apprentissage ... puis les organise et les distribue dans des combinaisons infinies » [28]. Les principales composantes d'un LCMS sont les suivants :

- Un outil d'édition adaptée pour les non-programmeurs ;
- Une interface de mise à disposition dynamique qui fournit le contenu ;
- Un composant administratif qui gère les dossiers des apprenants, lance des cours et le suivi des progrès ;
- Un dépôt d'objets d'apprentissage qui est une base de données centrale qui abrite et gère le contenu [28].

Selon [28], la base de données ou le référentiel central qui fournit des objets d'apprentissage (LOR, les actifs d'apprentissage ou le contenu partageable) aux apprenants individuellement ou en combinant ses objets en modules d'apprentissage.

Ces objets et modules sont présentés aux apprenants à travers l'interface qui permet de suivre les utilisateurs, de fournir des liens vers des informations, et de gérer l'évaluation et la rétroaction [35]. L'application administrative traite les informations de l'apprenant, lance le catalogue des cours, et fait le suivi des rapports sur les progrès des apprenants. Alors que l'application auteur fournit des mécanismes qui automatisent la scénarisation. "L'utilisation de ces modèles auteurs peuvent développer un cours complet en utilisant des objets d'apprentissage existants dans le référentiel, en créant de nouveaux objets d'apprentissage, ou en utilisant une combinaison d'objets anciens et nouveaux » [35]. Ainsi, un LCMS peut prendre en charge la création et la gestion des LOR.

Williams confirme que les LCMS permettent de répondre à un nombre important des défis des organisations face à la gestion et l'exploitation des connaissances pour leurs employés ou étudiants. "Un LCMS simplifie et accélère beaucoup les aspects de consommation lente et fastidieuse des informations de capture, l'assemblage des cours et l'édition des connaissances ainsi les services de formation peuvent être plus productifs et focalise plus les ressources sur les activités à plus forte valeur comme la conception pédagogique » [35].

Un LCMS capture les informations de divers formats originaux et les emballe d'une manière qui facilite la modularisation, l'élaboration, le partage, la réutilisation, la gestion et de les présenter dans le cadre de cours de formation, d'une bibliothèque de référence en ligne, des outils de travail en ligne, des présentations et d'autres formes de communications commerciales [28].

La Figure 1.7, décrit les éléments qui composent un LCMS standard. Le contenu est créé et stocké dans un référentiel qui est accessible par le système de gestion d'apprentissage qui

distribué le contenu aux utilisateurs (par exemple, les apprenants). Les données de chaque apprenant sont également gérées par le même système et elles sont accessibles à l'utilisateur d'une manière individuel suivant son profil. Ainsi on commence à appréhender l'intégration de contenu, la gestion du contenu pour la distribution et la gestion des données de l'apprenant [36].

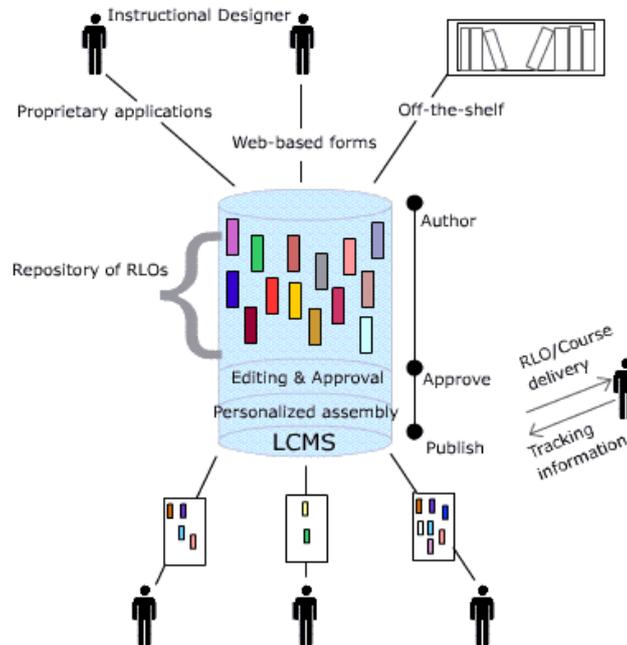


Figure 1.4: Composants des Systèmes de Gestion de Contenu d'Apprentissage.

Le déploiement réussi et efficace d'un LCMS "repose en grande partie sur le développement et l'utilisation efficaces des objets d'apprentissage, qui sont réutilisables, en tant que blocs de médias indépendants d'information organisée par un système de classification de méta données » [36]. Les LCMS n'ont pas été créés avec l'intention de remplacer les LMS. Les LCMS et LMS peuvent être complémentaires et chacun résout un défi unique et différent, Feldstein a souligné que "les organisations qui ont acquis les LCMS ont généralement commencé à regarder ces outils parce qu'ils sont confrontés au défi de produire et de maintenir une quantité impressionnante du contenu e-Learning de leurs clients » [36]. Les LCMS sont particulièrement adaptés à la manipulation de grande quantité de contenu pour un système e-Learning. Un LCMS efficace permettra à une organisation d'organiser des didacticiels sans compétences en programmation [28].

### 4.5. Référentiels d'Objets d'Apprentissage

Les référentiels d'objets d'apprentissage (LOR) utilisent des interfaces utilisateur bien documentées et des architectures qui les rendent faciles à utiliser et permettent différents niveaux

d'interactivité [37]. Leur domaine n'en est qu'à ses balbutiements, les types et les caractéristiques des référentiels commencent actuellement à se définir.

Un dépôt d'objets d'apprentissage est une base de données électronique qui peut accueillir une collection de petites unités d'information éducative ou des activités qui sont accessibles pour la recherche et l'utilisation. Les Référentiels d'objets d'apprentissage permettent l'organisation d'objets d'apprentissage, améliorent leur efficacité, renforcent leur réutilisation et leur collaboration, et présentent un support pour les activités d'apprentissage. Ces Référentiels consistent en une base de données ou plusieurs bases de données reliées entre elles par un moteur de recherche commun. Les organisations qui opèrent sur ces dépôts numériques assument la totale responsabilité sur la maintenance à long terme de ces ressources numériques, ainsi que leur disponibilité aux communautés convenues [38].

Une façon de distinguer les référentiels d'objets d'apprentissage est de les diviser en trois catégories : général, discipline spécifique et commerciale [39]. Parmi les facteurs importants à prendre en considération lors du choix du type de référentiel est d'identifier d'abord le type correspondant puis l'accessibilité, la flexibilité et la facilité d'utilisation pour les utilisateurs finaux : les instructeurs, les concepteurs pédagogiques et les apprenants.

La sélection réussie ou la création d'un dépôt d'objets d'apprentissage dépend des caractéristiques spécifiques qui répondent aux besoins des enseignants, des concepteurs et les apprenants. Les besoins sont la première et la plus importante caractéristique dans cette sélection. Les objets d'apprentissage devraient pouvoir être facilement accessible au moment précis où le besoin de conception ou d'une activité d'apprentissage l'exige.

La Compatibilité au contenu est une autre caractéristique essentielle. Les Référentiels créés pour des sujets ou des disciplines spécifiques doit être adapté à ce contenu. D'autres caractéristiques comprennent la facilité de dépôt pour le partage de l'information, la capacité de collaboration, la capacité de réutilisation des objets d'apprentissage, la sensibilité au contexte, le codage et la recherche, l'édition, la combinaison, et la réorientation. Enfin, il y a la facilité d'accès pour les instructeurs et les apprenants ayant des besoins divers et particuliers.

L'ensemble des systèmes e-Learning existants sont composés de ces éléments, pour comprendre leur utilisation, dans la section suivante, nous présenterons quelques-unes, parmi les plus importantes plateformes d'apprentissage en ligne.

## 5. Plateformes de système d'apprentissage en ligne

Les plateformes d'apprentissage en ligne traditionnelles, ou systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS), fournissent des environnements holistiques pour la diffusion et la gestion des expériences éducatives. Ils présentent des suites d'outils qui soutiennent la création, la maintenance et la prestation de cours en ligne, l'inscription et la gestion des étudiants, l'administration de l'éducation et les rapports sur le rendement des étudiants. Nous pouvons regrouper les LMS en deux catégories principales :

### 5.1. Les initiatives Open Source :

**Canvas** : est le système de gestion de l'apprentissage du XXI<sup>e</sup> siècle, open-source, adaptable, fiable, personnalisable, facile à utiliser, mobile qui aide les enseignants et les administrateurs à réduire le nombre d'heures de cours et d'institutions. Il permet de créer des cours avec un éditeur de contenu riche, d'accélérer le classement des résultats d'apprentissage de la piste et d'envoyer des notifications par courrier électronique, Facebook et des notifications textuelles [40].

**Moodle** : est une plate-forme d'apprentissage open-source, très flexible, avec des fonctionnalités complètes, une gestion personnalisable, sécurisée et pédagogique permettant de créer un site Web privé proposant des cours dynamiques qui étendent l'apprentissage en ligne à tout moment et en tout lieu. Moodle est une ressource gratuite à télécharger et à utiliser [41].

**Sakai** : est un système très complet de support technologique permettant l'enseignement, l'apprentissage, la recherche et la collaboration pour l'éducation. Une communauté internationale dynamique s'emploie à créer une technologie qui améliore l'enseignement, l'apprentissage et la recherche [42].

**DotLRN / OpenACS** : est un logiciel d'entreprise destiné à prendre en charge les communautés de formation en ligne développées à partir du kit d'outils OpenACS pour la construction évolutive d'applications Web orientées sur la communauté [43]. En particulier, OpenACS représente un tiers d'une boîte à outils destinée à une application Web d'architecture.

### 5.2. Les solutions propriétaires :

**Desire2Learn** : est un système de gestion de l'apprentissage commercial souvent appelé D2L. Il est utilisé pour fournir des ressources d'apprentissage aux étudiants, pour soumettre des travaux, faire des tests et des quiz, et pour collaborer avec des instructeurs et des camarades de classe [44].

**Blackboard** : travaille avec les clients pour développer et mettre en œuvre un système de gestion de l'apprentissage (LMS) qui affecte tous les aspects de l'éducation. Il permet également aux clients d'impliquer de nouvelles manières les étudiants, grâce au système de gestion de l'apprentissage LMS, à ses services et à son expertise. Blackboard collabore avec les clients pour créer une meilleure expérience éducative [45].

**Edvance360** : (anciennement Scholar360) est un système de gestion de l'apprentissage conçu pour répondre aux besoins individuels de chaque élève. Le site Web officiel offre un "environnement d'apprentissage pour chaque type d'apprenant" qui peut fournir des solutions aux élèves de la maternelle à la 12e année, aux collèges et universités et aux entreprises. C'est beaucoup de diversité à emballer dans un seul produit [46].

**Elan Learning Management System** : excelle dans les fonctionnalités d'instruction, vous permettant d'enseigner aux étudiants de différentes manières. Parmi tous les logiciels LMS, il se classe au-dessus de la moyenne en termes de méthodes d'enseignement. Elan Learning Management System fournit les solutions LMS pour les entreprises et les institutions de toutes tailles [47].

Les LMS Open Source sont généralement construits sur des cadres extensibles qui permettent aux développeurs d'ajuster et de modifier les systèmes en fonction de leurs besoins spécifiques. Bien que le secteur privé ne l'ait pas encore adopté à grande échelle, cette approche émerge au travers d'initiatives telles que le kit PowerLinks de WebCT et les Building Blocks de Blackboard. Celles-ci fournissent aux développeurs de logiciels des « crochets » pour lier des logiciels tiers au LMS.

## II. Tendance du E-learning vers le Mobile Learning

### 1. Définitions :

L'accès omniprésent aux technologies sans fil a incité les écoles, les universités et d'autres établissements d'enseignement à utiliser la technologie mobile pour améliorer les méthodes d'apprentissage et d'enseignement. Au cours des dix dernières années, l'utilisation des technologies mobiles et sans fil pour offrir des possibilités d'apprentissage à l'intérieur et au-delà des classes traditionnelles s'est développée parallèlement à des recherches importantes dans le domaine de l'éducation [48] [49] [50]. Ces dispositifs facilitent la communication et l'interaction entre les étudiants et les conférenciers [51]. En outre, ils permettent aux utilisateurs d'apprendre en déplacement et d'échanger des informations en dehors de l'université [52].

---

Les définitions du M-learning utilisées par les études précédentes ont varié en fonction de la mobilité des apprenants, des applications pour appareils mobiles et de la relation entre M-learning et E-learning.

Comme l'ont observé Georgieva, Smrikarov et Georgiev [53], le M-learning dépend de l'utilisation d'appareils mobiles sans fil pour faciliter l'apprentissage à tout moment, n'importe où. Naismith et al. [54] ont défini l'apprentissage mobile comme un apprentissage qui utilise des périphériques sans fil tels qu'un smartphone, un PDA, un iPod, un ordinateur de poche, un ordinateur portable ou même un appareil photo numérique et des clés USB dans le processus d'apprentissage et d'enseignement. Keegan [55] a mis l'accent sur la mobilité dans la définition de l'apprentissage mobile, en définissant cet enseignement comme une offre d'éducation et de formation utilisant des PDA, ordinateurs de poche, ordinateurs de poche et téléphones intelligents (appareils faciles à transporter et à utiliser partout et à tout moment). Keegan a éliminé l'utilisation de l'ordinateur portable dans M-learning, limitant ainsi l'apprentissage à des périphériques portables, omniprésents et flexibles afin de fournir un large éventail de contextes sociaux [56].

Dans d'autres recherches, le M-learning a été considéré comme une extension du e-learning, l'accent étant mis sur l'utilisation d'appareils mobiles. Trifonova et Ronchetti [57] ont défini le M-learning comme étant le e-learning grâce aux dispositifs informatiques mobiles de petite taille et autonomes pour un usage quotidien. De même, Pinkwart et al [58] ; Doneva, Nikolaj et Totkov [59] ont estimé que l'apprentissage mobile constituait la prochaine étape de l'apprentissage en ligne grâce à l'utilisation d'appareils mobiles sans fil et de technologies de communication pour l'enseignement et l'apprentissage.

L'apprentissage mobile peut être défini comme l'intersection des technologies mobiles et de l'apprentissage sur le Web pour fournir un environnement d'apprentissage à tout moment et en tout lieu [69]. Kambourakis, Kontoni et Sapounas [60] ont suggéré que le M-learning est le point où la technologie mobile et le e-learning se croisent pour offrir une expérience d'apprentissage à tout moment, n'importe où. Cependant, Liu et Han [61] ont proposé que le M-learning soit le nouveau canal de l'enseignement primaire, aidant les gens à acquérir des connaissances et des compétences en s'appuyant sur les technologies sans fil mobiles.

## 2. Avantages de l'apprentissage mobile dans un environnement d'apprentissage

De nombreuses études empiriques ont montré l'intérêt d'utiliser des périphériques sans fil et mobiles dans des environnements d'apprentissage et d'enseignement [54] [62] [63]. Cette technologie omniprésente est devenue une partie intégrante des processus d'apprentissage et d'enseignement quotidiens et permet aux étudiants d'utiliser la puissance de calcul à tout moment et en tout lieu.

Samuels [64] a souligné que la fusion des nouvelles technologies d'enseignement des mathématiques pour l'enseignement supérieur s'expliquait principalement par le fait que les nouvelles technologies fournissaient de nouveaux types d'apprentissage interactif et que les «nouvelles générations» (celles nées après 1990) étaient plus intéressées par l'utilisation technologies mobiles, permettant un environnement d'apprentissage flexible pour les personnes plus occupées ou inscrites à des cours à temps partiel (reflétant la réalité de la formation universitaire moderne par rapport au modèle traditionnel). En outre, l'utilisation de nouvelles technologies peut constituer un moyen d'enseignement plus économique, en plus de compléter les formats d'apprentissage traditionnels existants.

Malgré les obstacles et les limites incontestables de l'apprentissage mobile, ses avantages sont évidents et de nombreux chercheurs ont discuté de ses avantages dans l'environnement d'apprentissage ; il existe un consensus sur le fait que l'apprentissage mobile est efficace, mobile et collaboratif [65].

En termes d'affectivité, Ooms et al. [66] ont déclaré que l'utilisation de la technologie mobile dans l'apprentissage améliorera l'interaction et encouragera les retours d'informations pour les enseignants et les étudiants. Les étudiants peuvent concentrer leur apprentissage sur les points faibles. L'apprentissage mobile peut améliorer leur apprentissage et réduire les malentendus. D'autre part, les enseignants peuvent s'acclimater à leurs pratiques pédagogiques, identifier les faiblesses des élèves et encourager l'évaluation et le retour d'informations.

La caractéristique la plus importante de l'environnement d'apprentissage mobile est la mobilité, qui donne aux étudiants la liberté de pratiquer l'apprentissage à tout moment, n'importe où, et maintient le contact entre les étudiants et les professeurs en dehors de la classe [66]. À l'aide de leurs appareils mobiles, ils peuvent étendre l'environnement d'apprentissage au-delà du cadre universitaire. Les appareils mobiles fournissent du matériel d'apprentissage

---

dans des environnements mobiles, flexibles et contrôlés indépendamment [68]. Mobilité ajoute de nouvelles options pour les activités qui peuvent être améliorées en ce qui concerne la portabilité et les caractéristiques des dispositifs mobiles [54].

Les fonctionnalités de l'apprentissage mobile permettent de créer un environnement favorisant la communication et la collaboration, en renforçant l'interaction dynamique dans les activités d'apprentissage [62]. La communication entre pairs ou entre apprenants facilite la discussion et l'explication des ressources d'information. Ils peuvent donner un retour d'information pendant le processus d'apprentissage (par exemple, des questions ou une évaluation). Les conférenciers peuvent suivre le processus d'apprentissage et donner leurs commentaires. Cette collaboration sociale et cet échange de données utilisant des canaux de communication (courrier électronique, messages, forums, blogs) améliorent la communauté de pratiques entre apprenants et enseignants et entre apprenants eux-mêmes [62] [65].

De plus, les appareils mobiles ont récemment été utilisés dans l'enseignement supérieur. Yin et al. [69] ont développé un cadre conceptuel appelé SPSML (Scaffolding Participatory Simulation for Mobile Learning) à l'aide d'appareils mobiles dans le but d'aider les étudiants à acquérir des connaissances conceptuelles en classe ou dans un contexte social. Le cadre innovant a été appliqué pour améliorer les performances d'apprentissage en matière d'algorithmes informatiques. Les résultats ont indiqué que les étudiants étaient disposés à utiliser le système. Le système d'apprentissage utilisant le cadre SPSML a permis un apprentissage par l'expérience, une collaboration facilitée, la motivation des étudiants et une amélioration de leurs résultats. Wu et al. [70] ont conçu un système d'apprentissage mobile sensible au contexte pour les cours de formation en soins infirmiers. La stratégie d'apprentissage de la maîtrise combinait une approche d'apprentissage cognitif et un environnement d'apprentissage omniprésent sensible au contexte pour guider les étudiants en soins infirmiers dans la pratique d'une évaluation physique, y compris la collecte des symptômes des patients, le dépistage de la maladie et le traitement infirmier. Le système d'apprentissage applique une orientation personnelle et fournit aux étudiants une rétroaction appropriée. Les résultats ont montré que les étudiants expérimentaux étaient meilleurs que ceux du groupe témoin en termes d'attitudes et de résultats d'apprentissage.

Il y a eu une augmentation du nombre d'universités utilisant l'apprentissage mobile pour soutenir l'apprentissage et l'enseignement [70] [71] [72] [73] [74]. Le M-learning deviendra

probablement l'un des moyens les plus efficaces de fournir du matériel d'enseignement supérieur à l'avenir [72].

### III. Défis d'interopérabilité entre E & M-learning

La finalité de l'E & M-learning utilise des technologies de pointe pour la formation. Il existe actuellement une pléthore de ressources numériques de formation qui ne devraient pas rester encapsulées dans son environnement de développement pour pouvoir être exploitées en m-learning. En d'autres termes, il faut veiller à la rentabilité et à la pérennité de ces questions d'entraînement déjà produites et éviter de reproduire des contenus qui existent ailleurs. Afin de créer un environnement de formation interopérable permettant l'échange d'enseignement de contenus et de données entre les deux environnements ; d'apprentissage en ligne et son extension mobile, ces derniers nécessitent une vraie interopérabilité dans toutes les dimensions.

La coexistence de ces deux environnements d'apprentissage, qui, bien qu'ils utilisent des technologies différentes, partagent le même sujet de connaissances et d'approches pédagogiques, induit une question fondamentale sur la manière de construire le continuum d'e & m-learning.

Selon les glossaires informatiques standard IEEE (1990), l'interopérabilité est la capacité de deux systèmes (ou plus) ou composants à échanger des informations et à utiliser les informations échangées. Pour projeter cette définition dans le domaine de l'apprentissage à distance au moyen de technologies classiques et mobiles, l'interopérabilité implique la sécurisation de la communication et le partage de données, de services et d'activités d'apprentissage, quels que soient les environnements et les instruments de développement concernés.

L'interopérabilité peut être décrite conformément à Kubicek et al [75] sous trois perspectives principales : l'interopérabilité technique & syntaxique, sémantique et organisationnelle.

#### 1. Interopérabilité sémantique :

Les aspects sémantiques de l'interopérabilité traitent des problèmes d'intégration et de cohérence des données / informations afin de soutenir la coopération et la collaboration, notamment le partage des connaissances et des informations. L'interopérabilité sémantique peut être définie comme la capacité de partager, agréger ou synchroniser des données / informations

sur des systèmes d'information hétérogènes. En d'autres termes, il s'agit de s'assurer que deux systèmes communicants interprètent les informations communes ou partagées de manière cohérente.

Compte tenu du nombre et de la diversité des bases de données et des systèmes d'apprentissage en ligne utilisés dans toute grande université ou au sein d'un établissement d'enseignement, on peut se rendre compte de la complexité du problème.

Exemples d'obstacles et de problèmes sémantiques à résoudre : hétérogénéité syntaxique et sémantique de l'information, écart sémantique, différentes interprétations des mêmes concepts, intégration du schéma de base de données à des problèmes de dénomination (homonymes et synonymes, par exemple), incohérences logiques structurelles, etc.

L'objectif est de fournir aux systèmes un moyen d'interpréter la signification des données, des informations ou des connaissances. Il s'agit d'un problème difficile et, malheureusement, il n'existe pas de solution clé en main ou prête à l'emploi. Une fois l'interopérabilité des applications informatiques mise en place, il appartient à chaque organisme d'élaborer sa propre stratégie et sa propre solution en matière d'interopérabilité sémantique. La solution la plus simple consiste à créer des référentiels de métadonnées partagées (MDR) qui décrivent le contenu et l'intention des données stockées dans les divers systèmes d'information utilisés dans l'université ou par des universités partenaires. Les exemples incluent les métadonnées LDAP pour les utilisateurs et les ressources informatiques, les référentiels UDDI pour les registres de services Web et les thésaurus.

Une autre solution, plus difficile, consiste à créer une ontologie (ou des modèles ontologiques) favorisant l'interopérabilité ou l'intégration [76] [77] [78]. Une ontologie a été définie par Gruber [79] comme une spécification formelle d'une conceptualisation de la connaissance d'un domaine spécifique. Il est utilisé pour décrire sans ambiguïté, de préférence de manière axiomatique, tous les concepts utilisés dans ce domaine ainsi que leurs relations et associations utilisant des axiomes, des prédicats et des formules, par exemple, à l'aide d'une logique de premier ordre ou de notations formelles.

RDF (Resource Description Format) et OWL-S (Web Ontology Language) sont des langages de pointe utilisés pour exprimer des modèles ontologiques [80]. Leur utilisation a récemment été démontrée dans divers documents de recherche traitant de projets d'interopérabilité. L'ontologie est utilisée comme langage pivot pour mapper les concepts

utilisés dans un système avec les concepts d'un autre système et pour résoudre le déséquilibre impédance sémantique.

Le contenu échangé dans un tel environnement revêt une importance capitale, car il est conçu pour répondre à des objectifs pédagogiques spécifiques. L'interopérabilité sémantique répond à une telle exigence. Elle consiste à échanger et à réutiliser non seulement des contenus, mais également leur signification.

### **2. Interopérabilité organisationnelle :**

Les aspects organisationnels de l'interopérabilité concernent la définition d'objectifs métier, l'alignement et la coordination des processus métier et le renforcement des capacités de collaboration des organisations souhaitant échanger des informations et pouvant avoir des structures et des processus internes différents. En outre, l'interopérabilité organisationnelle a pour objectif de répondre aux besoins de la communauté des utilisateurs en rendant les services disponibles, facilement identifiables, accessibles et centrés sur l'utilisateur. En d'autres termes, c'est la capacité des organisations commerciales de se fournir des services entre elles, ainsi qu'aux utilisateurs ou clients ou au grand public dans le cas des organisations administratives.

Pour réaliser l'interopérabilité organisationnelle, il est nécessaire de coordonner les processus métiers des entités fonctionnelles coopérantes, de définir les étapes et les messages de synchronisation et de définir les mécanismes de coordination et de collaboration des processus interorganisationnels. L'utilisation d'outils et de méthodes de gestion des processus métier (BPM) est nécessaire pour la modélisation et le contrôle de ces processus métier, ainsi que pour les moteurs de workflow permettant de coordonner l'exécution du processus.

Les étapes sont définies comme des services métier, des outils de collaboration et des portails d'organisme pour fournir un accès convivial aux services métier et aux pages d'informations mises à la disposition des utilisateurs finaux.

BPMN (Business Process Modeling Notation) [81] est devenu le langage standard de facto pour la modélisation et l'analyse des processus métiers au niveau métier. La version actuelle est BPMN 2.0.2 (BPMI, 2013). BPMN est une notation schématique et semi-structurée offrant aux organismes la possibilité de représenter leurs procédures métiers internes dans un langage graphique. Il donne aux organisations la possibilité de décrire et de communiquer ces procédures de manière standard. De plus, la notation graphique facilite la compréhension des collaborations de performance et des transactions commerciales entre les organisations. Cela

---

garantit que les organismes se comprendront et que les participants à leurs activités leur permettront de s'adapter à nouvelles circonstances internes et interorganisationnel de manière plus efficace et en temps voulu.

L'interopérabilité entre l'apprentissage E & M est également de nature organisationnelle. Ce niveau correspond à la nécessité de capitaliser sur les connaissances et l'expérience acquises dans le domaine de l'apprentissage en ligne et de les utiliser dans le M-Learning, en particulier, ainsi que dans les futurs environnements d'apprentissage résultant du progrès technologique constant.

### **3. Interopérabilité technologique et syntaxique :**

Les aspects techniques de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne constituent la base technique. Ils sont également appelés les aspects syntaxiques de l'interopérabilité. Ils traitent des aspects « interchangeables » de l'interopérabilité, à savoir faciliter la communication et les échanges en termes de protocoles de communication, d'échange de données et de transmission de messages entre systèmes d'application. Ce sont les aspects les plus avancés de l'interopérabilité, qui évoluent encore rapidement en raison des progrès techniques rapides dans divers domaines des TIC.

Les défis technologiques à résoudre concernent l'incompatibilité des systèmes due à la forte hétérogénéité des systèmes, à l'existence de systèmes existants, aux divers formats de données utilisés et à l'hétérogénéité des solutions TIC de différents fournisseurs (réseaux informatiques, systèmes d'exploitation, serveurs d'applications, systèmes de bases de données, etc....)

Les technologies utilisées à ce niveau concernent la création de systèmes à couplage faible dans lesquels les applications prenant en charge les processus d'apprentissage, constituées de services fournis par des agents techniques ou humains, échangent des messages (en mode synchrone ou asynchrone) en utilisant des formats neutres (de préférence XML ou XML) protocoles de transfert simples (par exemple HTTP / HTTPS, SMTP, MIME, JMS ou SOAP sur TCP / IP).

Les services Web et les architectures orientées services (SOA) [74] [75] représentent actuellement des techniques de pointe pour la construction de systèmes d'apprentissage intégrés ou interopérables qui s'avèrent suffisamment agiles pour faire face aux exigences de réactivité des conditions et des marchés actuels.

En effet, l'orientation des services permet d'une part d'envelopper des systèmes existants ou d'exposer des fonctions de systèmes existants en tant que services et, d'autre part, de construire de nouveaux systèmes en tant que composition de services Web exécutés sur différents serveurs, éventuellement situés à distance et communiquant via Internet. Il applique le principe de la réutilisation des services et permet même de créer des applications réutilisant les services disponibles sur le Web (service Marsh-up et Cloud Computing).

Ceci doit être opposé aux générations précédentes d'informatique distribuée des années 90, qui étaient d'abord basées sur l'architecture client / serveur, puis sur les plateformes ORB (Object Request Broker) ou EAI (Enterprise Application Integration). Celles-ci supposaient une communication de système synchrone et se révélaient trop rigides et monolithiques.

Grâce à XML et HTTP, qui ont révolutionné l'informatique moderne, les plates-formes EAI et ORB sont maintenant remplacées par des plates-formes ESB (Enterprise Service Bus). Ces derniers utilisent une nouvelle pile de technologies basées sur de nouveaux langages et standards, à savoir HTTP, SMTP ou JMS (Java Messaging System) sur TCP / IP au niveau du transport de données, SOAP (Simple Object Access Protocol) ou RosettaNet au niveau de la messagerie, WSDL (langage de description de service Web) au niveau de la description du service, référentiels UDDI (description, découverte et intégration universelles) au niveau de la publication et de la découverte du service et BPEL (langage de processus d'exécution des processus métier) au niveau de la composition du service. [84].

Le défi des fournisseurs de technologies est de fournir des solutions ouvertes, fiables, évolutives, sécurisées et à réponse rapide. Une tendance majeure qui peut être observée dans ce domaine est, grâce au protocole Internet (IP), la convergence rapide des solutions de données, voix et vidéo pour les communications unifiées (UC) afin de réduire les coûts d'infrastructure et de communication et d'offrir des services plus intégrés utilisateurs. Obtenir un accès instantané et sécurisé à vos applications de n'importe où et à tout moment devient vraiment une réalité grâce aux canaux de communication câblés ou sans fil.

Les environnements d'E & M-learning nécessitent une interopérabilité technologique. En effet, un environnement technologique indépendant est nécessaire pour prendre en charge les technologies utilisées par les apprenants, afin de garantir la réutilisation, l'échange et la communication de données, services, activités ou processus d'apprentissage.

Les stratégies envisagées pour répondre aux exigences en matière d'interopérabilité comprennent : l'utilisation de normes ou de familles de normes de communication, l'approche du médiateur externe servant d'interprète entre les composants ; et l'utilisation d'un langage de communication commun entre les modules.

La question de l'interopérabilité entre l'E & M-learning n'échappe pas à ces règles. Sa résolution implique principalement: l'utilisation de la normalisation, d'un médiateur externe et de protocoles de communication communs; utiliser des environnements de déploiement permettant des fonctions de portabilité et de mobilité; en suggérant une architecture d'apprentissage qui prenne en compte les spécificités du M-Learning et tire parti des développements de l'apprentissage en ligne; et, enfin, la modélisation de scénarios d'apprentissage à distance dans l'environnement d'E & M-learning.

### **IV. Conclusion**

La première partie de ce chapitre a mis l'accent sur la définition de l'apprentissage en ligne de la façon dont il a été développé jusqu'à nos jours en offrant ses avantages et son adoption. Cela est suivi par la performance de l'e-learning dans l'enseignement supérieur en général et par le développement de la performance e-learning. Ensuite nous avons également décrit les modèles les plus courants pouvant être appliqués à l'adoption de l'innovation technologique et examine les étapes par lesquelles l'innovation technologique peut se produire. En outre, le chapitre décrit les systèmes e-learning et leur caractéristiques générales et composants, ainsi que les plateformes E-learning les plus utilisées et répandues.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble sur le concept du M-learning, et une comparaison de E-learning et M-learning. Par la suite, nous avons essayé d'expliquer la motivation et les opportunités, ainsi que les avantages, les limites et défis de l'apprentissage mobile dans un environnement d'apprentissage sont abordés. Enfin, la dernière section a décrit les défis de l'interopérabilité entre l'E & M-learning.

# Chapitre 2 - Études Comparatives des Systèmes d'Apprentissage à Distance

*"Once you make a decision, the universe conspires to make it happen."*

[Ralph Waldo Emerson]

### Résumé

L'éducation par les TIC est aujourd'hui l'une des approches actuellement considérées comme un moyen d'apprentissage essentiel. Les systèmes de gestion de l'apprentissage (Learning Management Systems) permettent un échange d'informations et le partage de services entre eux afin de soutenir l'apprentissage en ligne de manière à ce que ces systèmes soient soumis à un processus de normalisation et d'interopérabilité.

Ce chapitre vise à fournir une meilleure compréhension de ces systèmes LMS avec leurs types existants et une première étude comparative détaillée basée sur les capacités et les fonctionnalités des systèmes de gestion d'apprentissage, qui seront utilisés dans le cadre d'études comparatives multicritères à l'aide d'une méthode de décision WSM.

Dans notre deuxième étude, elle va spéculer sur une analyse multicritères de l'interopérabilité des systèmes de gestion de l'apprentissage, les plus largement utilisés aujourd'hui. Nous définissons les quatre systèmes de gestion de l'apprentissage dotés de huit attributs en calculant leur poids par méthode AHP (analyse multicritères hiérarchique). Ils sont analysés et résolus à l'aide d'une analyse multicritères en appliquant la méthode d'évaluation proportionnelle complexe (COPRAS).

Ces études ont pour objectif d'obtenir des résultats et des informations significatives pour les usagers et également aideront les professionnels à prendre des décisions en facilitant le choix de la meilleure plateforme à utiliser en fonction des critères et de l'importance souhaités. Nos études abordent un objectif global visant la conformité du contenu et l'utilisation des technologies dédiées à l'apprentissage qui peuvent améliorer l'interopérabilité des LMSs.

### I. Introduction

Les humains prennent des décisions tout le temps. La prise de décision est une tâche très complexe et difficile. Au cours des dernières décennies, la recherche opérationnelle (RO) a beaucoup évolué en tant que domaine propice à la gestion scientifique. RO traite principalement de la construction de modèles et de procédures d'optimisation algorithmique facilitant l'analyse de problèmes complexes du monde réel [85]. Depuis Von Neumann et Morgenstern [86] et Savage [87], cela est devenu le paradigme dominant de l'analyse et de l'aide à la décision en présence de multiples dimensions d'évaluation. Les techniques RO classiques ont le même objectif : elles maximisent ou minimisent une fonction d'utilité en présence de contraintes. La prise de décision multicritères (MCDM) peut être considérée à la fois comme une ancienne et une nouvelle partie de la RO, en fonction du cadre de référence [88].

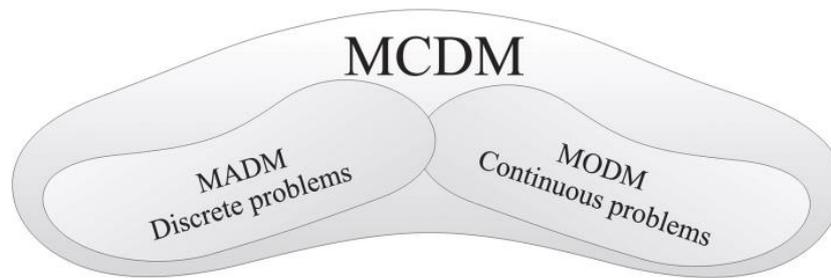
MCDM a été l'une des zones problématiques de plus en plus rapide dans de nombreuses disciplines. Le problème central est de savoir comment évaluer un ensemble d'alternatives en fonction d'un certain nombre de critères [89]. De nombreux chercheurs modernes ont examiné les problèmes de MCDM. MCDM fait référence à la prise de décision en présence de plusieurs critères, généralement contradictoires. Les dernières décennies ont vu une augmentation spectaculaire de tous les domaines principaux du MCDM :

- Modèles formels (algorithmes, procédures et paradigmes de sélection) ;
- Théories d'évaluation (hypothèses sur les valeurs ou les préférences et représentations structurées des valeurs ou des préférences) ;
- Méthodes d'évaluation (élicitation, estimation et dimensionnement des préférences des individus, utilités et probabilités subjectives dans les situations MCDM) [90].

Il n'existe pas de méthode unique et bien définie que l'on puisse suivre progressivement, du début à la fin du processus d'aide à la décision. Lorsqu'il s'agit d'objets qui ne peuvent être décrits et comparés qu'en utilisant plusieurs caractéristiques, l'agrégation est un enjeu majeur : elle vise à opérer une synthèse des caractéristiques des objets, généralement contradictoires, en vue d'atteindre un objectif tel que le choix entre les objets. , classez-les en ordre, en les classant par catégories, etc. [91].

Les méthodes MCDM couvrent un large éventail d'approches très distinctes. Les méthodes MCDM peuvent être classées en deux catégories : les méthodes discrètes MCDM ou MADM (prise de décision multi-attributs) et les méthodes MODM (prise de décision multi-

objectives) continues (Figure 2.1). La définition par le dictionnaire d'un "critère" est "un moyen ou une norme de jugement" permettant de juger qu'un choix ou une ligne de conduite en particulier est plus souhaitable qu'un autre (h). Chaque problème a plusieurs objectifs / critères contradictoires. Chaque objectif / critère a une unité de mesure différente. Le MCDM peut être perçu comme un processus d'évaluation de situations réelles basé sur divers critères qualitatifs / quantitatifs dans des environnements certains / incertains / risqués afin de trouver un plan d'action / choix / stratégie / politique approprié parmi plusieurs options disponibles [92].



*Figure 2.1: Classification Générale des Méthodes MCDM.*

Les méthodes MODM sont associées à des problèmes pour lesquels les alternatives ne sont pas prédéterminées et le but du problème considéré est de concevoir l'alternative optimale / optimale en considérant un ensemble de contraintes de conception bien définies, un ensemble d'objectifs quantifiables. Ainsi, les méthodes MODM traitent du processus de conception et le nombre d'alternatives est infini (continu). Les concepteurs ont pour défi constant de sélectionner les meilleurs matériaux et constructions pour répondre à des problèmes de conception complexes [93].

L'art MADM est intimement lié à l'art de la Théorie du Choix Rationnel. Cela suppose que les gens sont motivés par l'argent et par la possibilité de faire un profit, ce qui a permis de construire des modèles formels et souvent prédictifs du comportement humain. Ils agissent rationnellement dans le cadre de contraintes spécifiques et sur la base des informations dont ils disposent sur les conditions dans lesquelles ils agissent. Les actions humaines impliquent des éléments à la fois rationnels et non rationnels [94]. Les théories du choix rationnel soutiennent que les individus doivent anticiper les résultats des actions alternatives et calculer ce qui leur conviendra le mieux. Comme il n'est pas possible pour les individus de réaliser tout ce qu'ils veulent, ils doivent également choisir en fonction de leurs objectifs et des moyens d'atteindre ces objectifs. Les individus rationnels choisissent l'alternative susceptible de leur donner la plus grande satisfaction. Bien que le modèle d'utilité attendu ait de nombreux fondateurs possibles,

Von Neumann et Morgenstern [86] sont généralement crédités pour le premier fondement axiomatique de la mesure de l'utilité attendue. Aujourd'hui, le modèle d'utilité attendu est largement utilisé comme pierre angulaire normative de l'analyse décisionnelle [95].

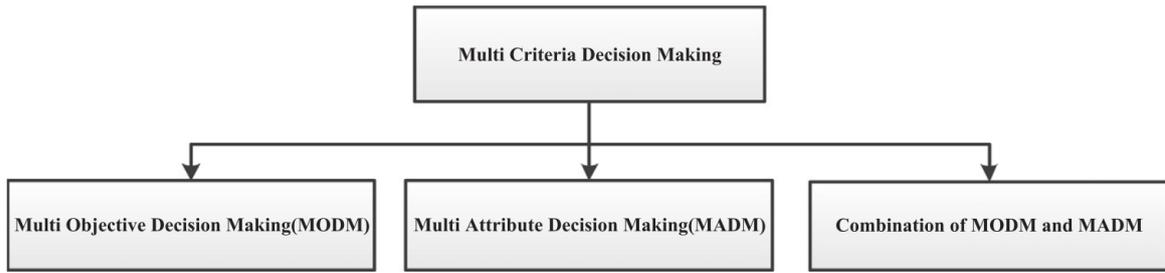
### 1. Qu'est-ce que le système d'aide à la décision ?

Bien que DSS n'ait pas de définition formelle [96]. Keen et Scott-Morton [97] ont défini le DSS comme suit : "Les systèmes d'aide à la décision associent les ressources intellectuelles des individus aux capacités de l'ordinateur pour améliorer la qualité des décisions. Il s'agit d'un système d'appui informatique pour les décideurs en matière de gestion qui traitent des problèmes semi-structurés ". Scott-Morton [98] a également déclaré que "les systèmes DSS sont des systèmes informatiques interactifs, qui aident les décideurs à utiliser des données et des modèles pour résoudre des problèmes non structurés".

### 2. Prise de décision multicritères (MCDM)

La prise de décision à plusieurs critères (MCDM) ou une analyse de décision multicritère (MCDA) est une branche de recherche opérationnelle qui a commencé depuis les années 1970 [99]. MCDM s'occupe de structurer et de résoudre les problèmes de décision et de planification faisant intervenir plusieurs critères. La "résolution" peut être interprétée de différentes manières : "meilleure" alternative parmi un ensemble d'alternatives disponibles ". Une autre interprétation de « résoudre » pourrait être de choisir un petit ensemble de bonnes alternatives. Une interprétation extrême pourrait être de trouver toutes les alternatives "efficaces" ou "non-dénominées".

Comme déjà indiqué dans la section d'introduction, l'analyse de décision est un outil précieux pour résoudre un problème caractérisé par de multiples acteurs, critères et objectifs. Les problèmes de MCDM comportent généralement cinq composantes : objectif, préférences du décideur, alternatives, critères et résultats [100] [101]. Le MCDM peut être classé comme indiqué à la Figure. 2.2. En fonction du nombre de solutions envisagées, les différences peuvent être gérées entre la prise de décision multi-attributs (MADM) et la prise de décision multi-objectifs (MODM) ; sinon les deux partagent des caractéristiques similaires. MODM est adapté à l'évaluation d'alternatives continues pour lesquelles nous prédéfinissons des contraintes sous la forme de vecteurs de variables de décision.



*Figure 2.2: Classification de MCDM [118]*

Un ensemble de fonctions objectif est optimisé en tenant compte des contraintes tout en dégradant les performances d'un ou plusieurs objectifs. Dans MADM, les caractéristiques inhérentes sont couvertes, ce qui conduit à prendre en compte un nombre moins important de solutions de remplacement. Par conséquent, l'évaluation devient difficile à mesure que la hiérarchisation devient plus difficile. Le résultat final est décidé en comparant différentes alternatives en fonction de chaque attribut considéré [102] [103] [104] [105]. Différentes techniques multicritères sont appliquées dans le domaine d'apprentissage en ligne. Les modèles MCDM constituent une autre technique de classification plus large. Les modèles développés sont selon la perspective du concepteur. Il peut être une approche directe ou indirecte approche.

Dans l'approche directe, l'attribution de priorités ou de pondérations est effectuée à l'aide des informations fournies par le bénéficiaire, la société ou des connaissances tirées de l'enquête. Dans une méthode indirecte, tous les critères possibles sont séparés en composants et pondérés conformément à des problèmes similaires précédents, jugement du décideur basé sur l'expérience, etc.

La Figure 2.3 donne une classification de ces modèles. Les MCDM sont toujours complexes en raison de la participation de facteurs tels que techniques, institutionnels, normes, sociaux, économiques et les parties prenantes. Cela implique donc à la fois des analyses techniques et des analyses de gestion. En outre, cette procédure reste controversée car les objectifs peuvent conduire à différentes solutions à différents moments en fonction de la priorité fixée par les décideurs ou les personnes impliquées dans la procédure.

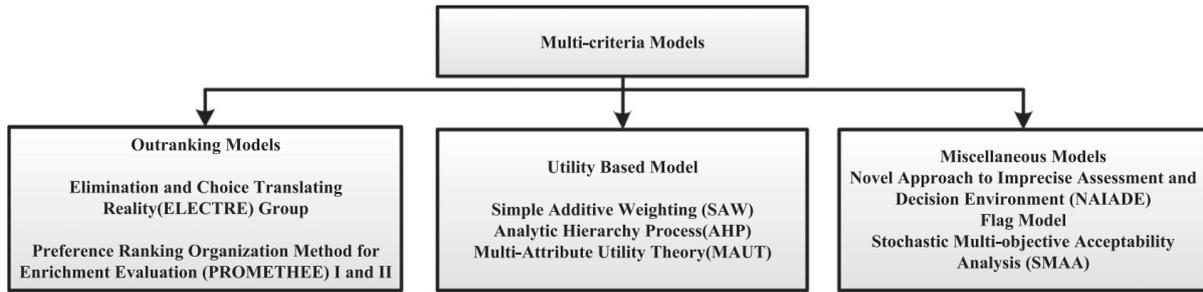


Figure 2.3: Modèles de décision multicritères [136]

Les méthodes MCDM ont également été classées en fonction du type d'information et des caractéristiques principales de celle-ci [107]. Une autre manière de taxonomie d'un certain nombre de méthodes MCDM est donnée dans la Figure 2.3 (telle qu'adoptée dans [107]). Pour une brève description des méthodes mentionnées à la Figure 2.3, le lecteur intéressé peut consulter [107] ou [108].

Le modèle de somme pondérée (WSM), le processus de hiérarchie analytique (AHP), le modèle AHP révisé et la méthode COPRAS sont décrits dans les sections suivantes et sont ceux qui sont le plus largement utilisés. Enfin, il convient d'indiquer ici qu'il existe de nombreuses autres manières de classer les méthodes MCDM [107]. Cependant, les précédents sont les schémas les plus courants.

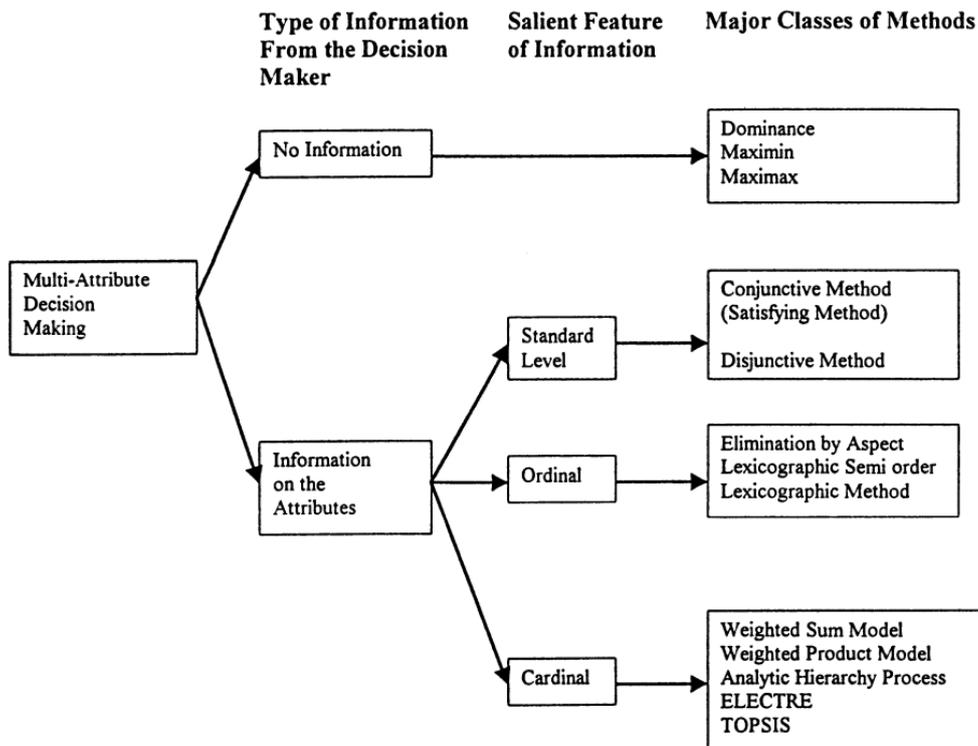


Figure 2.4: Une taxonomie des méthodes MCDM [137].

De plus, un problème particulier peut être abordé par différentes méthodes basées sur les fonctions que nous définissons. Chaque méthode ou modèle a ses propres inconvénients et restrictions. Une procédure générale de la technique MCDM est illustrée à la Figure 2.4.

En termes génériques, la procédure courante suit huit étapes pour le processus décisionnel [109] [110], présentés à la Figure 2.5. Pour atteindre le but et les objectifs, choisir la méthode de prise de décision appropriée correspondant au type de problème constitue la première étape du processus de prise de décision [112]. Pour sélectionner la meilleure méthode, ils doivent être comparés en fonction de différents types de problèmes et mettre en évidence leurs avantages et leurs inconvénients. Dans un deuxième temps, les exigences d'une décision devraient être définies sur la base de jugements d'experts ou de toute autre contrainte technique. Pour la troisième étape, les objectifs doivent être clarifiés et la partie la plus importante est que les objectifs doivent être considérés de manière positive (la ligne de production doit produire 7 unités par heure et ne pas produire moins de 7 unités par heure [111]). La quatrième étape consiste à définir des alternatives. Les alternatives sont les méthodes qui changent la condition préliminaire en condition préférée [110].

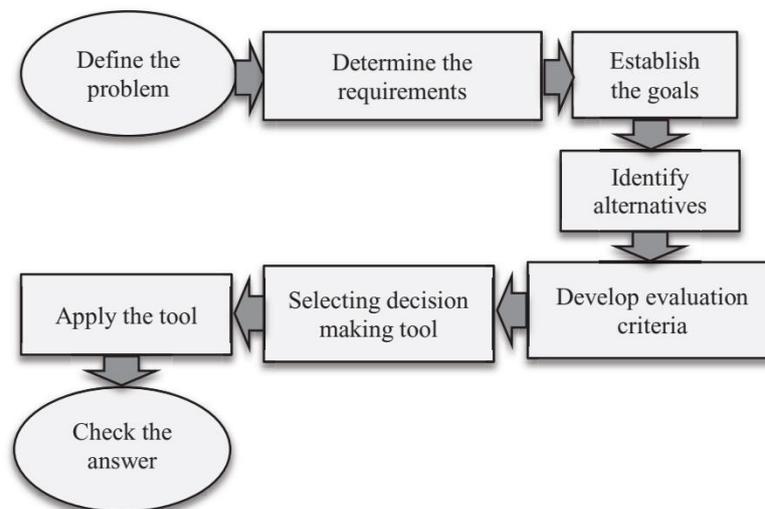


Figure 2.5: Processus Décisionnel Général [140] [141].

Souvent, aucune des solutions ne convient parfaitement pour atteindre les objectifs. La solution qui convient le mieux aux objectifs peut être sélectionnée en évaluant les différentes solutions par rapport à un ensemble de critères [113]. Ces critères permettent de différencier les alternatives et de choisir la plus pertinente en fonction des préférences du décideur. La prochaine étape du processus décisionnel consiste à définir et à évaluer les critères.

Dans Baker et al. [111], certaines spécifications de critères ont été décrites. Alors que les critères définis ont ces spécifications, il est plus facile de distinguer les différentes alternatives et de sélectionner celle qui convient le mieux, avec plus de précision dans l'attribution des objectifs définis. Les spécifications décrites sont les suivantes :

- Capable de distinguer les alternatives
- Assez complet pour couvrir tous les objectifs
- Non redondant
- Peu nombreux
- Opérationnel et significatif.

Dans la prochaine étape, la sélection de la méthode de décision devrait être faite. Il existe différentes méthodes de prise de décision dont l'utilisation la plus courante sera décrite dans la section suivante. Dans la dernière étape, les alternatives devraient être évaluées par rapport aux critères afin de choisir celle qui convient le mieux [114].

L'utilisation des méthodes classiques de MCDM [115] nécessite l'utilisation de données précises, c'est-à-dire que les cotes de performance des solutions de remplacement et la pondération des critères doivent être déterminées avec précision. Cependant, la résolution de nombreux problèmes du monde réel nécessite souvent une sorte de prédiction, de sorte qu'il n'est pas possible de déterminer avec précision les données nécessaires à l'utilisation des méthodes classiques de MCDM.

## **II. Etude Comparative Avancées Et Analyse Multicritères Des LMSs Commerciaux Et Open Source**

Au cours des dernières décennies, Avec la révolution rapide et le développement efficace de l'infrastructure TIC, dans chaque organisme d'enseignement a la possibilité d'utiliser l'Internet dans le réseau informatique mondial comme un moyen de communication avec les étudiants [116] [117] [118].

E-learning est un terme général utilisé pour désigner une forme d'apprentissage dans laquelle l'enseignant et l'étudiant sont séparés par l'espace ou le temps où l'écart entre les deux est rempli par l'utilisation de technologies en ligne pour améliorer le processus éducatif, et la disponibilité et l'accessibilité [119] [120]. L'apprentissage en ligne est utilisé de manière diverse et interchangeable dans de vastes contextes. Dans la plupart des universités, l'e-learning est utilisé pour définir un mode spécifique de participation à des cours ou à des programmes

d'études où les étudiants se retrouvent rarement en face-à-face, voire jamais ou pour accéder sur le campus à des établissements d'enseignement, parce qu'ils étudient en ligne [121] [122] [123] [124].

Les systèmes de gestion de l'apprentissage LMS sont des systèmes qui gèrent les apprenants et les activités d'apprentissage pour améliorer la capacité des apprenants, partager et fournir du contenu dans l'apprentissage en ligne. Par conséquent, puisque l'apprentissage se fait en ligne par le biais du LMS, de la commodité [125], de l'amélioration des effets d'apprentissage [126] et de la satisfaction [127], le LMS doit être suffisamment soutenu [128] [129].

Plusieurs efforts ont été déployés pour développer des contextes d'études et des perspectives institutionnelles de systèmes de gestion de l'apprentissage [130] [131] [132] [133]. Principalement, ces contextes et méthodes sont des tests et des évaluations générales de l'utilisabilité des systèmes d'apprentissage en ligne, et ils sont utilisés de manière approximative dans notre analyse. Seules quelques études se sont concentrées sur l'analyse de la facilité d'utilisation d'un ou de plusieurs LMS ; où certains analysent des modules spécifiques [134] [135] et certains comparent un LMS tel que Moodle avec un autre [136] [137] [138] [139]. De plus, d'autres effectuent des études basées sur des critères et des caractéristiques pour analyser les systèmes open source [140] [141], des contextes d'évaluation de systèmes LMS basés sur des standards de conformité tels que SCORM [142].

Il est important de faire une étude de comparaison entre les plateformes LMS pour sélectionner celles qui conviennent et explorer leurs forces et leurs limites. L'objectif est de faire une étude comparative, qui sera réalisée en trois phases : La première phase contenant les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces selon l'analyse SWOT. Le second est basé sur les caractéristiques et les capacités des outils LMS, qui seront utilisés dans le but d'une étude comparative multicritères. Dans la troisième phase, il sera utile et crucial pour les utilisateurs de choisir le LMS adapté à leurs besoins.

### **1. Analyse SWOT des LMSs**

L'analyse de l'environnement commercial est considérée comme un élément fondamental du processus de planification de la gestion stratégique. Pour donner un sens à une telle analyse, les consultants, les écoles de commerce du monde entier et les manuels scolaires offrent l'utilisation du cadre SWOT (analyse des forces, des faiblesses, des opportunités et des

menaces) pour mettre en pratique les dirigeants dans la gestion et les activités commerciales, précurseurs de la formulation de stratégies, des décisions de gestion et des actions.

En tant que cadre, l'analyse SWOT est vivement recommandée pour sa simplicité et sa valeur, car elle permet de focaliser l'attention sur les problèmes clés qui affectent le développement et la croissance des organismes. Il est possible de devenir un outil important pour identifier les facteurs les plus susceptibles d'influencer le succès de la stratégie d'un organisme ou d'une entreprise. Pourtant, sa simplicité même peut être un échec.

Bien que beaucoup seront familiers SWOT, il est jugé nécessaire de donner un bref aperçu. Le lecteur voudra peut-être se référer à Kotler [143], Palmer et Hartley [144], Wilson et al. [145], Johnson et Scholes [146], McDonald [147], Fifield [148] et d'autres à approfondir. Il est significatif que de nombreux auteurs ne tendent généralement pas à préciser et à élucider les limites de l'analyse SWOT, bien que ce soit peut-être pour ces raisons que des auteurs tels qu'Aaker [149], O'Shaughnessy [150] et Greenley [151] n'insistent pas sur l'utilisation du cadre SWOT au départ.

La planification des activités est généralement décrite comme un processus délibéré, séquentiel, systématique et rationnel. En réalité, ce n'est pas le cas. C'est une activité sociale qui est mieux décrite comme un peu plus informelle, irrégulière, incrémentale et non rationnelle [152]. C'est un processus qui englobe les valeurs et le pouvoir des personnes impliquées [152]. La réalité de la planification est moins mécaniste et plus organique que ne le suggèrent beaucoup d'auteurs. Malheureusement, l'analyse SWOT a eu tendance à être associée à la planification mécaniste et cette association a eu tendance à limiter inutilement le point de vue des gestionnaires et des universitaires sur l'utilisation et la valeur de l'analyse SWOT.

L'analyse SWOT implique la collecte et la représentation d'informations sur des facteurs internes et externes qui ont, ou pourraient avoir, un impact sur les affaires. Stacey [153] décrit l'analyse SWOT comme Figure 2.6 :

*Une liste des forces et des faiblesses d'une organisation, comme indiqué par une analyse de ses ressources et de ses capacités, ainsi qu'une liste des menaces et des opportunités identifiées par une analyse de son environnement. La logique stratégique exige évidemment que les actions futures soient conçues en fonction des forces, des opportunités, des menaces, et cherchent à surmonter les faiblesses. (P. 52)*



Figure 2.6: Matrice SWOT.

Il convient de noter que d'autres auteurs [154] [155] [156] [157] [158] [159] [160] [161] soulignent également que l'analyse doit être effectuée par référence aux concurrents afin que les forces et les faiblesses de l'entreprise ne sont par exemple par rapport à la concurrence et les opportunités et les menaces ne se produisent que sur des actions collectives ou l'inaction au sein du marché de l'entreprise et de ses concurrents dans leur réponse au changement des forces environnementales. Ils sont donc relatifs et non absolus et la tâche de l'entreprise est de rechercher un avantage concurrentiel.

Même si de nombreux textes de planification et de marketing d'entreprise font référence à SWOT (aussi bien académiques que ceux censés fournir des conseils pratiques aux entreprises), rares sont ceux qui font allusion aux avantages du processus de la réalisation d'une analyse SWOT. Alors que certains auteurs préfèrent ne pas proposer du tout le cadre SWOT [150] [151] d'autres ne proposent que de brèves descriptions qui ne fournissent guère plus que le simple cadre SWOT lui-même (par exemple, [161] [162] [163] [164] [165] [166] même si ces auteurs ont au moins émis des avertissements sur son utilisation. En effet, certains auteurs décrivent SWOT entièrement en termes de cadre ou de liste, comme le montrent la citation de Stacey ci-dessus et celle de Kay [167] ci-dessous :

*« The best and most familiar example of an organizing framework is SWOT analysis . . . SWOT is simply a list. It conveys no information in itself. »*

L'auteur procède:

*« It is a particularly useful list, as demonstrated by its continued popularity . . . (p. 358) »*

Bien que ce point de vue soit tout à fait compréhensible, il peut amener le lecteur à réduire au maximum l'analyse SWOT et à ne pas réaliser tout son potentiel. Les organisations qui perçoivent SWOT de cette manière courent le risque de produire une analyse simpliste sur laquelle des décisions inappropriées pourraient être fondées.

L'analyse SWOT est souvent décrite comme une matrice 2x2 et, sous cette forme, n'est en réalité qu'une énumération ou une catégorisation de facteurs « environnementaux » sous les rubriques Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces. Les forces et les faiblesses concernent des facteurs internes à l'entreprise, tandis que les opportunités et les menaces concernent des facteurs externes.

Afin de déterminer les avantages et les inconvénients de LMS, nous devons analyser toutes leurs fonctions basées sur l'outil d'analyse stratégique SWOT pour présenter les forces et les faiblesses du LMS ainsi que les opportunités et les menaces extérieures. Le Tableau 2.1 illustre une matrice d'analyse SWOT réalisée des LMSs choisis pour l'étude comparative.

*Tableau 2.1: Analyse SWOT des LMSs.*

| POSITIVES  |   |
|--|---|
| STRENGTHS  | OPPORTUNITIES   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longue vie et bien acceptée.</li> <li>• Fournit un système central et pratique pour la formation en ligne et hors ligne.</li> <li>• Capable d'intégrer avec le flux de travail.</li> <li>• Capable de s'intégrer à d'autres systèmes d'information existants en tant que système de gestion des ressources humaines (HRMS).</li> <li>• Fournit des rapports détaillés sur le système d'information de gestion (SIG).</li> <li>• Fonctionne très bien pour la gestion de cours, la livraison et le suivi de l'apprentissage formel.</li> <li>• Capable de maîtriser la gestion des compétences et des talents</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer des environnements d'apprentissage centrés plutôt que centralisés sur la prestation de cours à travers un apprentissage formel et social.</li> <li>• Pour fournir des fonctionnalités de gestion des talents dans le contexte de l'apprentissage formel et informel, non seulement en fournissant les outils, mais aussi la refonte de l'expérience entière de l'apprenant est nécessaire.</li> </ul>  |
| NEGATIVES  |   |
| WEAKNESSES   | THREATS   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Axé sur le contrôle et la gestion de l'expérience de l'apprenant.</li> <li>• Certains systèmes ne sont pas prêts pour une expérience Web 2.0 et Web 3.0, et cela offre des méthodes obsolètes pour l'accès aux cours.</li> <li>• Axé sur l'apprentissage formel pour être poussé vers les apprenants.</li> <li>• Ne fournit pas une véritable interopérabilité et des normes qui régulent le développement de LMS.</li> <li>• L'expérience client globale avec LMS n'est pas conforme.</li> <li>• Certains systèmes ne fournissent pas le Cloud Computing</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne répondez pas à l'évolution des besoins de l'apprenant.</li> <li>• Les outils de réseautage social pourraient être étendus pour prendre en charge certaines fonctionnalités du système LMS, ce qui constituerait un nouveau concours pour LMS.</li> <li>• Au fur et à mesure que la fragmentation du marché augmente, les systèmes LMS perdent de vue les exigences du marché, ce qui crée un plus grand désaccord avec le système LMS.</li> </ul> |

## 2. Sélection des systèmes de gestion de l'apprentissage

Bien que les fonctions de base de LMS commerciales et open-source sont les mêmes, ils diffèrent dans les caractéristiques, spécifications, capacités, support multilingue, la sécurité, la technologie utilisée et l'interopérabilité, la conformité du contenu et de soutien de la base de données. Gardant à l'esprit, les aspects et les objectifs de cette recherche, cités par l'avant, nous avons sélectionné huit LMS commerciaux et open source représentatifs à des fins de comparaison.

Parmi eux, dotLRN / OpenACS, Canvas, Moodle et Sakai sont des LMS open source et Desire2Learn, le Blackboard Learning System, Edvance360 et le système de gestion Elan Learning Management sont des LMS commerciaux (Tableau 2.2) et pour plus de détails (Voir Chapitre 1- I.9).

Tableau 2.2: LMS commerciaux et open source [173]

|             | LMS System                      | Organisation                | Year Founded | Website              |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|
| Open source | Canvas                          | Instructure Inc.            | 2008         | www.instructure.com  |
|             | Moodle                          | Moodle Pty. Ltd.            | 2002         | www.moodle.com       |
|             | Sakai                           | Apereo Foundation           | 2004         | www.sakaiproject.org |
|             | dotLRN/OpenACS                  | .LRN Consortium             | 2003         | www.dotlrn.org       |
| Commercial  | Desire2Learn                    | Desire2learn Inc.           | 1999         | www.d2l.com          |
|             | The Blackboard Learning System  | Blackboard Inc.             | 1997         | www.blackboard.com   |
|             | Edvance360                      | Edvance360                  | 2006         | www.edvance360.com   |
|             | Elan Learning Management System | Total Training Network Inc. | 1999         | www.ttnlearning.com  |

## 3. Caractéristiques et capacités du LMS

Le système de gestion de l'apprentissage comporte de nombreuses fonctionnalités telles que des forums, la gestion de contenu, des questionnaires avec différents types de questions et un certain nombre de modules d'activité.

À la base du site Web EduTools-WCET [168], qui répertorie plus de 150 produits LMS et qui a comparé les 47 fonctionnalités et capacités de ce système (Tableau 2.3), ainsi que celles basées sur des technologies récentes et avancées telles que le cloud computing, la formation à distance, Tan Can Api [169] [170].

Tableau 2.3: Caractéristiques et capacités du LMS.

|   |   |
|---|---|
| <b>a) Outils de communication</b>               | <b>f) Outils de développement de contenu</b>              |
| Forum de discussion                             | Outils de développement de contenu                        |
| Gestion de discussion                           | Partage / réutilisation de contenu                        |
| Échange de fichiers                             | Modèles de cours  |
| Email interne                                   | Personnaliser l'apparence                                 |
| Journal en ligne / Notes                        | Outils de conception pédagogique                          |
| Chat en temps réel                              | Conformité aux normes pédagogiques                        |
| Tableau blanc                                   | <b>g) Outils matériels / logiciels</b>                    |
| <b>b) Outils de productivité</b>                | Navigateur client requis                                  |
| Signets   | Exigences de base de données                              |
| Calendrier / Examen des progrès                 | Serveur UNIX  |
| Travailler hors connexion / Synchroniser        | Serveur Windows   |
| Rechercher dans le cours                        | <b>h) Informations sur la société / outils de licence</b> |
| Orientation / Aide                              | Profil de la société                                      |
| <b>c) Outils de participation des étudiants</b> | Coûts / Licence   |
| Travail de groupe                               | Open source   |
| Réseau communautaire                            | Suppléments en option                                     |
| Portfolios étudiants                            | <b>i) Outils de technologie d'apprentissage</b>           |
| <b>d) Outils d'administration</b>               | Informatique en nuage                                     |
| Authentification                                | Mobile learning   |
| Autorisation de cours                           | Apprentissage social                                      |
| Registration Integration                        | Live / Visioconférence                                    |
| Services hébergés                               | Tin Can API   |
| <b>e) Outils de prestation de cours</b>         |   |
| Types de test                                   | Carnet de notes en ligne                                  |
| Gestion des tests automatisés                   | Gestion de cours  |
| Support de test automatisé                      | Suivi des étudiants                                       |
| Outils de marquage en ligne                     |   |

### 4. Comparaison basée sur les fonctionnalités de LMS

Après avoir vu les aspects positifs et négatifs des LMSs. Dans cette étape, nous effectuerons une étude comparative basée sur les caractéristiques et les capacités de LMS. Pour simplifier, nous les diviserons en huit catégories (Tableau 2.4) : outils de communication, outils de productivité, outils de participation des élèves, outils d'administration, outils de prestation

## Chapitre 2 - Études Comparatives des Systèmes d'Apprentissage à Distance

de cours, des outils de développement de contenu, des outils de spécifications techniques et enfin des outils de technologies d'apprentissage.

Tableau 2.4: Caractéristiques et Qualités des Huit LMSs.

| Type Of LMS                         | Open Source    |        |        |       | Commercial   |                                |            |                                 |
|-------------------------------------|----------------|--------|--------|-------|--------------|--------------------------------|------------|---------------------------------|
| No                                  | 1              | 2      | 3      | 4     | 5            | 6                              | 7          | 8                               |
| Criteria                            | 4toLRN/OpenACS | Canvas | Moodle | Sakai | Desire2Learn | The Blackboard Learning System | Edvance360 | Elum Learning Management System |
| <b>1. Communication Tools</b>       |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Discussion Forum                    | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Discussion Management               | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| File Exchange                       | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Internal Email                      | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Online Journal/Notes                | 0              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Real-time Chat                      | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 0                               |
| Whiteboard                          | 0              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 0          | 1                               |
| Number of characteristics           | 7              | 7      | 7      | 7     | 7            | 7                              | 7          | 7                               |
| Number of available characteristics | 5              | 7      | 7      | 7     | 7            | 7                              | 6          | 6                               |
| <b>2. Productivity Tools</b>        |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Bookmarks                           | 1              | 1      | 0      | 1     | 1            | 0                              | 1          | 1                               |
| Calendar/Progress Review            | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Searching Within Course             | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 0          | 1                               |
| Work Offline/Synchronize            | 0              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Orientation/Help                    | 0              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Number of characteristics           | 5              | 5      | 5      | 5     | 5            | 5                              | 5          | 5                               |
| Number of available characteristics | 3              | 5      | 4      | 5     | 5            | 4                              | 4          | 5                               |
| <b>3. Student Involvement Tools</b> |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Group Work                          | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 0          | 1                               |
| Community Networking                | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Student Portfolios                  | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Number of characteristics           | 3              | 3      | 3      | 3     | 3            | 3                              | 3          | 3                               |
| Number of available characteristics | 3              | 3      | 3      | 3     | 3            | 3                              | 2          | 3                               |
| <b>4. Administration Tools</b>      |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Authentication                      | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Course Authorization                | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Registration Integration            | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Hosted Services                     | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Number of characteristics           | 4              | 4      | 4      | 4     | 4            | 4                              | 4          | 4                               |
| Number of available characteristics | 4              | 4      | 4      | 4     | 4            | 4                              | 4          | 4                               |
| <b>5. Course Delivery Tools</b>     |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Test Types                          | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Automated Testing Management        | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Automated Testing Support           | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Online Marking Tools                | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Online Gradebook                    | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Course Management                   | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Student Tracking                    | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Number of characteristics           | 7              | 7      | 7      | 7     | 7            | 7                              | 7          | 7                               |
| Number of available characteristics | 7              | 7      | 7      | 7     | 7            | 7                              | 7          | 7                               |
| <b>6. Content Development Tools</b> |                |        |        |       |              |                                |            |                                 |
| Content Development Tools           | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Content Sharing/Reuse               | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 0                              | 1          | 1                               |
| Course Templates                    | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Customized Look and Feel            | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Instructional Design Tools          | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Instructional Standards Compliance  | 1              | 1      | 1      | 1     | 1            | 1                              | 1          | 1                               |
| Number of characteristics           | 6              | 6      | 6      | 6     | 6            | 6                              | 6          | 6                               |
| Number of available characteristics | 6              | 6      | 6      | 6     | 6            | 5                              | 6          | 6                               |

| 7. Technical Specifications Tools   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A. Hardware/Software                |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Client Browser Required             | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Database Requirements               | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| UNIX Server                         | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Windows Server                      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| B. Company Details/Licensing        |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Company Profile                     | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Costs / Licensing                   | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Open Source                         | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Optional Extras                     | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Number of characteristics           | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Number of available characteristics | 4 | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| 8. Learning Technologies Tools      |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Cloud learning                      | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mobile learning                     | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Social learning                     | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Live / Video Conferencing           | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Tin Can API                         | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Number of characteristics           | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Number of available characteristics | 0 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 |

Comme nous pouvons le voir dans le Tableau 2.4, nous avons calculé les caractéristiques totales disponibles de chacune de ces huit catégories d'outils qui seront utilisées dans l'étape suivante pour développer une analyse multicritères basée sur les huit plateformes LMS sélectionnées.

## 5. Étude comparative multicritères

Après avoir vu les forces et les faiblesses du LMS ainsi que leur comparaison basée sur les caractéristiques et les capacités, nous allons réaliser une analyse multicritères de ces plateformes LMS basée sur la méthode de la somme pondérée.

### 5.1. La méthode de la somme pondérée WSM :

Dans notre analyse multicritères, WSM est une méthode MCDM [171] bien connue et la plus simple pour évaluer un certain nombre d'alternatives (plateformes LMS) en fonction d'un certain nombre de critères [172]. *Pour le cas de la maximisation, la meilleure alternative est celle qui obtient la valeur totale maximale de la performance*

$$A_i^{WSM-score} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \text{ for } i=1, 2, 3, \dots, m. \quad (1)$$

Où :  $A_i^{WSM-score}$  est le score WSM de la meilleure alternative,  $n$  est le nombre de critères de décision,  $a_{ij}$  est la valeur réelle de la  $i$ -ème alternative en termes du  $j$ -ème critère et  $w_j$  est le poids de importance du critère  $j$ .

L'hypothèse qui régit ce modèle est l'hypothèse de l'utilité additive. En d'autres termes, la valeur totale de chaque alternative est égale à la somme des produits indiquée sous la forme (1). Dans les cas unidimensionnels, où toutes les unités sont identiques (par exemple, dollars, pieds,

secondes), le WSM peut être utilisé sans difficulté. La difficulté avec cette méthode apparaît lorsqu'elle est appliquée à des problèmes multidimensionnels de MCDM. Ensuite, en combinant différentes dimensions, et par conséquent différentes unités, l'hypothèse d'utilité de l'additif est violée et le résultat est équivalent à "l'ajout de pommes et d'oranges".

### 5.2. Analyse Multicritères Des LMS Commerciaux Et Open Source en appliquant la méthode WSM

Dans cette étape, nous définissons huit critères de comparaison possibles que nous utiliserons dans l'étude comparative. Nous constatons que ces critères ont été récupérés à partir de l'analyse SWOT et la comparaison des caractéristiques et des capacités des plates-formes LMS présentées auparavant.

Nous avons résumé toutes les fonctionnalités et capacités en huit critères globaux pour assurer une meilleure analyse et optimisation de la comparaison, ces critères sont [173] :

**C1 – Communication and Collaboration (CC) :** Le système de gestion de l'apprentissage s'appuie sur des fonctionnalités intégrées permettant aux apprenants et aux tuteurs de communiquer, de partager et d'échanger des contenus dans le cadre d'un apprentissage en ligne collaboratif.

**C2 – Productivity and Scalability (PS) :** Ce critère fournit un ensemble de moyens permettant aux apprenants de documenter et de développer leurs plans de cours, de créer et de rechercher dans un cours, et de revenir facilement à des pages importantes garantissant des niveaux différents.

**C3 – Student Involvement (SI) :** Ce critère doit permettre à l'instructeur d'assigner des tâches ou des projets spécifiques et de permettre aux étudiants de créer des objets d'implication et de collaboration sans intervention de l'instructeur, ainsi que des zones dans lesquelles ils peuvent présenter leur travail dans le cadre d'un cours.

**C4 – Administration and Security (AS) :** Ce critère est de permettre aux acteurs autour d'un LMS de se connecter dans de bonnes conditions de gestion. Il est donc essentiel de protéger et de gérer le contrôle d'accès et les droits des utilisateurs des plateformes d'apprentissage en ligne.

**C5 – Reporting and Course Delivery (CD) :** ce critère comprend les services du système pour importer et exporter les tests et les tests des banques ainsi que l'analyse statistique des

résultats des tests et pour suivre l'utilisation des supports de cours par les étudiants, ainsi que pour effectuer une analyse supplémentaire et un rapport sur l'utilisation globale et individuelle.

**C6 – Content Development and Conformance (CDC) :** Ce critère signifie la conformité des normes éducatives pour partager le matériel didactique avec d'autres systèmes d'apprentissage en ligne, ainsi que d'autres facteurs susceptibles d'influencer la décision de passer de ce produit à un autre. Outils de conception pédagogique et aider les instructeurs à créer la structure initiale d'un cours en ligne.

**C7 – Technical Specifications (TS) :** il définit les exigences matérielles et logicielles et les conditions requises par le système de gestion de l'apprentissage, ainsi que des informations sur les licences et autres coûts de démarrage.

**C8 – Learning Technology Specifications (LTS) :** Ce critère, axé sur les spécifications des nouvelles technologies, permet aux apprenants de gérer les plates-formes réactives basées sur des appareils mobiles et est fortement axé sur le partage, le stockage massif de données, un accès facile pour surmonter les obstacles liés à l'apprentissage mobile en fonction de l'utilisation du cloud computing. Et d'autres nouvelles technologies pour le futur de l'interopérabilité comme l'API Tin Can.

Ces critères sont classés en fonction de l'importance prioritaire suivante :

*(Du plus important au moins important)*

***Content Development and Conformance = Administration and Security = Cloud and Mobile Learning > Communication and Collaboration = Student Involvement = Reporting and Course Delivery > Productivity and Scalability = Technical Specifications***

Par conséquent, le poids de WSM est donné comme représenté dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.5) :

Tableau 2.5: Les Poids des Critères.

| Criteria   | Weight |
|--|--------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Content Development and Conformance</li><li>▪ Cloud Learning</li><li>▪ Mobile Learning</li><li>▪ Technical Specifications</li></ul>                  | 3      |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Communication and Collaboration</li><li>▪ Productivity and Scalability</li><li>▪ Student Involvement</li><li>▪ Administration and Security</li></ul> | 2      |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Reporting and Course Delivery</li></ul>  | 1      |

## Chapitre 2 - Études Comparatives des Systèmes d'Apprentissage à Distance

Après préparation des critères de décision avec leurs poids assignés, il est nécessaire d'effectuer la matrice de choix multicritères en utilisant la méthode WSM en comparant les plateformes LMS sur les colonnes de la matrice et les différents critères sur les lignes avec le poids assigné à chaque critère en fonction de son importance. Dans les cellules, c'est le score donné à chaque critère d'une plateforme LMS basé sur une étude comparative détaillée du LMS, ce score peut avoir trois valeurs : 3 signifie GOOD, 2 signifie MEDIUM, et 1 signifie LOW.

Le tableau ci-dessous (Tableau 2.6) illustre la matrice de choix multicritères résultante :

Tableau 2.6: Matrice de Choix Multicritères.

| Types of LMS                                  |        | Open Source    |             |             |             | Commercial   |                                |             |                                 |
|---|--------|----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------|
| No  |        | 1              | 2           | 3           | 4           | 5            | 6                              | 7           | 8                               |
|   | Weight | dotLRN/OpenACS | Canvas      | Moodle      | Sakai       | Desire2Learn | The Blackboard Learning System | Edvance360  | Elan Learning Management System |
| <b>CC: Communication and Collaboration</b>    | 2      | 1*2            | 2*2         | 3*2         | 2*2         | 2*2          | 2*2                            | 1*2         | 1*2                             |
| <b>PS: Productivity and Scalability</b>       | 2      | 1*2            | 3*2         | 2*2         | 3*2         | 3*2          | 2*2                            | 2*2         | 1*2                             |
| <b>SI: Student Involvement</b>                | 2      | 3*2            | 3*2         | 3*2         | 3*2         | 3*2          | 3*2                            | 2*2         | 3*2                             |
| <b>AS: Administration and Security</b>        | 2      | 3*2            | 3*2         | 3*2         | 2*2         | 2*2          | 3*2                            | 3*2         | 3*2                             |
| <b>RCD: Reporting and Course Delivery</b>     | 1      | 3*1            | 3*1         | 3*1         | 3*1         | 3*1          | 3*1                            | 3*1         | 3*1                             |
| <b>CDC: Content Development and Confor</b>    | 3      | 3*3            | 3*3         | 3*3         | 2*3         | 3*3          | 2*3                            | 3*3         | 2*3                             |
| <b>TS: Technical Specifications</b>           | 3      | 1*3            | 2*3         | 3*3         | 2*3         | 2*3          | 3*3                            | 3*3         | 2*3                             |
| <b>LTS: Learning Technology Specification</b> | 3      | 1*3            | 3*3         | 3*3         | 2*3         | 2*3          | 2*3                            | 2*3         | 3*3                             |
| <b>WSM</b>                                    |        | <b>1,89</b>    | <b>2,72</b> | <b>2,89</b> | <b>2,28</b> | <b>2,44</b>  | <b>2,44</b>                    | <b>2,39</b> | <b>2,22</b>                     |

L'histogramme ci-dessus (Figure 2.7) illustre le score final pour chaque LMS. Le meilleur score est de 2,89 / 3. Nous pouvons affirmer qu'aucun de ces systèmes d'E-learning ne pourrait atteindre le score parfait de 3/3 selon cette étude comparative. Le résultat de l'étude indique que le score global des plateformes Moodle et Canvas est plus élevé que celui des autres systèmes d'apprentissage en ligne avec un score de 2,89 / 3 et 2,72 / 3 respectivement et ils ont toujours les meilleurs scores sur tous des critères sélectionnés. Deux systèmes d'apprentissage commercial Le Blackboard Learning System et Desire2learn avec un score de 2,44 / 3. D'autres systèmes d'apprentissage viennent en dernier, respectivement, les suit ; Edvance360 avec un score de 2,39, Sakai de 2,28, Elan Learning Management System de 2,22 et dotLRN avec un score de 1,89 est le plus bas.

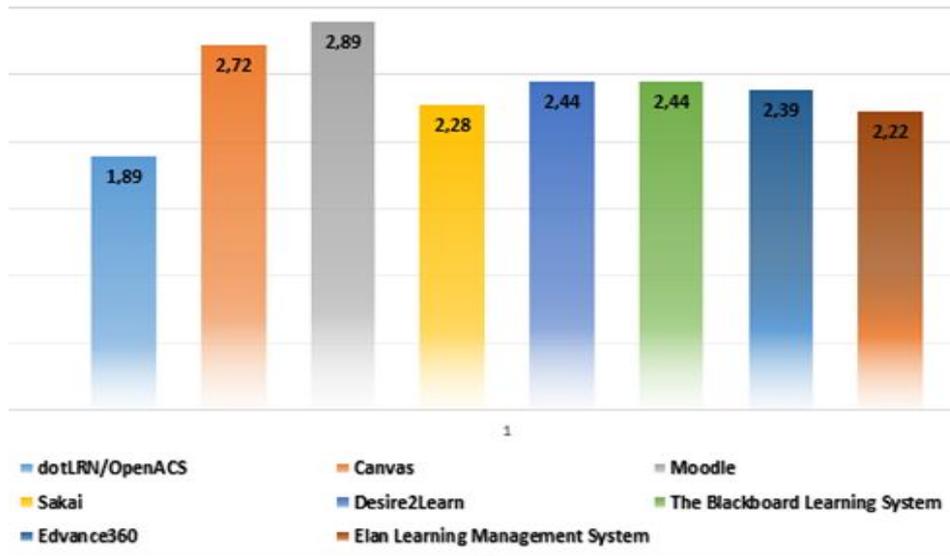


Figure 2.7: Score Final par LMS.

Les systèmes Canvas et Moodle sont tous deux des systèmes d'apprentissage en ligne open source, on peut également dire que les systèmes d'E-learning open source sont très bien classés par rapport aux systèmes d'E-learning commerciaux.

### III. Analyse Multicritères de l'Interopérabilité des LMS en utilisant la Méthode COPRAS

Cette partie spéculé sur une analyse multicritère de l'interopérabilité des LMS, la plus pertinente en usage aujourd'hui. Les quatre LMSs font l'objet d'études ont été choisis selon notre étude multicritère sur les LMSs open source et propriétaire déjà présentée dans la section précédente. Cette analyse multicritère de l'interopérabilité est basée sur des critères choisis minutieusement et résolus en utilisant une analyse multicritères en appliquant la méthode d'évaluation proportionnelle complexe (COPRAS).

#### 1. La Méthode AHP

Le processus de hiérarchie analytique (AHP) [174] [175] décompose un problème complexe de MCDM en un système de hiérarchies (plus de détails sur ces hiérarchies dans [174]). La dernière étape de l'AHP concerne la structure d'une matrice  $m \times n$  (où  $m$  est le nombre d'alternatives et  $n$  le nombre de critères). La matrice est construite en utilisant les importances relatives des alternatives en fonction de chaque critère. Le vecteur  $(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{in})$  de chaque  $i$  est le principal vecteur propre d'une matrice réciproque  $n \times n$  qui est déterminé par comparaison par paires de l'impact des  $m$  alternatives sur le  $i$ -ème critère.

L'importance de l'AHP, ses variantes, et l'utilisation de comparaisons par paires dans la prise de décision est le mieux illustré dans plus de 1000 références citées dans [174]. Un certain nombre de numéros spéciaux dans des revues à comité de lecture ont été consacrés au AHP et à l'utilisation de comparaisons par paires dans la prise de décision.

Certaines preuves sont présentées dans [174], qui appuient la technique de la comparaison par paires pour obtenir des évaluations numériques de phénomènes qualitatifs d'experts et de décideurs. Cependant, nous ne nous intéressons pas ici aux avantages et inconvénients possibles des méthodes de comparaison par paires et de vecteurs propres pour déterminer les valeurs  $a_{ij}$ . Au lieu de cela, nous examinons la méthode utilisée dans le AHP pour traiter les valeurs  $a_{ij}$  après leur détermination. L'entrée  $a_{ij}$  dans la matrice  $m \times n$  représente la valeur relative de la variante  $A_i$ .

Quand il est considéré en termes de critère C ; Dans l'AHP d'origine, la somme  $\sum_{i=1}^n a_{ij}$  est égale à un.

Selon l'AHP, la meilleure alternative (dans le cas de la maximisation) est indiquée par la relation suivante (2) :

$$A_{AHP-score}^* = \max_1 \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j, \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (2)$$

La similitude entre le WSM et le AHP est claire. Le AHP utilise des valeurs relatives au lieu de celles réelles. Ainsi, il peut être utilisé dans des problèmes de prise de décision à une ou plusieurs dimensions.

## 2. Sélection de Systèmes d'Apprentissage en Ligne

Un certain nombre d'outils LMS développés au cours des vingt dernières années sont toujours utilisés et en cours de développement (Figure 2.8). Certains de ces systèmes de gestion de l'apprentissage peuvent fournir du contenu et permettre aux étudiants d'accéder à leurs cours via les appareils mobiles, tandis que d'autres ne le peuvent pas [176]. Certaines donnent aux utilisateurs la possibilité de mettre en œuvre une variété d'approches, telles que se concentrer sur le contenu, centrée sur l'activité, centrée sur le réseau, linéaire et ramification [176].

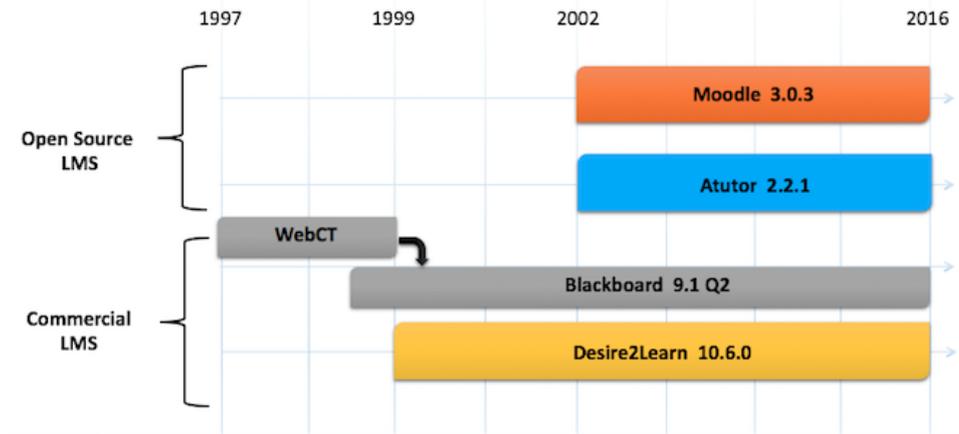


Figure 2.8: Chronologie du développement des majeurs LMSs.

"Figure 2.8" montre l'évolution des principaux systèmes de gestion de l'apprentissage sur une architecture de développement commercial, mais depuis le début de ce siècle, il y a eu une évolution vers les systèmes open source. De plus, les systèmes commerciaux restent pertinents et devraient être inclus dans un échantillon représentatif de systèmes de gestion de l'apprentissage [177]. La perspective la plus importante ici est l'interopérabilité, qui a incité les universités les plus célèbres à prendre l'initiative de choisir l'un des deux types de système, y compris ce point de vue. Cependant, nous avons décidé de concentrer notre étude sur les systèmes LMS selon le Tableau suivant:

Tableau 2.7: LMS commerciaux et open source [177].

| Types       | LMS          | Founded Year | Version |
|-------------|--------------|--------------|---------|
| Open Source | Moodle       | 2002         | 3.0.3   |
|             | Atutor       | 2002         | 2.2.1   |
| Commercial  | Blackboard   | 1997         | 9.1 Q2  |
|             | Desire2Learn | 1999         | 10.6.0  |

### 3. Choix des critères de poids en utilisant la méthode AHP

#### 3.1. Sélection des critères d'évaluation

À la base de la recherche et des efforts axés sur l'interopérabilité des études sur les systèmes d'apprentissage en ligne [173] [178] [179] [180] [181] [182] [183] et aussi sur le site EduTools WCET [198] qui répertorie plus de 190 produits LMS, comparant 47 critères et caractéristiques du LMS. Nous définissons huit critères d'analyse possibles, que nous utiliserons dans l'étude multicritères pour assurer une meilleure analyse et optimisation, et ces critères sont les suivants [177] :

**Architecture Globale et Implémentation (C1) :** l'évolutivité, la modularité et l'extensibilité du système ; Possibilité de plusieurs installations sur une même plateforme ; optimisations de performances raisonnables ; l'apparence est configurable ; Sécurité.

**Internationalisation et Localisation (C2) :** interface utilisateur localisable ; Localiser les langues pertinentes ; Edition Unicode et stockage de texte ; Fuseaux horaires et date du lieu ; Support de langue alternatif.

**Accessibilité (C3) :** Conception de contrôles et de formats de présentation adaptés aux apprenants handicapés et mobiles : conformité aux normes d'accessibilité (W3C) [183], prise en charge du texte de navigation uniquement ; polices et graphiques évolutifs.

**Conformité (C4) :** L'intégration est simple. Prise en charge des normes LMS (IMS Content Packaging, SCORM), amélioration de SCORM (Tin Can API) [170]. C'est également IMS Learning Design (LD) (ainsi que les outils de conformité LD, par exemple, RELOAD, LAMS, etc.) permettant de créer et de réutiliser des unités d'apprentissage et IMS Common Cartridge [207].

**Design et Utilisabilité (C5) :** Conception d'informations visuelles et auditives pour améliorer la formation et l'efficacité du traitement mental : Esthétique ; La navigation ; Interface conviviale ; structuration de l'information ; Personnalisation.

**Extensibilité (C6) :** est en principe possible pour tous les produits open source. Par exemple, un bon style de programmation, la disponibilité d'une interface de programmation d'application (API) documentée.

**Adaptabilité (C7) :** comprend toutes les facilités pour personnaliser la plateforme pour les besoins d'un établissement d'enseignement.

**Portabilité (C8) :** est la capacité du logiciel à être transféré d'un environnement à un autre [183].

### 3.2. Application de la méthode AHP

Le processus de hiérarchie analytique (AHP) est une méthode de prise de décision multicritères développée par Thomas Saaty [175]. AHP permet aux décideurs de modéliser un problème complexe dans une structure hiérarchique, en montrant les relations entre le but, les objectifs (critères) et les alternatives. AHP est composé de plusieurs composants tels que la structuration hiérarchique de la complexité, les comparaisons par paires, les jugements, une méthode de vecteur propre pour dériver des poids, et des considérations de cohérence.

Le processus de hiérarchie analytique (AHP) comprend les étapes suivantes :

1) Définir les critères de décision sous la forme d'une hiérarchie d'objectifs

AHP utilise une comparaison normalisée pour l'importance relative montrée dans le tableau suivant, à des fins de comparaison, fait des comparaisons en utilisant "Critères 1-9 Proportion" (Tableau 2.8).

Tableau 2.8: Échelle de comparaison des attributs.

| Intensité d'importance                 | Définition                           |
|--|--------------------------------------|
| 1                                      | Importance égale (sans préférence)   |
| 2                                      | Intermédiaire entre 1 et 3           |
| 3                                      | Modérément plus important            |
| 4                                      | Intermédiaire entre 3 et 5           |
| 5                                      | Fortement plus importante            |
| 6                                      | Intermédiaire entre 5 et 7           |
| 7                                      | Très fortement important             |
| 8                                      | Intermédiaire entre 7 et 9           |
| 9                                      | Extrêmement fortement plus important |
| 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9 | Inverses de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 |

2) Développement de matrices de jugement A par comparaisons par paires

$$A = \{a_{ij}\} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

3) Après une matrice de jugement, un vecteur de priorité est calculé pour pondérer les éléments de la matrice

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

4) Après la génération du vecteur de priorité, une incohérence dans la comparaison par paire peut se produire en raison d'une erreur subjective de jugement humain

Par conséquent, il est important de vérifier la cohérence de la réponse à l'aide d'un indice de cohérence (CI) en utilisant l'équation suivante.

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (5)$$

$$CR = CI/RCI \quad (6)$$

Tableau 2.9: Matrice de Jugement.

| Matrice de Jugement | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|---------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| RI                  | 0.0 | 0.0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 |

Lorsque le  $CR < 0,10$ , nous pensons que la matrice de jugement a une consistance satisfaisante (tableau 2.9). Sinon, les matrices de comparaison ne sont pas cohérentes ; nous devrions ajuster les éléments dans les matrices et effectuer un test de cohérence jusqu'à ce qu'ils soient cohérents.

Dans notre étude, nous avons trouvé à la suite de la cohérence (CR) reçu  $CR = 0,09$  qui est inférieur à 0,1, de sorte que la comparaison est cohérente.

Nous pouvons calculer les poids de la structure hiérarchique pour l'évaluation de l'interopérabilité des LMSs par la méthode AHP. Les poids exacts des critères sont obtenus et qui sont montrés dans le tableau suivant (tableau 2.10) :

Tableau 2.10: Les Poids des Critères.

| Criteria                                | Weight |
|---|--------|
| Architecture et Implémentation Globales | 0,038  |
| Internationalisation et Localisation    | 0,155  |
| Accessibilité                           | 0,058  |
| Conformité                              | 0,068  |
| Design et Utilisabilité                 | 0,165  |
| Extensibilité                           | 0,110  |
| Adaptabilité                            | 0,186  |
| Portabilité                             | 0,220  |

## 4. Sélection des meilleurs LMS en interopérabilité en appliquant la méthode COPRAS

### 4.1. La méthode de décision COPRAS

La méthode COPRAS (COMplex PROportional ASsessment) est présentée par Zavadskas et Kaklauskas [184]. La méthode COPRAS peut être commandée au cas où la recherche viserait à maximiser et à minimiser les critères dans le cadre d'une approche systémique. Cette méthode suppose une dépendance directe et proportionnelle du poids et du degré d'utilité des versions étudiées dans un système d'attributs décrivant de manière adéquate les alternatives avec les valeurs et les poids des attributs [185]. Cette méthode est principalement utilisée pour déterminer la valeur de critères d'évaluation complexes décrivant un objet, intégrant un certain nombre de sous-critères.

Il est également nécessaire d'envisager une méthode d'évaluation du ratio additive pour les critères, les défis et les possibilités multiples [186]. Cette approche est efficace lorsque

chaque alternative est décrite par des critères qualitatifs et quantitatifs avec différentes unités de mesure et différentes directions d'optimisation, et que les valeurs des critères sont normalisées pour obtenir une échelle comparative. Le système hiérarchique de critères décrivant le processus en détail est requis. Les poids des critères sont déterminés par la méthode de comparaison par paires basée sur des évaluations d'experts ou la méthode AHP. La spécificité de la méthode est que l'alternative à l'étude est comparée à l'alternative optimale avec les paramètres fixés par l'auditeur. De cette manière, l'alternative répondant le mieux à des conditions spécifiques peut être choisie.

La détermination de la signification et de la priorité des alternatives, selon la méthode COPRAS, peut être présentée de manière concise en appliquant les étapes suivantes [187] :

- 1) Construire la matrice de décision normalisée  $R$  pour la normalisation dans la méthode COPRAS, la formule suivante est utilisée :**

$$R = r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (7)$$

Où  $a_{ij}$  est la performance de l' $i^{\text{ème}}$  alternative par rapport au  $j^{\text{ème}}$  critère est sa valeur normalisée, et  $m$  est le nombre d'alternatives.

- 2) Former la matrice de décision normalisée pondérée. La valeur normalisée pondérée est calculée en utilisant la formule :**

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Où  $w_j$  représente le poids / l'importance des  $j^{\text{èmes}}$  critères / attributs, et  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

- 3) Construire la matrice de décision normalisée  $R$  pour la normalisation dans la méthode COPRAS, la formule suivante est utilisée :**

$$P_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \mid j \in j^{\max}, i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \mid j \in j^{\min}, i = 1, \dots, m \quad (10)$$

Où :  $j^{\max}$  représente un ensemble de critères / attributs de revenus et  $j^{\min}$  un ensemble de critères / attributs de dépenses.

- 4) Calculer l'importance relative (poids) de chaque alternative. L'importance relative (poids)  $Q_i$  de l' $i$ ème alternative est calculée comme suit :

$$Q_i = P_i + \frac{\min R_i \sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{\min R_i}{R_i}} \quad (11)$$

La formule  $R_i$  peut également être écrite sous une forme simplifiée comme suit :

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{1}{R_i}} \quad (12)$$

- 5) Déterminer l'ordre de priorité des alternatives. L'ordre de priorité des alternatives comparées est déterminé sur la base de leur poids relatif. L'alternative avec un poids relatif plus élevé a une priorité plus élevée (rang), et l'alternative avec le poids relatif le plus élevé est l'alternative la plus acceptable.

$$A^* = \{A_i | \max Q_i\} \quad (13)$$

## 4.2.Choix du meilleur LMS en appliquant la méthode COPRAS

Pour une matrice de décision donnée :

Tableau 2.11: Matrice de Décision.

| Weight   | 0,038 | 0,155 | 0,058 | 0,068 | 0,165 | 0,110 | 0,186 | 0,220 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Opt      | Min   | Max   | Min   | Max   | Max   | Max   | Max   | Max   |
| Criteria | C1    | C2    | C3    | C4    | C5    | C6    | C7    | C8    |
| Alt      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A1       | 6,5   | 8     | 1     | 14    | 8,5   | 7     | 2     | 13    |
| A2       | 12    | 12,5  | 1,15  | 18    | 12    | 12,5  | 1,15  | 19    |
| A3       | 13,5  | 18,5  | 1,3   | 22    | 15,5  | 18,5  | 1,3   | 23    |
| A4       | 10,9  | 10,5  | 1,2   | 10    | 10,9  | 10,5  | 2,2   | 11    |

Pour la matrice de décision ci-dessus (Tableau 2.11) la procédure consiste à sélectionner la solution la plus acceptable en utilisant la méthode de COPRAS et en appliquant les étapes suivantes :

- 1) Matrice de décision normalisée R :

$$R = \begin{bmatrix} 0,151 & 0,162 & 0,215 & 0,219 & 0,181 & 0,144 & 0,301 & 0,197 \\ 0,280 & 0,253 & 0,247 & 0,281 & 0,256 & 0,258 & 0,173 & 0,288 \\ 0,315 & 0,374 & 0,280 & 0,344 & 0,330 & 0,381 & 0,195 & 0,348 \\ 0,254 & 0,212 & 0,258 & 0,156 & 0,232 & 0,216 & 0,331 & 0,167 \end{bmatrix} \quad (14)$$

- 2) Matrice de décision normalisée pondérée  $V_{ij}$  :

$$W = [0,038 \quad 0,155 \quad 0,058 \quad 0,068 \quad 0,165 \quad 0,110 \quad 0,186 \quad 0,220] \quad (15)$$

$$V = W * R \quad (16)$$

$$V = \begin{bmatrix} 0,006 & 0,025 & 0,012 & 0,015 & 0,030 & 0,016 & 0,056 & 0,043 \\ 0,011 & 0,039 & 0,014 & 0,019 & 0,042 & 0,028 & 0,032 & 0,063 \\ 0,012 & 0,058 & 0,016 & 0,023 & 0,055 & 0,042 & 0,036 & 0,077 \\ 0,010 & 0,033 & 0,015 & 0,011 & 0,038 & 0,024 & 0,062 & 0,037 \end{bmatrix} \quad (17)$$

3) La valeur de P et R

$$P = \begin{bmatrix} 0,185 \\ 0,224 \\ 0,291 \\ 0,204 \end{bmatrix} \quad (18) \quad R = \begin{bmatrix} 0,018 \\ 0,025 \\ 0,028 \\ 0,025 \end{bmatrix} \quad (19)$$

4) La performance résultante de chaque LMS et choisir le plus approprié

$$Q_i = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,691 \\ 0,593 \\ 0,618 \\ 0,578 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{matrix} \quad (20)$$

5) Les résultats finaux des performance selon l'ordre de priorité; **le plus acceptable était A1 (Moodle)**

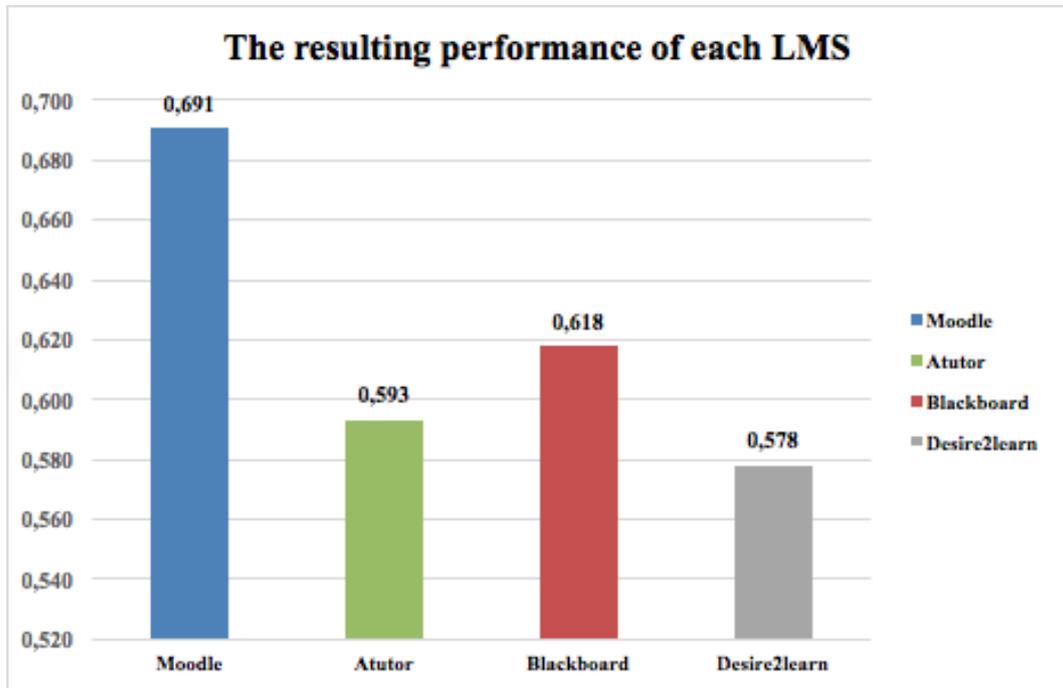


Figure 2.9: Score Final de Performance par LMS.

La Figure 2.9 montre la distribution des quatre courbes représentant les résultats finaux des performances de chaque LMS par rapport aux critères de comparaison.

Le meilleur score de performance est  $Q = 0,691$ . Nous pouvons affirmer qu'aucun de ces systèmes d'apprentissage en ligne ne pourrait atteindre le score parfait selon cette étude comparative. Les résultats de l'étude indiquent que le score global des plateformes Moodle est plus élevé que celui des autres systèmes d'apprentissage en ligne avec un score de  $Q = 0,691$ , est le bon choix dans les conditions existantes et il a toujours le meilleur score sur tous les critères sélectionnés. Le système commercial, Blackboard Learning System avec un score de  $Q = 0,618$ , les autres systèmes d'apprentissage viennent en dernier, respectivement, les suit ; ATutor avec un score de  $Q = 0,593$ , Desire2Learn de  $Q = 0,578$  qui est le plus bas.

### IV. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître l'utilité de l'apprentissage en ligne dans le domaine de l'éducation et de comprendre le concept de systèmes de gestion de l'apprentissage et l'importance de chacun de leurs types ; Commercial et open source, afin de les classer à l'aide de méthodes d'analyse multicritères selon des critères définis.

Nous avons effectué une première étude comparative détaillée de ces systèmes de gestion de l'apprentissage en se basant sur l'analyse SWOT, ensuite l'application d'une méthode d'analyse WSM afin de sélectionner le meilleur système.

Nous avons également effectué une deuxième étude comparative multicritères détaillée des quatre systèmes de gestion de l'apprentissage les plus représentatifs. La méthodologie proposée est d'appliquer dans un premier temps, la méthode de base AHP pour déterminer les poids des critères, ensuite la comparaison était basée sur la méthode COPRAS qui facilitera la sélection des meilleurs des systèmes de gestion de l'apprentissage à l'aide des critères spécialement choisis et focalisés sur l'interopérabilité de ces systèmes. Nous avons vu que ces systèmes LMS sont toujours en développement et en perspective, que ce soit en conformité du contenu des plateformes d'apprentissage utilisant les concepts récents tels que SCORM et Tin Can API, l'évolutivité et l'accessibilité (W3C) des systèmes d'apprentissage en ligne sur la base des technologies d'apprentissage mobiles.

# Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

*“E-Learning is now shifting from a chaotic “no standards” stage, to a phase of rules’ and standards’ definition in an attempt to avoid the Babel syndrome”*

[Varlamis et al. [2006]]

## **Résumé**

Ce chapitre présente les progrès et l'évolution de la normalisation et l'interopérabilité du contenu des systèmes de e-learning. Fondamentalement, il se concentre spécifiquement sur les normes d'e-learning les plus répandues et émergentes d'organisations bien connues et qui contribuent à assurer l'interopérabilité, à réutiliser et à maintenir un contenu de haute qualité lorsqu'un échange transfère ainsi des données entre des systèmes et des applications d'e-learning.

Il se concentre également sur quatre organisations, chacune jouant un rôle dans le développement de l'interopérabilité des normes E-learning. Pour cette étude, nous avons d'abord essayé de fournir une chronologie détaillée pour chaque norme qui fournira une vue d'ensemble contenant une description bien conçue des normes, des spécifications telles que (SCORM, xAPI) pour ADL, et d'autres normes et spécifications d'interopérabilité ainsi leurs forces et les faiblesses. Nous parlons également d'un récent projet de collaboration entre organisations, qui a été développé par AICC et ADL comme CMI-5.

Enfin, une discussion sur l'évolution des normes d'interopérabilité pour le e-learning et son impact sur les plateformes de l'enseignement supérieur et leurs perspectives avec les nouvelles technologies telles que le Mobile Learning est présentée qui nous a aidé de révéler le problème d'hétérogénéité croissante des système d'apprentissage à distance.

## **I. Introduction**

Les normes jouent un rôle essentiel dans le développement d'applications logicielles. Leur venue indique un certain niveau de maturité et de succès commercial. Sur la base de leur caractère normatif, elles assurent l'interopérabilité et l'intégration des systèmes grâce à un consensus des parties prenantes sur les normes acceptées, ainsi que sur les critères de certification [188]. En outre, pour réussir, les entreprises doivent choisir un ensemble de normes distinct et les appliquer strictement [189].

Une distinction claire doit être faite entre les domaines technologiques dans le processus d'établissement de normes. Par exemple, les normes relatives au matériel reposent généralement sur des paramètres mesurables de systèmes physiques, tandis que les normes relatives aux technologies de l'information deviennent souvent des spécifications normatives et informatives, [188]. En conséquence, les normes normatives se font concurrence pour devenir la norme de l'industrie. Il existe bien sûr des opportunités commerciales pour les entreprises dont les normes de propriété industrielle deviennent des normes de l'industrie en les distribuant dans le domaine public [188]. À la fin, le standard gagnant est défini par sa facilité de mise en œuvre et son adoption généralisée.

Le but ultime des entreprises qui développent des LO (Objets d'apprentissage) [189] est de les rendre interopérables entre différents LMS [189]. En conséquence, au cours de la dernière décennie, le secteur de l'apprentissage en ligne a lancé plusieurs initiatives visant à élaborer des normes et des spécifications sectorielles visant à promouvoir l'utilisation du matériel d'apprentissage, l'interopérabilité et l'intégration [190] [191].

Basé sur l'introduction générale au sujet de l'e-learning dans le chapitre 1, ce chapitre se concentre sur la présentation des normes d'apprentissage en ligne les plus importantes à ce jour : SCORM (ADL) et sa prochaine génération, et autres normes. Avant d'examiner ces normes particulières, la première section présente un aperçu du processus de normalisation des technologies d'apprentissage, tandis que la deuxième section illustre la complexité des normes communes actuellement disponibles et également mets les points sur les organisations de standardisation et d'interopérabilité, chacune jouant un rôle dans le développement de l'interopérabilité des normes E-learning ainsi une vue d'ensemble bien détaillée est fournie des normes, des spécifications telles que (SCORM, xAPI) pour ADL, Caliper pour IMS, leurs directives et définir leurs forces et les faiblesses. Nous parlons également d'un récent projet de collaboration entre organisations, qui a été développé par AICC et ADL comme CMI-5. En

conclusion, la troisième section examine les inconvénients évidents des normes actuelles d'apprentissage en ligne.

## **II. Enjeux d'Interopérabilité et de Normalisation des Systèmes d'Apprentissage en Ligne**

### **1. Le défi de l'interopérabilité**

À l'heure actuelle, il existe une énorme quantité de ressources d'apprentissage numériques, principalement élaborées par des universités, des grandes administrations ou des grandes entreprises. Celles-ci offrent à leurs étudiants ou à leurs employés divers moyens de formation assistée par ordinateur (CBT), leur permettant d'acquérir de nouvelles connaissances ou de les mettre à jour. Néanmoins, et comme mentionné précédemment, bien que ces ressources soient exploitables localement - dans le contexte d'une université ou d'une entreprise - le fait que de nombreux environnements logiciels (appelés dans ce cas des Systèmes de Gestion d'Apprentissage en ligne ou LMS) coexistent compromet l'échange de matériel d'apprentissage entre institutions.

La dépendance du matériel d'apprentissage à l'environnement d'apprentissage présente un inconvénient majeur : l'impossibilité de garantir la durabilité. En effet, comment un enseignant, qui a utilisé un LMS pour mettre son matériel didactique en ligne, peut-il être sûr que le LMS en question sera toujours utilisable après quelques années ? Le risque encouru est trop important : redéfinir périodiquement le contenu pour le rendre conforme aux LMS utilisés successivement est tout simplement inacceptable. En outre, l'énorme redondance existante dans le secteur du matériel didactique est perçue comme une entrave au développement et une source de coûts supplémentaires.

Le concept de norme est récurrent dans le domaine des technologies de l'information. Du lecteur de microfilm au logiciel de gestion du courrier électronique, divers utilisateurs se sont rapidement habitués à la gestion de nombreux lecteurs ou logiciels (Eudora, Outlook, Hotmail, etc.). Ces différents lecteurs ou logiciels sont toutefois tous capables de lire un microfilm standard ou de lire et écrire du courrier électronique standard ; il serait en effet impensable que chaque personne utiliserait leur format individuel et devrait se tourner vers de nombreux traducteurs pour pouvoir interpréter différents formats. Un tel état de choses se ferait au détriment de l'interopérabilité et constituerait donc un obstacle à la conception et à l'utilisation des ressources. La question de la normalisation du contenu e-Learning se pose de la même

manière et la conclusion impérative est que l'utilisation de formats standards est essentielle pour répondre aux critères de base de durabilité et d'interopérabilité.

## **2. Types de Normes d'Interopérabilité d'E-learning**

L'interopérabilité est la capacité de différents systèmes d'apprentissage technologique d'informations et d'applications logicielles à communiquer, à échanger des données et à utiliser les informations échangées [193]. Le schéma et les normes d'échange de données devraient permettre le partage des données entre les tuteurs, les apprenants et les enseignants, quel que soit l'application ou le fournisseur d'application [194]

L'apprentissage en ligne comporte deux éléments : contenu et infrastructure à travers lesquels ce contenu est fourni. La mise en place d'une infrastructure d'apprentissage en ligne exige que de nombreux facteurs soient pris en compte, de sorte qu'il est difficile de fournir une liste de contrôle « tout droit-vers l'avant » ou de recette à suivre. Tous les efforts éducatifs sont des systèmes composés de divers composants interconnectés [194], qui doivent être interopérables.

L'interopérabilité est basée sur des accords et au-dessus de ces accords sont partagés plus d'interopérabilité. C'est là que les normes et les spécifications entrent en jeu. Les normes d'interopérabilité E-learning ont pour objectif de fournir des structures de données et des protocoles de communication normalisés pour les objets d'apprentissage en ligne et les flux de travail inter-système [195]. Lorsque ces normes sont intégrées aux produits des fournisseurs, les utilisateurs de l'apprentissage en ligne peuvent acheter du contenu et des composants système auprès de multiples fournisseurs en fonction de leur qualité et de leur pertinence, en étant sûrs qu'ils travailleront efficacement ensemble [196]. Les normes et spécifications d'apprentissage peuvent être organisées en cinq catégories, comme suit :

### **4.1. Metadata**

Le contenu d'apprentissage et les catalogues doivent être étiquetés de manière cohérente pour prendre en charge le stockage d'indexation, la découverte (recherche) et la récupération des objets d'apprentissage par plusieurs outils, via plusieurs référentiels. Les données utilisées à cet effet sont désignées comme des métadonnées d'objets d'apprentissage. Plusieurs initiatives créent des normes de métadonnées : les métadonnées d'objet d'apprentissage, ou LOM des normes de technologie d'apprentissage de l'IEEE [197], et les métadonnées de Dublin Core. De nombreuses autres organisations ont adopté et adapté LOM.

#### ***4.2. Content packaging***

Les spécifications et les normes de contenu d'emballage permettent aux cours d'être transférés d'un système d'apprentissage à un autre. Les initiatives axées sur le contenu des packages incluent : la spécification IMS Content Packaging [198], la spécification IMS Simple Sequencing [198], le modèle SCORM (ADL Sharable Content Object Reference Model) [199].

#### ***4.3. Learner Profile***

Les informations du profil de l'apprenant peuvent inclure des données personnelles, des plans d'apprentissage, un historique d'apprentissage, les exigences d'accessibilité, des certifications et des diplômes, des évaluations de connaissances et la participation de l'état à l'apprentissage en cours. L'effort le plus important pour normaliser les informations du profil de l'apprenant est la spécification IMS Learner Information Package (LIP) [228].

#### ***4.4. Learner Registration***

Les informations d'enregistrement de l'apprenant permettent aux composants d'apprentissage et d'administration de découvrir que les offres doivent être disponibles pour un apprenant et fournissent des informations sur les participants à apprendre à l'environnement de diffusion. Deux systèmes traitent actuellement de ces exigences dans le système de gestion de l'apprentissage : la spécification IMS Enterprise [198] et Schools Interoperability qui prend en charge l'échange de ce type de données dans l'environnement K-9.

#### ***4.5. Content Communication***

Lorsque le contenu est lancé, il est nécessaire de communiquer les informations de l'apprenant et les informations du contenu de l'activité précédente. Le travail en cours est le projet de modèle de référence d'objet de contenu partageable (SCORM) basé sur la spécification CMI du comité CBT de l'industrie aéronautique. [198]

### **3. Normalisation de Technologie d'Apprentissage**

Jusqu'à l'émergence de normes, les entreprises étaient souvent obligées d'acquérir des systèmes complets d'apprentissage en ligne auprès de fournisseurs uniques, car le matériel d'apprentissage était étroitement associé au système de gestion de l'apprentissage fourni et ne pouvait donc pas être réutilisé sur d'autres systèmes [200].

En conséquence, il n'était pas possible non plus de mélanger des supports d'apprentissage provenant de différentes sources, ni de déplacer des cours complets entre les systèmes de gestion, ce qui posait un grave problème pour les premiers utilisateurs de la technologie d'apprentissage en ligne et ralentissait la croissance des communautés d'apprentissage en ligne. [200] [201]. De plus, la collaboration entre les auteurs de cours d'apprentissage électroniques a été réduite au minimum, ce qui a finalement contribué à augmenter les coûts de développement, [202]. Ainsi, contrairement à ces formats et approches propriétaires, il convient de définir des interfaces normalisées et des API afin de garantir l'interopérabilité et l'intégration de matériel d'apprentissage électronique, indépendant du LMS déployé, en utilisant les *processus de normalisation technologique*.

### **5.1. Objectifs**

Selon Varlamis [201], des normes d'apprentissage en ligne viables satisferaient à quatre objectifs principaux. En premier lieu, la normalisation fournirait aux utilisateurs un moyen flexible de basculer entre les programmes et les plates-formes respectant ces normes. Le producteur de contenu, d'autre part, pourrait se concentrer sur la génération de matériels d'apprentissage conformes aux normes au lieu d'être obligé de personnaliser le contenu pour une variété de domaines d'application différents. Troisièmement, les éditeurs LMS pourraient concentrer leurs efforts sur le développement d'un logiciel de configuration standard au lieu de combler les lacunes en matière de compatibilité entre les systèmes. Enfin, une vaste gamme de contenus réutilisables, ainsi que de systèmes conformes aux normes, deviendrait disponible pour les concepteurs d'applications et de plates-formes, permettant ainsi un marché viable de l'apprentissage en ligne.

### **5.2. Le processus**

En général, les processus de normalisation sont des efforts de longue haleine, qui intègrent souvent des tâches laborieuses et pénibles pour finalement atteindre les normes accréditées [188]. En tant que pionniers dans le domaine de la technologie d'apprentissage au cours de la dernière décennie, ils ont uni leurs forces et mis au point une documentation de spécification qui servira de modèle pour les normes industrielles à venir [200], le processus de normalisation des technologies d'apprentissage est confronté au même problème. Pour promouvoir la conformité et l'interopérabilité, la documentation essentielle en cours de collecte comprend des informations sur les métadonnées, les hiérarchies de structure de cours [206], les modèles de données, les LO [206], les agrégations de contenu et les architectures système [188]. Les

---

principales organisations membres impliquées dans l'agrégation de cette documentation et, plus important encore, dans sa proposition à l'organisme de normalisation désigné IEEE LTSC sont les suivantes :

- IMS
- ADL
- AICC

La figure 3.1 illustre la complexité du processus d'intégration collaborative pour l'élaboration de normes d'apprentissage formelles. Basés sur des concepts issus de la recherche et du développement, les spécifications techniques sont élaborées par un consortium composé d'AICC, IMS et ARIADNE. Ces spécifications sont ensuite utilisées par ADL comme base pour créer des bancs d'essai pour les tests de conformité, qui résultent éventuellement dans les modèles de référence pour les technologies sélectionnées.

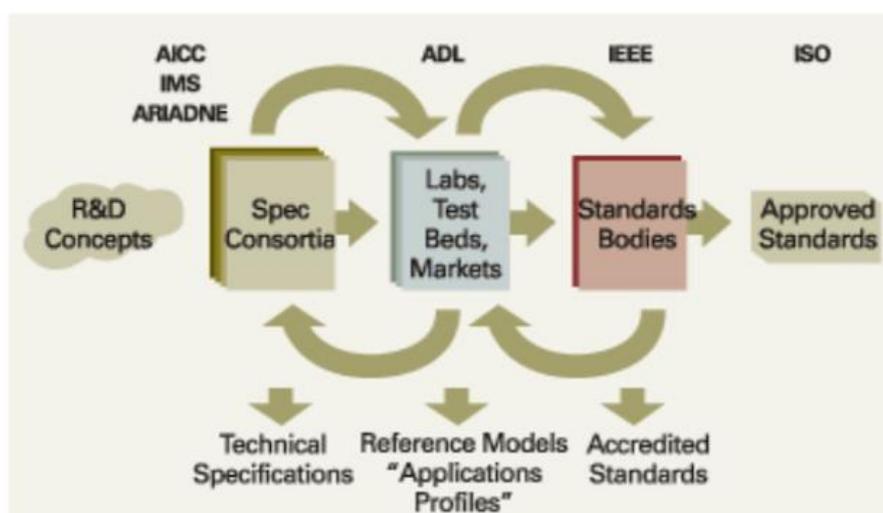


Figure 3.1: Modèle de développement collaboratif pour les normes d'apprentissage formel [220].

### 5.2.1. Spécification

Au cours de cette première étape du processus, les organisations coopérantes travaillent ensemble à l'élaboration des spécifications initiales qu'elles espèrent proposer à la communauté dans son ensemble en tant que normes d'apprentissage. Ces spécifications sont basées sur leur analyse des besoins des organisations participantes.

Voici des exemples d'exigences en matière de collecte de consortiums et de spécifications de développement pertinentes pour l'apprentissage en ligne :

- IMS Global Learning Consortium,

- CEN/ISSS Workshop on Learning Technology,
- Customized Learning Experiences Online (CLEO) which involves IBM, Microsoft, Cisco, NetG, and click2learn,
- Aviation Industry CBT Committee (AICC), and
- HR-XML Consortium.

#### **5.2.2. Validation**

À l'étape suivante, les fournisseurs développent de nouveaux produits intégrant ces spécifications, des programmes pilotes sont lancés pour tester l'efficacité et la convivialité des spécifications, et des bancs d'essai sont établis pour valider la conformité aux spécifications. Des modèles de référence sont développés pour montrer comment différentes spécifications et normes fonctionnent ensemble pour prendre en charge un environnement d'apprentissage complet.

Les organisations créant des bancs d'essai et des modèles de référence pour l'apprentissage en ligne incluent :

- Advanced Distributed Learning initiative (ADL / SCORM),
- Advanced Learning Infrastructure Consortium (ALIC),
- Education Network Australia (EdNA), and
- European Commission Prometheus project.

#### **5.2.3. Standardisation**

Lors de la dernière étape, les spécifications éprouvées et testées sont transmises aux organismes de normalisation officiels aux fins d'affinement, de consolidation des efforts concurrents, de clarification des exigences de conformité et d'accréditation.

Il est important de bien distinguer une spécification, qui est un travail en évolution, d'une norme accréditée, idéalement basée sur les implémentations et l'expérience réelles, et fournissant des critères très clairs et sans ambiguïté pour la mise en œuvre et la conformité.

Ces profils d'application sont ensuite soumis aux organismes de normalisation, tels que l'IEEE, pour devenir des normes accréditées. En fin de compte, les normes accréditées seront soumises aux organismes internationaux de normalisation, tels que l'ISO pour que l'internationalisation formelle devienne des normes approuvées [188] [189].

Un aspect essentiel du processus de normalisation réside dans le fait que les spécifications sont également examinées afin de s'assurer qu'elles sont largement applicables et ne favorisent aucune spécificité d'industries et d'originaux donnés. Une fois qu'une norme est accréditée, cela conduit généralement à une acceptation et à une mise en œuvre généralisée de [200]. De plus, avec leur utilisation croissante, des problèmes inhérents deviennent simultanément évidents, qui peuvent ensuite être réintroduits dans le processus de normalisation pour produire des spécifications plus précises lors de la prochaine itération.

### III. Évolution de la normalisation et de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne

L'interopérabilité est la capacité de différents systèmes e-learning et applications logicielles à assurer l'harmonisation des contenus entre eux, à permettre le partage de contenus éducatifs entre différents environnements, à échanger des données et à utiliser les informations échangées [207] [194].

Dans ce contexte, plusieurs organisations ont évidemment contribué à l'évolution et au développement des normes de formation en ligne. Pour plus de clarté, nous commençons cet article par un aperçu des organisations illustrées ci-dessous (IMS, IEEE LTSC, AICC et ADL) [203] et nous détaillons également l'évolution des normes développées par chaque organisation (Voir figure 3.2). Cela signifie l'élaboration et l'évolution de normes, directives, spécifications et description.

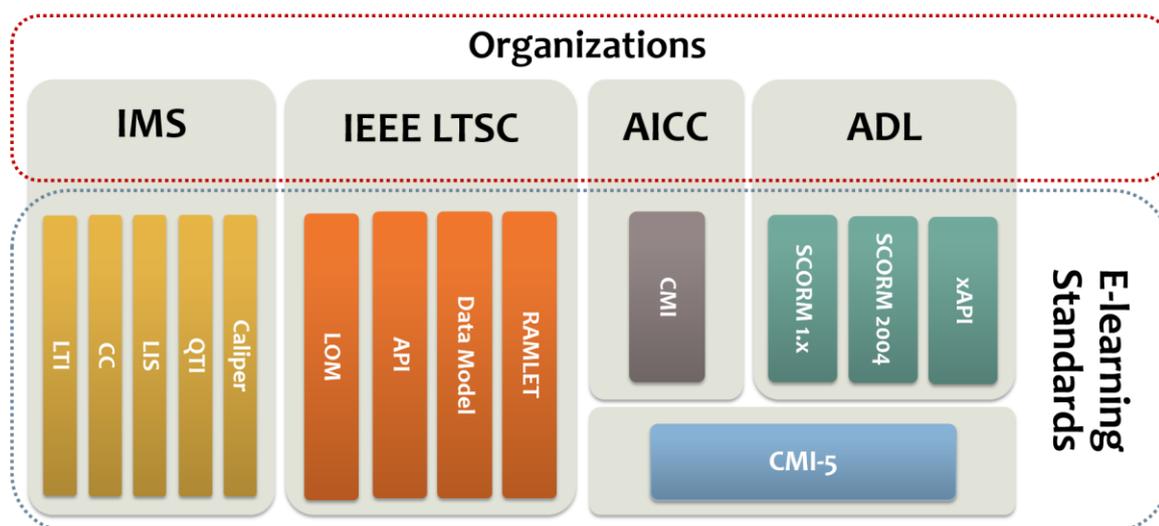


Figure 3.2 : E-Learning System Standards and Organizations

## **1. IMS Global Learning Consortium**

IMS est un consortium industrie / universitaires des fournisseurs et des exécutants qui se concentre pour élaborer des spécifications en fonction des besoins identifiés par ses membres de soutien [204]. IMS a été fondée en 1997 aux États-Unis avec des membres d'organisations universitaires et professionnelles. Il a élaboré et pris en charge une cinquantaine de normes portant sur les métadonnées, l'emballage du contenu, les services aux entreprises, les compétences, l'accès pour tous, le portfolio électronique, les informations sur les apprenants, la liste des ressources, la persistance de l'état pouvant être partagé, la définition du vocabulaire et la conception de l'apprentissage [205]. Ces spécifications décrivent les principales caractéristiques des cours, telles que les leçons, les évaluations, les questionnaires. En outre, les directives sur les spécifications XML et les meilleures pratiques fournissent une structure pour expliquer les métadonnées de l'apprentissage en ligne. Les spécifications IMS visent à assurer l'interopérabilité des systèmes prenant en charge l'apprentissage en ligne, l'éducation et la formation améliorées par la technologie [206].

Dans ce contexte, cinq des 50 normes sont largement adoptées. Voici une brève description de ces cinq [207] :

### **1.1. IMS Learning Tools Interoperability (LTI)**

Les systèmes de gestion de l'apprentissage devraient être ouverts à l'intégration avec d'autres outils d'apprentissage, tout en préservant l'équilibre entre les nouveaux outils et leur stabilité. L'approche orientée services est l'une des solutions possibles pour cette intégration. L'approche axée sur les services sépare et répartit les fonctions des systèmes de gestion de l'apprentissage entre plusieurs systèmes. Cette approche crée un environnement permettant aux outils d'apprentissage de fonctionner avec les systèmes de gestion de l'apprentissage. Par conséquent, un nouveau moyen flexible sera ouvert, augmentant le nombre de capacités des LMS pour aider les enseignants et les apprenants. L'organisation du système de gestion de l'information (IMS) élabore des normes pour améliorer l'apprentissage.

L'interopérabilité des outils d'apprentissage (LTI) est l'une des normes développées par IMS. La principale raison du développement de la norme LTI est l'intégration entre les applications d'apprentissage et les plates-formes telles que les LMS et les VLE. La norme LTI permet de connecter des applications et des outils hébergés de manière externe et basés sur le Web (des applications simples comme le calendrier aux applications complexes telles que celles

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

pour l'apprentissage des mathématiques). Par exemple, un enseignant utilisant une application de rapport de mission interactive peut connecter facilement et en toute sécurité l'application à un système de gestion de l'apprentissage basé sur le standard LTI. La figure 3.3 montre les avantages de LTI pour les personnes (développeur, administrateur, apprenants, enseignants) impliquées dans un environnement d'apprentissage.

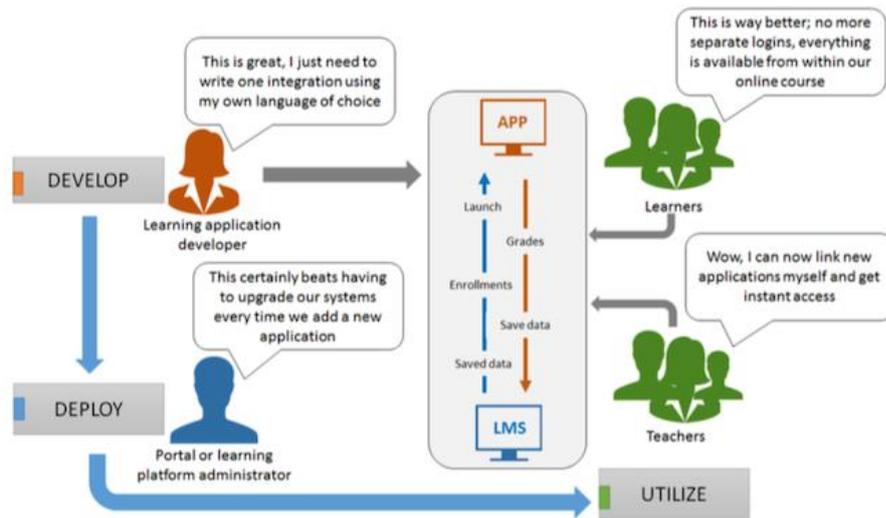


Figure 3.3: Avantages de la norme LTI [230].

Une perspective de la norme d'interopérabilité des outils d'apprentissage IMS :

- Permet d'installer des outils externes dans des environnements d'apprentissage.
- Lorsque l'utilisateur lance un nouvel outil, cette norme est lancée en toute sécurité, le matériel de cours, l'identité des utilisateurs, etc.
- Permettre aux outils externes d'avoir une communication à double sens avec un LMS.

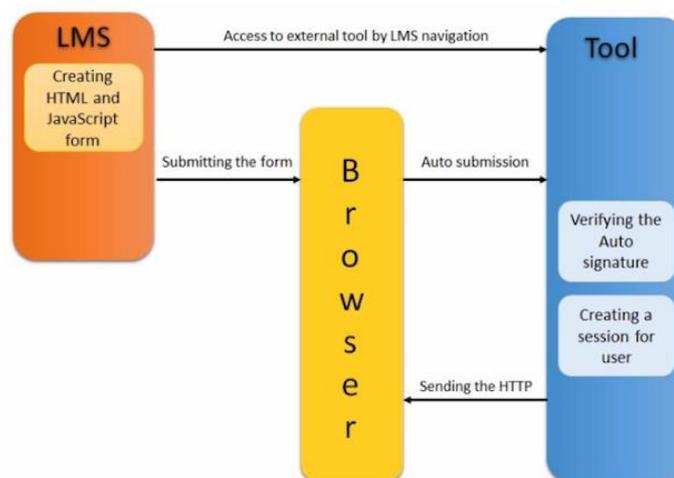


Figure 3.4: Séquence de lancement IMS LTI.

Tout d'abord, l'utilisateur sélectionne un outil externe à l'aide de la navigation du LMS. Le LMS génère ensuite un formulaire HTML et JavaScript pour le soumettre automatiquement à l'outil externe. Le système de gestion de l'apprentissage place dans le formulaire toute une série de champs cachés indiquant l'utilisateur, le cours et le rôle du lancement actuel. Il utilise la norme OAuth pour signer l'ensemble de ce matériel et inclut également les signatures OAuth dans le formulaire. Lorsque le navigateur reçoit le formulaire, il est automatiquement soumis à l'outil externe. Si JavaScript est désactivé, l'utilisateur doit appuyer manuellement sur le bouton *Soumettre* pour continuer vers l'outil externe (Voir figure 3.4).

Une fois l'outil externe reçoit les données de formulaire, l'outil vérifie les signatures OAuth ; utilise les données de lancement pour fournir à l'utilisateur, au parcours et à la liste, si nécessaire ; crée une session pour l'utilisateur ; et renvoie une réponse HTTP incluant un cookie ou un autre mécanisme permettant de maintenir la session de l'outil. À partir de ce moment, l'utilisateur interagit simplement avec l'outil directement dans son navigateur. L'outil gère sa session avec le navigateur de l'utilisateur.

### **1.2. IMS Common Cartridge (CC)**

IMS CC est une norme qui assure l'interopérabilité pour l'échange de contenu numérique entre de nombreuses organisations et institutions utilisant plusieurs systèmes et applications de téléapprentissage.

### **1.3. IMS Learning Information Services (LIS)**

IMS LIS offre une intégration entre le système de gestion des étudiants et le système e-learning. Cela garantit le transfert de données telles que des notes et des informations sur les étudiants entre les deux systèmes. Les fournisseurs qui adoptent la norme LIS sont principalement ceux de l'enseignement supérieur. IMS a décidé de se concentrer sur les systèmes d'apprentissage en ligne de la maternelle à la 12e année afin d'intégrer facilement les bibliothèques d'information aux applications. IMS propose un sous-ensemble de services d'apprentissage, appelé OneRoster, qui se concentre généralement sur l'échange des informations nécessaires via un format de fichier CSV pour accéder aux applications et aux systèmes d'apprentissage.

### **1.4. IMS Question & Test Interoperability (QTI)**

La spécification IMS QTI permet l'échange de données d'articles et de contenu de test et les résultats entre les outils de création, les banques d'objets, outils de construction de test,

---

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

les plates-formes d'apprentissage, les systèmes de distribution d'évaluation et notation / moteurs d'analyse.

Plus précisément, QTI est conçu pour :

- Fournir un fichier de documents de qualité pour stocker et échanger des informations (questions, données de test et rapports de résultats). Ce fichier est différent de celui utilisé par un outil de création pour créer
- Fournir un format de contenu pour stocker et échanger des informations (tests). Ce format est différent de celui utilisé par un outil de construction.
- Aidez à développer des banques d'articles (un système qui collecte et gère les articles d'évaluation) en utilisant divers systèmes d'apprentissage et d'évaluation
- Aidez à développer des articles, des banques d'articles et des tests provenant de différentes sources.
- Fournir un rapport sur les résultats du test selon un format défini.

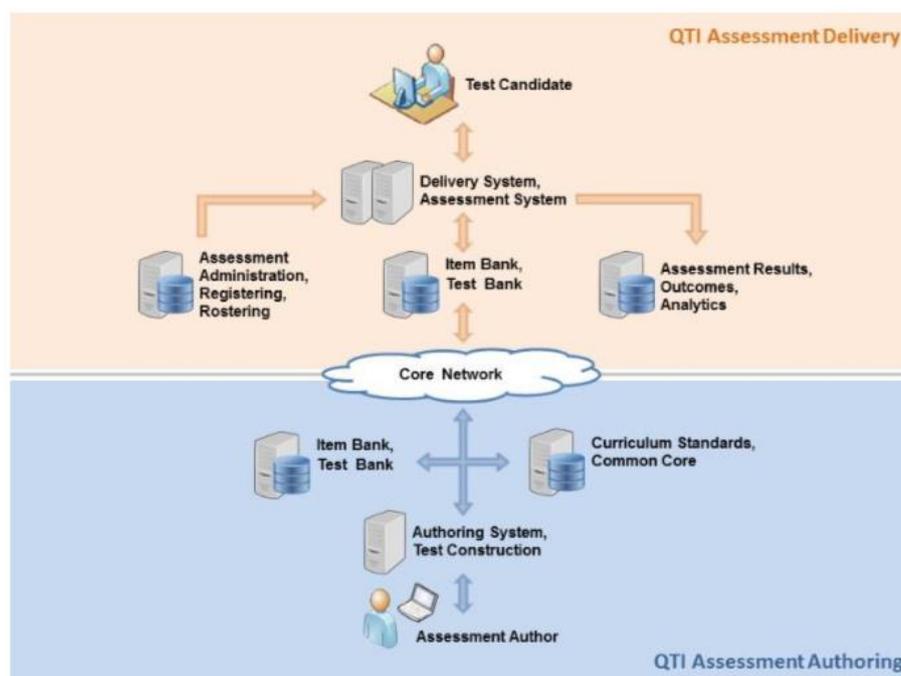


Figure 3.5: Le rôle des tests d'évaluation et des éléments d'évaluation

La spécification QTI est développée pour les données de question (assessmentItem) et de test (assessmentTest) et pour fournir les rapports associés à ces informations. La figure 3.5 illustre l'échange d'informations sur les articles, les tests et les résultats entre les outils de création, les banques d'articles, les outils de construction de tests, les plateformes d'apprentissage et les systèmes de diffusion d'évaluations. L'auteur de l'évaluation utilise un

système de création pour créer un élément d'évaluation et est en mesure d'appliquer toute modification apportée à cet élément. L'auteur interagit également avec l'outil de construction de test utilisé pour assembler des tests à partir d'éléments individuels. Ensuite, les articles d'évaluation sont envoyés au système de banque d'articles pour la collecte et la gestion. Le système de livraison d'évaluation sert à remettre les éléments d'évaluation aux candidats et à noter automatiquement les réponses ou à envoyer les réponses à un autre système de notation.

### **1.5. IMS Caliper Analytics (CA)**

IMS Global Learning Consortium Inc. est une organisation membre à but non lucratif fondée en 1999 qui vise à permettre l'adoption et l'impact des technologies d'apprentissage innovantes dans l'éducation (IMS Global Learning Consortium n.d.). L'adhésion se fait par abonnement annuel, qui varie en 2015 entre 1 500 et 55 000 dollars selon la taille de l'établissement (IMS Global Learning Consortium 2015a). Les membres comprennent de grandes sociétés de logiciels et des éditeurs, des universités et des organismes [205] gouvernementaux. Le développement des spécifications est réalisé en privé par des groupes de membres, qui votent également sur l'approbation des spécifications pour publication. Une fois l'approbation donnée par les membres, les spécifications d'IMS sont publiées sur le site Web d'IMS.

La réponse d'IMS à l'émergence de l'analyse de l'apprentissage reflète les intérêts de ses membres, qu'il s'agisse d'améliorer les produits et de maintenir la position sur le marché, ou de garantir que les produits achetés par les établissements d'enseignement offrent des fonctionnalités appropriées et offrent les avantages de l'interopérabilité. Educause [262] a publié une introduction à la spécification. Le développement de IMS Caliper a été lancé en 2013 avec la publication par IMS du livre blanc *Learning Measurement for Analytics* (IMS Global Learning Consortium 2013) [168]. Le livre blanc, reflétant les intérêts stratégiques des membres d'IMS, a présenté Caliper en termes de développement de l'éducation numérique et « d'un intérêt toujours plus grand pour la responsabilisation quant à la capacité de mesurer et d'analyser cette activité d'apprentissage en ligne enrichie ». Le livre blanc propose un « edu-graph » de l'ensemble des données sur l'éducation, et la figure 3.6 ci-dessous montre les domaines d'intervention initiaux du système IMS dans ce domaine plus vaste, fournit exactement ce type de norme, suffisamment souple pour prendre en charge une grande variété de types d'interactions actuels et futurs, mais aussi pour réduire les coûts et donc la barrière à la pénétration de nouveaux fournisseurs pour rejoindre l'écosystème.

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

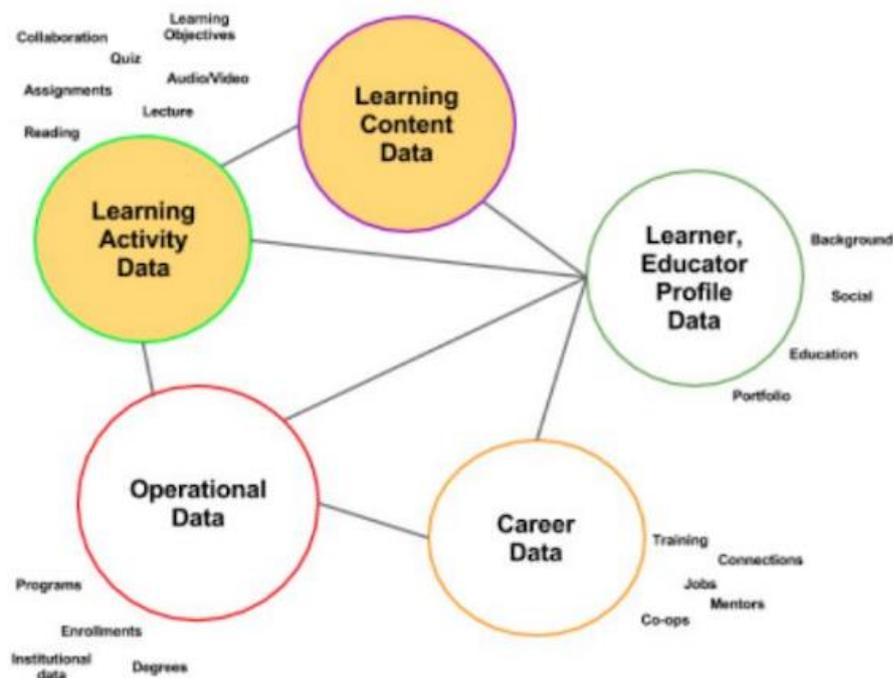


Figure 3.6: Le modèle de données complet «edu graph». Source: (IMS Global Learning Consortium 2013)

IMS Global a développé une norme qui (Voir figure 3.7):

- Crée des profils de métriques d'apprentissage afin d'établir un format commun simple et extensible pour la présentation des données d'activités d'apprentissage recueillies à partir des activités des apprenants dans plusieurs environnements d'apprentissage. Les profils de métrique fournissent un langage commun pour décrire l'activité de l'élève. En établissant un ensemble d'étiquettes communes pour l'apprentissage des données d'activité, les profils de mesure simplifient grandement l'échange de ces données sur plusieurs plates-formes. Bien que les profils métriques fournissent une norme, ils ne fournissent pas en eux-mêmes un produit ou ne spécifient pas comment fournir un produit. De nombreux produits différents peuvent être créés en utilisant les mêmes étiquettes établies par la norme.
- Crée l'IMS Learning Sensor API pour définir les événements d'apprentissage de base, normaliser et simplifier la collecte de statistiques d'apprentissage dans des environnements d'apprentissage.
- Exploite et étend les normes Learning Tools Interoperability (LTI), Learning Information Services et Question and Test Interoperability (QTI), améliorant et intégrant ainsi la mesure de l'apprentissage granulaire et standardisée avec l'interopérabilité des outils et les modèles d'information d'apprentissage sous-jacents, y compris les cours, apprenant, résultats et autre contexte critique associé.

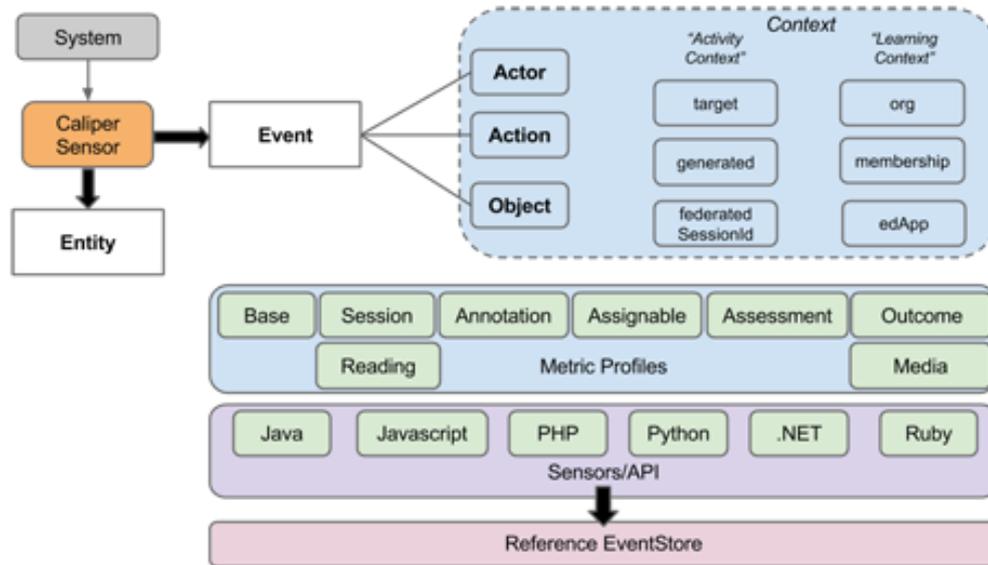


Figure 3.7: Représentation de haut niveau de l'environnement Caliper.

## 2. IEEE LTSC Learning Technology Standards Committee

LTSC [207] est une organisation accréditée pour la réalisation de normes techniques, de pratiques recommandées et de guides de technologie d'apprentissage conformes au standard IEEE au niveau international, sous les auspices du conseil de normalisation de la société IEEE Computer Society.

Le LTSC élabore des normes convenues, des recommandations de mise en œuvre et d'autres documents qui facilitent, pour les ordinateurs comme pour les utilisateurs, la description, le codage, la transmission et le partage des connaissances dans un contexte d'apprentissage [207] [208]. Le LTSC fonctionne selon un processus complètement ouvert et consensuel dans lequel les participants sont des experts individuels plutôt que des entités politiques ou économiques.

### 2.1. LTSC Working Groups and Study Groups

L'IEEE / LTSC est organisé en 20 groupes de travail (WGs) sur différents aspects des technologies d'apprentissage. Récemment les plus souvent cités dans le domaine sont [199] [207] :

- **Digital Rights Expression Languages (DREL), WG4** : Depuis 2002, de nombreux organismes sont entrés dans l'arène de la gestion des droits numériques dans le cadre de l'élaboration de normes. À ce jour, seuls quatre organismes sont impliqués dans la normalisation des DREL : Open Mobile Alliance (OMA), organisation Oasis,

International Digital Publishing Forum (IDPF), LTSC DREL [199]. En juin 2003, un groupe de travail au sein de l'IEEE LTSC rassemble les exigences auxquelles une DREL normalisée doit répondre pour encourager l'apprentissage et l'éducation [209]. Le groupe de travail DREL a conclu qu'une phase d'exigences de forme était nécessaire et a été publié en août 2005.

- **Computer Managed Instruction (CMI), WG11** : En octobre 2003, le groupe de travail CMI s'est efforcé de définir un ensemble de fonctions CMI standard et un ensemble de fonctions CBT correspondantes afin de compléter les leçons et de les mettre en œuvre avec d'autres développées à différents endroits avec différents outils par différents utilisateurs, basé sur des unités assignables à des moments particuliers [210]. Il vise également à établir une communication entre les cours et les outils CMI, en détaillant les objectifs du cours et en les reliant au contenu de ces cours, ce qui contribuera à accroître l'efficacité des étudiants et la performance liée aux objectifs [211].
- **Learning Object Metadata (LOM), WG12** : En juin 2002, l'IEEE a créé le groupe de travail sur le LOM, qui spécifie la syntaxe et la sémantique des métadonnées d'objet d'apprentissage (LOM), définissant les attributs nécessaires à la description d'un objet d'apprentissage [212]. Le standard IEEE relatif aux métadonnées d'objet d'apprentissage - IEEE1484.12.1-2002 définit le schéma de données conceptuel qui décrit la structure d'une métadonnée pour un objet d'apprentissage (demande d'autorisation de projet IEEE 1484.12.1, 2003) [213].
- **Competency Data Standards, WG20** : Le groupe de travail a travaillé sur un projet de norme afin de définir des définitions de compétences réutilisables (RCD) et de mener des études sur le pouvoir d'ajouter d'autres normes technologiques de compétences connexes [214].

## **2.2. Accredited Learning Technology Standards**

IEEE / LTSC IEEE LTSC a développé un certain nombre de normes internationalement reconnues. Récemment les plus souvent cités dans le domaine sont [199] [207] :

La norme CMI (Computer Managed Instruction) est une norme en plusieurs parties [207] :

- **1484.11.1-2004** Norme IEEE pour la technologie d'apprentissage - Modèle de données pour la communication du système de gestion du contenu à l'apprentissage.

- **1484.11.2-2003** Norme IEEE pour la technologie d'apprentissage - Interface de programmation d'application ECMAScript pour la communication de contenu à services d'exécution.
- **1484.11.3-2005** Norme IEEE pour l'apprentissage des liaisons de schéma XML (langage de balisage extensible) pour le modèle de données pour la communication d'objet de contenu
- **RAMLET 1484.11.4-2005** : Le modèle d'agrégation de ressources pour l'apprentissage, l'éducation et la formation est une nouvelle activité du comité de normalisation des technologies d'apprentissage de l'IEEE (LTSC).

La norme LOM (Learning Object Metadata) est composée de quatre parties [238] :

- **1484.12.1** : Norme IEEE pour les métadonnées d'objet d'apprentissage.
- **1484.12.2** : Norme pour l'ISO / CEI 11404 Modèle de données de métadonnées d'objet de liaison pour l'apprentissage
- **1484.12.3** : Norme pour l'apprentissage Liaison de langage de définition de schéma avec langage de balisage extensible (XML) pour les métadonnées d'objet d'apprentissage.
- **1484.12.4** : Modèle de données de métadonnées d'objet d'apprentissage de la norme RDF (Standard Description Resource Framework).

Les normes existantes créées par les données sur les compétences sont les suivantes [207] :

- **1484.1-2003** : Norme IEEE pour les technologies d'apprentissage - Architecture des systèmes de technologies d'apprentissage (LTSA).
- **1484.20.1-2007** : Norme IEEE pour la technologie d'apprentissage - Modèle de données pour les définitions de compétences réutilisables.

### **3. AICC Aviation Industry CBT Committee**

L'AICC est une toute première norme e-learning. Il a été créé en 1988 par le Comité de formation informatique de l'industrie aéronautique pour normaliser les matériaux et la technologie utilisés pour former les employés des compagnies aériennes [215].

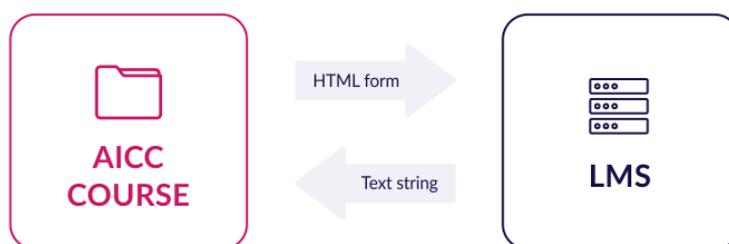
L'AICC, ou le comité CBT de l'industrie aéronautique, est une association internationale qui élabore et soutient des normes et des directives qui définissent les spécifications de la technologie d'apprentissage en vue de leur réutilisation, de leur adaptabilité et de leur interopérabilité dans les systèmes d'apprentissage électronique et leurs applications telles que l'enseignement supérieur.

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

---

Les recommandations AICC sont devenues monnaie courante dans tous les systèmes de formation et comprennent la livraison, contrôle et suivi des résultats de la formation aux systèmes de gestion de l'apprentissage en ligne. L'un des objectifs de l'AICC Institute est de tirer le meilleur parti des investissements dans l'éducation. A cette fin, il s'agit de soutenir les normes des produits éducatifs que les fournisseurs peuvent proposer aux autres industries. L'AICC coordonne également activement ses efforts avec ceux d'autres organisations dans le domaine des technologies de normalisation de l'apprentissage en ligne telles qu'IMS, ADL, IEEE LTSC [215] [216].

Cependant, le standard AICC a ajouté une interface API pour CMI, devenue HACP AICC, qui est la plus utilisée par les systèmes e-learning et autres systèmes d'échange XML pour être interopérable [219]. Le HACP est un protocole de communication HTTP AICC pour communiquer entre un LMS et le contenu du cours. La méthodologie HACP est assez simple, utilisant un formulaire HTML et de simples chaînes de texte pour transmettre des informations vers et depuis le LMS (figure 3.8).



*Figure 3.8: Comment fonctionne l'AICC*

Une nouvelle norme est apparue, AICC PENS est une spécification qui permet de transférer des déclarations d'un outil de création de contenu vers un système d'apprentissage [217]. AICC a connu plusieurs événements et développements dans ses spécifications pour les systèmes d'apprentissage à des concentrations atteignant une interopérabilité robuste, voici les principales évolutions de ces normes (Voir figure 3.9) :

## Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

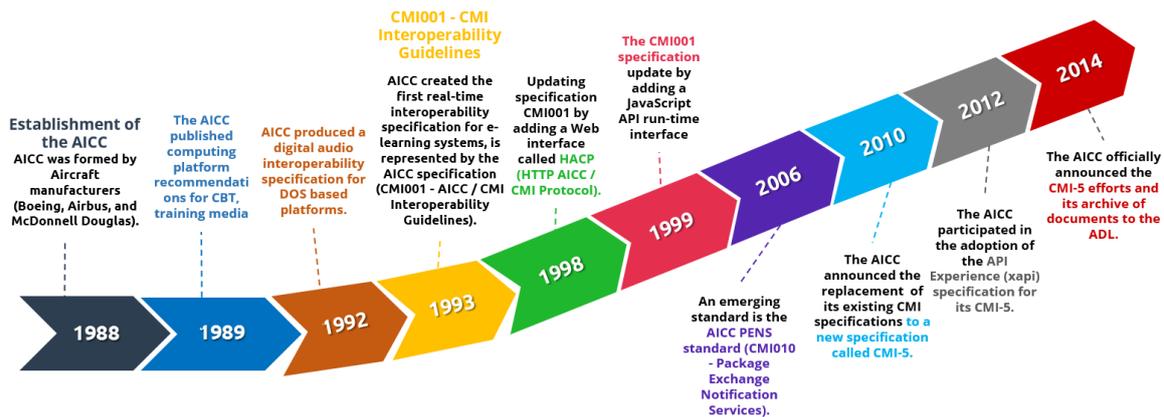


Figure 3.9: Chronologie de l'évolution des normes AICC.

### 3.1. AICC Guidelines and Recommendations

La norme AICC a fait l'objet de plusieurs révisions afin de maintenir le rythme depuis le début, mais elle n'a pas été actualisée depuis plus d'une décennie. L'AICC a permis de concevoir et d'élaborer des lignes directrices et des recommandations techniques appelées AGR pour gérer différents types de supports. Ces AGRs permettent de s'assurer que le contenu d'apprentissage est conforme à la norme "Conforme AICC". L'AICC a élaboré les lignes directrices suivantes [216] [218] [219] :

- **AGR001 (directives et recommandations de l'AICC) :** identifie un résumé des directives et recommandations de l'AICC, des documents techniques et des livres blancs.
- **AGR002 (Stations de livraison de didacticiels - Matériel informatique) :** contient des recommandations pour que l'industrie aéronautique acquière des cours d'informatique pour les étudiants. Recommandations dans ce document concernant l'UC typique, la vitesse d'horloge, le bus, l'alimentation, le système d'exploitation, la RAM, le CD-ROM, la carte graphique et le réseau.
- **AGR003 (audio numérique) :** ce document recommande des instructions permettant l'interopérabilité de l'audio numérique sur différents PC dotés de différentes cartes audio.
- **AGR004 (Stations de livraison de didacticiels : Logiciel) :** Ce document contient une recommandation formelle à l'industrie du transport aérien concernant le type de système d'exploitation.

- **AGR005 (Périphériques CBT) :** Ce document fournit des instructions pour promouvoir l'interopérabilité et les performances des périphériques tels que les cartes vidéo superposées.
- **AGR006 (Instruction gérée par ordinateur) :** Ce document recommande des lignes directrices favorisant l'interopérabilité des systèmes CMI. L'interopérabilité signifie la capacité d'un système CMI donné à gérer des cours de formation sur ordinateur à partir de différentes sources. De plus, cela inclut également la capacité pour un donné la capacité d'échanger des données avec différents systèmes CMI [218].
- **AGR007 (échange de didacticiels) :** Ce document fournit une plate-forme pour échanger et partager des logiciels de cours, tels que des textes, des graphiques, des images animées, des sons, utilisés dans le cadre de la formation assistée par ordinateur.
- **AGR008 (Vidéo numérique) :** La création de documents de guidage, l'utilisation et la distribution de vidéo numérique sur un parcours informatique sont décrites dans ce document.
- **AGR009 (Icon Guidelines) :** Ce document contient des instructions et des directives relatives aux tâches utilisateur pendant la formation à l'informatique (CBT).
- **AGR010 (CMI sur le Web) :** le document recommande les politiques visant à améliorer la capacité des systèmes d'instruction gérés par ordinateur basés sur le Web.
- **AGR011 (Notification d'échange de paquets CBT) :** le document utilise une norme de protocole de notification de mise à jour de contenu créée par l'AICC.

### **3.2. Rapports techniques et livres blancs de l'AICC**

Les articles et les rapports techniques incluent différents matériaux, tels que les détails techniques des AGR. Chacun de ces rapports est marqué avec un préfixe spécial qui sont [218] [219] :

- **AUD001 :** Directives Plug & Play pour les pilotes AICC CBT
- **AUD002 :** Directives de portabilité audio numérique
- **AUD003 :** Extensions de l'AICC aux pratiques recommandées de l'IMA
- **CMI001 :** Directives AICC / CMI pour l'interopérabilité

- **CMI003** : Procédures de test de certification AICC / CMI
- **CMI008** : Procédures de test de certification CMI AICC / Web
- **CMI010** : Package Exchange Notification Services
- **CMI012** : Spécification d'emballage AICC
- **CMI013** : Communication XML pour CMI
- **COM002** : Directives de documentation pour les publications AICC non AGR
- **CRS002** : Glossaire de termes relatifs à la formation assistée par ordinateur (CBT)
- **CRS003** : Hiérarchie des termes CBT pour les publications de l'AICC
- **CRS004** : Directives pour l'échange de didacticiels CBT
- **CRS005** : Format de fichier graphique bitmap
- **DELS002** : Description des métadonnées de l'industrie aéronautique
- **MP001** : Analyse de réutilisabilité d'objets réutilisables
- **MPD005** : Interfaçage du formateur de tâche partielle
- **MPD006** : Audio AICC et migration vers Windows
- **MPD011** : Utilisation de la vidéo numérique dans la formation assistée par ordinateur (CBT)

Chaque document dans ces rapports techniques comporte un préfixe à trois chiffres et les documents sont généralement numérotés dans l'ordre.

### **3.3. Documents de travail**

Le troisième type de documents AICC est des documents de travail. Ces documents publics comprennent des articles élaborés par des membres des sous-comités au cours de leur période de travail ou de la période de préparation de l'article [218] [219].

- **(CMI\_TIPS) Conception et développement CBT** : Recommandations pour les utilisateurs des normes CMI de l'AICC
- **MDP010** : Interopérabilité de la simulation
- **CRS006** : Apprentissage à distance
- **ELS001** : Système de bibliothèque électronique numérique
- **SMG001** : Spécifications Smart Graphics d'Airbus Industrie
- **CMI004** : Directives de conception de proxy pour les unités attribuables AICC / CMI (AU)

- **CMI004** : Directives de conception de proxy pour les unités attribuables AICC / CMI (AU)
- **CMI006** : Niveaux de conformité CMI / Supplément aux directives de l'AICC CMI
- **CMI007** : Scénarios de lancement Web pour les directives de l'AICC CMI

La norme AICC d'origine est toujours utilisée par de nombreuses organisations pour des raisons héritées, il est donc peu probable que la norme disparaisse complètement de sitôt, mais à toutes fins utiles, il s'agit d'une norme morte.

### **Avantages**

Étant donné que l'AICC est extrêmement ancien par rapport aux normes technologiques, peut-il encore faire mieux que les nouvelles normes qui ont suivi? En fait, il y a quelques domaines où l'AICC a toujours un avantage:

- ✓ **Sécurité:** AICC est plus sécurisé. Il prend en charge les transferts de données HTTPS hautement sécurisés entre le contenu et le LMS.
- ✓ **Flexibilité de déploiement:** le contenu AICC peut être stocké sur un serveur ou domaine distinct de celui où le LMS est hébergé, ce qui permet des configurations de déploiement plus flexibles.

### **Inconvénients**

L'AICC présente plusieurs faiblesses en tant que norme technique, comme vous pouvez vous y attendre d'une norme de cet âge:

- **Pas de suivi des cours:** AICC ne peut pas suivre la progression des cours de manière significative; il possède les capacités de suivi et de reporting les plus limitées des principales normes actuelles.
- **Conformité limitée:** il existe un large éventail de ce qui est considéré comme conforme AICC, et bien qu'il soit relativement facile de trouver un système techniquement conforme, il peut manquer d'importantes fonctionnalités qui nécessiteront un codage manuel pour être ajoutées.
- **Plus de mises à jour:** le groupe AICC a été dissous en 2014, de sorte que la norme AICC ne recevra plus de mises à jour.
- **Réduction du soutien des développeurs e-learning:** la plupart des outils de création de cours et des systèmes de gestion de l'apprentissage prennent toujours

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

en charge AICC à un niveau de base, mais les développeurs de cours et les concepteurs pédagogiques choisissent de plus en plus des normes plus modernes.

Bien que l'AICC reste intéressant en tant que moyen d'évaluer le chemin parcouru par les normes e-learning, il n'est pas digne d'être pris en compte car il s'agit d'une norme obsolète et il existe de nouvelles et meilleures options disponibles.

Au cours des dernières années, les experts de l'AICC ont opté pour une nouvelle spécification du CMI-5. De nombreuses directives de normalisation (SCORM et sa modernisation) ont largement contribué à l'élaboration de la norme CMI-5. (Vous trouverez plus de détails sur cette norme dans la section suivante).

#### 4. ADL Advanced Distributed Learning Initiative

Advanced Distributed Learning Initiative (ADL) est l'un des programmes créés en 1997 par le Département de la Défense Américain (DoD) pour mettre en place et développer un environnement d'apprentissage en ligne efficace, omniprésent et à tout moment [220]. ADL a développé un ensemble de directives techniques appelées SCORM (modèle de référence d'objet de contenu partagé) pour mieux soutenir l'apprentissage flexible et continu tout au long de l'utilisation de la technologie grâce à la contribution des développeurs de didacticiels (IMS, AICC, IEEE, etc.) afin d'améliorer le niveau de partage et de réutilisation, la norme SCORM a été développée dans plusieurs versions de SCORM (1.0, 1.1, 1.2), SCORM 2004 (Voir figure 3.10).

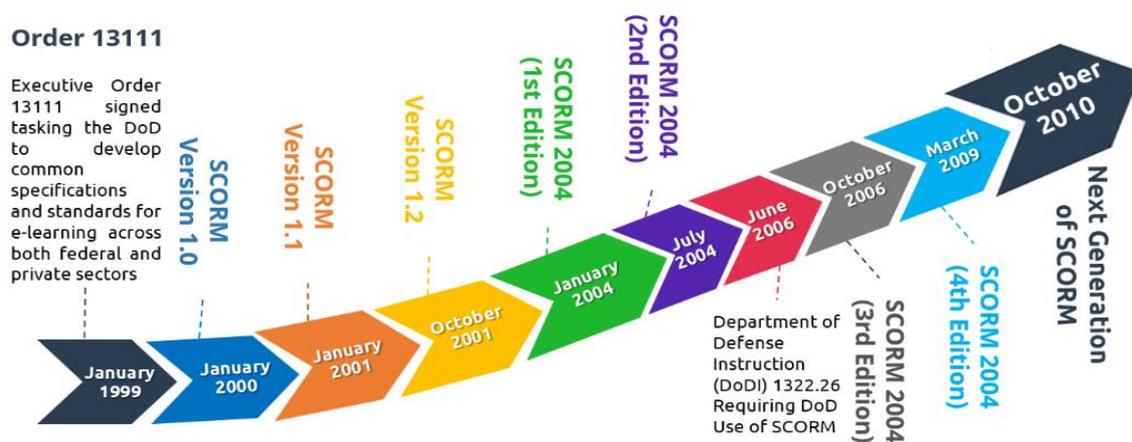


Figure 3.10: Chronologie de l'évolution du standard SCORM.

SCORM 1.2 est devenu la norme technique par défaut pour fournir le e-learning via un LMS et bénéficie d'un support massif à la fois à partir d'outils de création et de systèmes de gestion de l'apprentissage (figure 3.11). SCORM 1.2 a été remplacé par SCORM 2004.



Figure 3.11 : Comment fonctionne SCORM

En 2004, ADL a publié une nouvelle version appelée SCORM 2004, qui vise à améliorer les diverses ambiguïtés des versions précédentes. Elle est donc largement utilisée dans le développement de systèmes d'apprentissage en ligne [220] [221].

#### 4.1. SCORM Standard

##### Modèle de contenu SCORM :

La version 2004 de SCORM est basée sur les quatre éléments suivants (Voir figure 3.12) [251] [252] :

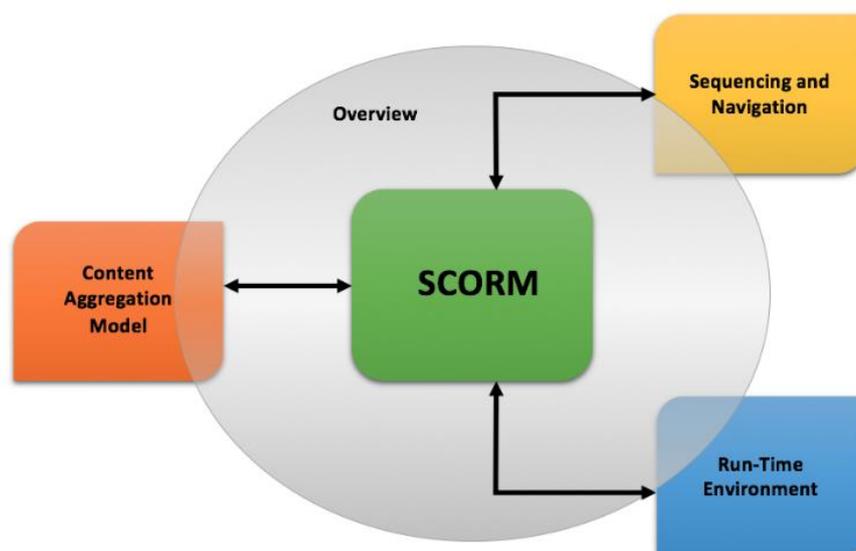


Figure 3.12: SCORM est composé de quatre éléments.

- **Overview** : Se regroupe entre les zones des livres CAM, RTE et SN à un niveau élevé.

- **Content Aggregation Model (CAM)** : Repose sur des instructions pour l'identification et l'agrégation de ressources de contenu d'apprentissage organisées. Cette norme utilise une information manifeste sur ce paquet appelée `imsmanifest.xml`, y compris une navigation et une séquence décrivant la structure du cours, les métadonnées prises en charge par SCORM 2004.

- **Run-time Environment (RTE)** : Inclut des astuces pour le lancement, la communication et le suivi de contenu dans un environnement Web. Ce livre était à l'origine dérivé de la fonctionnalité d'environnement d'exécution définie dans les consignes d'interopérabilité AICC CMI001.

- **Sequencing and Navigation (SN)** : Décrit les méthodes utilisées pour garantir la conformité du contenu. SCORM peut être séquencé via un ensemble d'événements de navigation initiés par l'apprenant ou par le système et prenant en charge SCORM 2004.

### Avantages

Comme SCORM est toujours la norme par défaut actuelle de l'industrie, il y a toute une gamme d'avantages. Si vous souhaitez créer un cours eLearning fonctionnel simple ou avoir une multitude de contenus prédéfinis parmi lesquels choisir, il est difficile de battre SCORM en tant que norme technique. Voici quelques-unes de ses forces:

- ✓ **Création de contenu facile:** la plupart des outils de création de contenu SCORM sont assez simples et conviviaux. Vous n'avez pas besoin d'être un génie du codage pour transformer un Deck Powerpoint, par exemple, en un cours E-Learning interactif.
- ✓ **Prise en charge du séquençage:** vous pouvez définir des règles pour combien de temps un apprenant doit rester sur une certaine page ou section avant de pouvoir progresser, et combien de temps il doit consacrer à un cours dans son ensemble.
- ✓ **Prise en charge des outils de création:** presque tous les outils de création prennent en charge les deux versions de SCORM.
- ✓ **Prise en charge LMS:** presque tous les fournisseurs LMS prennent en charge le contenu SCORM, donc la migration des cours d'un ancien système vers un nouveau est relativement facile.
- ✓ **Création de catalogue de cours facile:** SCORM spécifie un ensemble minimum de métadonnées qui vous permet de créer des catalogues de contenu, peu importe d'où vient le contenu, éliminant le besoin d'être lié à un seul outil de création ou fournisseur de contenu.

- ✓ **Mélanger et faire correspondre le contenu:** vous pouvez mélanger et faire correspondre le contenu de différentes sources dans un cours; par exemple, le e-learning développé dans un outil de création peut être mélangé avec d'autres packages SCORM développés dans d'autres outils.
- ✓ **Archivage standardisé:** le contenu obsolète peut être archivé au format ZIP standard et bien documenté.

### **Inconvénients**

La dernière version de SCORM (SCORM 2004, 4e édition) a été lancée en mars 2009, cela fait donc presque une décennie que SCORM a été mis à jour pour la dernière fois, et cela apparaît dans plusieurs domaines clés:

- ✓ **Pas de prise en charge de l'apprentissage hors ligne:** les cours SCORM ne fonctionnent pas sans connexion Internet et sans navigateur Web, donc vos apprenants ne peuvent pas suivre un cours hors ligne et peuvent subir des interruptions et des abandons si leur connexion n'est pas forte.
- ✓ **Déploiement LMS uniquement:** le suivi SCORM n'est possible que via un LMS, donc si vous prévoyez de déployer directement via un site Web ou une application mobile, SCORM ne pourra pas vous aider.
- ✓ **Prise en charge HTML5 non native:** le contenu SCORM était à l'origine basé sur Flash. Avec la dépréciation de Flash, tout évolue désormais vers HTML5. Alors que la plupart des outils de création modernes peuvent produire du contenu SCORM en HTML5, la qualité peut être inférieure aux versions HTML5 natives, surtout si vous avez beaucoup de médias riches comme des vidéos dans vos cours.
- ✓ **Mesures de suivi limitées:** SCORM ne permet de suivre qu'un nombre limité de mesures, comme les achèvements de cours, le temps total consacré aux cours et les scores d'évaluation.
- ✓ **Capacités de rapport limitées:** les rapports que vous pouvez créer à partir des données SCORM sont assez limités car ils sont basés sur les mesures de suivi mentionnées précédemment.

Dans son développement, la norme SCORM est caractérisée par l'utilisation de la technologie XML pour définir la structure des cours dans leurs premières versions, ainsi que par l'utilisation des métadonnées pour déterminer les détails du contenu, tandis que la spécification SCORM 2004 et en particulier apporté deux autres aspects importants pour éviter

---

toute ambiguïté dans les versions ultérieures; Navigation et séquençement pour vérifier la conformité et l'interopérabilité sur les environnements d'apprentissage.

SCORM est une bonne norme e-learning si vous cherchez à mettre en place et à exécuter rapidement des cours e-learning. Mais si vous décidez de SCORM, sachez qu'il a des limites qui augmenteront également avec le temps. C'est une solution compétente mais minimale qui peut rendre plus difficile l'utilisation de cours plus interactifs et plus attrayants à l'avenir. Sauf si vous avez des raisons organisationnelles d'utiliser la norme héritée 1.2, optez toujours pour SCORM 2004.

L'évolution de SCORM a été extrêmement positive et n'intervient pas dans la version de 2004, mais elle manque de directives en matière de bonnes pratiques concernant les moyens et mécanismes permettant d'exploiter les données de traçage et de suivi des expériences d'apprentissage.

#### 4.2. Tin Can API (Next Generation of SCORM)

Avec le développement technologique des normes d'interopérabilité, les portails, les systèmes d'apprentissage et les applications doivent suivre leurs expériences et activités d'apprentissage. En octobre 2010, l'ADL a accordé à Rustici Software une annonce concernant le développement d'une agence dans le but de mener les recherches en vue de la création du nouveau standard. Ce projet est considéré comme la "nouvelle génération de SCORM" appelé Projet « Tin Can ». Par la suite, le projet "Tin Can" a produit les deux premières versions (0,9 et 0,95) de l'API Tin Can en 2012 [222] (Voir figure 3.13).

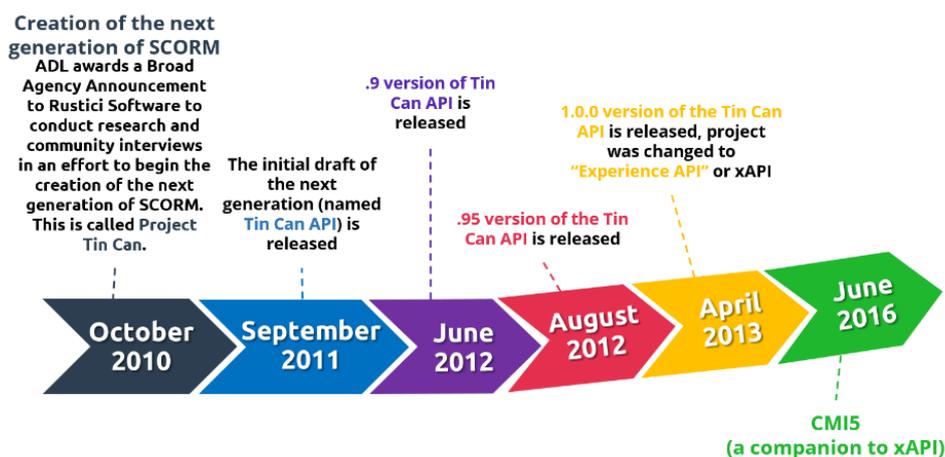


Figure 3.13: Chronologie de l'évolution du standard Tin Can API (xAPI).

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

---

L'API Tin Can est un standard open source, récemment modernisé pour remplacer SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Tin Can API est une norme robuste et flexible permettant de suivre des expériences et des activités d'apprentissage plus riches, ainsi que de stocker des données d'apprentissage [254]. Il enregistre également le comportement des apprenants et le contexte de l'utilisation de l'e-learning, tels que les scores au questionnaire, l'historique des réponses aux questions, les micro-interactions avec le contenu de l'e-learning et les performances d'une application mobile ... [224].

En 2013, la troisième version de l'API Tin Can a été officialisée sous le nom Expérience API ou xAPI et fait partie de la TLA (Training Learning Architecture) [225]. Il s'agit d'un service Web REST (Representational State Transfer) basé sur la notation d'objet JavaScript (JSON) pour son format de données. xAPI est une spécification qui a généré une interface de programme d'application (API), qui capture les données d'apprentissage dans le flux et les stocke dans un référentiel sous la forme d'objets "statement" à l'aide de la structure suivante (Voir figure 3.14) :

**<actor> <verb> <object>, with <result>, in <context>**

```
{
  "actor": {
    "name": "Sally",
    "mbox": "mailto:sally@example.com"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/completed",
    "display": { "en-US": "completed" }
  },
  "object": {
    "id": "http://example.com/activities/solo-hang-gliding",
    "definition": {
      "type": "http://adlnet.gov/expapi/activities/assessment",
      "name": { "en-US": "Solo Hang Gliding" },
      "extensions": {
        "http://example.com/glidersClubId": "test-435"
      }
    }
  },
  "result": {
    "completion": true,
    "success": true,
    "extensions": {
      "http://example.com/flight/averagePitch": 0.05
    }
  },
  "context": {
    "extensions": {
      "http://example.com/weatherConditions": "rainy"
    }
  }
}
```

Figure 3.14: Représentation JSON d'une déclaration xAPI.

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

Ce répertoire est accessible via un système e-learning (LMS) ou des outils de reporting [253] [257]. L'expérience API est basée sur la mise en œuvre d'un modèle de données interopérable afin de garantir que les expériences d'apprentissage des étudiants sont fournies et stockées en toute sécurité dans un Learning Record Store (LRS) (figure 3.15) [227].

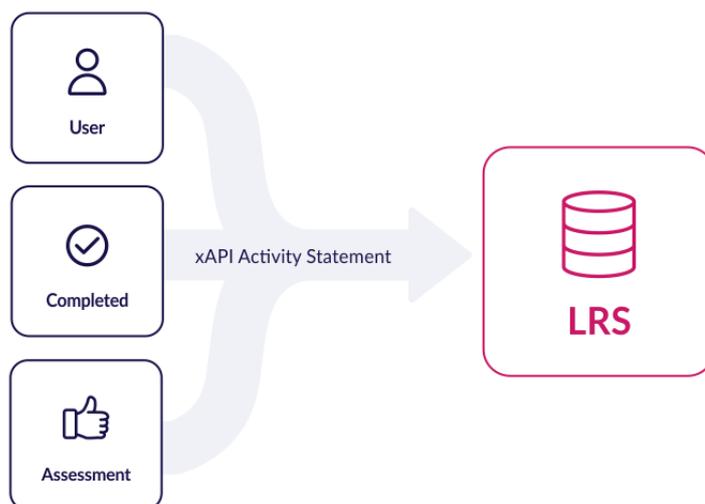


Figure 3.15: Comment fonctionne xAPI

Le LRS est un nouveau système qui associe l'API Tin Can tout en générant des déclarations via des activités d'apprentissage envoyées ou récupérées par tout autre outil [228]. (Voir figure 3.15 et 4.16).

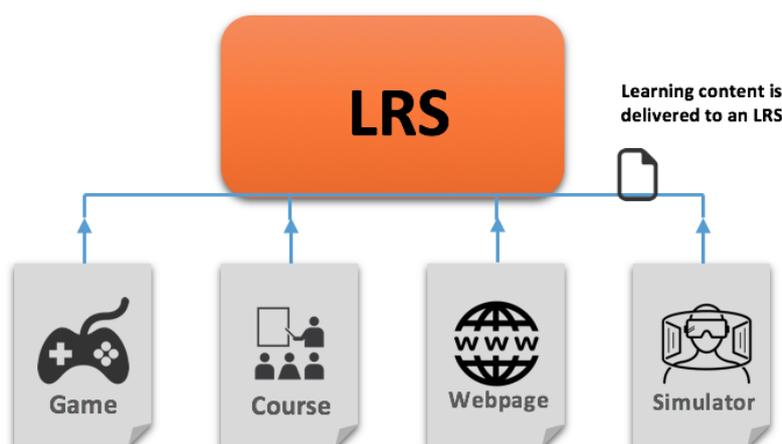


Figure 3.16: Le contenu d'apprentissage est livré à un LRS.

Le système de gestion de l'apprentissage, les outils de génération de rapports et les systèmes de réponse externes peuvent extraire des données stockées dans un système de transcription et peuvent également être stockés sous forme de fiches d'apprentissage

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

individuelles et / ou de transcriptions complètes. Un LRS peut octroyer des droits d'accès pour lire et écrire des enregistrements d'apprentissage. Avec LRS, Tin Can suit et stocke presque tout, contrairement à SCORM et à d'autres standards de formation à distance [229] [230] (Voir figure 3.17).

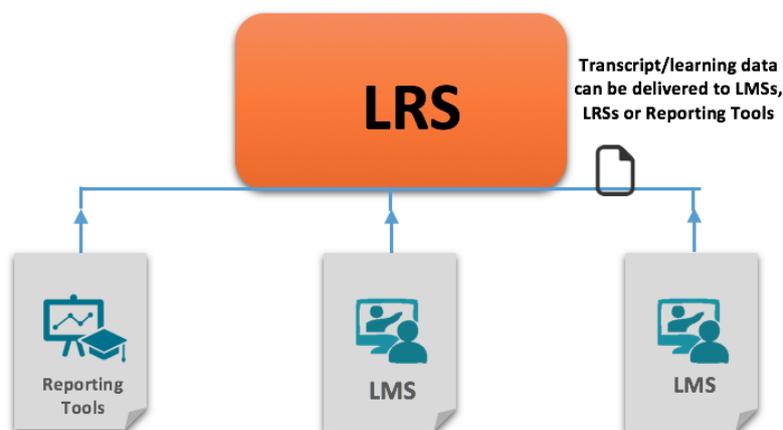


Figure 3.17: Les relevés envoyés à plusieurs LMS, LRS ou outils de reporting.

L'API Expérience est moderne, simple et flexible, et supprime de nombreuses restrictions associées aux anciennes normes comme SCORM. Avec la prise en charge de l'apprentissage mobile, des simulations, de la réalité virtuelle, des jeux complexes, des activités du monde réel, de l'apprentissage expérientiel, de l'apprentissage social, de l'apprentissage hors ligne et de l'apprentissage collaboratif, il semble être un standard puissant dans les années à venir.

#### Avantages

Avec une conception de base spécialement conçue pour libérer les développeurs d'apprentissage modernes des entraves des normes obsolètes, xAPI présente d'excellents avantages :

- ✓ **Enregistrement presque toutes les activités:** la structure des « déclarations » xAPI utilise des noms, des verbes et des objets, vous pouvez donc enregistrer presque toutes les activités auxquelles vous pouvez penser.
- ✓ **Histoires d'apprentissage flexibles:** l'API Expérience permet aux Learning Record Stores (LRS) de se parler. Les LRS peuvent partager des données et des relevés de notes, et les expériences des apprenants peuvent suivre d'un LRS (ou d'une organisation) à l'autre.
- ✓ **Casiers de données personnelles:** Vos apprenants peuvent avoir leurs propres « casiers de données personnelles » avec leurs informations d'apprentissage

personnelles à l'intérieur. Ceux-ci peuvent être transportés entre différentes organisations.

- ✓ **Prise en charge de tous les appareils:** tout appareil activé peut envoyer des déclarations xAPI, par exemple, des téléphones portables, des simulations matérielles, des jeux électroniques et des appareils médicaux. Une connexion réseau constante n'est pas nécessaire car la connectivité occasionnelle est très bien.
- ✓ **Suivi en dehors d'un LMS:** vous pouvez suivre les événements d'apprentissage sans être limité par la fonctionnalité LMS. Le suivi peut commencer où que l'apprenant se trouve et sur n'importe quel appareil qu'il utilise.

### **Inconvénients**

xAPI est une nouvelle norme et promet beaucoup. Dans une large mesure, il offre, au moins sur le plan technique, mais l'utilisation de ses fonctionnalités pour obtenir des avantages réels et un retour sur investissement sur la formation est quelque chose qui nécessite plus de travail pour être pleinement réalisé. Certaines choses à considérer sont:

- ✓ **Configuration des mesures de performances:** le travail acharné consiste à configurer des mesures de performances et à mesurer l'amélioration par le biais de diverses activités d'apprentissage.
- ✓ **Mesure de l'impact:** le simple fait de signaler qu'un apprenant a fait quelque chose ne montre pas qualitativement ou quantitativement si cette activité a eu un impact sur les connaissances ou les performances.
- ✓ **Utilité des données:** la valeur plus large des nouvelles normes eLearning comme xAPI sont les données, mais les données sont dénuées de sens hors contexte. Donc, à moins que vous n'ayez un plan en place pour corréler l'activité aux performances et au contexte, la valeur de xAPI peut être considérablement inférieure.

xAPI propose de nouvelles façons passionnantes de suivre et de gérer le contenu de la formation qui ne se limite pas aux logiciels strictement eLearning: outils de création et LMS. Si vous prévoyez d'utiliser ces fonctionnalités maintenant ou à l'avenir, c'est un excellent standard. Cependant, si vous développez et livrez principalement du contenu eLearning traditionnel via un LMS, la configuration supplémentaire et la manière très différente de faire les choses peuvent signifier que vous feriez mieux de vous en tenir à une norme plus bien établie comme SCORM.

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

Le développement et l'amélioration « la SCORM nouvelle génération » a fait de grands progrès, l'une des grandes réalisations est que la norme xAPI, il peut définir des verbes et des extensions spécifiques pour une raison de suivre les expériences d'apprentissage des élèves comme nous l'avons vu dans la section précédente. Mais il existe une autre raison pour laquelle cette norme n'inclut pas de définitions de ces verbes. En effet, elle peut faire ses propres choix, ce qui peut entraîner une perte d'interopérabilité. En outre, il ne dispose pas de méthodes communes pour définir les spécifications de séquençage et de mise en signet, qui sont également considérées comme des spécifications de base de la norme mère "SCORM". Par conséquent, pour utiliser la norme xAPI en tant que nouvelle norme de SCORM, elle doit ajouter des règles permettant de garantir la conformité et l'interopérabilité entre les systèmes d'apprentissage en ligne.

#### 4.3. CMI-5 Standard (“extra rules” for xAPI)

Depuis 2010, l'AICC est engagé à travailler sur le projet CMI-5 qui a duré jusqu'en 2014, il était destiné à compléter le mécanisme de communication SOAP pour CMI-5 et de remplacer l'architecture SOAP par xAPI puis, AICC résolu et a transféré le CMI-5 projet à l'ADL.

En juin 2016, ADL a officiellement lancé la première version de la norme CMI-5 (Voir figure 3.18). Après l'effort conjoint de l'AICC et de l'ADL pour résoudre les problèmes et les lacunes des normes SCORM et de son extension xAPI en ajoutant des règles supplémentaires.

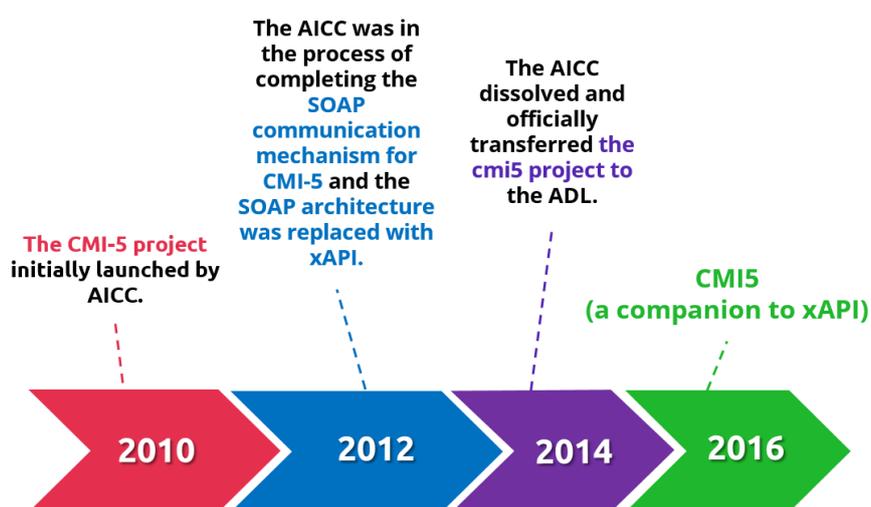


Figure 3.18: Chronologie de l'évolution de la norme de projet CMI-5.

CMI-5 a été conçu pour combiner les spécifications AICC et SCORM afin de fournir une solution d'interopérabilité plus robuste, plus flexible et adaptable aux technologies actuelles. Il

s'agit essentiellement d'un ensemble de règles qui offrent toutes les fonctionnalités d'AICC et de xAPI en même temps pour résoudre les lacunes des versions antérieures de la famille SCORM [231], en considérant que la spécification xAPI est une couche de communication et de données. La spécification CMI-5 comprend deux éléments :

- **Structure de cours** permet de développer le modèle de données pour les unités assignables situées dans le système e-learning et
- **Runtime** permet de définir les actions réciproques entre un système d'apprentissage en ligne et des Unités assignables (AU).

### **L'interopérabilité**

Les systèmes d'apprentissage en ligne fonctionnent de la même manière, conformément aux spécifications des unités assignables cmi-5, comme si un système d'apprentissage en ligne importait un cours SCORM. CMI-5 importe uniquement la structure du cours et non le contenu actuel. On peut donc dire que le contenu peut être partout, en tant qu'utilisation d'une application sur un appareil mobile, etc.

### **Extensibilité**

Avec cmi-5, tout type de données peut être suivi. Les données non binaires et les données binaires telles que les images, les pistes audio et les vidéos basées sur xAPI et même les partager sur des unités assignables cmi-5.

### **Support mobile**

CMI-5 bénéficie toujours de xAPI ; Mécanisme de communication de base prenant en charge les appareils et les applications mobiles, le cmi5 fonctionne de la même manière.

### **Avantages**

Cmi5 prend essentiellement beaucoup de mal à définir les choses dans xAPI, il cherche donc à améliorer cette norme avec les fonctionnalités suivantes:

- ✓ **Empaquetage:** les options d'empaquetage flexibles permettent aux éléments de contenu d'être inclus dans un paquet ou hébergés à distance.
- ✓ **Mécanisme de lancement:** Le mécanisme de lancement cmi5 fournit plusieurs informations importantes aux UA lors du lancement. Un navigateur Web est la plateforme de lancement la plus courante, mais d'autres scénarios de lancement tels que des

applications mobiles, des simulateurs et des périphériques IOT sont également pris en charge.

- ✓ **Prise de contact des informations d'identification:** dans le cadre du processus de lancement, l'UA récupère les informations d'identification du système de lancement dans une demande distincte qui permet que ces informations d'identification ne soient fournies qu'une seule fois. Cela les rend plus sûrs que les processus d'identification précédents, car les informations d'identification sont censées être liées à une session spécifique, sont expirables et incluent généralement des autorisations limitées.
- ✓ **Modèle d'information cohérent:** cmi5 comprend des catégories précises pour les relevés capturés par les unités assignables (AU) ainsi que le système de lancement. Il existe une déclaration « définie par cmi5 » spécialement conçue pour capturer les détails de la session et les principes de base de l'apprentissage en ligne tels que réussite / échec, achèvement du contenu, durée et score. Vous pouvez les regrouper par unités assignables. Ils contiennent une activité API d'expérience pour faciliter leur reconnaissance et leur regroupement. Ce dernier ensemble est laissé presque ouvert et c'est ce qui permet à cmi5 de maintenir la flexibilité inhérente pour laquelle xAPI est si bien connu, bien que même ces déclarations doivent inclure le modèle de contexte mentionné précédemment pour leur permettre d'être corrélées avec le reste du cmi5 mécanique de session (figure 3.19).

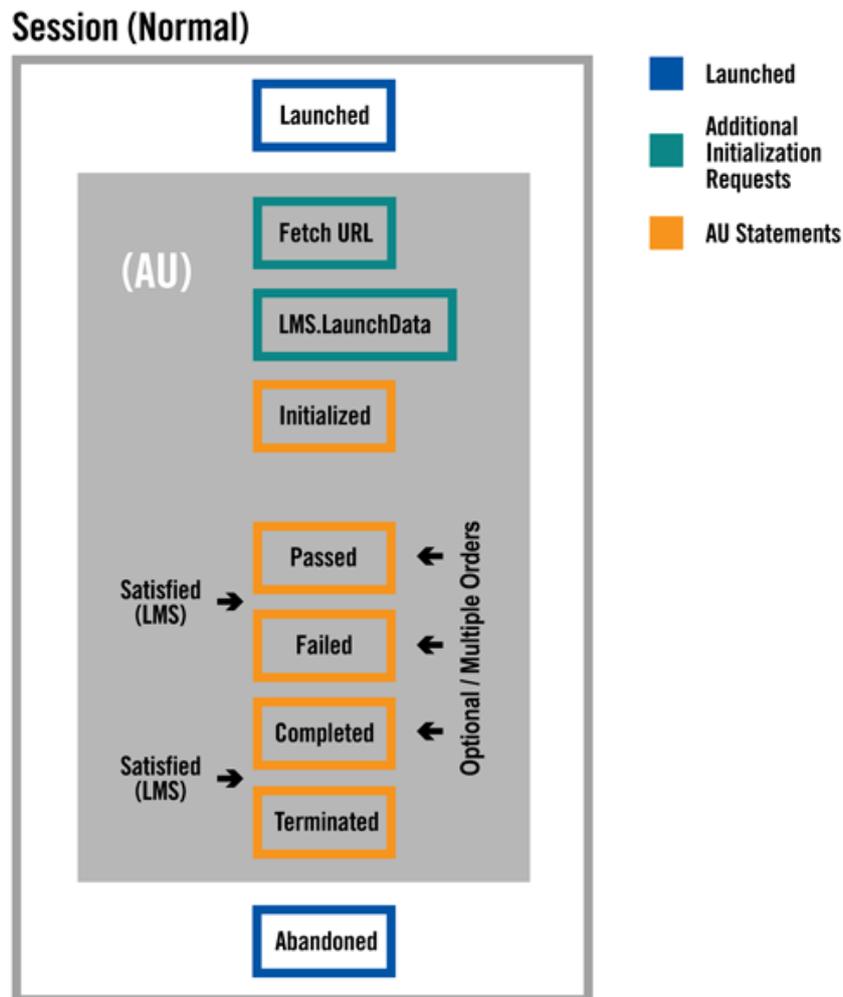


Figure 3.19: Modèle d'information cohérent

- ✓ **Lancement de la même fenêtre:** le contenu peut être lancé dans la même fenêtre que le LMS. Le LMS disparaît et le contenu s'ouvre. Une fois le contenu terminé, il disparaît et le LMS revient.
- ✓ **Contenu distribué:** le contenu peut résider n'importe où, par exemple sur un appareil mobile.

### Inconvénients

D'un point de vue technique, il n'y a vraiment aucun inconvénient à cmi5. D'un point de vue fonctionnel, les seuls inconvénients de cette norme seraient le résultat d'une infrastructure et d'outils hérités.

## IV. Discussion et problèmes actuels

De manière compréhensible, les normes d'apprentissage décrites et illustrées ci-dessus font l'objet de la plus grande attention et d'un examen attentif des normes examinées. Elles ont

### Chapitre 3 - Évolution de la Normalisation et de l'Interopérabilité des Systèmes d'Apprentissage en Ligne : Vue d'Ensemble

---

contribué à de nombreuses initiatives et projets importants dans différents domaines de recherche, dont certains ont reçu un soutien considérable. Bien qu'il ne fasse aucun doute qu'ils ont renforcé et permis l'interopérabilité, la réutilisabilité, la flexibilité et l'évolutivité dans le développement de systèmes d'apprentissage, ils posent néanmoins de nombreux problèmes.

Au cours de leur développement, la plupart des environnements d'apprentissage reposent sur des aspects importants et des mécanismes permettant d'appliquer le processus de conformité et d'interopérabilité aux environnements d'apprentissage. Les plus importants de ces mécanismes sont : **Empaquetage (emballage), Métadonnées, exécution, navigation et séquençage**. Celles-ci sont importantes, toutes les éditions de SCORM 2004 sont basées sur toutes les spécifications mentionnées ci-dessus, et ce qui la distingue des versions précédentes de SCORM et des normes différentes qui font partie d'autres systèmes de séquençement et de navigation.

IMS Common Cartridge est un standard conçu pour contribuer à l'enseignement supérieur, mais il manque certains aspects plus adaptés à l'apprentissage en ligne, tels que la communication de données et le séquençage en temps réel. D'autre part, IMS LTI n'inclut pas les spécifications mentionnées ci-dessus, mais il met l'accent sur l'utilisation d'un moyen servant un système d'apprentissage académique adapté au LTI pour échanger du contenu SCORM, appelé SCORM Cloud.

L'évolution de SCORM a été extrêmement positive après l'apparition de la spécification Tin Can API, qui a résolu de nombreux problèmes et lacunes par rapport aux anciennes versions de SCORM, et qui apporte également de nouvelles fonctionnalités pour l'apprentissage mobile, l'apprentissage en équipe, l'apprentissage social, les jeux et simulations. Cette nouvelle spécification a été adoptée par plus de 170 organisations en juin 2016 [231], ce qui ne correspond pas vraiment au cas d'utilisation d'apprentissage traditionnel basé sur le système LMS, mais pour disposer de la commodité et de la flexibilité des données xAPI à long terme, il est nécessaire d'utiliser le standard CMI-5 qui est toujours en cours d'élaboration, les consommateurs et les fournisseurs d'outils de création ont tous deux adhéré à la norme, et tous les grands outils de création prennent désormais en charge cmi5. Sauf si vous avez d'autres considérations qui vous orientent vers une autre norme, peut-être pour des raisons héritées. Aujourd'hui, il n'y a plus de choix entre l'interopérabilité de SCORM et la flexibilité de xAPI. La prochaine génération de normes d'apprentissage en ligne, cmi5, offre ces deux fonctionnalités simultanément. Cette version unifiée fait ce que SCORM était censé faire :

suivre des données illimitées, soutenir l'apprentissage mobile et même les utiliser pour améliorer l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne. Cmi5 est un excellent choix en 2019 et pour l'avenir.

## **V. Conclusion**

Dans cet article, nous avons mis l'accent sur normes d'interopérabilité importantes telles que SCORM et CMI-5 qui ont été décrites et montrer leurs forces et leurs faiblesses. Nous avons vu que ces normes sont encore en développement et en perspective, que ce soit en fonction du contenu entre les plates-formes d'apprentissage basées sur les concepts d'organisations telles que ADL, IEEE LTSC, IMS, AICC. Mais les objectifs que nous recherchons en matière d'interopérabilité ne sont pas uniquement liés à l'interopérabilité du contenu, mais également à un plus large éventail de fonctionnalités et de services que les applications d'apprentissage peuvent fournir.

# **Chapitre 4 - Une nouvelle Approche pour améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

*“If you think of standardization as the best that you know today, but which is to be improved tomorrow; you get somewhere.”*

[Henry Ford (1926). “Today and tomorrow”]

## **Résumé**

Ce chapitre vise à concevoir une architecture logicielle avec LMS qui se concentre suffisamment pour orchestrer l'environnement d'apprentissage en intégrant des mécanismes et des spécifications pour améliorer l'interopérabilité des LMS et leurs applications mobiles. Ce chapitre est également consacré à la modélisation d'architecture basée sur deux interactivités qui ne peuvent pas encore être réalisées concernant les unités d'apprentissage constituant les vidéos gigantesques en se basant sur les spécifications de la prochaine génération de SCORM. L'implémentation de notre architecture ouvre la voie de développer un tableau de bord de l'enseignant qui va fournir à l'enseignant un formulaire de requête, des rapports et des graphiques illustrant les statistiques de l'utilisation de notre cours ainsi le suivi des apprenants.

Cette architecture a été implémentée sur la célèbre plateforme open source LMS Moodle.

## **I. Introduction**

Au cours des dernières années, l'évolution rapide des technologies de l'information a fourni de nouvelles modalités d'apprentissage et des moyens novateurs de remédier aux limites de l'apprentissage traditionnel [232]. En résumé, l'apprentissage mobile se caractérise par la capacité à renforcer une interaction forte entre les apprenants, les enseignants et les tuteurs, favorisant ainsi une motivation, une convivialité et une résilience accrues dans le processus d'apprentissage. Grâce aux appareils mobiles [233], les enseignants, les tuteurs et les apprenants peuvent utiliser le pouvoir de l'informatique omniprésente pour contribuer, participer et accéder au matériel d'apprentissage à tout moment, n'importe où [234]. Cela est possible grâce à l'interconnectivité entre la technologie Web et la portabilité et l'intégration de ces dispositifs, offrant un degré élevé de communication et de coopération entre leurs utilisateurs [235]. Les techniques d'innovation créées dans le monde expérimental de l'apprentissage mobile doivent être traduites dans les écosystèmes traditionnels. L'apprentissage mobile n'a pas pour vocation de remplacer l'apprentissage en ligne ou l'apprentissage sur le Web, mais de l'étendre. Les applications d'apprentissage mobiles doivent donc être intégrées d'une manière ou d'une autre dans le système de gestion de l'apprentissage en ligne. Pour ce faire, il est nécessaire de résoudre les problèmes d'interopérabilité aux deux extrémités : le système de gestion de l'apprentissage et l'application mobile. L'adaptation des systèmes d'apprentissage en ligne et l'étirement des applications mobiles permettent aux utilisateurs d'accéder au contenu et aux fonctions d'apprentissage à l'aide d'appareils mobiles [236]. L'objectif principal de ce chapitre est de proposer une architecture logicielle visant à adapter les fonctionnalités du système de gestion de l'apprentissage et son extension au scénario mobile. Pour cette étude, nous avons d'abord essayé d'analyser l'évolution de certaines normes d'apprentissage et d'énumérer les contributions liées à l'interopérabilité du LMS avec des applications mobiles basées sur l'architecture SOA et de définir les limites de ces initiatives dans la première section après, présentant à la deuxième section, un aperçu de l'architecture d'interopérabilité que nous avons proposé. La troisième section du chapitre est également consacrée à la modélisation d'architecture basée sur deux interactivités qui ne peuvent pas encore être réalisées concernant les unités d'apprentissage constituant les vidéos gigantesques en se basant sur les spécifications de la prochaine génération de SCORM. La quatrième section est destinée à implémenter notre architecture d'implémentation de notre architecture afin de concrétiser le fruit de notre travail et montrer la faisabilité et l'adaptabilité de l'environnement d'apprentissage en ligne et son extension mobile.

Cette architecture est mise en œuvre pour le LMS open source le plus célèbre, Moodle.

## **II. Les normes d'apprentissage pour l'interopérabilité et Travaux SOA**

### **1. Les normes d'apprentissage pour l'interopérabilité**

Les normes de contenu et la structure d'apprentissage en ligne sont établies pour assurer l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne de sorte que l'accès aux sources d'information, tel que la réutilisation du contenu ou la discrimination de sujets provenant de sources différentes à des moments différents, soit possible [230]. Alors que les appareils mobiles gagnent en popularité et conquièrent notre quotidien et nos habitudes, l'apprentissage en ligne est passé des systèmes d'apprentissage en ligne (LMS) à un processus quotidien et universel [237] [230] [238]. Les jeux, les applications de réalité augmentée, les mondes virtuels, les plates-formes de streaming et les réseaux sociaux peuvent aujourd'hui servir de sources de formation ou d'enseignement, tandis que des équipements mobiles de types différents jouent le rôle de support [270]. Ce nouveau modèle d'apprentissage mobile offre une valeur ajoutée à l'environnement d'apprentissage de l'utilisateur [230], [240].

Dans ce contexte d'apprentissage non supervisé, toutefois, les avantages pour les apprenants seront plus importants s'il existe un moyen transparent de surveiller et de guider leurs progrès d'apprentissage. Un tel mécanisme doit garder une trace des activités d'apprentissage des individus. Ainsi, des profils d'apprentissage sont établis et des ressources pédagogiques personnalisées leur sont fournies en fonction de leurs activités passées. Compte tenu de la pléthore de ressources d'apprentissage disponibles aujourd'hui, il est évident que ce mécanisme devrait être distribué et constituer un moyen générique et normalisé de rendre compte des activités d'apprentissage.

Selon ce plan, les ressources pédagogiques disponibles devraient pouvoir communiquer avec divers référentiels centraux distribués d'actions d'apprentissage, à l'aide d'un protocole et d'un vocabulaire normalisés. L'échange de ces informations devrait également être possible entre les référentiels, afin de constituer une base de connaissances commune à chaque activité d'apprentissage. Cette base pourrait être potentiellement utilisée par divers fournisseurs d'apprentissage, ce qui permettrait de proposer un contenu éducatif adapté au niveau d'apprentissage d'un individu. Selon ce dernier principe, il devrait exister un agent d'apprentissage intelligent prenant en compte les activités d'apprentissage déclarées d'un individu figurant dans les référentiels, afin d'orchestrer son apprentissage ultérieur.

ADL (Advanced Distributed Learning) [241] a mis au point une nouvelle spécification, l'API Experience [237], [242], afin de déterminer la nécessité de prendre en charge des sources d'apprentissage mobiles et non traditionnelles et d'héberger des informations de suivi pour la courbe d'apprentissage de chaque utilisateur. Qui est également connu sous le nom de xAPI. En quelques mots, xAPI est un outil « indépendant de la plate-forme et du contenu » [273] qui peut suivre et stocker de manière dynamique les activités à partir de n'importe quelle plate-forme ou logiciel.

Des normes comme ceux mentionnés dans la section 2.2 pour ADL [241] ont été largement mises en œuvre et adoptées, de sorte que les normes ont été mises en œuvre pour fournir des modèles de données et des protocoles de communication conformes à avoir un contenu interopérable entre les systèmes d'apprentissage en ligne [227]. L'échange de données entre différents systèmes constitue l'un des grands défis des systèmes d'apprentissage en ligne. En outre, l'interopérabilité d'apprentissage ne concerne pas uniquement le contenu. Par conséquent, les objectifs que nous recherchons en matière d'interopérabilité ne sont pas uniquement liés à l'interopérabilité du contenu, mais également à un plus large éventail de fonctionnalités et de services que les applications d'apprentissage peuvent fournir. Pour les raisons susmentionnées, l'approche orientée-service est l'une des solutions utilisées pour résoudre le problème de l'interopérabilité entre différents systèmes d'apprentissage en ligne.

## **2. Travaux SOA pour l'interopérabilité**

Les normes d'apprentissage [177] ont été mises en œuvre pour créer, partager et utiliser des contenus éducatifs, avec l'exploitation des progrès technologiques dans l'apprentissage a abouti à un progrès exponentiel dans ce domaine à travers les applications e-learning au cours de la dernière décennie et actuellement par l'émergence d'un nouveau concept appelé Mobile Learning. Ce progrès a ouvert de nouvelles perspectives. Pour les raisons précédentes, de nouvelles technologies qui ne focalisent pas seulement le contenu d'apprentissage telles que l'architecture orientée services (SOA), qui est une architecture logicielle, définit l'utilisation des services pour prendre en charge les besoins des utilisateurs de logiciels [243]. SOA est principalement utilisée pour la conception et le développement de systèmes distribués car SOA est suffisamment flexible pour gérer différentes tâches et fournir des services, où ces services sont des composants métier réutilisables et sont faiblement couplés. SOA est un moyen de concevoir un système logiciel pour fournir des services aux applications des utilisateurs finaux ou à d'autres services via des interfaces publiées et détectables [244].

L'architecture orientée services permet également à de nombreux clients de découvrir des services et de consommer la même chose. Un service est défini comme un composant logiciel qui exécute une fonction spécifique, qui est exposée par un fournisseur de services et disponible pour les utilisateurs ou le système pour la consommer afin d'obtenir les résultats souhaités [244] [245].

Il y a eu plusieurs contributions qui pourraient être envisagées pour l'intégration des services SOA pour LMS et leur extension à des applications mobiles, Tel que :

- **Etude sur l'utilisation du système de gestion de l'apprentissage avec une application mobile [246]** qui vise à partager une expérience de l'utilisation de l'application mobile par les étudiants en incluant dans ce travail, un système de gestion de l'apprentissage avant et après la mise en œuvre de l'application mobile, le modèle d'utilisation de l'interface Web et de l'application mobile, ainsi que la distribution des fonctions utilisées par les étudiants pour l'application mobile. L'intérêt de ce travail est de fournir un exemple concret aux développeurs pour la conception et le développement du m-learning pour les instituts d'enseignement supérieur.
- **Conception d'une nouvelle architecture d'application de laboratoire à distance mobile optimisée pour M-Learning [247]** utilisant le framework Ionic est proposée pour intégrer le laboratoire distant à l'environnement mobile du M-Learning. Grâce à cette architecture d'application mobile optimisée, les applications de test distantes peuvent utiliser une base de code commune pour déployer des applications de type natif sur de nombreuses plates-formes mobiles telles qu'iOS, Android, Windows Mobile et Blackberry. Pour démontrer l'efficacité de la nouvelle architecture proposée pour M-Learning, une expérience de contrôle innovant de contrôle proportionnel-intégral-dérivé (PID) sur réseau distant a été mise en œuvre avec succès sur la base de cette nouvelle architecture d'application.
- **Intégration des appareils mobiles et des applications éducatives avec un LMS Moodle via des services web [248]** : le projet Moodbile. Plutôt que de créer simplement des applications mobiles répliquant les fonctionnalités du système de gestion de l'apprentissage sur un appareil mobile, Moodbile fournit aux développeurs en apprentissage les outils nécessaires pour permettre aux appareils mobiles d'interagir avec le système de gestion de l'apprentissage. Ce travail décrit une proposition d'une

spécification ouverte de services Web pour prendre en charge l'intégration d'applications externes mobiles avec Moodle.

- **Architecture de référence orientée services pour les environnements d'apprentissage mobiles [249] appelée Ref-mLearning :** Cette contribution vise à contribuer au développement, à la réutilisation et à l'interopérabilité de tels environnements, tout en permettant une augmentation de la qualité et une réduction des coûts au cours de leur développement. Ref-mLearning a été développé selon un processus systématique pour la définition des architectures de référence et a été évalué à l'aide d'un modèle de référence pour les architectures de référence. Les résultats préliminaires obtenus suggèrent que Ref-mLearning est complet et présente la plupart des éléments pertinents par rapport à une architecture de référence.
- **Intégration de LMS et M-learning Applications [250] :** Ce travail présente une architecture qui permet une interopérabilité dans les deux sens entre le système de gestion de l'apprentissage et les applications mobiles : accéder au contenu du système de gestion mobile depuis le périphérique mobile et pouvoir intégrer une partie des applications mobiles dans la structure du système de gestion de l'apprentissage. Cette architecture intègre des éléments de normes d'interopérabilité reconnues (IMS LTI et OKI) et a été validée avec deux projets liés à Open Source LMS Moodle.
- **Services Web pour systèmes de gestion de l'apprentissage : Architecture de communication [251] :** Ce travail propose la conception d'une architecture de communication pour les systèmes de gestion de l'apprentissage. Cela inclut les interactions de services Web, la conception de services essentiels et le développement d'applications. Les services et applications Web sont conçus à l'aide de la structure de données des normes LMS. Cette structure de données est réorganisée dans la nouvelle forme qui dépend des exigences des applications distantes. La conception de l'architecture de communication des services Web permet aux normes LMS de relier des LMS et d'autres applications. L'architecture de communication proposée permet également aux normes LMS d'activer la fonctionnalité d'interopérabilité.
- **Activation de l'interopérabilité pour les services éducatifs LMS [252] :** Ce travail décrit les nouvelles spécifications de service électronique relatives aux fonctionnalités des applications des utilisateurs finaux LMS afin de couvrir certains manques qui sont constatés et également pour couvrir plusieurs aspects du système de gestion de l'apprentissage sont justifiés. En outre, un outil de création basé sur le Web a été mis

en œuvre conformément à ces nouvelles spécifications, générant des fichiers XML. De cette manière, l'interopérabilité entre différents nouveaux aspects du système de gestion de l'apprentissage est activée.

- **L'interopérabilité des LMS: La pièce manquante pour devenir la place commune pour l'innovation E-learning [253]** : Cette contribution spécule sur l'avenir des systèmes de gestion de l'apprentissage en tenant compte des nouvelles applications et technologies d'apprentissage à venir et des attitudes différentes des apprenants et des enseignants, compte tenu de leur passé technologique décrit à l'aide de la métaphore des natifs numériques et des immigrants. L'interopérabilité n'est pas seulement une fonctionnalité intéressante, mais une fonctionnalité indispensable pour le système de gestion de l'apprentissage si ces systèmes doivent être le lieu commun où l'innovation en matière d'apprentissage assisté par les TIC a lieu. Après avoir analysé certaines normes et initiatives liées à l'interopérabilité sur le système de gestion de l'apprentissage, les auteurs présentent un aperçu de l'architecture d'interopérabilité proposée. Cette architecture est mise en œuvre pour le bien connu Open Source LMS Moodle.

Dans tous les cas, ces initiatives sont limitées par les problèmes suivants :

- **Un domaine d'application défini** : Tous les services LMS ne sont pas fournis, seulement ceux qui sont utiles à un domaine d'application spécifique.
- **Interopérabilité unidirectionnelle** : Les architectures ne fonctionnent que dans un sens, c'est-à-dire, fournir des informations à partir du système de gestion de l'apprentissage ou l'intégrer à d'autres outils. Mais il n'est pas possible de fournir cette information et d'intégrer les outils dans le LMS de manière transparente pour les utilisateurs.
- **Spécifications d'interopérabilité** : Définition d'une structure de service qui n'utilise pas de spécifications pour l'interopérabilité.

Dans tous les cas, ce qui est prévu avec cette approche est de résoudre ces problèmes en définissant une architecture flexible, ouverte et bidirectionnelle.

### III. Une nouvelle Approche de Service Web pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning et leurs Extensions Mobile.

#### 1. Approche proposée

Cette approche est constituée de quatre parties (figure 4.1):

- **Smart Mobile Devices** : un appareil mobile (apprenant) qui a accès à Internet pour être en mesure de consommer les services Web.
- **Middleware** : une application Web qui contient les Web Services de l'API RESTful.
- **LMS** : il représente le système de gestion d'apprentissage avec leurs modules, plugins, composants logiciels et base de données.
- **LRS** : il représente l'entrepôt de données d'expériences et les activités d'apprentissage entre les clients et fournisseurs d'activités.
- **CDN** : Réseau de diffusion de contenu dans lequel les ressources d'apprentissage et les unités assignables se résident.

Dans ce chapitre, nous avons proposé une architecture logicielle qui met l'accent sur l'intégration des applications éducatives externes (mobile ou non) à un LMS (figure 4.1 – C) existant et de bénéficier également des ressources et activités LMS via leurs extensions aux appareils mobiles client (figure 4.1 – A) [254].

Comme le montre (figure 4.1 - B), une couche de service web (ws) est implémentée et utilisée par des applications externes et elle est représentée par le système LRS (figure 4.1 - D) qui agit comme middleware de services Restful entre les applications externes et les fonctionnalités de la norme xAPI. Les données et les activités d'apprentissage sont livrées aux applications externes via LRS.

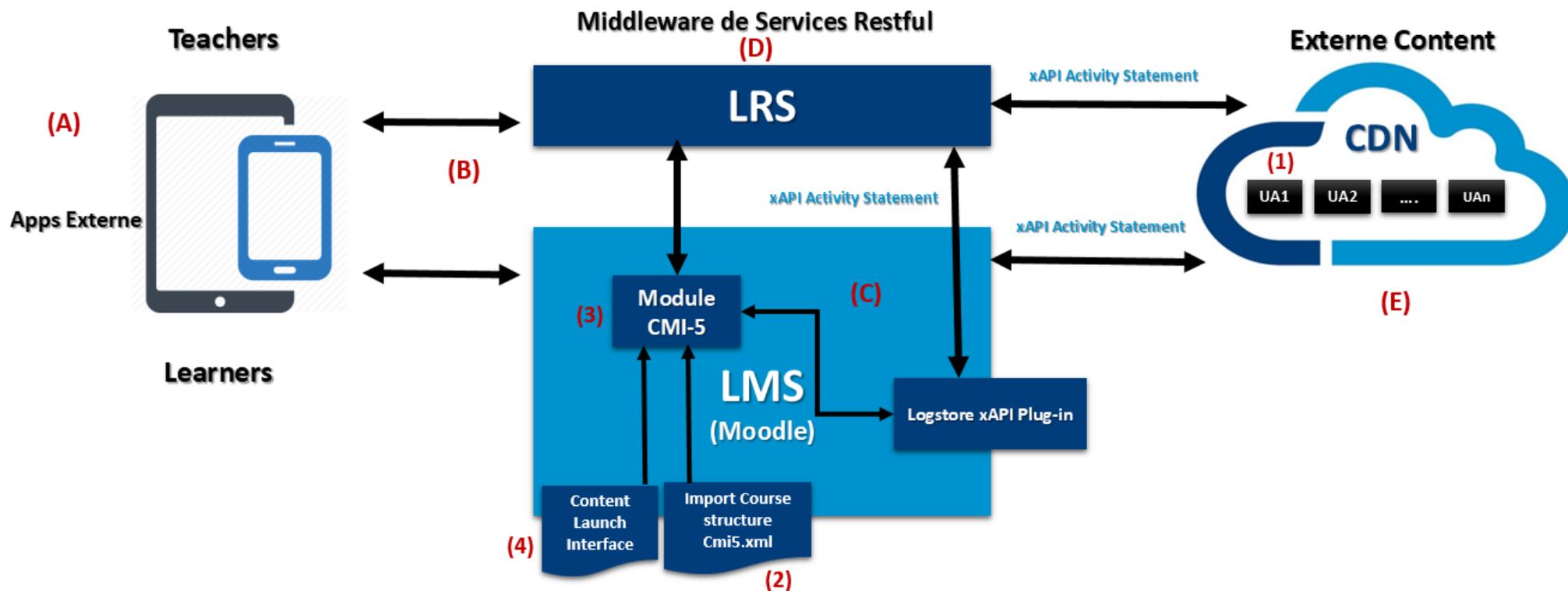


Figure 4.1: Architecture SOA pour l'interopérabilité des LMS et les applications mobiles [285] [286]

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

---

D'une part, l'architecture proposée tire parti des technologies web et qui intègre des fonctionnalités de normes d'apprentissage pour l'interopérabilité comme xAPI et CMI5. Ils sont utilisés comme mécanismes de communication standard de base, dans l'objectif d'adapter le contenu du LMS aux caractéristiques spécifiques de l'appareil mobile. Le contenu de cours doit être conforme au CMI-5 sous forme d'une ou plusieurs unités assignables (AU) (figure 4.1 - 1) qui peuvent être stockés n'importe où, dans le Réseau de Contenu Distribué (CDN) (figure 4.1 - E) c'est à dire que ces AUs n'ont pas besoin de résider tout le contenu dans le LMS ; seulement la structure de cours qui doit y être importée et enregistrée sous la forme d'un fichier XML portant le nom "cmi5.xml" (figure 4.1 - 2). Le module CMI-5 (figure 4.1 - 3) est chargé d'écrire les données appropriées au LRS et de lancer (mécanisme de lancement) les AU par l'administrateur (LMS) via une interface de lancement (figure 4.1 - 4) avec les paramètres nécessaires en se basant sur le fichier d'importation "cmi5.xml".

D'autre part, cet ensemble de services Web est utilisée pour étendre le système LMS à développer une application mobile avancée (client mobile hors ligne) qui accède aux ressources et activités LMS, Pour surmonter les limitations des navigateurs mobiles traditionnels.

### 2. Modèle & Composants d'Architecture Logicielle de la Prochaine Génération de SCORM dans la plateforme LMS

Notre expérience s'est concentrée sur deux interactivités qui ne sont pas réalisables avec les spécifications de la prochaine génération de SCORM [255] :

- **La première interactivité** est une session de classe dans laquelle il existe une série vidéo gigantesque ou constituant l'ensemble du cours, que les apprenants peuvent accéder et consulter pour visualiser ce contenu (ensemble de blocs et unités assignables) à partir de leur appareil mobile ou de leur ordinateur.
- **La deuxième interactivité** consiste à créer des tableaux de bord et des rapports en temps réel utilisés par les enseignants pour suivre les progrès et l'engagement des apprenants dans des matières générales ou des compétences spécifiques, facilitant ainsi leur appréciation et leur évaluation de l'objet éducatif.

#### 2.1. Les cas d'utilisation

Dans un premier temps, nous avons essayé de décrire les cas d'utilisation, c'est-à-dire d'identifier et de décrire les différents systèmes impliqués et de préciser le rôle de chacun des acteurs, sachant que la spécification CMI5 encadrait l'interopérabilité du contenu

---

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

d'apprentissage via le mécanisme de lancement à base de règles utilisant la spécification xAPI (API Experience) qui facilite la communication entre plusieurs systèmes et implique plus ou moins directement plusieurs parties prenantes [255]. Le diagramme ci-dessous (Figure 4.2) illustre les différents cas d'utilisation:

### a. Les rôles

- **Créateur de contenu:** est une personne souhaitant produire du contenu CMI-5.
- **Apprenant:** est une personne qui interagit avec le contenu.
- **Administrateur:** est un individu ou groupe qui met à la disposition des apprenants un contenu conforme à la spécification CMI-5. Ensuite, il agrège et interprète un ensemble de données résultant de l'exploitation du contenu.

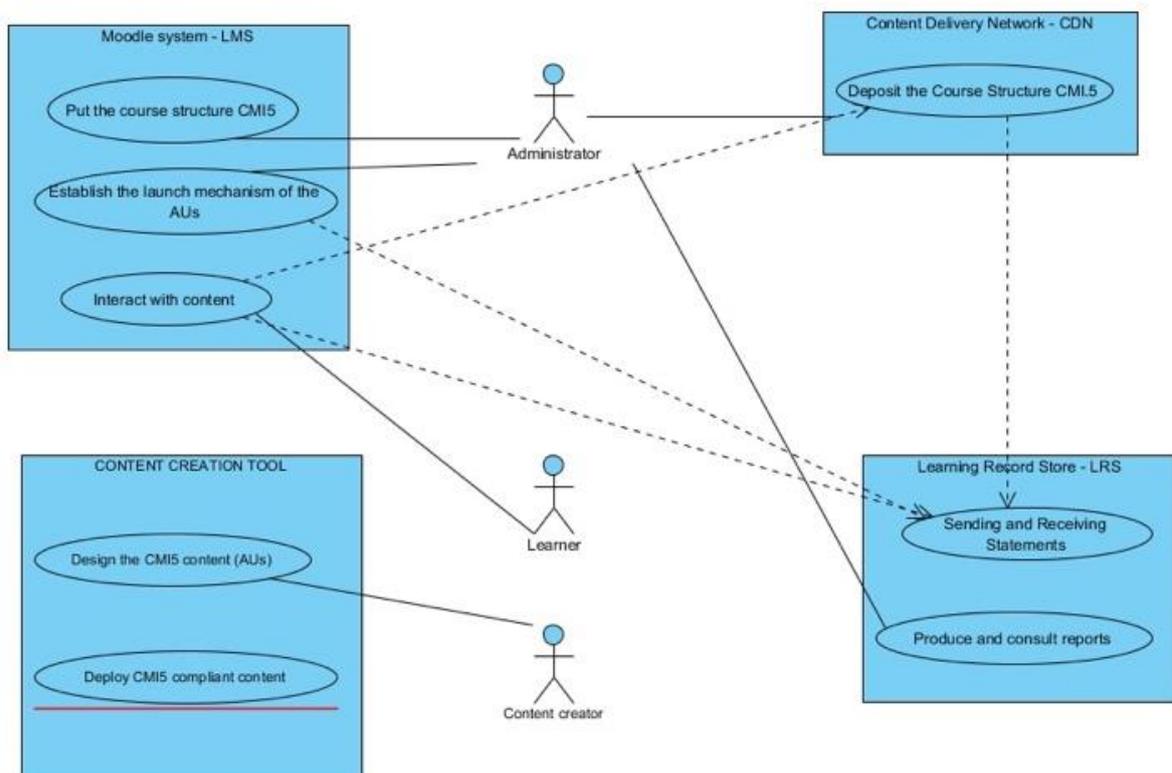


Figure 44.2: Les cas d'utilisation

### b. Systèmes

- **Outil de création de contenu:** outil permettant de créer un contenu conforme à la spécification CMI-5.
- **Moodle LMS:** système de gestion de l'apprentissage en ligne qui vise à mettre à la disposition des cours CMI-5 et des utilisateurs pour structurer et gérer les accès.

- **Logstore xAPI:** consiste à émettre des événements générés à partir du magasin de journaux du LMS Moodle sous forme d'instructions xAPI.
- **LRS:** Système qui est conçu pour enregistrer les déclarations d'envoi et de réception et d'assurer leur échange avec les LMS Moodle et d'autres systèmes tels que CDN.
- **CDN:** est un système qui permet de stocker le contenu d'apprentissage CMI-5 dont le système de gestion de l'apprentissage Moodle a besoin.

**c. Utilisations**

- **Concevoir le contenu CMI5 (AUs):** conception et intégration du contenu composé de textes, médias, interactivités, etc.
- **Déployer du contenu conforme à CMI5:** obtenez à partir d'un outil de création qu'il génère un package conforme à la spécification CMI5, c'est-à-dire envoie des déclarations significatives à un LRS conformément au protocole xAPI établi.
- **Mettez la structure de cours CMI5:** importez la structure de cours CMI5 et résidez-la seule dans le système LMS sous le nom cmi5.xml
- **Dépôt du contenu du cours CMI5:** le contenu réside sur le CDN et doit correspondre à la structure du cours "cmi5.xml".
- **Établissez le mécanisme de lancement des AU:** l'apprenant lance les AU via une interface permettant de corréler le contenu avec le système LMS.
- **Envoi et réception de déclarations:** le serveur LRS reçoit les rapports d'activités du système de gestion de l'apprentissage et les envoie également à une destination telle que le CDN.

**2.2. Diagramme de séquence**

Dans une deuxième étape, pour clarifier la séquence chronologique typique d'utilisation d'une interactivité, nous avons produit un diagramme de séquence pour chacune des interactivités concernées.

**[Pour l'interactivité « visualiser la vidéo interactive » :](#)**

L'interaction entre les objets se déroule sur le côté de l'apprenant, en JavaScript, dans un cours déployé au format CMI-5 dans un LMS [255]. Le diagramme 2 ci-dessous (Figure 4.3) illustre le diagramme de séquence d'interactivité "visualiser une vidéo interactive". Les opérations du système peuvent être résumées en trois étapes:

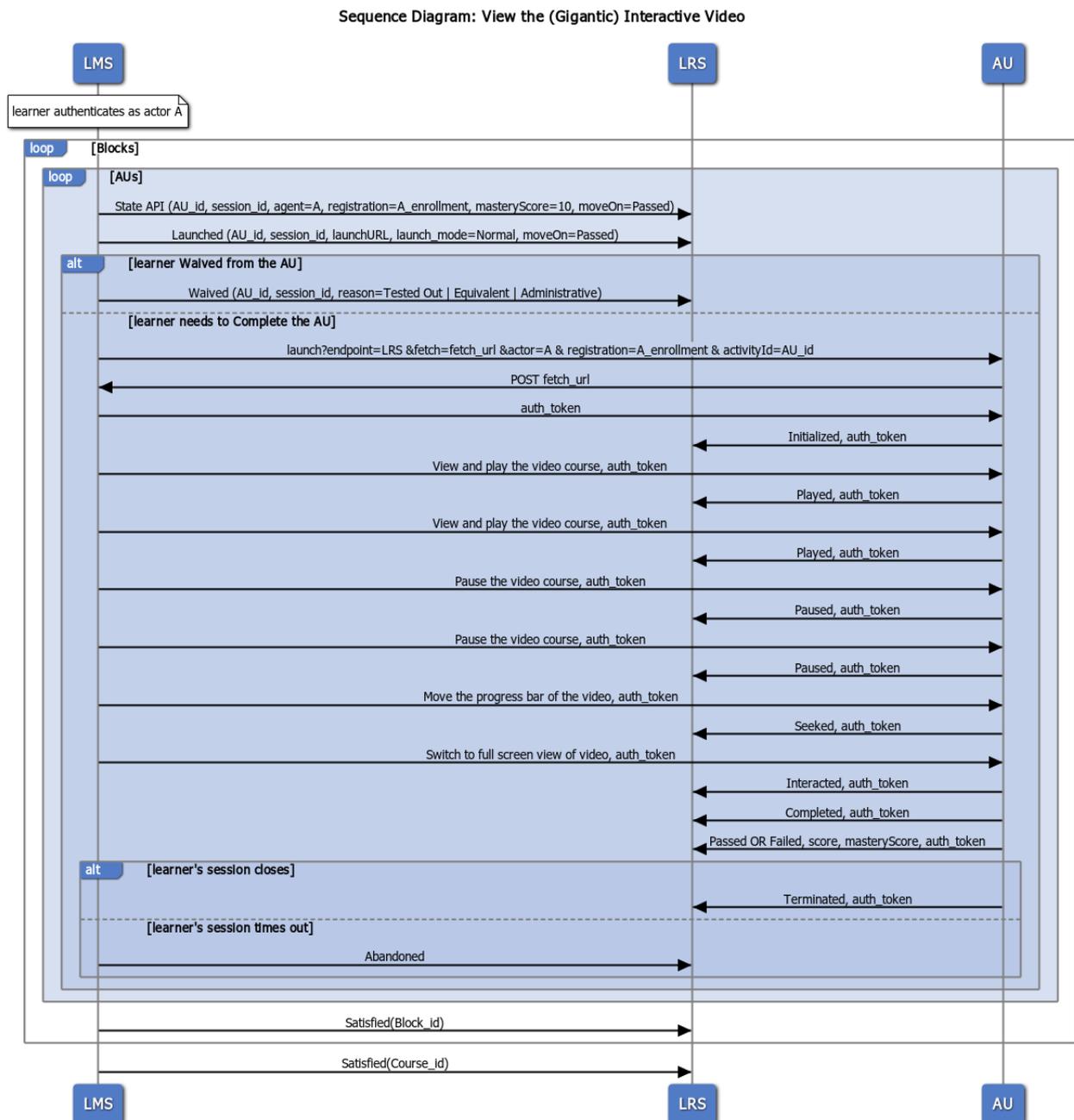


Figure 4.3: Diagramme de séquence d'interactivité "visualiser une vidéo massive"[286].

1) Une fois que l'apprenant a été authentifié auprès du LMS, Le processus de lancement commence à la base d'un navigateur ou comme autres scénario de lancement sont pris en charge, tels qu'un simulateur afin d'envoyer différents types de déclarations xAPI du système de lancement et du contenu ainsi d'explorer l'interaction avec le serveur LRS en envoyant une requête **State API (AU\_id, session\_id, agent=A, registration=A\_enrollment, masteryScore=10, moveOn=passed)**, et à fournir un contenu avec un modèle de contexte d'API Expérience à utiliser pour la création de déclarations, à rendre disponibles les préférences de l'apprenant et à mettre en place une session

d'apprentissage en transmettant la requête **Launched** (**AU\_id**, **session\_id**, **launch\_mode=normal**, **moveOn=Passed**).

2) Dans la deuxième étape, si l'apprenant veut renoncer l'unité Assignable AU, le système de lancement transmet la requête **Waived** (**AU\_id**, **session\_id**, **reason=Tested Out | Equivalent | Administrative**), sinon l'UA doit être lancé par le LMS à l'aide d'un URL avec des paramètres **launch?endpoint=LRS & fetch=fetch\_url & actor=A & registration=A\_enrollment & activityId=AU\_id** puis une connexion a été établie avec le contenu en enregistrant toutes les activités sous forme de déclarations dans le LRS, l'apprenant commence ensuite à récupérer AU (vidéo gigantesque) à partir du CDN pour la visualiser en enregistrant toutes les opérations de cette activité (jouée, en pause, etc.) dans le système LRS, une fois le cours terminé, le réseau de diffusion de contenu envoie une déclaration à l'aide du verbe « Compléter » vers le LRS.

3) La dernière étape consiste à quitter la session d'apprentissage de l'apprenant, une déclaration qui porte le verbe « Terminer » envoyée par le réseau de diffusion de contenu au LRS pour informer que la session d'apprentissage est terminée. Si l'apprenant dépasse le délai d'expiration de la session d'apprentissage, le LMS va envoyer au LRS une déclaration à l'aide du verbe « Abandonner ».

### ***Structure du cours***

- Le cours contient des blocs - collection d'AU dans un regroupement logique
- Les blocs contiennent des unités assignables (AU) - unité de suivi et de gestion du contenu d'apprentissage
- Les blocs peuvent contenir d'autres blocs
- Activité: granulaire d'une AU à une interaction spécifique

### ***Modèles de données***

- Etat
  - `activityId`, `AU id`, `agent`, `registration id`
  - `launchMode`: `normal` | `browse` | `review`
  - `launchParameters`
  - `masteryScore`
  - `returnURL`
  - `moveOn`: `Completed` | `Passed` | `CompletedAndPassed` | `CompletedOrPassed` | `NA`
- Profil d'agent: (langue et audio) préférences de l'apprenant
- Structure du cours
  - `Course`: `id`, `title`, `description`

- Block: id, title, description, objectives
- Objective: id, title, description
- AU:
  - id, title, description, objectives
  - activityType, entitlementKey
  - launchMethod, launchParameters, url
  - masteryScore, moveOn

### ***Déclarations***

- Actor
  - Type: Agent, with "account"
- Verbs
  - Initialized, Terminated
  - Passed, Failed
  - Completed, Satisfied, Waived
- Object
  - Satisfied: AU, Block, or Course
  - Other verbs: always AU

### ***Lancement***

- LMS lance AU, fournissant des informations d'URL et d'authentification pour la connexion à un LRS

**Pour l'interactivité « Teacher's Dashboard » :** Le tableau de bord a pour objectif de fournir au formateur trois outils puissants pour surveiller et visualiser les activités de l'apprenant. Plus spécifiquement, ils peuvent être utilisés pour mesurer l'activité ou la performance de l'utilisateur, pour suivre l'impact du contenu sur l'apprenant, ou même pour étudier la difficulté de plusieurs parties du contenu. Le tableau de bord se constitue de :

- **Une visionneuse de déclarations xAPI (Statements)**

Elle fournit au formateur toutes les activités de l'apprenant sous forme de déclarations stockées dans le LRS. Et pour que le formateur puisse récupérer ces informations, il doit avoir lieu une authentification selon les trois paramètres (point de terminaison, login et mot de passe) auprès du LRS (Figure 4.4).

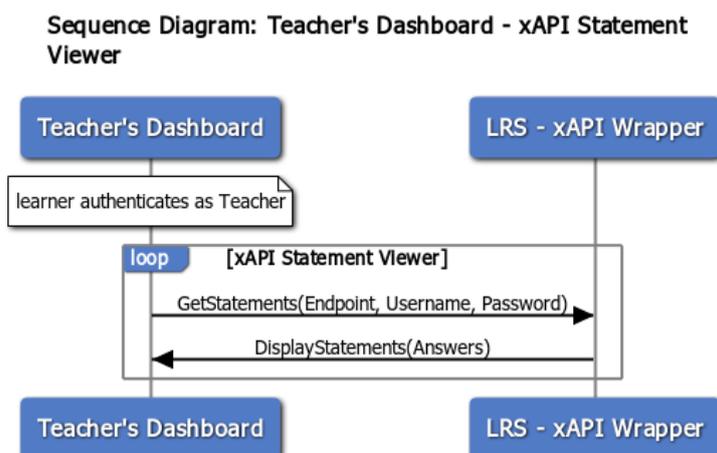


Figure 4.4: Diagramme de séquence d'interactivité "Tableau de bord (1)".

- **Outils de visualisation (diagrammes, tartes et rapports)**

C'est un outil qui va aider le formateur à concevoir des rapports, diagrammes et tartes attrayants présentent les informations de manière claire et agréable superbes modèles de toutes les activités de l'apprenant stockées dans LRS et pour que le formateur puisse utiliser cet outils, il doit avoir lieu une authentification selon les trois paramètres (point de terminaison, login, mot de passe) avec la requête envoyée au LRS (Figure 4.4).

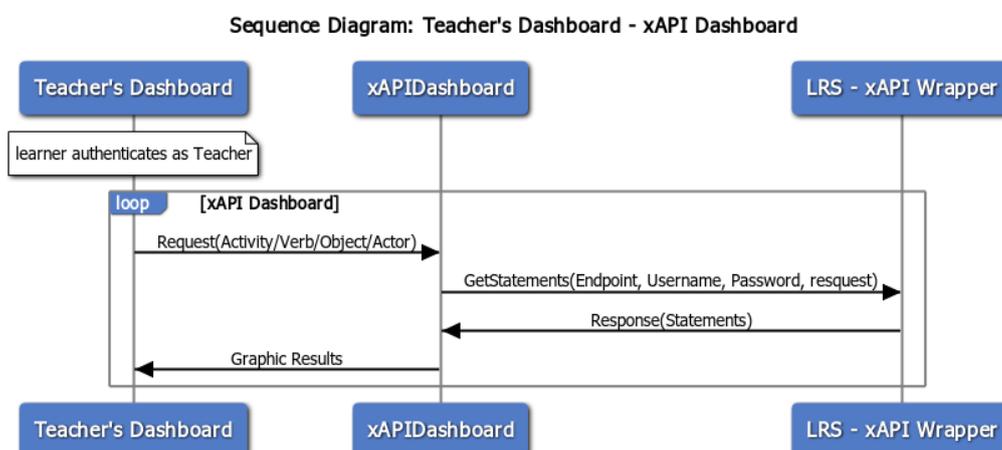


Figure 4.5: Diagramme de séquence d'interactivité "Tableau de bord (2)".

### 2.3. Modèle de domaine

Ensuite, nous avons défini les classes qui modélisent les entités ou les concepts présents dans le domaine d'application, en gardant à l'esprit que les instructions sont au centre des architectures xAPI et CMI5. Le diagramme ci-dessous (Figure 4.6) est une représentation non exhaustive de l'ensemble des composants possibles d'une déclaration (statement). Il illustre

plutôt les composants inévitables (ceux que nous avons retenus de l'ensemble de la version 1.0.0 de la spécification xAPI) pour les besoins de nos interactivités.

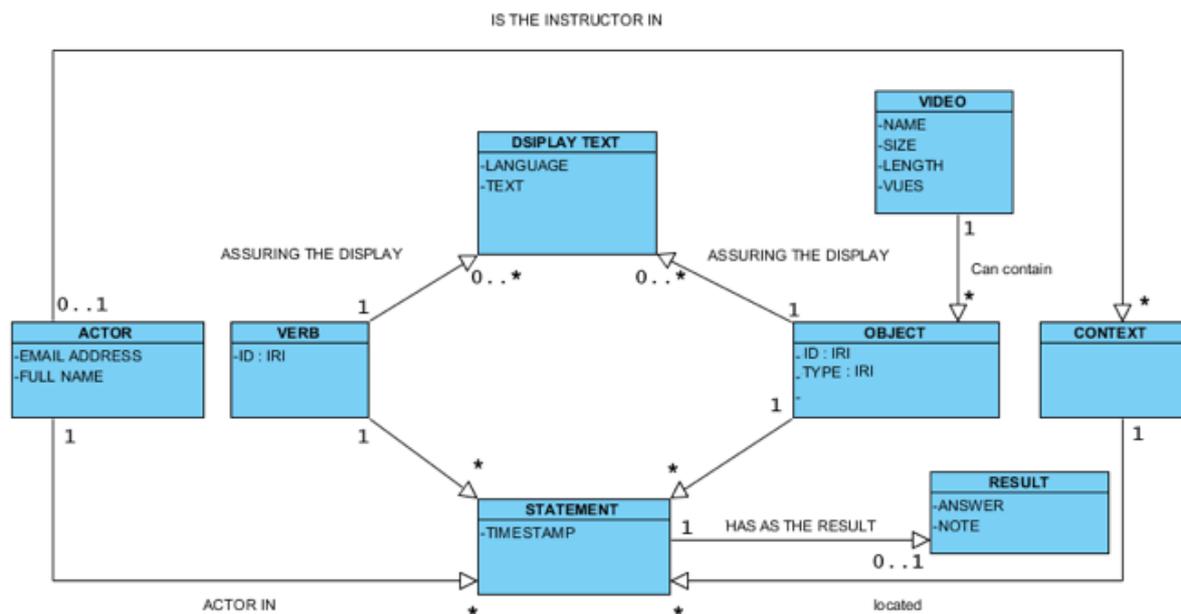


Figure 4.6: Représentation de composants du domaine d'application [286].

## IV. Implémentation & Intégration de la prochaine génération de SCORM dans la Plateforme LMS

### 1. Intégration les principaux composants de la prochaine génération de la spécification SCORM

#### 1.1. Choix de l'Outils ADL LRS en tant que LRS

Dans cette architecture, nous avons utilisé un LRS (Learning Record Store) qui constitue le noyau de xAPI en tant que middleware de services Restful ou encapsuleur pour une base de données SQL consistant à stocker les données pour permettre à un système de gestion d'apprentissage d'établir des rapports de suivi sur l'expérience d'apprentissage. Nous avons également choisi la solution Open Source Logstore xAPI développée par Learning Locker pour les besoins de notre expérience, car elle nous semblait plus avancée en termes de développement et aussi bien la solution ADL LRS. *(Ce sont les deux seules solutions open source, les autres étant des solutions propriétaires ou hébergées.)*

La figure 4.7 illustre l'interaction entre le client (utilisateur) et le serveur de ressources (LRS).

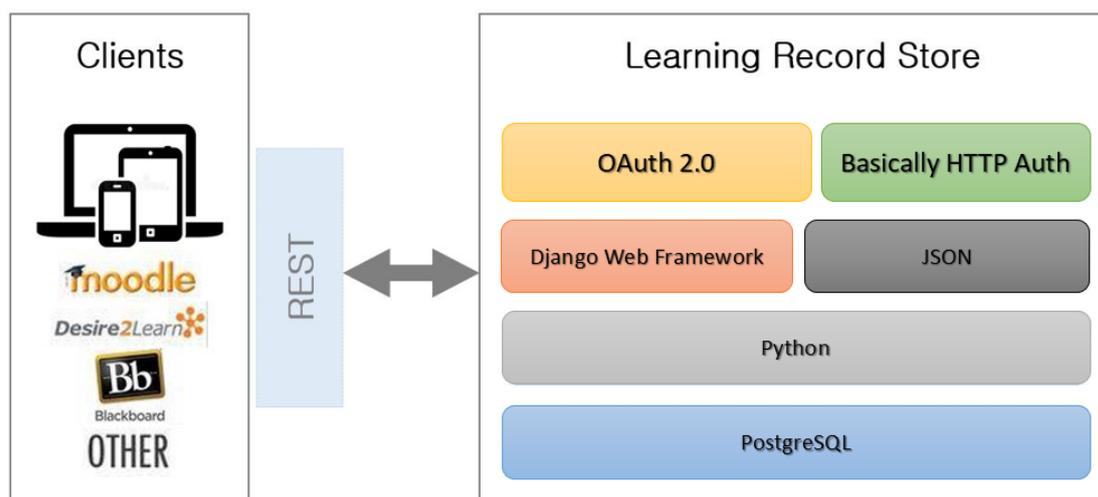
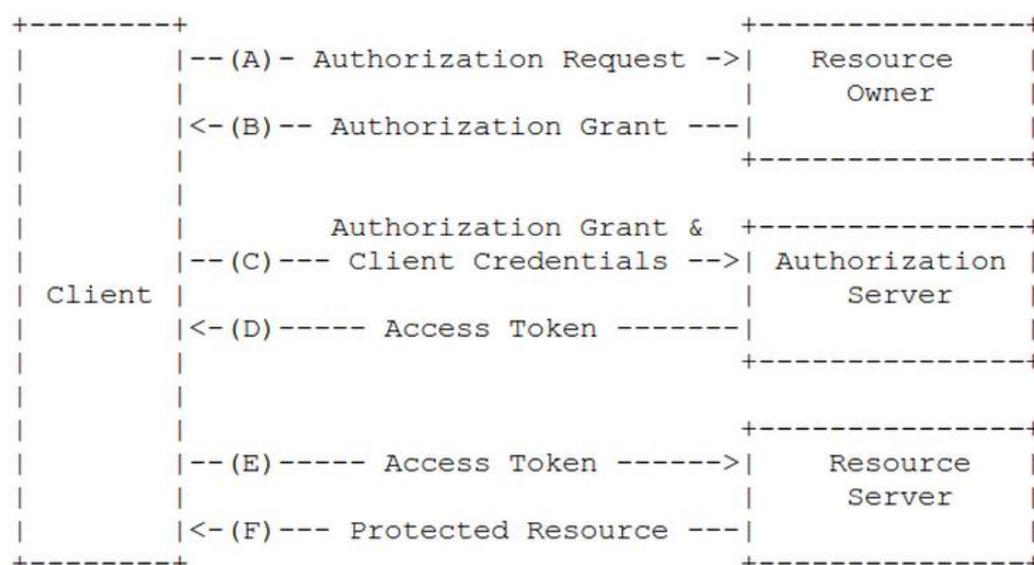


Figure 4.7: Pile logicielle LRS et interaction

**ADL LRS** utilise Composer pour la gestion des dépendances, ce qui est une bonne pratique reconnue. Cette implémentation de LRS gratuite a été open source par ADL (Advanced Distributed Learning). ADL LRS utilise PostgreSQL pour stocker des données, plutôt que les applications **PHP MySQL** habituelles. C'est un très bon choix car JSON est la représentation de données principale pour **PostgreSQL** comme pour l'expérience API. ADL LRS est basé sur le langage informatique **Python** et l'utilisation de **Django Web Framework** pour permettre aux utilisateurs d'interroger rapidement les données d'une manière non autorisée par xAPI (pour ce qui est de lui-même) et pour ce faire, le système LRS nécessite des informations d'identification définies dans ses paramètres administratifs. Les deux types d'informations d'identification utilisées pour les LRS sont l'authentification de base HTTP (Hypertext Transfer Protocol) et l'authentification de base **OAuth 2.0**. L'authentification HTTP de base est une méthode d'authentification qui nécessite que l'utilisateur envoie les informations d'identification LRS (nom d'utilisateur et mot de passe) en texte clair sur Internet. Cela ne garantit aucune confidentialité des informations d'identification et pose un risque de sécurité.

Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 6749 indique qu'OAuth 2.0 offre un moyen plus sécurisé d'accéder aux données LRS (figure 4.8), car l'utilisateur n'utilise plus les informations d'identification LRS et reçoit un jeton de l'accès LRS spécifiant l'étendue, la durée de vie et d'autres attributs d'accès. [256]



*Figure 4.8: Flux de protocole abstrait OAuth 2.0.*

*Source: Internet Engineering Task Force (2012).*

Semblable à un système de gestion de l'apprentissage, un serveur LRS peut généralement attribuer aux utilisateurs différents rôles ou niveaux d'autorisation. Ces autorisations permettent d'accéder aux déclarations stockées dans le serveur LRS et de les afficher uniquement par des personnes autorisées. Ils peuvent également être utilisés pour contrôler l'exportation des déclarations du système LRS vers d'autres systèmes capables de les utiliser dans une analyse ultérieure.

Un aspect clé de l'architecture LRS est qu'elle peut être mise en œuvre dans des écosystèmes cloud partagés. Cela permet des communications à partir de plateformes d'apprentissage en ligne et d'institutions universitaires très différentes. En d'autres termes, les données de surveillance peuvent être stockées uniformément. Cela permet un accès rapide, vaste et démocratique aux informations analytiques d'apprentissage. Il existe des services d'hébergement LRS gratuits, mais principalement à des fins de test et de promotion de la technologie. Un de ces services est fourni par l'ADL (<http://lrs.adlnet.gov/xAPI>) et un autre par Rustici Software (<http://tincanapi.com/prototypes/>).

## **1.2. Utilisation du Plug-in de Moodle "LogStore xAPI"**

Comme indiqué dans le référentiel Github « moodle-logstore\_xapi, 2018 » [257], le plug-in "émet simplement des événements du magasin de journaux Moodle sous la forme de déclarations xAPI (Figure 4.9). Pour ceux qui ne le savent pas, le magasin de journaux « Moodle Logstore » est un journal d'activités dans Moodle.

Lorsque vous visualisez un cours, répondez à un questionnaire ou notez à un étudiant un journal de cette activité est enregistré dans le magasin de journaux. Le plug-in utilise ces journaux pour produire des déclarations xAPI puis les envoie (les émet) à un LRS (Learning Record Store).

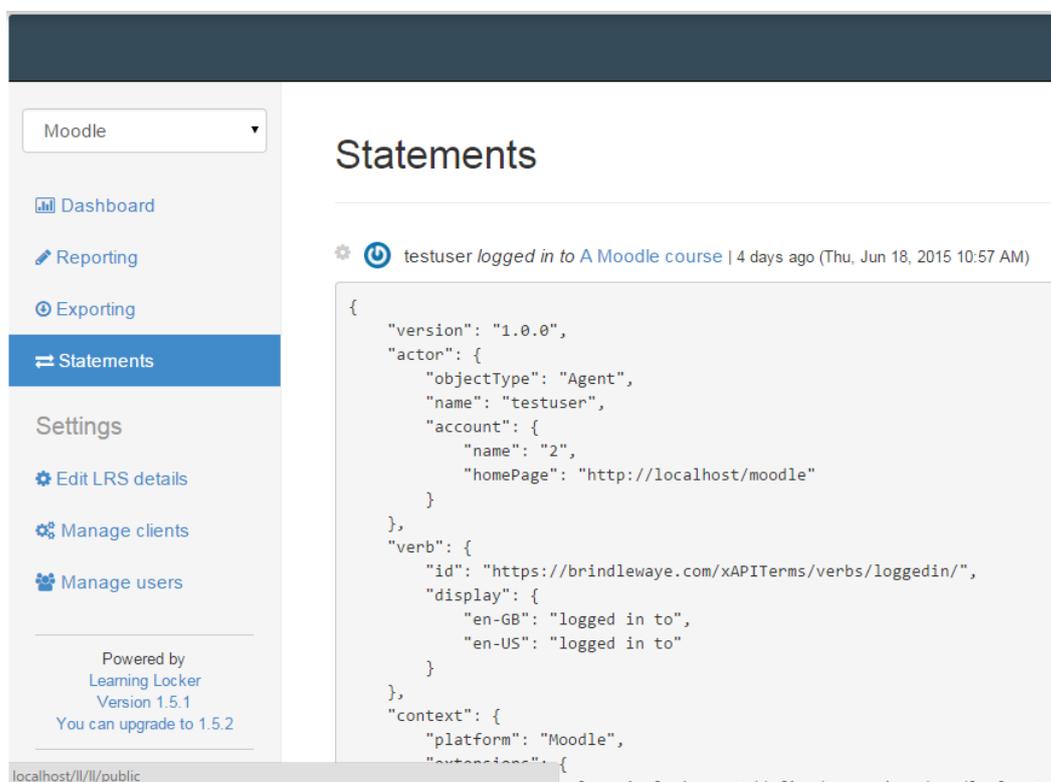


Figure 4.9: Exemple de déclarations xAPI / TinCan produites par le plug-in Moodle Logstore [257].

Le plugin est composé de trois parties, un Expandeur, un traducteur et un émetteur. Chaque entrée de journal passe en revue chacune de ces parties en six étapes avant d'atteindre le LRS (Figure 4.10).

- 1) Le plug-in transmet l'entrée de journal de `logstore_standard_log` à l'expandeur.
- 2) L'expandeur étend l'entrée de journal avec les données de votre base de données Moodle.
- 3) Le plug-in transmet l'événement développé de l'étape 2 au traducteur.
- 4) Le traducteur traduit l'événement développé en options de recette xAPI/TinCan.
- 5) Le plug-in transmet l'événement traduit de l'étape 4 à l'émetteur.
- 6) L'émetteur construit l'événement traduit en tant que déclaration xAPI/TinCan et l'envoie au LRS.

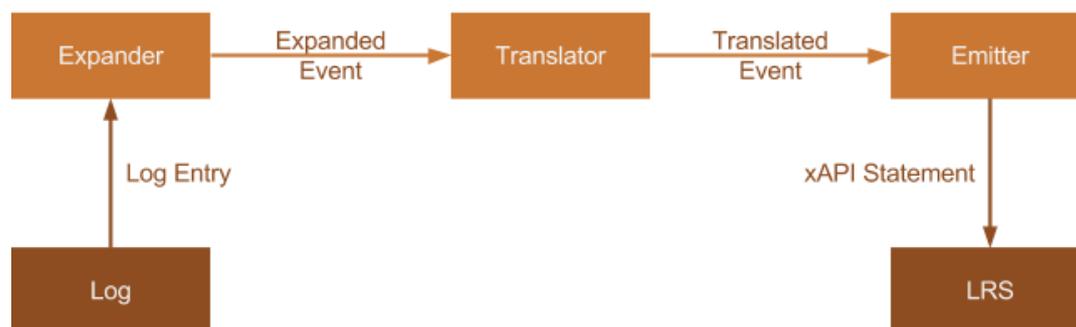


Figure 4.10: Une vue simplifiée du processus en six étapes définit les trois parties du plug-in.

### 1.3. L'emballage du contenu

Nous avons récemment amélioré le lecteur de contenu xAPI dans Moodle (LMS) en intégrant cmi5. Voici quelques-unes de nos observations sur l'intégration. Cette partie concerne l'importation de contenu d'apprentissage en ligne dans le système de gestion de l'apprentissage. Le contenu de l'apprentissage en ligne consiste généralement en un ensemble d'actifs accessibles par un navigateur Web; par exemple. Certaines pages Web html et certains fichiers multimédias (images et vidéos, etc). Les producteurs de contenu ont besoin d'un mécanisme pour transférer ces actifs au système de gestion de l'apprentissage (LMS) et de dire aux LMS ce qu'il faut faire avec eux. Ceci est généralement appelé **emballage de contenu**.

### 1.4. Contenu externe

Avec xAPI et cmi5, il est possible d'utiliser du contenu de formation en ligne qui n'est pas hébergé dans le système de gestion de l'apprentissage, mais qui peut être hébergé n'importe où sur Internet.

Les producteurs de contenu et les fournisseurs LMS y parviennent depuis de nombreuses années avec SCORM. La méthode SCORM consistait à placer tous les actifs dans un fichier zip et à inclure un fichier manifeste XML supplémentaire expliquant la structure. Globalement, cela a bien fonctionné bien que dans SCORM, la structure du contenu de l'apprentissage en ligne puisse devenir assez complexe (SCORM 1.2 dispose d'un document de spécification de 180 pages traitant des règles relatives à l'emballage de son contenu). XAPI et CMI5 ont conservé la même approche de base: fichier zip + fichier manifeste XML; mais heureusement, les structures ont été simplifiées.

En réalité, tout ce qu'un mécanisme de création de contenu doit faire - consiste à définir les activités d'apprentissage en ligne pouvant être lancées disponibles dans le fichier zip. Le

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

système de gestion d'apprentissage peut fournir des outils pour combiner ces éléments pouvant être lancés dans des structures de cours sensées.

- La spécification du contenu xAPI natif pourrait être aussi simple [259] (Figure 4.11):

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
2 <tincan xmlns="http://projecttincan.com/tincan.xsd">
3   <activities>
4     <activity id="http://lrn.zncdn.net/cmi5/videos/oceans.mp4">
5       <name>Ocean Life</name>
6       <description lang="en-US">A short video clip of ocean lifeforms</description>
7       <launch lang="en-us">launch.html</launch>
8     </activity>
9   </activities>
10 </tincan>
```

Figure 4.11: Une structure de cours de spécification de contenu xAPI natif.

L'élément d'activité peut être répété, ce qui permet de télécharger simultanément plusieurs activités pouvant être lancées.

- Les manifestes dans cmi5 peuvent être simples [259] (Figure 4.12):

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <courseStructure xmlns="https://w3id.org/xapi/profiles/cmi5/v1/CourseStructure.xsd">
3   <course id="http://lrn.zncdn.net/identifiers/courses/02baafcf">
4     <title>
5       <langstring lang="en-US">Ocean Life</langstring>
6     </title>
7     <description>
8       <langstring lang="en-US">
9         A short video clip of ocean lifeforms
10      </langstring>
11    </description>
12  </course>
13  <au id="http://lrn.zncdn.net/identifiers/courses/02baafcf/aus/4c07">
14    <title>
15      <langstring lang="en-US">Ocean Life</langstring>
16    </title>
17    <description>
18      <langstring lang="en-US">
19        A short video clip of ocean lifeforms
20      </langstring>
21    </description>
22    <url>http://lrn.zncdn.net/identifiers/courses/02baafcf/aus/4c07/launch.html</url>
23  </au>
24 </courseStructure>
```

Figure 4.12: Manifestes dans cmi5 - Structure du cours

En tant que développeur LMS, cette complexité peut être assez frustrante. Il faut beaucoup de temps et d'efforts pour soutenir les structures complexes. Parfois, les structures ne s'intègrent pas dans les structures d'apprentissage du LMS en question. Nous aimons que les administrateurs du système de gestion d'apprentissage (LMS) aient le contrôle des structures de cours (donc pour les manifestes définissant la structure de cours) moins, c'est plus.

Pour notre mise en œuvre, nous nous concentrons sur les manifestes cmi5.xml pour élaborer la structure du cours qui se compose des éléments - les unités assignables. Les unités assignables possèdent des attributs intéressants qui s'avèrent très utiles pour comprendre le comportement du contenu et du système de gestion de l'apprentissage (LMS) [259]:

### 1.5. Mécanisme de lancement « LaunchMethod »

Le mécanisme de lancement de cmi5 est très similaire aux modèles existants et fournit plusieurs informations importantes aux AU lors du lancement. Bien qu'un navigateur soit une plate-forme de lancement commune, d'autres scénarios de lancement sont pris en charge, tels que des simulateurs, des applications mobiles, etc. Le processus de lancement consiste à capturer les déclarations du système de lancement et du contenu, à fournir un contenu avec un modèle de contexte d'API Expérience à utiliser pour la création de déclarations, à rendre disponibles les préférences de l'apprenant et à mettre en place une session d'apprentissage.

Il peut prendre les valeurs `OwnWindow` ou `AnyWindow` (qui est la valeur par défaut). Comme si cela avait l'air d'être réglé sur `OwnWindow`, le système de gestion de l'apprentissage devrait ouvrir le contenu dans sa propre fenêtre dédiée. `AnyWindow` signifie que le système de gestion de l'apprentissage (LMS) peut utiliser n'importe quelle fenêtre. En réalité, cela signifie probablement que le contenu sera affiché dans un « `Iframe` » avec le chrome "LMS" qui l'entoure.

Dans les deux cas, l'UA doit être lancé par le LMS à l'aide d'un URL avec des paramètres pour le lancement de la chaîne de requête (Figure 4.13). Les paramètres de lancement doivent être des paires noms / valeur dans une chaîne de requête ajoutée à l'URL qui lance l'UA.

Le format de l'URL de lancement est le suivant:

```
1 <URL to AU>  
2 ?endpoint=<URL to LMS Listener>  
3 &fetch=<Fetch URL for the Authorization Token>  
4 &actor=<Actor>  
5 &registration=<Registration ID>  
6 &activityId=<AU activity ID>
```

Figure 4.13: Format de l'URL de lancement.

Les paramètres signifient ce qui suit:

- **Endpoint:** adresse URL du LMS à utiliser pour l'envoi de messages à partir de l'AU
- **Fetch:** URL d'un jeton d'autorisation

- **Actor:** un objet JSON définissant l'apprenant
- **Registration:** un identifiant unique pour cette session d'apprentissage
- **Activity ID:** ID unique associé à cette AU.

```
http://www.moodle.flbenmsik.ma/cmi5/Start.html
?endpoint =      http://lrs.flbenmsik.ma/lrslistener/
&fetch =        http://moodle.flbenmsik.ma/tokenGen.htm?k=2390289x0
&actor =        {"objectType": "Agent",
                 "account": {"homePage": "http://www.moodle.flbenmsik.ma", "bakhouyi":
                 "http://www.flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4"}
&registration = 86c5b148-4462-4da9-a13f-b570c27fa049
&activityId =   http://www.flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4
```

Figure 4.14: URL de lancement de notre implémentation.

### MasteryScore

La note de passage si le contenu contient une évaluation ou un test.

Bien que SCORM contenait un score de maîtrise (MasteryScore) - celui de cmi5 a été mis à l'échelle et correspond à un nombre décimal compris entre 0 et 1, par ex. 0,85 - soit 85%.

### moveOn

SCORM a réussi à créer une grande confusion quant à la manière dont le contenu d'apprentissage informait le système de gestion de l'apprentissage qu'il avait terminé (peut-être même réussi ou échoué s'il y avait une évaluation ou un test). moveOn est une tentative pour clarifier les choses tout en maintenant la flexibilité. Les valeurs autorisées sont:

- *Passed*
- *Completed*
- *CompletedAndPassed*
- *CompletedOrPassed*
- *NotApplicable*

La valeur moveOn indique essentiellement au système de gestion de l'apprentissage les conditions dans lesquelles le contenu peut être considéré comme terminé. La valeur "Passé" signifie que le système de gestion de l'apprentissage doit attendre d'entendre un verbe passé du contenu. «CompletedAndPassed» signifie que le système de gestion de l'apprentissage doit attendre d'entendre un verbe complété et un verbe passé du contenu avant de considérer que le contenu est terminé. «NotApplicable» est intéressant - suggérant que le LMS devrait décider.

Pour expérimenter le processus de lancement d'une activité cmi5, un simulateur open source de l'UA a été utilisé [260]. Cette activité a été choisie car elle était explicitement conçue pour explorer le processus de lancement de cmi5. Il est léger et permet à l'utilisateur de suivre manuellement le processus de lancement, étape par étape. De plus, nous avons utilisé

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

l'application Postman [261] (voir figure 4.15) pour créer dans le LRS un document d'API d'État et un document de profil d'agent.

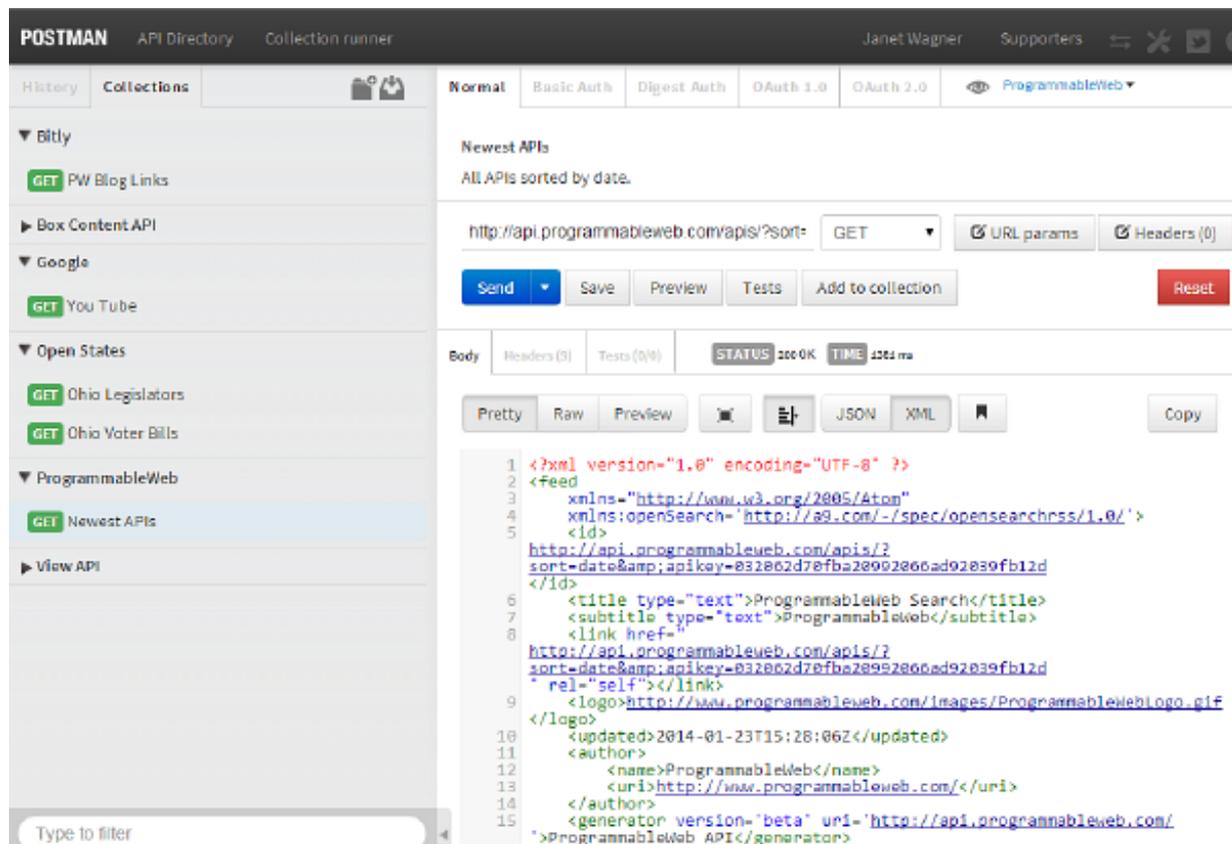


Figure 4.15: Application Postman.

Il convient de noter que le simulateur UA permet à l'utilisateur d'envoyer différents types de déclarations xAPI afin d'explorer l'interaction avec un serveur LRS après le lancement de l'activité. Cependant, notre exploration s'est limitée à l'exécution des étapes nécessaires au lancement réussi de l'activité. Après le lancement de l'activité, aucun effort n'a été fait pour explorer le côté des spécifications de la cmi5 au LMS. De plus, sans un LMS compatible avec cmi5, la plupart des erreurs spécifiques à cmi5 sont difficiles à explorer, car la plupart des erreurs pouvant survenir sont des erreurs LRS. (Par exemple, si l'acteur de profil d'agent ne correspond pas à un acteur existant dans le système de gestion de l'apprentissage, nous obtenons un 404 lorsque nous essayons de récupérer le profil). La figure 4.16 fournit une capture d'écran de l'interface utilisateur offerte par le simulateur UA.

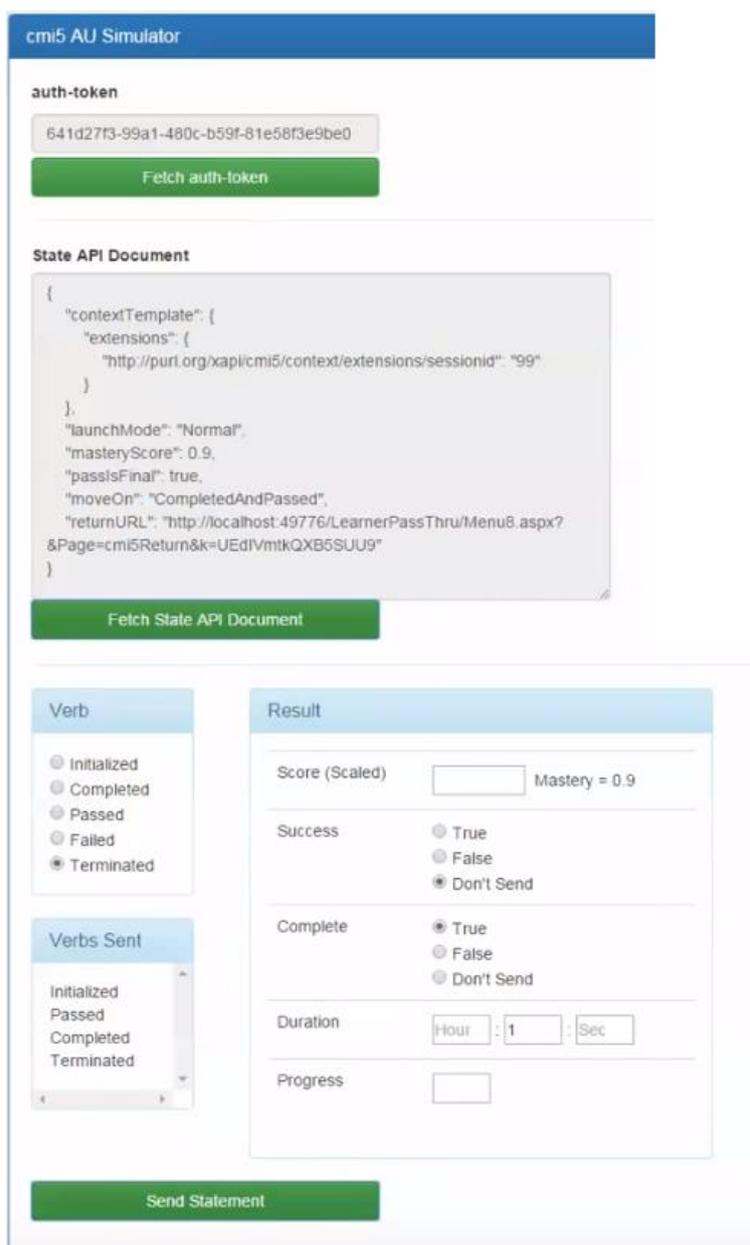


Figure 4.16: capture d'écran de l'interface utilisateur offerte par le simulateur UA de cmi-5.

Tout d'abord, l'activité a extrait le jeton d'authentification en envoyant un POST (PUT) à l'URL d'extraction (figure 4.17). Cela a été fait en appuyant sur le bouton "Fetch auth-token" dans le simulateur UA.

```
[18/May/2017 13:30:31] "OPTIONS /xAPI/statements?statementId=e5a7d141-b8c37-8880f4b0cc02 HTTP/1.1" 200 0
[18/May/2017 13:30:32] "PUT /xAPI/statements?statementId=e5a7d141-b8c37-8880f4b0cc02 HTTP/1.1" 500 30
```

Figure 4.17: xAPI & CMIS prennent en charge une architecture distribuée, dans laquelle les flux de déclarations peuvent provenir de diverses sources et être transmis à plusieurs points de terminaison.

Ensuite, l'activité a extrait le document API d'état du serveur LRS, en appuyant sur le bouton "Fetch State API Document" dans le simulateur UA. Cela a envoyé une requête HTTP GET au point de terminaison d'état (State Endpoint) du serveur LRS (Figure 4.18). Cela incluait l'identifiant d'activité (Activity Id), l'agent, l'identifiant d'état (State Id) et l'enregistrement (Registration).

```
[18/May/2017 13:33:29] "OPTIONS /xAPI/statements?verb=http%3A%2F%2Fadlnet.gov%2Fexpapi%2Fverbs%2Fcomplete%2Fkoralia%2FTest_in_text_Formatting HTTP/1.1" 200 0
[18/May/2017 13:33:30] "GET /xAPI/statements?verb=http%3A%2F%2Fadlnet.gov%2Fexpapi%2Fverbs%2Fcomplete%2Fkoralia%2FTest_in_text_Formatting HTTP/1.1" 200 6375
[18/May/2017 13:33:44] "OPTIONS /xAPI/statements?statementId=37f2150b-d2bf-45aa-8e22-af0aa3e3656c HTTP/1.1" 200 0
```

Figure 4.18: Un exemple d'une demande de déclaration auprès du LRS.

Dans une troisième étape, l'activité a extrait le profil d'agent du LRS (en appuyant sur le bouton correspondant dans le simulateur UA), en envoyant une requête HTTP GET au point de terminaison du profil du LRS et envoi de l'agent (sous forme JSON) et de profileId [262]. À ce stade, les déclarations LRS ont été envoyées au point de terminaison fourni par l'UA. L'ensemble du processus a été exécuté comme prévu.

## 2. Réalisation des Interactivités d'Apprentissage pour Améliorer l'Interopérabilité d'Apprentissage en Ligne

### 2.1. Réalisation de la 1<sup>ère</sup> interactivité « visualiser la vidéo interactive »

Le cours est représenté dans notre implémentation sous forme d'une session de classe dans laquelle il existe une vidéo ou une série de vidéos constituant l'ensemble du contenu que les apprenants puissent en consulter et en visualiser à partir de leur appareil mobile ou de leur ordinateur. Voici d'un prototype fonctionnel du profil vidéo en action: (Figure 4.19).

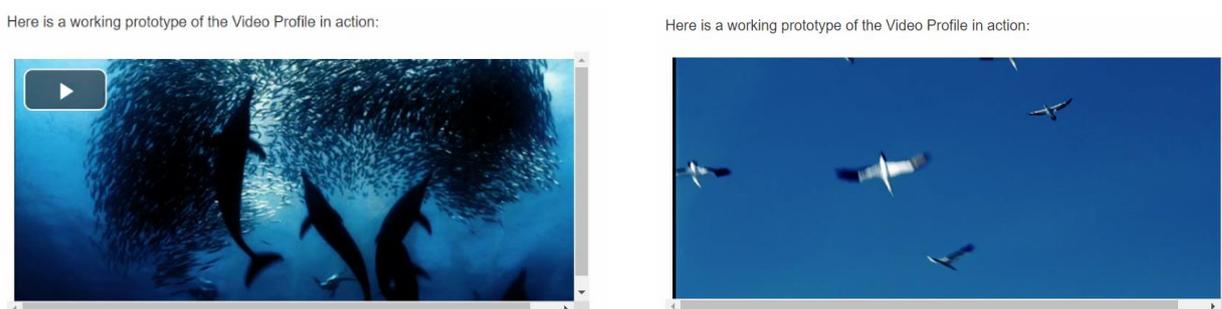


Figure 4.19: Interface d'un prototype fonctionnel du profil vidéo en action.

**La déclaration « Initialisée » :**

Lorsque l'apprenant commence à charger la vidéo (Figure 4.20), une première déclaration « Initialisée » de cette activité est envoyée au LMS et est enregistrée au LRS à l'aide du verbe « **Initialized** » pour indiquer que la vidéo a été entièrement initialisée ou lancée.

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/initialized",
    "display": {
      "en-US": "initialized"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T15:27:52.365Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms"
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/volume": 1,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/video-playback-size": "640x264",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/user-agent":
      "Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_12_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chro",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/speed": "1x",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/cc-subtitle-lang": "",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/completion-threshold": "1.0",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "86c5b148-4462-4da9-a13f-b570c27fa049",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/length": 46.613333,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/quality": "960x400",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/screen-size": "2560x1440",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/frame-rate": "23.98",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/cc-enabled": false,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/full-screen": false
    },
    "registration": "96094a33-cc66-4d9a-8810-a0850ae2a4e1"
  },
  "id": "86c5b148-4462-4da9-a13f-b570c27fa049"
}
```

Figure 4.20: Capture d'une déclaration xAPI "Initialisée" sous format JSON.

**La déclaration « Jouée » :**

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "https://w3id.org/xapi/video/verbs/played",
    "display": {
      "en-US": "played"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T15:27:52.376Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms"
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time": 0
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "86c5b14"
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/length": 46.613333
    },
    "registration": "96094a33-cc66-4d9a-8810-a0850ae2a4e1"
  },
  "id": "ac522d8a-ed56-4a5e-bc86-14067aec4101"
}
```

Ensuite, l'apprenant peut également visualiser la vidéo (Figure 4.21) dans ce cas, une deuxième déclaration « **Jouée** » de cette activité est stockée dans le LRS à l'aide du verbe « **Played** », et cela est utilisée lorsque l'acteur a généralement joué une vidéo ou cliqué sur le bouton de lecture.

Figure 4.21: Capture d'une déclaration xAPI "Jouée" sous format JSON.

**La déclaration « Mise en Pause » :**

Après si l'apprenant veut suspendre la vidéo (Figure 4.22) dans un moment précis, une troisième déclaration est enregistrée à l'aide du verbe « **Paused** ». Cette déclaration « **mise en pause** » indique que l'apprenant « acteur » a temporairement ou définitivement arrêté l'expérience de l'objet multimédia enregistré.

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "https://w3id.org/xapi/video/verbs/paused",
    "display": {
      "en-US": "paused"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T15:27:55.273Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms."
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/played-segments": "0[.",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/progress": 0.06,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time": 2.997
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "86c5b148",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/length": 46.613333
    },
    "registration": "96094a33-cc66-4d9a-8810-a0850ae2a4e1"
  },
  "id": "587c8e19-3a5e-4be2-ba09-9c6b68c4fb20"
}
```

Figure 4.22: Capture d'une déclaration xAPI "Mise en Pause" sous format JSON.

**La déclaration « mise en cherchant » :**

Il est probablement que l'apprenant « acteur » déplace la barre de progression vers l'avant ou vers l'arrière à une heure spécifique de la vidéo en combinaison avec des extensions de temps et de début, La figure extraite de nos tests montre que l'apprenant a changé la lecture vidéo de 4,473 secondes à 1,9 seconde. Dans ce cas, une déclaration « **mise en cherchant** » est utilisée et enregistrée au LRS à l'aide du verbe « **Seeked** » (Figure 4.23).

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "https://w3id.org/xapi/video/verbs/seeked",
    "display": {
      "en-US": "seeked"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T15:37:53.491Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms."
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time-to": 1.9,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time-from": 4.473
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "86c51"
    },
    "registration": "96094a33-cc66-4d9a-8810-a0850ae2a4e1"
  },
  "id": "4183175b-a6b0-4e59-8614-fd9c0d2593dd"
}
```

Figure 4.23: Capture d'une déclaration xAPI "Mise en Cherchant" sous format JSON.

### La déclaration « Interaction »

Il se peut que l'acteur ait interagi avec le lecteur vidéo (sauf jouer, mettre en pause, chercher). Par exemple : mettre en sourdine, réactiver le son, changer la résolution, changer la taille du lecteur vidéo, etc. La figure extraite de nos tests montre que l'apprenant a changé la lecture vidéo **en plein écran**. À ce moment-là ; une déclaration « **Interaction** » est utilisée et enregistrée à l'aide du verbe « **Interacted** » pour exprimer que l'apprenant a interagi avec le lecteur vidéo. (Figure 4.24)

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/interacted",
    "display": {
      "en-US": "interacted"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T15:41:59.549Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms."
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/v/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time": 10.096
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "86c5k",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/video-playback-size": "2560",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/screen-size": "2560",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/full-screen": true
    },
    "registration": "96094a33-cc66-4d9a-8810-a0850ae2a4e1"
  },
  "id": "abe55d73-ffb3-4093-abla-424592c119ee"
}
```

Figure 4.24: Capture d'une déclaration xAPI "Interaction" sous format JSON.

Et la Figure 4.25 montre une déclaration est enregistrée grâce au verbe « **Completed** » pour exprimer que l'acteur a terminé une vidéo en regardant toutes les parties de la vidéo au moins une fois. L'extension de progression et de résultat de heatmap peut être utilisée pour calculer la durée et l'achèvement de la vidéo.

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/completed"
    "display": {
      "en-US": "completed"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T16:10:24.158Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms ."
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "completion": true,
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/played-segments": "0",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/progress": 1,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time": 46.613
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "7alf8a",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/completion-threshold": "1",
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/length": 46.613333
    },
    "registration": "70ec479c-a37d-4407-89ad-9727313e71dc"
  },
  "id": "019b33ec-4426-40b7-b296-54f05cb9291e"
}
```

Figure 4.25: Capture d'une déclaration xAPI "Complétée" sous format JSON.

Et à la fin, la dernière déclaration sera envoyée au LRS grâce au verbe « **Terminated** » pour exprimer que l'apprenant (acteur) a mis fin à la vidéo (Figure 4.26).

```
{
  "actor": {
    "mbox": "mailto:a.bakhouyi@gmail.com",
    "name": "Video User",
    "objectType": "Agent"
  },
  "verb": {
    "id": "http://adlnet.gov/expapi/verbs/terminated",
    "display": {
      "en-US": "terminated"
    }
  },
  "timestamp": "2018-08-07T16:10:28.452Z",
  "object": {
    "definition": {
      "type": "https://w3id.org/xapi/video/activity-type/video",
      "name": {
        "en-US": "Ocean Life"
      },
      "description": {
        "en-US": "A short video clip of ocean lifeforms."
      }
    },
    "id": "http://flbenmsik.ma/cmi5/videos/oceans.mp4",
    "objectType": "Activity"
  },
  "result": {
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/played-segments":
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/progress": 1,
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/time": 46.613
    }
  },
  "context": {
    "contextActivities": {
      "category": [
        {
          "id": "https://w3id.org/xapi/video"
        }
      ]
    },
    "extensions": {
      "https://w3id.org/xapi/video/extensions/session-id": "7alf
      https://w3id.org/xapi/video/extensions/completion-threshc
      https://w3id.org/xapi/video/extensions/length": 46.613333
    },
    "registration": "70ec479c-a37d-4407-89ad-9727313e71dc"
  },
  "id": "b3cd221b-cd2c-40cd-9291-e3fdcd1f4129"
}
```

Figure 4.26: Capture d'une déclaration xAPI "Mise à la Fin" sous format JSON.

## 2.2. Réalisation de la 2<sup>ème</sup> interactivité « Tableau de bord de l'enseignant »

Notre mise en œuvre est équipée d'un puissant outil de surveillance, nommé « **Tableau de bord de l'enseignant** ». Le tableau de bord fournit au formateur trois outils puissants pour surveiller et visualiser les activités de l'utilisateur.

---

Comme mentionné précédemment, ces outils peuvent être utilisés pour fournir des analyses d'apprentissage. Plus spécifiquement, ils peuvent être utilisés pour mesurer l'activité ou la performance de l'utilisateur, pour suivre l'impact du contenu sur l'apprenant, ou même pour étudier la difficulté de plusieurs parties de notre contenu.

Comme le contenu peut provenir de différentes sources, la fréquence de chaque média peut également être mesurée. À cette direction, le tableau de bord de notre implémentation (Figure 4.27) fournit:

- Lien vers l'interface ADL LRS intégrée
- Une visionneuse de déclarations xAPI (Statements)
- Outils de visualisation (diagrammes, tartes et rapports)

## Tracking Learning Activities with xAPI & CMI5 DASHBOARD FOR THE TEACHER

A Doctoral Thesis - Implementation

Abdellah BAKHOUI, LTI Laboratory – UH2C

- All activities are recorded in our LRS (credentials needed).
- [Report for our LRS](#) created with ADL's xAPI Dashboard by Abdellah BAKHOUI
- [Report for the Activities of the LRS](#) created with ADL's xAPI Dashboard by Abdellah BAKHOUI
- [Report for the Users of the LRS](#) created with ADL's xAPI Dashboard by Abdellah BAKHOUI
- [Report for the Users of the LRS that passed Activities](#) created with ADL's xAPI Dashboard by Abdellah BAKHOUI
- [ADL's LRS instance](#) created by ADL. enriched by Abdellah BAKHOUI
- [Statement viewer](#) based on ADL's xapi-statement-viewer adapted & configured by Abdellah BAKHOUI

*Figure 4.27: Tableau de bord de l'enseignant.*

ADL LRS fournit une visionneuse de déclarations pouvant être utilisé pour la surveillance des déclarations. Il présente une liste de déclarations classées par ordre chronologique, du plus récent au plus ancien (Figure 4.28).

Malheureusement, l'interface ADL LRS ne prend pas en charge la recherche dynamique ou le filtrage des déclarations.

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

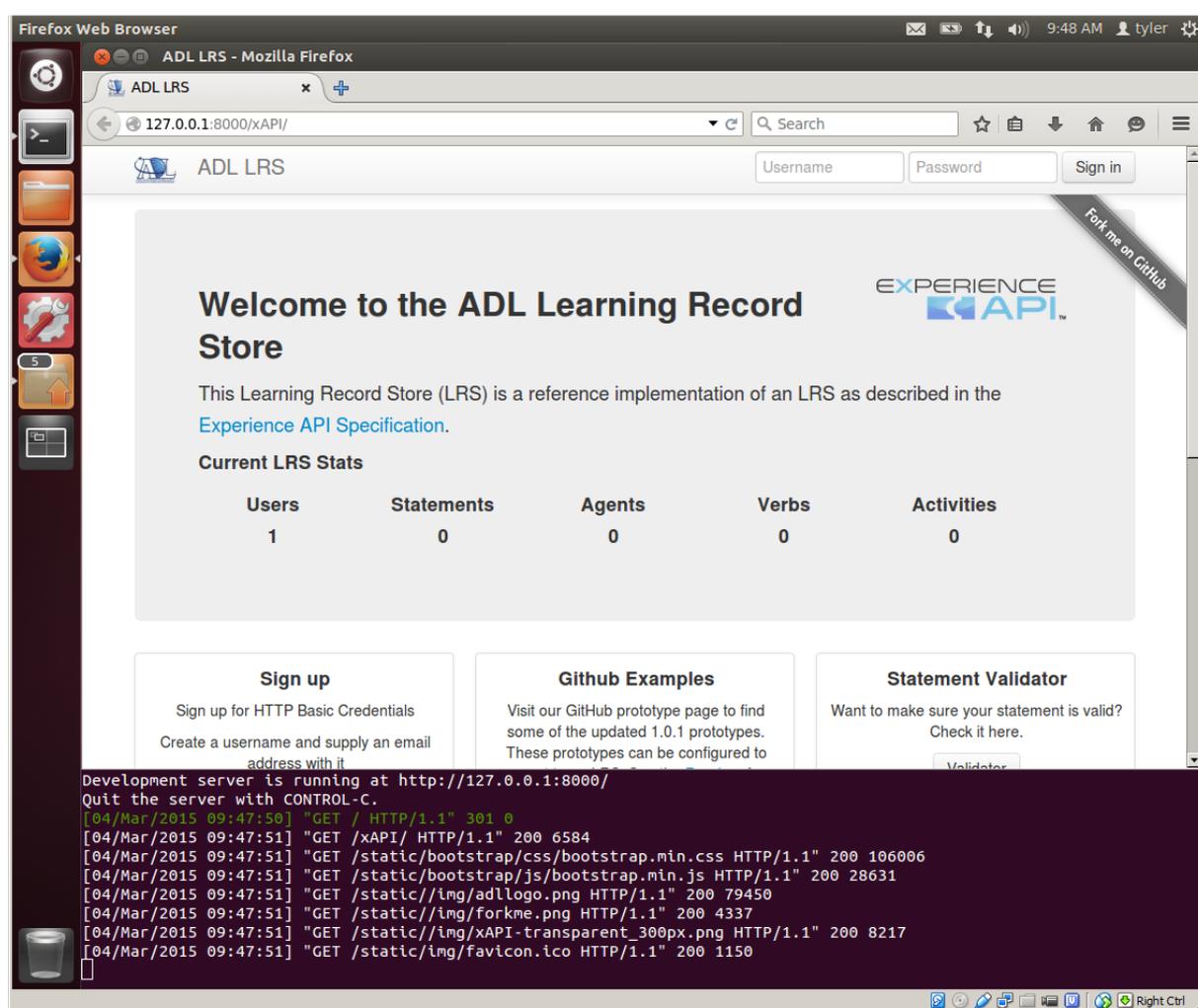


Figure 4.28: L'interface ADL LRS pour l'administrateur.

De ce fait, nous avons dû compléter notre implémentation avec une visionneuse de déclarations multifonctionnelle. Pour cette raison, nous avons utilisé xAPI-Statement-Viewer d'ADL [294], qui fournit des champs de recherche et facilite l'affichage des déclarations xAPI. Plus spécifiquement, le xAPI-Statement-Viewer d'ADL extrait les déclarations xAPI d'un LRS à l'aide du wrapper xAPI [264] et les affiche dans un tableau convivial, mais offre également des options de filtrage et de tri. Les filtres fournis concernent le verbe, le mail de l'utilisateur, les filtres pour la date de la déclaration, etc.

Cependant, afin de fournir davantage d'options de filtrage, nous avons modifié le visionneur xAPI-Statement-Viewer d'ADL original et ajouté un champ de filtrage supplémentaire faisant référence au nom de l'activité. De cette façon, nous pouvons facilement extraire la conclusion sur qui a interagi avec un objet spécifique (Quiz, vidéo ou interaction). Le visionneur de déclarations xAPI a également été configuré avec les informations

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

d'identification de notre LRS et avec les verbes dont le champ d'affichage n'était pas « en-us » (Figure 4.29).

### xAPI Statement Viewer

Configured and modified by BAKHOUI Abdellah

Statement List
Get Statements ↻

Query Options

**Predefined Verb**

**Verb Sort**

**Verb ID**

**Agent**

**Activity ID**

**Registration ID**

**Object Name (Added In Our Implementation)**

**Statement ID**

**Voided Statement ID**

**Since Date**

**Until Date**

**Limit**

**xAPI Query**

Show  entries Search:

| Timestamp   | Actor Name    | Verb        | Object Name | Object Type | Authority Name |   |
|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---|
| 12 days ago | Craig Wiggins | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | seeked      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | seeked      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | played      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | seeked      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | played      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 12 days ago | Craig Wiggins | initialized | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | terminated  | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | completed   | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | initialized | Ocean Life  | Activity    |                | ⊕ |

Figure 4.29: La visionneuse de déclarations xAPI a été modifiée par nous pour offrir davantage d'options de filtrage.



Figure 4.30: Activité par utilisateur dans le LRS

- Le second graphique montre la distribution des scores pour toutes les activités de notre système LRS. Il illustre le score moyen dans un graphique à secteurs et le pourcentage de déclarations avec ce score. Cela nous aide à collecter des informations sur les performances générales de nos étudiants dans le LRS (Figure 4.31).

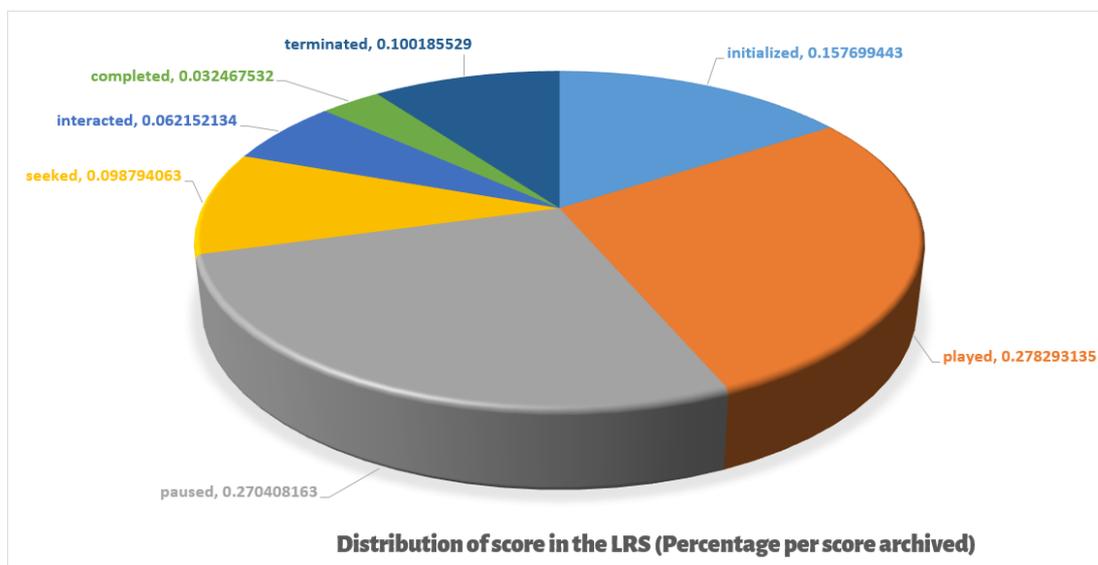


Figure 4.31: Score moyen dans le LRS.

#### b) Rapports Liés aux activités

Un rapport concernant des activités spécifiques affiche des informations visuelles sur certaines parties de notre cours, par exemple: « une vidéo ». Il comprend un tableau et un diagramme à barres avec le score moyen par activité. Ceci est très utile, car il affiche le score moyen de chaque activité, car l'enseignant peut détecter des vidéos difficiles, par opposition aux vidéos faciles avec un seul regard (Figure 4.32 et Figure 4.33).

| object.id                          | result.score.scaled |
|------------------------------------|---------------------|
| http://lrn.zencdn.net/v/oceans.mp4 | 0.810457516         |
| http://lrn.zencdn.net/v/thomas.mp4 | 0.006535948         |
| http://lrn.zencdn.net/v/static.mp4 | 0.146125117         |
| http://lrn.zencdn.net/v/nature.mp4 | 0.018674136         |
| http://lrn.zencdn.net/v/tech.mp4   | 0.018207283         |

Figure 4.32: Score moyen par activité.

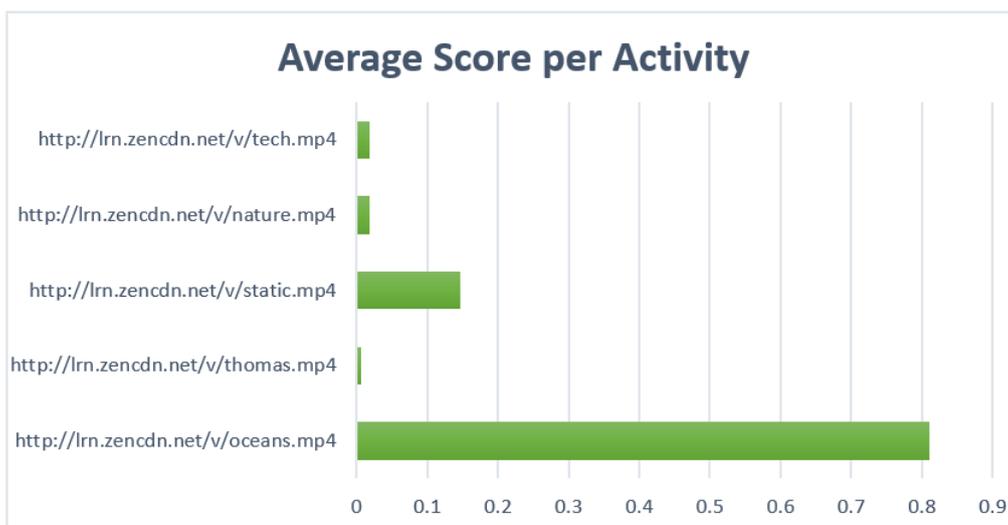


Figure 4.33: Diagramme à barres avec le score moyen par activité.

### c) Rapports liés aux utilisateurs

Celles-ci incluent un graphique interactif (Figure 4.34) affichant le score moyen pour tous les utilisateurs du LRS. Lorsque le professeur clique sur la barre d'un utilisateur, les analyses correspondant à cet utilisateur sont présentées (Figure 4.35).

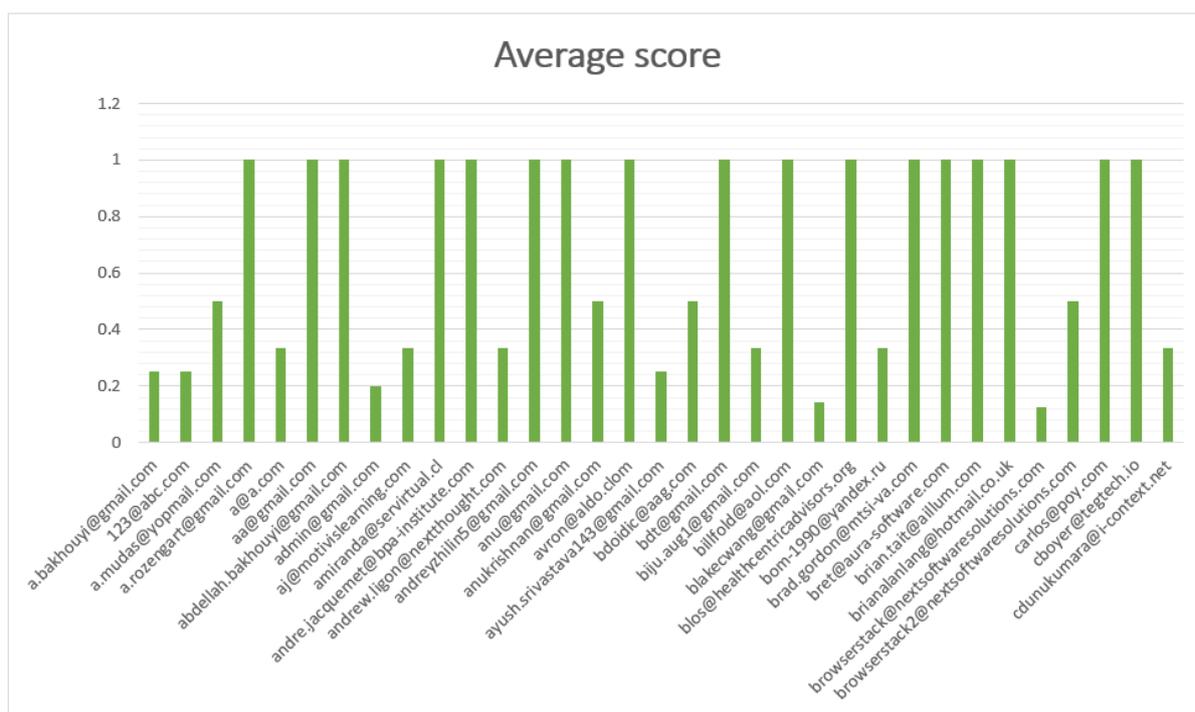


Figure 4.34: Score moyen des étudiants.

Data for user: mailto: veera@gmail.com

| timestamp                | object.id                                   | verb.display.und | result.score.scaled |
|--------------------------|---|------------------|---------------------|
| 2019-04-01T14:54:39.235Z | http://lrn.zncdn.net/videos/staticvideo.mp4 | passed           | 0.5                 |
| 2019-04-01T14:54:40.237Z | http://lrn.zncdn.net/videos/staticvideo.mp4 | Completed        | 0.7                 |
| 2019-04-01T14:54:44.235Z | http://lrn.zncdn.net/videos/staticvideo.mp4 | Completed        | 1                   |
| 2019-04-01T14:59:00.546Z | http://lrn.zncdn.net/videos/videogular.mp4  | Passed           | 0.5                 |
| 2019-04-01T14:58:29.390Z | http://lrn.zncdn.net/videos/videogular.mp4  | Passed           | 0.5                 |
| 2019-04-01T14:58:22.456Z | http://lrn.zncdn.net/videos/thomas.mp4      | Passed           | 0.75                |
| 2019-04-01T14:58:28.463Z | http://lrn.zncdn.net/videos/thomas.mp4      | Passed           | 0.75                |
| 2019-04-01T14:55:09.692Z | http://lrn.zncdn.net/videos/oceans.mp4      | Completed        | 1                   |
| 2019-04-01T14:60:09.694Z | http://lrn.zncdn.net/videos/oceans.mp4      | Completed        | 1                   |

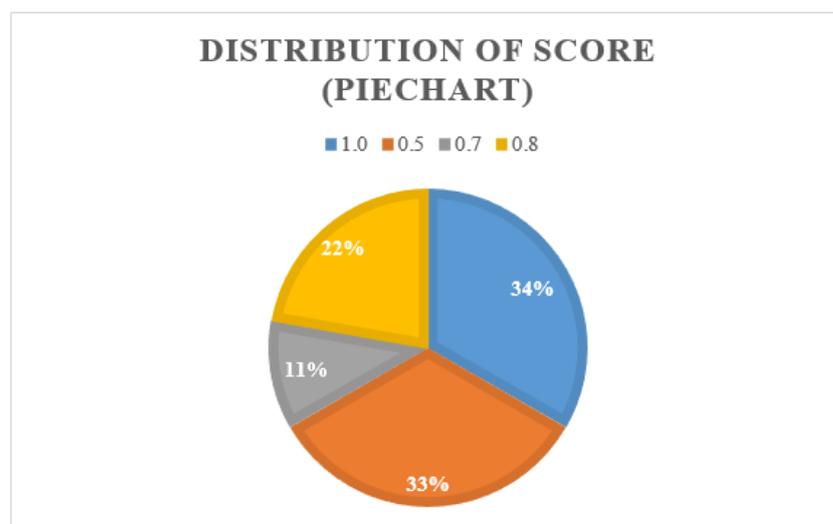


Figure 4.35: Analytiques pour un individu.

Un rapport contenant des données agrégées (scores moyen, minimum et maximum) sur les scores des utilisateurs (Figure 4.36) est également disponible.

Minimum, Maximum and Average score per user

| actor.mbox                              | count | min  | max | average     | verb.display.und |
|---|-------|------|-----|-------------|------------------|
| a.bakhouyi@gmail.com                    | 4     | 0.25 | 0.5 |             | 0.25 passed      |
| 123@abc.com                             | 4     | 0.25 | 0.5 |             | 0.25 passed      |
| a.mudas@yopmail.com                     | 2     | 0.5  | 1   |             | 0.5 passed       |
| a.rozengart@gmail.com                   | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| a@a.com                                 | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |
| aa@gmail.com                            | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| abdellah.bakhouyi@gmail.com             | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| admin@gmail.com                         | 5     | 0.1  | 0.5 |             | 0.2 passed       |
| aj@motivislearning.com                  | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |
| amiranda@servirtual.cl                  | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| andre.jacquemet@bpa-institute.com       | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| andrew.ligon@nextthought.com            | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |
| andreyzhilin5@gmail.com                 | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| anu@gmail.com                           | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| anukrishnan@gmail.com                   | 2     | 0.5  | 0.5 |             | 0.5 passed       |
| avron@aldo.clom                         | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| ayush.srivastava143@gmail.com           | 4     | 0.25 | 0.5 |             | 0.25 passed      |
| bdoidic@aag.com                         | 2     | 0.5  | 1   |             | 0.5 passed       |
| bdt@gmail.com                           | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| biju.aug1@gmail.com                     | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |
| billfold@aol.com                        | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| blakecwang@gmail.com                    | 7     | 0.1  | 0.5 | 0.142857143 | passed           |
| blos@healthcentricadvisors.org          | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| bom-1990@yandex.ru                      | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |
| brad.gordon@mtsi-va.com                 | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| bret@aura-software.com                  | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| brian.tait@ailum.com                    | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| brianalanlang@hotmail.co.uk             | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| browserstack@nextsoftwaresolutions.com  | 8     | 0.1  | 0.5 | 0.125       | passed           |
| browserstack2@nextsoftwaresolutions.com | 2     | 0.25 | 1   |             | 0.5 passed       |
| carlos@poy.com                          | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| cboyer@tegttech.io                      | 1     | 1    | 1   |             | 1 passed         |
| cdunukumara@i-context.net               | 3     | 0.25 | 0.5 | 0.333333333 | passed           |

Figure 4.36: Données agrégées pour les étudiants.

Expériences et captures d'écran d'un déploiement réel

Le système d'apprentissage omniprésent de notre implémentation a été utilisé par 876 étudiants de 1ère année de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Ben M'sik – Université Hassan 2 de Casablanca, au Maroc. Ils ont reçu une adresse électronique institutionnelle (virtuelle) pour que leurs actions soient enregistrées. Un groupe de 27 personnes qui fait partie du département des études anglaises avait déjà suivi le cours 1 (Vidéo : Ocean Life), le cours 2 (Vidéos : Static Video et Video Gular) et le cours 3 (Vidéo : Thomas), tandis que l'autre n'avait jamais eu d'interaction avec les cours. Cela a été fait afin de tester la stabilité de notre implémentation et sa capacité à répondre correctement aux deux scénarios.

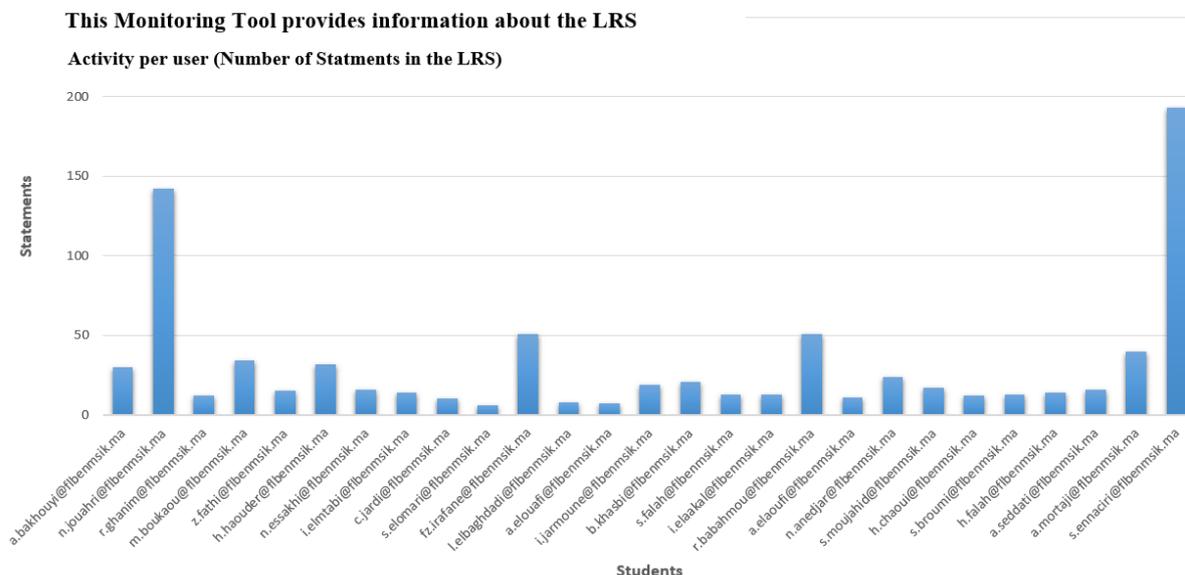


Figure 4.37: L'activité pour chaque utilisateur de notre évaluation.

Dans ce qui suit, nous présentons quelques graphiques et rapports concernant les fonctionnalités de reporting offertes par notre système, ainsi que des analyses d'apprentissage pour les données fournies.

La Figure 4.37 illustre l'engagement des utilisateurs dans notre cours. Ainsi, nous pouvons facilement déduire les personnes très actives dans le cours (par exemple, les utilisateurs s.ennaciri@flbenmsik.ma, n.jouahri@flbenmsik.ma, fz.irafane@flbenmsik.ma) et qui n'interagissait pas beaucoup avec la mise en œuvre (par exemple, s.elomari@flbenmsik.ma, l.elbaghdadi@flbenmsik.ma, a.elouafi@flbenmsik.ma).

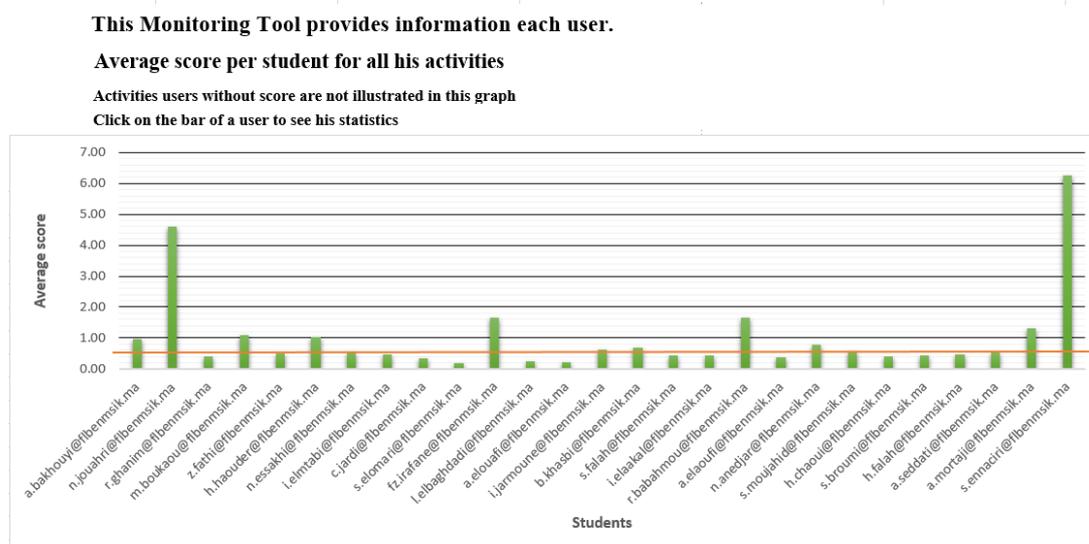


Figure 4.38: Le score moyen pour chaque utilisateur de notre évaluation.

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

La Figure 4.38 illustre le score moyen de chaque étudiant, la ligne horizontale rouge indiquant le score moyen des trois cours. Avec ce chiffre, le tuteur peut facilement reconnaître les étudiants qui ont perdu le score moyen de la classe (0,97 dans notre cas). Dans cet échantillon de 27 élèves, les utilisateurs qui se situaient au-dessus de la moyenne étaient 8 (30%), les étudiants très proches de la moyenne 4 (15%) et les élèves inférieurs à la moyenne 15 (55%).

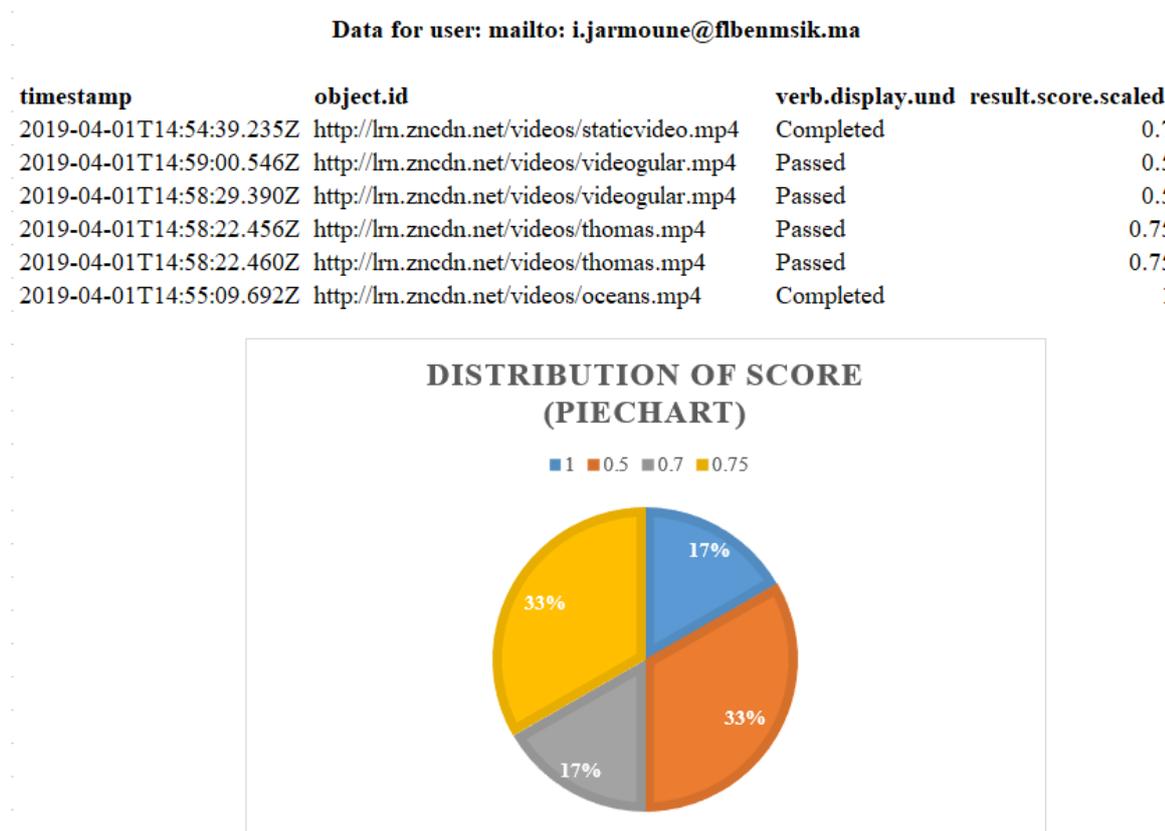


Figure 4.39: Le score pour chaque déclaration de l'utilisateur (Graphique circulaire et tableau).

Lorsque l'enseignant clique sur le graphique à barres d'un utilisateur, il peut voir des analyses concernant l'utilisateur en question (Figure 4.39). Par exemple, dans la figure, nous voyons que l'utilisateur i.jarmoune@flbenmsik.ma était l'un des étudiants qui avaient suivi le cours 1: « Vidéo – Ocean Life », puis suivi les différentes parties du cours 2. Plus précisément, il ressort de son dossier qu'il a terminé le cours 1 avec le score 1 (100% de réussite). Ensuite, il s'est dirigé vers le cours 2, où il a complété la première partie du cours 2 qui est représentée par la « Vidéo – Static Video » puis, il a tenté la deuxième partie représentante par la vidéo « videogular.mp4 » à deux reprises (avec un score de 50% à chaque tentative). Il a ensuite complété le cours 3 « Vidéo – Thomas » à deux reprises avec 75% de réponses correctes.

## Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

### xAPI Statement Viewer

Configured and modified by BAKHOUYI Abdellah

Statement List
Get Statements

**Query Options** ▼

**Predefined Verb** **Verb Sort**

**Verb ID**

**Agent**

**Related Agents**

**Activity ID**

**Related Activities**

**Registration ID**

**Object Name (Added In Our Implementation)**

**Statement ID**

**Voided Statement ID**

**Since Date**

**Until Date**

**Limit**

**xAPI Query**

Clear Form

Show  entries Search:

| Timestamp   | Actor Name    | Verb        | Object Name | Object Type | Authority Name |   |
|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---|
| 12 days ago | Craig Wiggins | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | sought      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | sought      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | played      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | interacted  | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | sought      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | played      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 12 days ago | Craig Wiggins | initialized | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | terminated  | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | completed   | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | paused      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | played      | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |
| 15 days ago | BAKHOUYI      | initialized | Ocean Life  | Activity    |                | 🟢 |

**Figure 4.40:** Le formulaire de requête indiquant quels étudiants ont effectivement cliqué sur le bouton.

## **Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

---

Notre mise en œuvre ne capture pas seulement des données sur la notation ou les résultats des tests. Il suit également l'interaction de l'utilisateur avec l'interface de notre implémentation. Dans la Figure 4.40, les résultats du formulaire de requête nous montrent que seuls 2 étudiants sur 27 ont cliqué sur la vidéo « Ocean Life ».

La principale raison pour laquelle nous avons divisé notre groupe d'évaluation en deux groupes est le fait que nous voulions vérifier la stabilité de notre système et sa robustesse par le biais de soumissions massives de déclarations xAPI. Les résultats ont été plus que satisfaisants. Bien que les déclarations aient été massivement envoyées au LRS et que la communication entre le LRS et le cours ait été à double sens, notre mise en œuvre a répondu avec stabilité et précision; les jeunes étudiants n'ont noté aucun retard ni incohérence lors de leur engagement dans le cours. Bien que l'architecture de notre implémentation soit distribuée, c'est-à-dire que le cours et le LRS soient hébergés dans divers systèmes, le temps de réponse de notre système est satisfaisant (environ 260 ms, où 200 ms correspond au temps aller-retour entre l'utilisateur, le système LMS, le serveur LRS et les UAs) et n'affecte pas la réactivité de notre mise en œuvre. D'un point de vue qualitatif, les étudiants ont été enthousiastes et ont déclaré qu'ils aimeraient suivre des cours en ligne similaires avec de courts questionnaires qui s'adapteraient à leurs antécédents et à leur histoire. C'est un motif pour nous de poursuivre nos travaux de recherche en vue de produire de nouveaux systèmes d'apprentissage intrigants et efficaces pour les étudiants.

### **V. Conclusion**

Ce chapitre a visé à concevoir une architecture logicielle avec un LMS et qui se concentre sur l'intégration des mécanismes et des spécifications de telle sorte que les systèmes d'apprentissage en ligne comme Moodle et leurs applications mobiles soient interopérables en utilisant les normes de la prochaine génération de SCORM.

Suivant cette tendance, notre expérience à la modélisation d'architecture s'est concentrée sur deux interactivités qui ne peuvent pas encore être atteintes avec les spécifications de la prochaine génération de SCORM. Notre implémentation consiste à utiliser le système LRS qui constitue le noyau de xAPI avec les règles supplémentaires de CMI-5 en appliquant leurs fonctionnalités dans l'objectif d'adapter le contenu du LMS aux caractéristiques spécifiques de l'appareil mobile.

D'autres recherches sont nécessaires sur l'implémentation de cette architecture qui se focaliseront sur la question de l'interopérabilité sémantique du contenu sous un angle nouveau

---

## **Chapitre 4 - Une Nouvelle Approche pour Améliorer l'Interopérabilité des Systèmes E-learning: Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

---

et inexploité dans le domaine des plateformes E-learning à la base de la norme RDF afin d'établir une haute qualité d'échange et de partage de données ainsi de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques.

# **Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

“The Web was designed as an information space, with the goal that it should be useful not only for human-human communication, but also that machine would be able to participate and help.”

**Tim Berners-Lee, the inventor of World Wide Web [266]**

## **Résumé**

Nous proposons dans ce chapitre une solution web sémantique visant à transformer les déclarations de format JSON en format RDF en utilisant le mécanisme de mappage JSON-LD sur le système LRS pour résoudre le problème de l'hétérogénéité du contenu e-learning. Après nous essayons de l'évaluer en termes d'efficacité et de performance d'interopérabilité.

## **I. Introduction**

Ces dernières années, le domaine de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage a connu plusieurs évolutions successives. L'interopérabilité consiste principalement à permettre aux systèmes d'information hétérogènes de travailler ensemble pour atteindre un objectif commun. Au départ, l'interopérabilité consistait à construire des architectures distribuées ou fédérées où le principal défi était de traduire les modèles de données d'un modèle source en modèle cible. L'une des propriétés sémantiques d'interopérabilité est de traiter les problèmes d'intégration et de cohérence des données / informations pour soutenir la coopération et la collaboration, y compris le partage des connaissances et des informations. L'interopérabilité sémantique peut être considérée comme le mécanisme de traitement, de partage et de connexion des données sur des systèmes d'information hétérogènes [266]. On peut dire autrement, cela permet de garantir que deux systèmes en communication interprètent des données communes ou systématiquement partagées. Étant donné le nombre et la variété des bases de données et des systèmes d'apprentissage en ligne utilisés dans les grandes universités et les établissements d'enseignement, on peut apprécier la complexité des problèmes [267]. Il existe quelques exemples d'obstacles et de problèmes sémantiques à résoudre:

Problèmes d'hétérogénéité syntaxique et technologique de l'information [268] [269], différent de l'analyse et du traitement des mêmes concepts, disparité sémantique, intégration du schéma de base de données avec des problèmes de nommage (par exemple: synonymes et homonymes), contradictions structurelles logiques, etc. L'objectif est de renforcer les systèmes en interprétant le sens des données ou des connaissances. Ces problèmes difficiles n'ont malheureusement pas de solutions prêtes ou clés en main. Une fois l'interopérabilité des applications informatiques [270] en place, il appartient à chaque institution de concevoir sa propre approche et mise en œuvre pour l'interopérabilité sémantique. La solution la plus simple consiste à concevoir un référentiel de métadonnées partagées fiable qui définit le contenu et les données préoccupantes stockées dans les différents systèmes d'information utilisés dans les institutions universitaires ou par les universités partenaires. Les exemples incluent les métadonnées LDAP pour les utilisateurs clients et les ressources informatiques, le référentiel UDDI pour le stockage des services Web et les thésaurus. L'hétérogénéité sémantique [271] concerne donc une divergence de compréhension d'un élément qui peut être représenté de manière unique et commune par des systèmes d'information coopérants. Cette divergence de compréhension entraîne des divergences de traitement. La coopération est rapidement limitée. La définition également de standards Web sémantiques tels que RDF et RDF(S) peut être

---

## **Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

---

utilisée pour répondre aux problèmes d'hétérogénéité syntaxique et sémantique du système d'apprentissage en ligne.

Pour résoudre un problème d'interopérabilité sémantique du système d'apprentissage en ligne ou d'un autre domaine, la communauté a établi de nouvelles normes. Langages sémantiques composés d'opérateurs modélisant et manipulant des graphes sémantiques. Ces langages, tels que RDF, forment la base de ce que l'on appelle actuellement le web sémantique. Ce dernier vise à développer un web intelligent où l'information est comprise par les machines. Ainsi, la notion de méta-modèle et la notion d'ontologie. L'ontologie, initialement définie dans le domaine de la philosophie comme: l'étude de l'être comme être, représente, dans notre champ d'interopérabilité, un modèle de représentation du sens de la connaissance d'un champ [271].

Pour répondre à ces verrous, nous avons voulu aborder la question de l'hétérogénéité du LMS sous un angle nouveau et inexploité dans le domaine du E-Learning. Nous voulions établir une haute qualité d'échange et de partage de données entre le LRS et le CDN, ou entre le LRS et le système LMS afin de les appliquer à la qualification et à la gestion des données sémantiques. Nos objectifs principaux dans ce travail sont:

Premièrement, l'amélioration de l'interopérabilité entre les différents systèmes d'apprentissage et en particulier leur extension mobile utilisant / basée sur RDF.

Deuxièmement, le but de l'application logicielle est de transformer les fichiers stockés dans le système LRS (Learning Record Store) contenant les déclarations du système LMS. Ces fichiers JSON seront transformés en RDF à l'aide du mappage JSON-LD [272]. Ensuite nous allons tester cette solution en comparant avec d'autres solutions afin d'évaluer notre travail en termes d'efficacité et de performance d'interopérabilité.

## **II. Le web sémantique dans E-learning**

Le concept du Web sémantique a mis au point de nouvelles pratiques dans l'environnement de contenu Web et un nouveau cadre qui permet aux agents logiciels d'aider efficacement les utilisateurs à consulter les services et les sources de données. [273] Il s'agit de se dérouler sur un Web intelligent, où les données ne seraient généralement pas enregistrées mais impliquées par les machines afin de transmettre des réponses pertinentes à l'utilisateur. Le but du Web sémantique avec ses outils est de rendre les requêtes automatiques, de réutiliser les données à travers diverses applications.

En d'autres termes, publier les données afin de fournir une manière standardisée à utiliser et partager les données obtenues avec un minimum de travail. Le Web actuel est essentiellement

syntaxique, la structure des ressources est bien définie, mais le contenu reste très difficile à exploiter par les machines. Seuls les humains ont la capacité d'interpréter le contenu. Cependant, la véritable valeur du Web est liée à ces données, de sorte que la représentation sémantique du contenu facilitera grandement la recherche d'informations et sa compréhension. Grâce à ses technologies, le Web sémantique permettra aux utilisateurs de profiter de tout le potentiel du Web, afin qu'ils puissent rechercher, trouver, partager et également combiner des informations plus facilement.

À l'heure actuelle, les systèmes d'apprentissage en ligne ont la capacité de manipuler et d'interagir avec divers médias sociaux, à savoir les forums, les réseaux sociaux, les blogs, etc. [274]. Ils peuvent faire des recherches ou même effectuer des achats en ligne en toute simplicité. Pourtant, il serait préférable que la machine facilite le travail de l'homme et lui évite l'effort en effectuant la majorité des tâches pour lui. Néanmoins, jusqu'à présent, les machines ont toujours besoin de l'aide de l'homme, et les pages Web avec leur conception sont conçues pour être lisibles et interprétables par les humains plutôt que par les machines. Cependant, l'objectif fondamental du Web sémantique est que les machines atteignent une certaine maturité et effectuent des tâches fastidieuses. Ainsi, le défi du Web moderne ne se limite pas à la contribution de ses utilisateurs humains, mais aussi à la contribution des agents logiciels.

Les standards du Web sémantique [275] visent à développer le concept de Web de Documents en « Linked Data » ou Web Data, qui fait également référence aux standards sémantiques. Plus concrètement, l'infrastructure Web sémantique identifie et transforme vigoureusement les ressources tout en renforçant l'aspect d'ouverture des données. Il doit également assurer l'interopérabilité et faciliter la mise en œuvre de calculs et de raisonnements complexes tout en maximisant leur validité. En outre, il doit offrir des mécanismes de protection, à savoir des droits d'accès, d'utilisation et de reproduction, ainsi que des mécanismes de qualification des connaissances afin d'augmenter le niveau de confiance des utilisateurs. Néanmoins, la définition du Web sémantique ne se limite pas à son infrastructure. Ce qui modélise ce concept, ce sont plutôt les applications développées sur cette infrastructure.

La manipulation des ressources Web par des machines nécessite leur expression ou leur description. A cet effet, plusieurs langues sont définies; ils doivent être utilisés pour exprimer des données et des métadonnées, pour décrire les services et leur fonctionnement et pour avoir un modèle abstrait de ce qui est décrit par l'expression d'ontologies.

### III. Pile Web Sémantique

Les technologies du Web sémantique sont organisées en couches, Les quatre versions de l'architecture Web sémantique [276] créées par Tim Berners-Lee sont illustrées dans de nombreux travaux de recherche. Pour ce faire, nous nous concentrons à expliquer exclusivement la version actuelle qui se compose de quatre couches nécessaires, comme le montre la Figure 5.1.

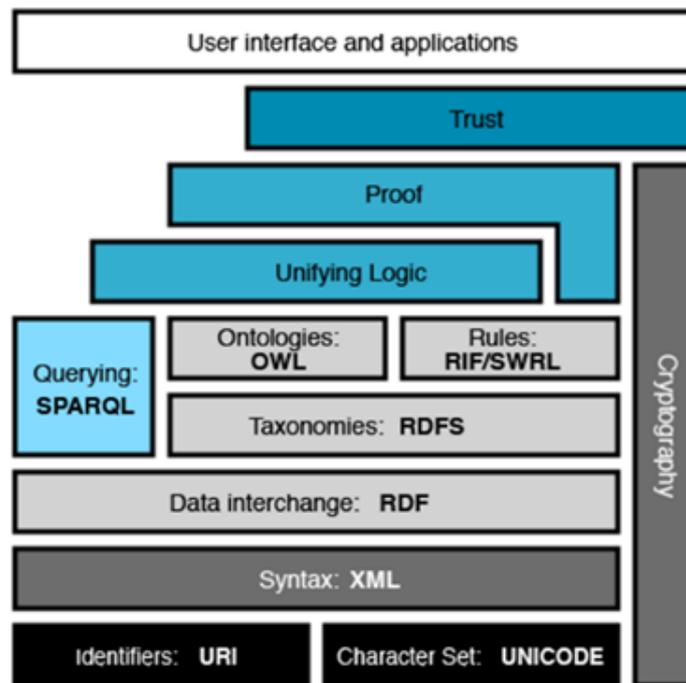


Figure 5.1: Pile Web Sémantique

- La couche XML, qui représente les données.

Le Web sémantique devrait facilement s'intégrer au Web actuel. HTML n'a pas la capacité d'inclure tout le nécessaire pour le Web sémantique. XML a plus de capacités et est un sur ensemble de HTML.

Les espaces de noms augmentent la modularité de XML et augmentent également la possibilité de réutiliser des vocabulaires XML avec des schémas XML. Dans le Web sémantique, les espaces de noms sont utilisés dans le même but.

- La couche RDF, qui représente la signification des données.

Il s'agit de la première couche développée spécifiquement pour le Web sémantique. Le Web sémantique est construit sur RDF qui lui-même est construit sur des syntaxes qui utilisent des URI pour représenter les données. Le Web sémantique consiste à représenter des données et non à présenter des données. Cette représentation des données se fait généralement dans des structures à base triple qui peuvent être stockées dans une base de données ou échangées sur le

Web à l'aide d'un ensemble de syntaxes. Ces syntaxes, développées pour cette tâche, sont appelées Resource Description Framework (RDF).

- La couche d'ontologie, qui représente l'accord commun formel sur la signification des données.

Généralement, la représentation des termes et l'identification de leurs relations sont appelées ontologie. OWL est le langage développé par le World Wide Web Consortium pour les ontologies Web, qui permet de représenter la signification des termes utilisés dans les vocabulaires et également les relations entre ces termes. Les vocabulaires de métadonnées définis dans les schémas RDF peuvent être considérés comme des ontologies simplifiées.

- La couche logique, qui permet un raisonnement intelligent avec des données significatives.

Le Web sémantique doit avoir un langage logique puissant pour l'inférence. Le but de cette couche est de fournir les fonctionnalités de First Order Logic (FOL). Il existe des alternatives et différentes langues ont été envisagées. Une des premières alternatives était RDFLogic, qui fournit une extension au RDF de base. Un autre plus récent est SWRL FOL, qui est une extension du langage de règles SWRL pour couvrir les fonctionnalités FOL. Pour que le Web sémantique devienne suffisamment expressif pour nous aider dans un large éventail de situations, il deviendra nécessaire de construire un langage logique puissant pour faire des inférences.

## **1. RDF (Resource Description Framework)**

Cette section présente un bref aperçu des concepts de RDF. [277]

### **1.1. Vue d'ensemble**

Resource Description Framework (RDF) est le cadre proposé par le W3C pour la représentation d'informations, en particulier de métadonnées sur les ressources Web relatives à des ressources, sur le World Wide Web [278]. L'utilisation d'informations RDF peut être facilement échangée entre applications sans perte de sens. Cela devient important pour les informations qui doivent être traitées et pas simplement affichées dans un format simple comme HTML.

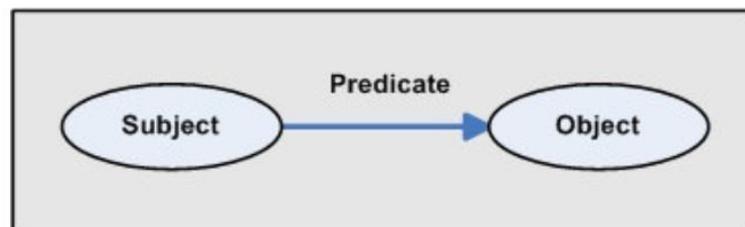
RDF utilise des URI pour identifier des éléments sur le Web et décrit des ressources avec des paires propriétés et les valeurs de propriété. En conséquence, les déclarations sur les ressources peuvent être représentées dans RDF sous forme de graphique contenant des nœuds et des arcs dans lesquels les arcs représentent les propriétés des ressources et les nœuds représentent les ressources et les valeurs de propriété [279].

Les déclarations sont exprimées sous forme de simples triples, comme <S, P, O> dans RDF. Le triple <S, P, O> signifie que le sujet S, qui est une ressource indiquée par les URI, a la propriété ou prédicat P, qui est également une ressource indiquée par les URI avec la valeur O pour Objet et O est soit une valeur URI, soit littérale. Certaines propriétés de base telles que le type et la classe sont définies dans RDF, RDFS et OWL [280].

## 1.2. Concepts de base

Comme mentionné précédemment, la structure de base de toute expression en RDF est une instruction triple composée d'un sujet, d'un prédicat et d'un objet. Chaque triple peut être modélisé sous forme de graphe dirigé à l'aide d'un nœud et d'un diagramme en arc. Une collection de triples est appelée graphe RDF.

Comme le montre la Figure 5.2, chaque triple est modélisé comme un nœud-arc-nœud lien dans lequel le sujet et l'objet sont des nœuds et Prédicat (ou propriété) est un lien qui pointe toujours vers objet et décrit la relation entre *Sujet (Subject)* et *Objet (Object)*.



*Figure 5.2: RDF triple modélisé sous forme de graphe orienté*

Dans le graphique RDF, un nœud de sujet peut être une référence URI ou un nœud vide et un nœud d'objet peut être une référence URI, un nœud vide, un littéral ordinaire ou un littéral typé. Prédicat ou propriété n'est qu'une référence URI [278].

Un « URI » est une forme plus générale de l'URL (Uniform Resource Locator) et peut être utilisé pour identifier tout ce qui doit être référé. Par exemple, sous la ligne se trouve un URI:

`http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type`

Un « nœud vide » est un nœud unique sans nom intrinsèque qui peut être utilisé dans les instructions RDF.

Un « littéral ordinaire » est une chaîne avec une balise de langue facultative, qui est utilisée pour identifier des valeurs telles que des dates et des nombres au format lexical. Par exemple, la ligne ci-dessous est un littéral ordinaire et indique que la chaîne est exprimée en anglais (en).

`"This is a plain literal"@en`

## Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

---

Un « littéral typé » est une chaîne avec un type de données URI, qui est utilisée pour identifier les valeurs au moyen d'un format lexical. Par exemple, la ligne ci-dessous est un littéral typé qui indique que le type de données de la valeur "20" est un entier:

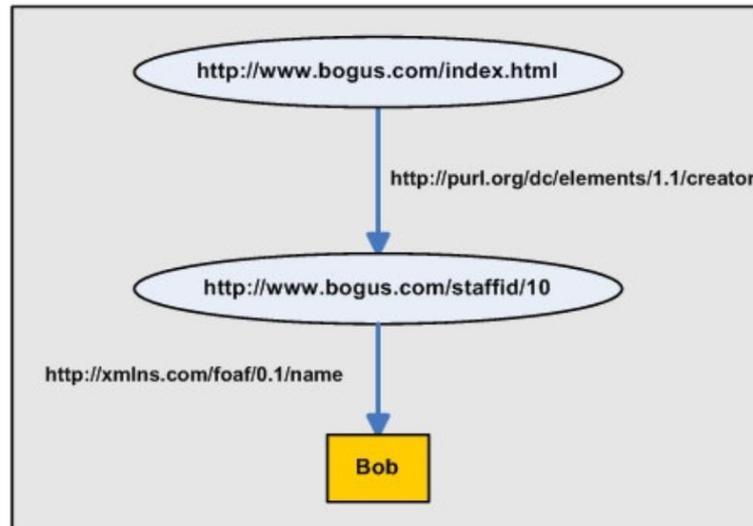
```
"20"^^http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int
```

Par exemple, considérons le code RDF suivant:

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/" >
<rdf:Description rdf:about="http://www.bogus.com/index.html">
  <dc:creatorrdf:resource="http://www.bogus.com/staffid/10"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="http://www.bogus.com/staffid/10">
  <foaf:name>Bob</foaf:name>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Les déclarations RDF ci-dessus indiquent que le sujet <http://www.bogus.com/index.html> est créé par l'objet <http://www.bogus.com/staffid/10> dont le nom est *Bob*. Il y a deux triplets différents dans les déclarations ci-dessus et chacun a son propre sujet, prédicat et objet. Dans le premier triple, le sujet est <http://www.bogus.com/index.html>, le prédicat est <http://purl.org/dc/elements/1.1/creator> et l'objet est <http://www.bogus.com/staffid/10>. Dans le deuxième triple, le sujet est <http://www.bogus.com/staffid/10>, le prédicat est <http://xmlns.com/foaf/0.1/name> et l'objet est *Bob*.

Les déclarations RDF décrites ci-dessus sont représentées sous forme de graphique RDF dans la Figure 5.3.



*Figure 5.3: Exemple de graphe RDF*

Parfois, il est nécessaire de décrire d'autres déclarations RDF à l'aide de RDF. Par exemple, certaines applications RDF doivent conserver des informations qui ont fait des déclarations RDF, quand les déclarations ont été faites. RDF introduit la « réification », qui est un moyen de fournir une description des déclarations en utilisant le vocabulaire intégré RDF composé du type *rdf: Statement* et des propriétés *rdf: subject*, *rdf: predicate* et *rdf: object* [279].

Par conséquent, en utilisant la réification, les déclarations RDF peuvent être utilisées comme ressource dans d'autres instructions permettant des déclarations imbriquées dans le graphique RDF [281]. La Figure 5.4 montre un exemple d'une déclaration de réification utilisée pour faire une nouvelle déclaration. Dans cet exemple, un membre du personnel avec l'identifiant 20, *http://www.bogus.com/staffid/20*, prétend que le créateur de la page HTML *http://www.bogus.com/index.html* est un membre du personnel avec l'identifiant 10, *http://www.bogus.com/staffid/10* dont le nom est *Bob*.

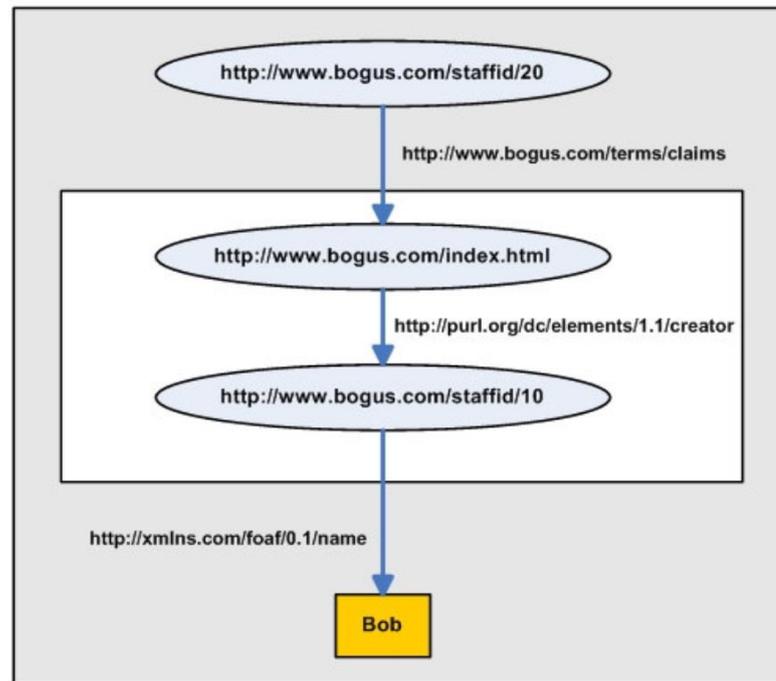


Figure 5.4: Exemple pour Faire une nouvelle déclaration RDF en utilisant la réification

### 1.3. Formats de Sérialisation

Les graphiques RDF peuvent être encodés dans différents formats. Le W3C a défini une syntaxe basée sur XML pour les graphiques RDF appelée RDF / XML, qui est le format d'échange standard sur le Web sémantique. Un exemple de ce format est mentionné dans l'exemple de la section 1.1, qui est exprimé en RDF / XML. Une description complète de la spécification de la syntaxe RDF / XML est disponible sur le site Web du W3C [282].

RDF / XML n'est pas le seul format d'encodage des graphiques RDF, il existe d'autres formats de texte brut tels que N-Triples [283], Turtle (Terse RDF Triple Language) [284] et Notation3 [285].

## 2. Le schéma RDF (Resource Description Framework)

### 2.1. Vue d'ensemble

RDF est un standard pour construire des modèles de données et il est nécessaire d'avoir une autre couche pour la construction d'un vocabulaire spécifique pour les modèles de données. Le schéma RDF est introduit par le W3C en tant que langage de description de vocabulaire de RDF. Les descriptions de vocabulaire de schéma RDF sont écrites en RDF et permettent au concepteur de définir le vocabulaire utilisé par le modèle de données RDF [286].

Le schéma RDF contient une terminologie sémantique prédéfinie tels que la classe et *subClassOf* où l'utilisation de la propriété *subClassOf* permet d'exprimer la hiérarchie des

classes. À titre d'exemple, si « personne » est définie comme une classe, « étudiant d'un établissement » est définie comme *subClassOf* de la « personne » et « Bob » est défini un « étudiant d'un établissement », puis, en raison de la sémantique du schéma RDF, il est implicitement vrai que « Bob » est également un type de « personne ».

Le vocabulaire de base du schéma RDF est défini dans un espace de noms appelé *rdfs*, identifié par l'URI <http://www.w3.org/2000/01/rdfschema#>.

## 2.2. Primitives de modélisation

Cette section présente les principales classes, propriétés et contraintes du schéma RDF. Une description complète de ces primitives est disponible sur le site Web du W3C [286].

**Main classes:** Les classes principales du schéma RDF sont les classes principales: *rdfs:Resource*, *rdf:Property* et *rdfs:Class*. La classe *rdfs:Resource* est la classe de tout ce qui est décrit par RDF. Par conséquent, toutes les ressources de RDF sont des instances de la classe *rdfs:Resource*. La classe *rdf:Property* est la classe de toutes les propriétés RDF et est elle-même une instance de *rdfs:Class*. Les concepts sont définis à l'aide de *rdfs:Class* dans le schéma RDF. En outre, la classe *rdfs:Class* est la classe de ces ressources RDF qui sont des classes RDF.

**Main properties:** Les propriétés principales du schéma RDF sont *rdfs:subClassOf*, *rdfs:subPropertyOf* et *rdf:type*. Tous sont des instances de *rdf:Property*. La propriété *rdfs:subClassOf* est utilisée pour indiquer la hiérarchie entre les classes, ce qui signifie que les instances d'une classe sont également des instances d'une autre. La propriété *rdfs:subPropertyOf* est utilisée pour indiquer la hiérarchie entre les propriétés, ce qui signifie que si une ressource est liée par une propriété, elle est également liée par une autre. La propriété *rdf:type* est utilisée pour identifier qu'une ressource est liée à une classe et qu'il s'agit d'une instance de la classe.

**Main constraints:** Les contraintes principales du schéma RDF sont *rdfs:domain* et *rdfs:range*. Les deux sont des instances de *rdf:Property*. La propriété *rdfs:domain* indique que toute ressource avec une propriété donnée est une instance d'une ou plusieurs classes spécifiques.

Par exemple, le triple P *rdfs:domain* C indique que les sujets des triplets sont des instances de classe C si les prédicats de ces triplets sont P. La propriété *rdfs:range* indique que toutes les valeurs autorisées d'une propriété sont des instances d'une ou plusieurs classes spécifiques. Par exemple, le triple P *rdfs:range* C indique que les objets des triplets sont des instances de classe C si ces triplets prédits sont P.

### **3. Langages de requête RDF**

Le langage de requête RDF est utilisé pour extraire des informations d'une base de connaissances et manipuler des données stockées au format RDF. Il permet aux utilisateurs finaux et aux développeurs d'écrire les requêtes souhaitées et de consommer les résultats des requêtes sur une large gamme d'informations sur le Web. Plusieurs langages ont été proposés pour interroger les documents RDF et SPARQL est introduit comme langage de requête standard pour les documents RDF par le W3C.

#### **3.1. Différents langages de requête**

Plusieurs langages de requête tels que RQL (RDF Query Language), SeRQL (Sesame RDF Query Language), SquishQL, RDFPath, Versa, TRIPLE, DAML + OIL Query Language, RDQL, RDFQL, N3, iTQL, RStar, SPARQL, et ainsi de suite ont été introduits pour les documents RDF.

Tous les langages de requête mentionnés étaient destinés à fournir un langage de requête approprié pour les documents RDF. Certains d'entre eux, y compris RQL, SeRQL, TRIPLE, RDQL, N3 et Versa ont été décrits et comparés dans la référence « Une comparaison des langages de requête RDF » [287].

#### **3.2. SPARQL**

SPARQL est le langage de requête RDF standard et le protocole d'accès aux données introduit par le W3C pour un accès facile aux documents RDF dans le Web sémantique. Il est défini en relation avec le modèle de données RDF et fonctionne avec n'importe quelle source de données qui peut être exprimée par RDF. Le langage de requête SPARQL fournit la syntaxe et la sémantique pour obtenir des informations à partir de graphes RDF. Il fournit certaines fonctionnalités pour extraire des informations sous diverses formes telles que des URI, des nœuds vides et des littéraux simples et typés. Il dispose également d'installations pour extraire les sous-graphes RDF et construire de nouveaux graphes RDF en utilisant les informations dans les requêtes [288].

Les modèles de graphes correspondants est la base du langage de requête SPARQL. Le modèle de graphe de base le plus simple peut être un modèle triple comme le triple RDF avec des variables au lieu du sujet, du prédicat et de l'objet. Ces modèles de graphe peuvent être utilisés comme modèles de base pour les graphes RDF afin de récupérer les résultats de la requête. Il n'y a aucune inférence dans le langage de requête SPARQL et il interroge uniquement les informations dans les graphes RDF.

## Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

À titre d'exemple, considérons les données RDF suivantes, présentées à la section 2.2.2:

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/" >
  <rdf:Description rdf:about="http://www.bogus.com/index.html">
    <dc:creator rdf:resource="http://www.bogus.com/staffid/10"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="http://www.bogus.com/staffid/10">
    <foaf:name>Bob</foaf:name>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

L'exemple suivant montre une simple requête SPARQL pour trouver le « nom » du membre du personnel 10 à partir des informations dans le graphe RDF donné ci-dessus.

```
PREFIX foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
SELECT ?name
WHERE
{
  <http://www.bogus.com/staffid/10> foaf:name ?name .
}
```

Dans le code ci-dessus, PREFIX foaf définit l'espace de noms du vocabulaire <http://xmlns.com/foaf/0.1/>, la clause SELECT de la requête identifie la variable "nom" qui est le résultat de la requête et la clause WHERE de la requête contient un triple motif. Le résultat de la requête basée sur le graphique RDF mentionné sera:

| name  |
|-------|
| "Bob" |

Figure 5.5: Résultat de la requête basée sur le graphique RDF

Une description complète du langage de requête SPARQL est disponible sur le site du W3C [288].

### 4. Applications implémentées

Certaines des applications implémentées basées sur le Web sémantique sont brièvement expliquées dans cette section comme un exemple d'applications Web sémantique.

**Friend of a Friend (FoaF):** Le projet Friend of a Friend (FoaF) est l'une des applications les plus populaires du Web sémantique. Il s'agit de décrire les gens, les relations

entre eux et les choses qu'ils ont créées sous la forme d'un Web lisible par machine. FOAF est implémenté sur la base de RDF et défini en utilisant OWL afin de partager des données entre différents environnements. [289]

**BigBloZoo:** BigBlogZoo est un navigateur Web sémantique dans lequel environ 70 000 flux d'actualités et blogs, appelés canaux, ont été classés en utilisant le schéma DMOZ<sup>1</sup>. Ces informations sont au format XML lisible par machine. Le BigBlogZoo permet à un utilisateur Web de rechercher et parcourir ces canaux et d'enregistrer les résultats en tant que canaux. [290]

**Piggy Bank:** Piggy Bank est un nouveau plug-in gratuit et une extension du navigateur Web Firefox, ce qui en fait un navigateur Web sémantique. Les informations et scripts Web existants sur le Web sont extraits et traduits en informations RDF et stockés sur l'ordinateur local de l'internaute à l'aide de Piggy Bank. Par conséquent, ces informations peuvent être utilisées indépendamment dans d'autres contextes de manière plus utile. [273] [291]

## **5. Discussion et Décision**

Le Web sémantique est une tendance actuelle du Web dans laquelle l'information est associée à une signification bien définie qui améliore la capacité des ordinateurs et des personnes à travailler en coopération. Ce Web, également appelé Web 3.0 [292], vise à décrire une méthode pour échanger, partager et connecter des données via des URI sur le Web (un URI, est une courte chaîne de caractères qui identifie une ressource sur un réseau). Par conséquent, notre recherche devrait se concentrer sur le développement d'outils d'indexation existants, tout en se concentrant sur l'acquisition de nouvelles données basées sur des **Schémas RDF**.

## **IV. Solution Web Sémantique pour un Système d'Apprentissage en Ligne à l'aide de la prochaine génération de SCORM**

### **1. Objectif & Approche**

Notre approche est d'assurer une meilleure interopérabilité sémantique au LRS pour stocker les interactions qui proviennent du LMS, l'utilisation de RDF avec sa structure de Triple (Sujet, prédicat, objet) offre une meilleure gestion de la traçabilité des logs LMS et aussi d'assurer la haute disponibilité de ces données, et une amélioration de l'interopérabilité des contenus entre les systèmes d'apprentissage mentionnés ci-dessus en utilisant RDF / XML [293]. Ce dernier est un très bon moyen de communication et de partage d'informations. Pour les ressources Web: les cours, les images, les documents, etc. sont identifiés par un URI unique.

---

<sup>1</sup> Un autre nom pour l'Open Directory Project (ODP): le plus grand annuaire édité par l'homme du Web qui est maintenu par une communauté d'éditeurs bénévoles. Pour plus d'informations, voir: <https://dmoz-odp.org/>

## Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

Cette approche avec leurs fonctionnalités s'appliquera à notre architecture de service Web (Figure 5.6) qui a été précédemment conçue sur la base de la prochaine génération de SCORM [254] [255] pour améliorer l'interopérabilité du contenu e-learning.

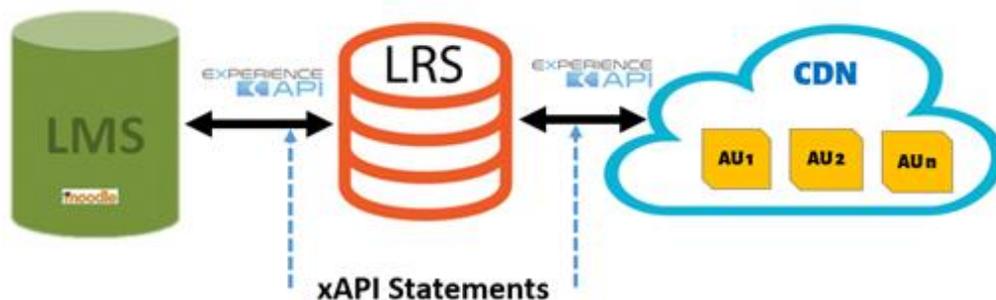


Figure 5.6: Partie de l'architecture des services Web [254] [255].

### 2. Architecture du mécanisme de mappage JSON-LD

Pour transformer notre fichier JSON en un document RDF, nous pouvons utiliser un outil de mappage nommé JSON-LD [283] [294]. Après avoir ajouté le contexte JSON-LD aux données JSON, nous pouvons facilement réinterpréter ces données comme un document RDF qui contient des triplets RDF, le principe de ce contexte est le mappage des attributs JSON dans les propriétés RDF. La figure 5.7 illustre l'architecture de transformation de JSON en document RDF à l'aide de l'outil de mappage JSON-LD.

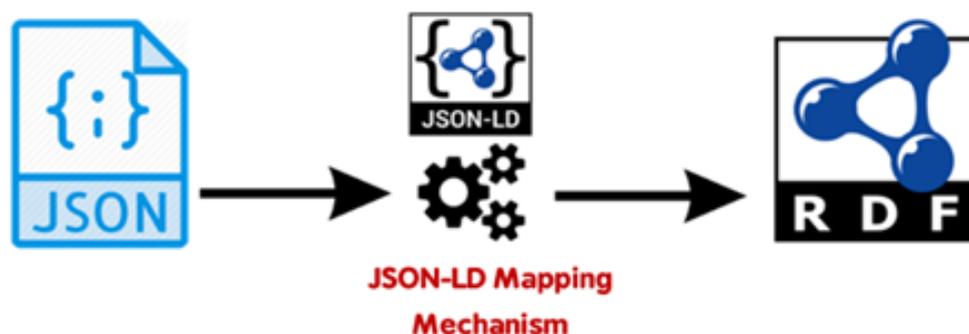


Figure 5.7: Architecture du mécanisme de mappage JSON-LD [295] [296].

### 3. Solution Web sémantique « JSON2RDF TransLRS » en utilisant le mécanisme de mappage JSON-LD

Dans ce travail, nous avons montré un module de conversion nommé **JSON2RDF TransLRS**, dans le but de transformer des instructions formatées JSON en un document RDF au cœur du système LRS. Nous avons essayé de transformer un exemple de déclaration vidéo du LMS au format JSON. La figure 5.8 montre la fenêtre de l'outil **JSON2RDF TransLRS**.

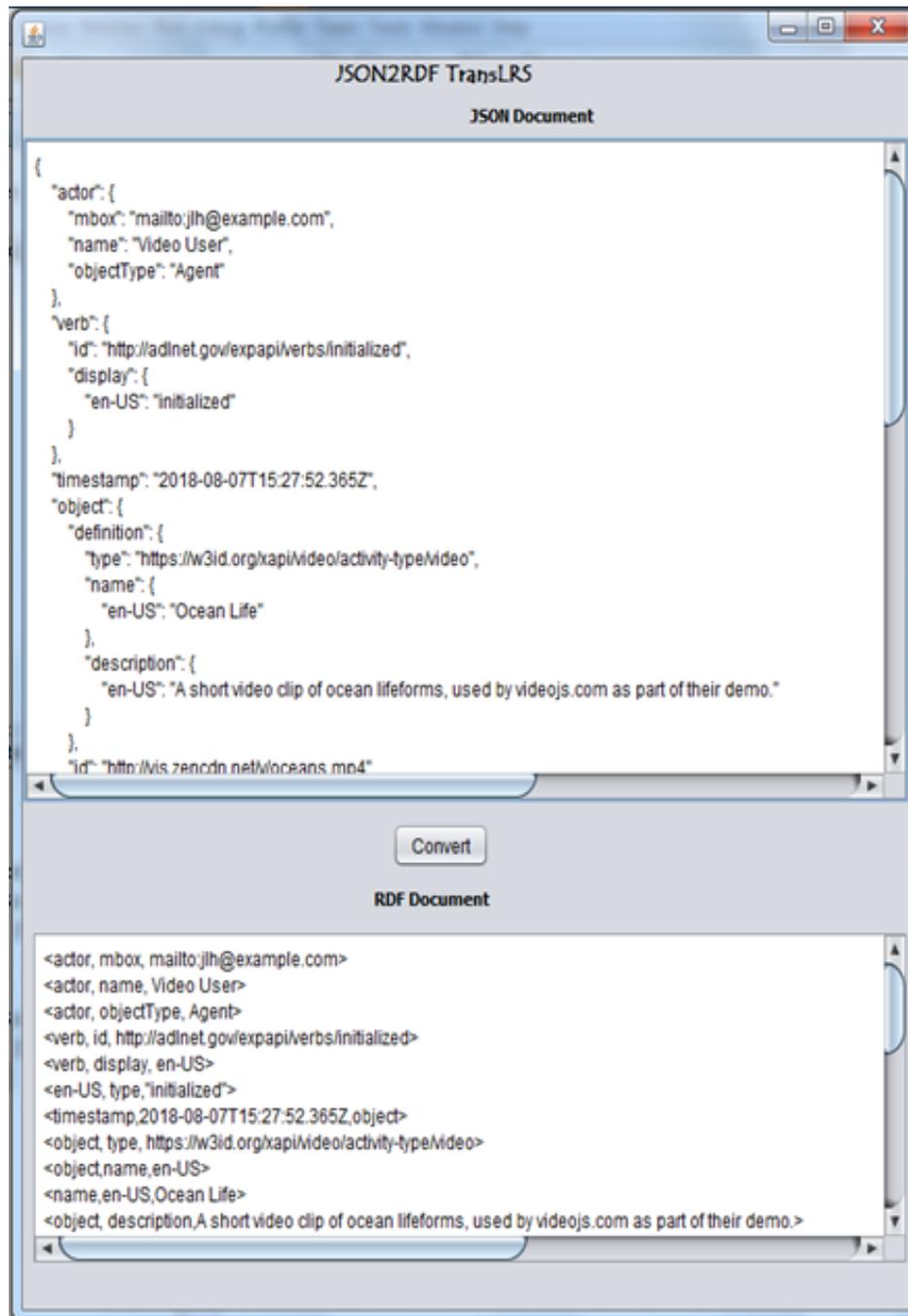


Figure 5.8: Capture d'écran de la fenêtre de l'outil JSON2RDF TransLRS [295] [296].

La Figure 5.9 (Annexe 1 : pour voir le code entier) montre le programme de transformation JSON2RDF TransLRS développé en Java et grâce à la fonctionnalité orientée objet, nous pouvons permettre de créer des programmes modulaires (divisant un programme en sous-programmes séparés) et du code réutilisable ainsi que la plateforme de fonctionnalité indépendante qui nous permet de passer facilement d'un système informatique à un autre.

## Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

```
package json_rdf;
/**
 * @author Abdellah BAKHOUI
 */
public class JSON2RDF {

    private static final Object close = new Object();
    private static final int writeSpaceCount = 1;
    public static final byte[] NULL = new byte[]{'n', 'u', 'l', 'l'};
    public static final int NULL_LOWER = 'n';
    public static final int NULL_UPPER = 'N';
    public static final int TRUE = 't';
    public static final int TRUE_UPPER = 'T';
    public static final int FALSE = 'f';
    public static final int FALSE_UPPER = 'F';
    public static final int COLON = ':';
    public static final int COMMA = ',';
    public static final int LEFT_BRACKET = '[';
    public static final int LEFT_BRACE = '{';
    public static final int RIGHT_BRACKET = ']';
    public static final int RIGHT_BRACE = '}';
    public static final int STRING = '"';
    public static final int SP = ' ';
    public static final int BS = '\\';
    public static final int CR = 13;
    public static final int LF = 10;
    public static final int EOF = -1;
    public static final byte[] EOL = new byte[] {CR, LF};
    private final ByteArrayOutputStream buf = new ByteArrayOutputStream();

    public Json() {

    private Map createEmptyMap() {

    public void write(PrintStream out, Object obj) throws IOException {

    public void write(PrintStream out, Object obj, boolean format) throws IOException {

    private synchronized void write(PrintStream out, Object obj, boolean format, int depth) {

    public Object read(InputStream in) throws IOException {

    public synchronized Object read(InputStream in, Charset charset) throws IOException {
        return close;
    }

    private void writeMulti(PrintStream out, Object key, Collection value, boolean format,
    private boolean isRegular(int b) {

    private String unescape(String str) {

    public static String escape(String str) {
```

Figure 5.9: Capture d'écran du résumé du programme JSON2RDF TransLRS [295] [296].

En d'autres termes, pour effectuer cette transformation de JSON en RDF, nous allons utiliser un analyseur JSON implémenté en Java, puis nous allons extraire les parties pertinentes et enfin nous allons construire un graphe RDF en utilisant une bibliothèque Java pour RDF

## **Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM**

comme Apache Jena ou RDF4J. Nous transformons le fichier JSON en fichier JSON-LD en ajoutant un @context. Le programme commence par la lecture JSON avec cet analyseur JSON et avec les objets Java. Ensuite, le programme créera un fichier RDF avec des objets Java précédemment lus. Dans une classe Java nommée JSON, nous avons créé des fonctions comme write, read, writeMulti et writeSpace pour écrire des espaces et des lignes de séparation en spécifiant la sortie. Le rôle de la fonction writeBreak est de créer une nouvelle instance de JSON. Le but de la fonction de lecture est de lire le fichier JSON d'entrée en triant les données selon leurs types: String, TRUE\_UPPE, FALSE\_UPPER. La fonction d'écriture crée notre fichier RDF final, séparant le sujet, le prédicat et l'objet par des virgules.

### **4. Evaluation & Etude de performance de l'approche**

Ce travail consiste à examiner la prise en compte de la transformation des déclarations formatées JSON en un document RDF avec le système TransLRS mais aussi dans le système GrassBlade. Pour cela, nous nous intéressons à une évaluation des performances en termes de chargement et d'exécution des données constituant les déclarations JSON dans les deux systèmes. Dans cette section, nous allons identifier premièrement l'ensemble des données pour le test et présenter l'environnement de test avec la configuration du matériel, les versions des outils utilisés ; deuxièmement, nous illustrons une évaluation de performance de notre approche.

#### **4.1. Ensemble de données pour les tests (dataset)**

Pour disposer des données en format JSON nécessaires pour nos tests de performance basées sur des jeux de données e-learning issue des fameuses plateformes e-Learning, nous avons utilisé le banc d'essai de GrassBlade Cloud LRS (<https://test.gblrs.com/>) comme : le dataset GrassBlade LRS v2.7.0 [298], il contient 550922 déclarations (statements), avec 33608 apprenants enregistrés. Nous avons généré deux instances de ce dataset GrassBlade\_LRS\_5, GrassBlade\_LRS\_10 qui contient des répliquions des données pour mesurer l'évolutivité de notre système.

*Tableau 5.1: Ensemble de données générées*

| <b>Dataset</b>           | <b>Déclarations (Statements)</b> | <b>Apprenants</b> | <b>Activités</b> |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------|------------------|
| <b>GrassBlade_LRS</b>    | 550922                           | 33608             | 75008            |
| <b>GrassBlade_LRS_5</b>  | 2 754 610                        | 168 040           | 375 040          |
| <b>GrassBlade_LRS_10</b> | 5 509 220                        | 336 080           | 750 080          |

#### 4.2. Configuration de l'environnement de test

Notre évaluation a été réalisée sur un ordinateur (PC) de marque DELL doté d'un Processeur Intel Xeon Processor E3-1225 (6M Cache, 3.10 GHz) et d'une mémoire vive de 8Go et d'un disque dur peut contenir jusqu'à 4To. Pour la mise en œuvre et les tests, notre système est basé sur JSON-LD, JAVA version 8.

#### 4.3. Evaluation de l'approche

##### Performances en termes de chargement des données

Cette partie concerne le chargement de dataset et ses instances, composant les déclarations JSON stockées dans le système LRS. Le tableau 5.2 suivant présente les résultats des expériences de chargement des données.

Tableau 5.2: Durée de chargement des données en (s) [332].

| Dataset                | GrassBlade_LRS | GrassBlade_LRS_5 | GrassBlade_LRS_10 |
|------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| Durée de chargement(s) | 2,3            | 6,1              | 7,4               |

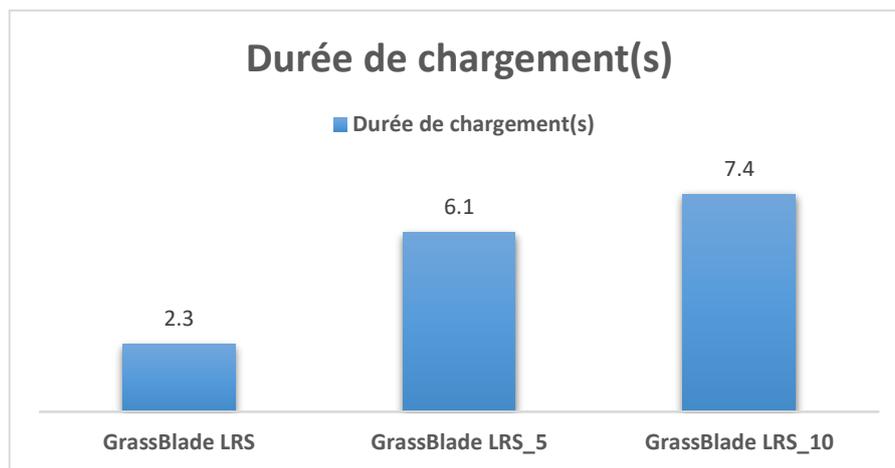


Figure 5.10: Durée de chargement des données en (s) [332].

En termes de chargement, comme le montre la figure 5.10, le système JSON2RDF TransLRS fournit de très bons résultats, notez que plus la taille du dataset est élevée, plus le temps de charge est diminué et raisonnable. Nous exprimons ainsi que:

$$T_{C1} = T_{GrassBlade\_LRS\_5} - T_{GrassBlade\_LRS}$$

$$T_{C2} = T_{GrassBlade\_LRS\_10} - T_{GrassBlade\_LRS\_5}$$

( $T_C$  : Différence entre Temps de chargement des datasets)

$$T_{C2} < T_{C1}$$

##### Performances en termes d'exécution des données

Cette section se focalise sur l'exécution de dataset et ses instances, qui ont été chargées (phase de chargement de données) dans le système TransLRS. Cette phase concerne la

## Chapitre 5 - Vers une Solution Web Sémantique basée sur le Mécanisme de Mappage JSON-LD pour les Plateformes E-learning : Utilisation de la Prochaine Génération de SCORM

transformation de données JSON en document RDF. Le tableau 5.3 suivant présente les résultats des expériences de l'exécution de notre système TransLRS.

Tableau 5.3: Durée d'exécution de TransLRS en (s) [332].

| Dataset              | GrassBlade LRS | GrassBlade LRS_5 | GrassBlade LRS_10 |
|----------------------|----------------|------------------|-------------------|
| Temps d'exécution(s) | 2,3            | 6,1              | 7,4               |

La figure suivante illustre une vue graphique des résultats des expériences réalisées

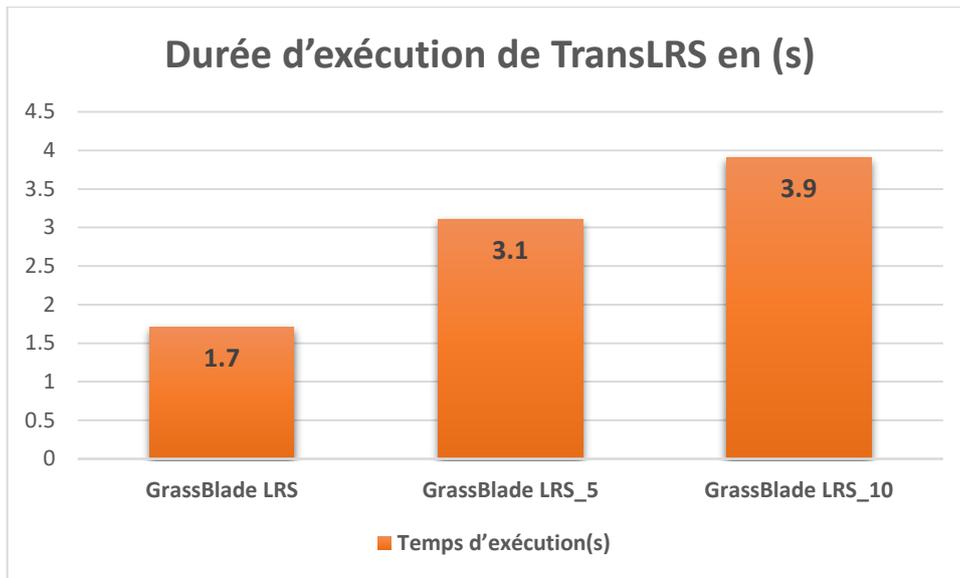


Figure 5.11: Durée d'exécution de TransLRS en (s) [332].

En termes d'exécution et de réponse, comme on le constate sur la figure 5.11, le système TransLRS fournit des meilleurs résultats, notons que plus la taille du dataset est élevée, plus le temps d'exécution est meilleur et raisonnable. On exprime aussi bien que:

$$T_{r1} = T_{\text{GrassBlade\_LRS\_5}} - T_{\text{GrassBlade\_LRS}}$$

$$T_{r2} = T_{\text{GrassBlade\_LRS\_10}} - T_{\text{GrassBlade\_LRS\_5}}$$

( $T_r$  : Différence entre Temps d'exécution et de réponses des datasets)

$$T_{r2} < T_{r1}$$

### 4.4. Comparaison des résultats

Nous avons comparé notre système TransLRS avec la plateforme Web de GrassBlade LRS, et les résultats sont présentés dans le tableau 5.4 suivant, notez que GrassBlade LRS contient seulement les données sans répllication pour cela nous avons réalisé une équation pour prédire les résultats des instances GrassBlade LRS\_5, et GrassBlade LRS\_10 selon des requêtes exécutées durant une période de 50 jours [297].

Tableau 5.4: Comparaison entre TransLRS et GrassBlade LRS [332].

|            | GrassBlade LRS | GrassBlade LRS_5 | GrassBlade LRS_10 |
|------------|----------------|------------------|-------------------|
| TransLRS   | 271            | 340              | 420               |
| GrassBlade | 163            | 300              | 377               |

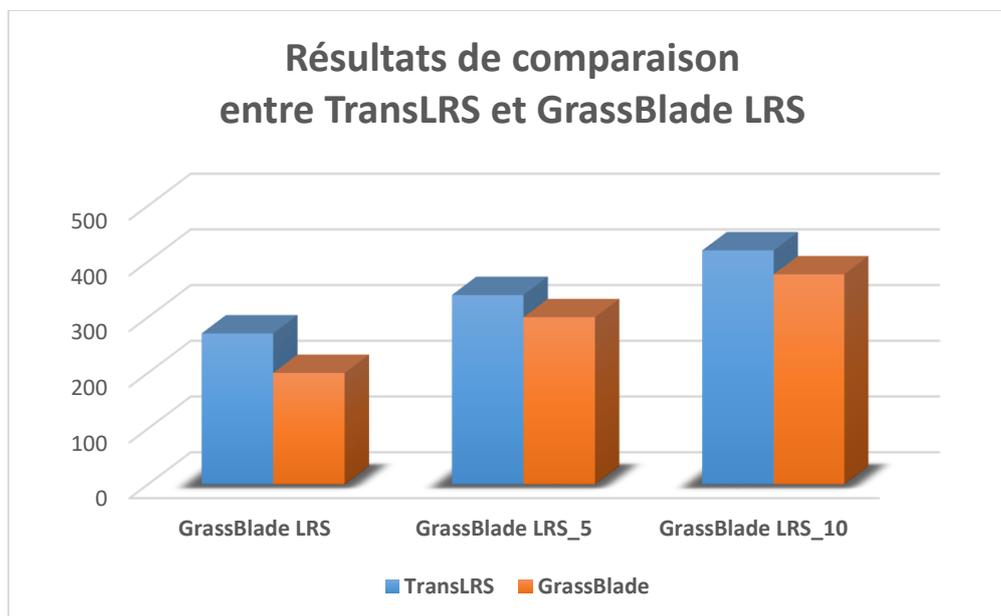


Figure 5.12: Résultats de comparaison entre TransLRS et GrassBlade LRS [332].

Selon le test de performance de notre approche que nous avons réalisé, les résultats mentionnés dans la figure 5.12 indiquent que la transformation des déclarations formatées JSON en un document RDF avec le système TransLRS, est plus performant que le système GrassBlade à l'exécution rapide de nombreuses requêtes, nous constatons que :

Dans la première dataset, le nombre de requêtes exécutées au système TransLRS est supérieur par rapport au système GrassBlade.

$$\text{Num } Q_{\text{Trans\_LRS}} > \text{Num } Q_{\text{GrassBlade\_LRS}}$$

Dans la deuxième instance, le nombre de requêtes exécutées au système TransLRS est reste toujours supérieur par rapport au système GrassBlade.

$$\text{Num } Q_{\text{Trans\_LRS\_5}} > \text{Num } Q_{\text{GrassBlade\_LRS\_5}}$$

Dans la troisième instance, une différence importante au nombre de requêtes exécutées entre les deux systèmes, et le TransLRS reste toujours le plus rapide et meilleur au traitement des requêtes.

$$\text{Num } Q_{\text{Trans\_LRS\_10}} > \text{Num } Q_{\text{GrassBlade\_LRS\_10}}$$

## **5. Discussion**

Dans un environnement de gestion de contenu e-learning collaboratif, l'hétérogénéité des données dans différents environnements d'apprentissage présente de nombreux défis pour le partage de données; certains de ces défis concernent l'intégration des données, la production de résultats pour les requêtes des utilisateurs et la recherche des données correctes à partir de ces environnements hétérogènes. Compte tenu de ce besoin, nos efforts dans ce chapitre visaient à améliorer l'interopérabilité entre les systèmes d'apprentissage cités dans notre approche proposée, ce qui permettra aux apprenants d'accéder au contenu d'apprentissage ainsi qu'aux fonctionnalités mobiles.

Cette section aborde d'abord une évaluation empirique de l'acceptabilité par les utilisateurs des solutions proposées pour trouver des mesures qualitatives de l'acceptabilité et de la satisfaction des utilisateurs. Pour l'évaluation de la solution sémantique du mécanisme de mappage JSON-LD, différents types de requêtes ont été considérés; nous avons constaté que les solutions proposées entraînaient une grande satisfaction des utilisateurs.

## **6. Conclusion**

Le principal défi de nos efforts à ce chapitre est de transformer les déclarations de format JSON en format RDF en utilisant le mécanisme de mappage JSON-LD. Ces déclarations proviennent du système de gestion de l'apprentissage et sont stockées dans le système LRS. En particulier, nous avons pris le cas des vidéos massives comme type d'activité d'apprentissage dans les déclarations « statement ».

D'après le développement et l'évaluation de notre solution, nous avons déduit que cette dernière est utile pour les acteurs de TICE afin de répondre à leurs attentes en termes d'amélioration de la qualité d'apprentissage et pour faciliter leurs tâches d'enseignement dans les formations à distance.

# **Conclusion et Perspectives**

Cette thèse s'est intéressée à un problème majeur de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage à distance et propose donc un apport significatif dans de nombreuses recherches et applications, plus précisément celui de l'hétérogénéité croissante du contenu d'apprentissage surtout avec la multitude des plateformes commercialisées et l'apparition des nouvelles méthodes d'apprentissage et des moyens technologiques efficaces tels que les Smartphones, et les tablettes.

L'adaptation des systèmes d'apprentissage en ligne et l'étirement des applications mobiles permettent aux utilisateurs d'accéder au contenu d'apprentissage à l'aide d'appareils mobiles avec la nécessité d'intégrer les spécifications des normes d'apprentissage, qui ont été largement mis en œuvre et adoptés, de telle sorte que les normes ont été mises en œuvre pour fournir des modèles de données et des protocoles de communication conformes à avoir un contenu interopérable entre les systèmes d'apprentissage en ligne et leurs applications mobiles.

L'échange et le partage de données entre différents systèmes constitue l'un des grands défis des systèmes d'apprentissage en ligne. En outre, l'interopérabilité d'apprentissage ne concerne pas uniquement le contenu. Par conséquent, les objectifs que nous avons recherché en matière d'interopérabilité, n'ont pas été uniquement liés à l'interopérabilité du contenu, mais également à un plus large éventail de fonctionnalités et de services que les applications d'apprentissage peuvent fournir.

Nous avons proposé une architecture logicielle inédite visant à adapter les fonctionnalités du système de gestion de l'apprentissage et son extension au scénario mobile à base de service web utilisant des normes d'apprentissage de la prochaine génération de SCORM et nous avons également atteint l'objectif d'améliorer le niveau interopérabilité du contenu d'apprentissage d'un LMS à l'aide d'une solution web sémantique.

Ce travail de recherche a permis de contribuer dans le domaine de l'E-learning et les technologies de l'information (IT) en répondant aux objectifs suivants :

- Classification des systèmes d'apprentissage en ligne commerciaux et open source à travers une analyse multicritère WSM.
- Analyse multicritère et évaluation de l'interopérabilité des systèmes d'apprentissage en ligne commerciaux et open source en appliquant la méthode mathématique d'évaluation proportionnelle complexe (COPRAS).

- Une étude sur l'évolution de standardisation et d'interopérabilité d'apprentissage et leurs impacts sur les systèmes d'apprentissage en ligne.
- Proposition d'une nouvelle approche logicielle à base du web service permettant de participer à la résolution d'hétérogénéité croissante et l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes d'E-learning afin qu'ils communiquent avec ses applications mobiles, nous avons notamment présenté l'architecture de l'approche ainsi que la modélisation des interactivités qui n'étaient pas réalisables avec les spécifications de la prochaine génération de SCORM.
- Une implémentation de notre approche logicielle a consisté à utiliser le système LRS qui constitue le noyau de xAPI illustrant ses fonctionnalités et sa flexibilité, en assurant une communication transparente entre le contenu du LMS et le LRS en faisant la liaison grâce à la mise en place du plug-in Moodle Logstore et de bibliothèques JavaScript. Cette implémentation a également été caractérisée par l'utilisation des fonctionnalités de la norme xAPI et CMI-5 comme mécanisme de communication standard de base, dans l'objectif d'adapter le contenu du LMS aux caractéristiques spécifiques de l'appareil mobile.
- Test de notre approche par l'utilisation de la bibliothèque open source "xAPI-Dashboard" qui est implémentée en JavaScript pour améliorer notre "tableau de bord de l'enseignant" qui fournit à l'enseignant un formulaire de requête, des rapports et des graphiques illustrant les statistiques de l'utilisation de notre cours afin de concrétiser le fruit de notre travail et montrer la faisabilité et l'adaptabilité de l'environnement d'apprentissage en ligne et son extension mobile.
- Proposition d'une solution web sémantique qui s'est focalisée sur la question de l'interopérabilité sémantique du contenu d'apprentissage sous un angle nouveau et inexploité dans le domaine du E-Learning sous la base de la norme RDF afin d'établir une haute qualité d'échange, de partage de données et d'assurer une meilleure gestion des données sémantiques.
- Evaluation de notre solution web sémantique en termes d'efficacité et de performance de réutilisation, de partage et d'interopérabilité.

Le travail réalisé au cours de cette thèse nous a permis de toucher un axe très important qui constitue un défi majeur pour la réalité de l'université marocaine. Ces travaux de recherches peuvent participer à l'amélioration du rendement des apprenants et à augmenter leur degré de motivation. Ils permettent aussi de construire une relation enseignant-apprenant plus efficace,

---

puisque les apprenants vont sentir que les enseignants prennent en considération leurs besoins individuels lors de la conception des cours et des évaluations, ainsi ils suivent leurs progrès d'une manière beaucoup plus active.

Cependant, les axes de recherches futurs ouverts par notre humble contribution sont très nombreux ; Nous soulignons l'intérêt d'appliquer notre approche dans un environnement de systèmes de Big Data hétérogènes. En second lieu, Nous essayons que nos contributions puissent être améliorées en termes d'ajout des mécanismes de recommandation adaptés selon les progrès des apprenants et ceci en appliquant le concept de la Machine Learning afin de prendre en considération toutes les éventuelles possibilités liées au contexte. Nous ajoutons un autre axe important de recherche dans l'objectif d'appliquer un nouveau champ "Ingénierie Dirigée par les Modèles" dans la résolution du problème d'interopérabilité de couche de données.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

---

- [1] Bennett, S., Maton, K., & Kervin, L. (2008). The 'digital natives' debate: A critical review of the evidence. *British journal of educational technology*, 39(5), 775-786
- [2] Bhalalusesa, R., Lukwaro, E. E. A., & Clemence, M. (2013). Challenges of using E-learning management systems faced by the academic staff in distance based institutions from developing countries: A case study of the Open University of Tanzania. *Huria: Journal of the Open University of Tanzania*, 14(1), 89-110.
- [3] Elzawi, A., Wade, S., Kenan, T., & Pislaru, C. (2013, December). Exploratory study of the attitudes of academic staff in Libyan Universities towards the role of the Internet. In 8th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST-2013) (pp. 490-493). IEEE.
- [4] Rutenbur, B. W., Spickler, G. C., & Lurie, S. (2000). *eLearning: The engine of the knowledge economy*. Morgan Keegan.
- [5] Wang, Y. S., Wang, H. Y., & Shee, D. Y. (2007). Measuring e-learning systems success in an organizational context: Scale development and validation. *Computers in Human Behavior*, 23(4), 1792-1808.
- [6] Healey, M. (2000). Developing the scholarship of teaching in higher education: a discipline-based approach. *Higher Education Research & Development*, 19(2), 169-189.
- [7] Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2003). *e-Learning and the science of instruction: Pfeiffer*. San Francisco.
- [8] Stockley, D. (2005). Definition of e-Learning. Retrieved July, 22, 2005.
- [9] Oblinger, D. G., & Hawkins, B. L. (2005). The myth about e-learning. *Educause review*, 40(4), 14-15.
- [10] Zemsky, R., & Massy, W. F. (2004). Thwarted innovation: What happened to e-learning and why.
- [11] Heinze, A., & Procter, C. T. (2004). Reflections on the use of blended learning.
- [12] Harun, M. H. (2001). Integrating e-learning into the workplace. *The Internet and higher education*, 4(3-4), 301-310.
- [13] Adkins, B., & Harley, R. G. (2013). *The general theory of alternating current machines: application to practical problems*. Springer.
- [14] Carayannis, E. G., Samara, E. T., & Bakouros, Y. L. (2015). *Innovation and entrepreneurship: theory, policy and practice*. Springer.
- [15] Nyvang, T. (2006). Implementation of ICT in higher education as interacting activity systems. In *Fifth International Conference on Networked Learning 2006* (pp. 8-pages). Lancaster: Lancaster University.
- [16] Willems, J. (2005). Flexible Learning: Implications of "when-ever", "where-ever" and "what-ever".
- [17] Caladine, R. (Ed.). (2008). *Enhancing e-learning with media-rich content and interactions*. IGI Global.
- [18] Bates, A. T. (2005). *Technology, e-learning and distance education*. Routledge.
- [19] Harriman, G. (2007). M-learning (mlearning). Retrieved February, 20, 2010.
- [20] O'neill, K., Singh, G., & O'donoghue, J. (2004). Implementing eLearning programmes for higher education: A review of the literature. *Journal of Information Technology Education: Research*, 3(1), 313-323.
- [21] Eccles, R. (1991). The performance measurement manifesto. *Harvard business review*, 69(1), 131-137.
- [22] Robson, J., Bailey, B., & Larkin, S. (2004). Adding value: investigating the discourse of professionalism adopted by vocational teachers in further education colleges. *Journal of Education and Work*, 17(2), 183-195.
- [23] Koohang, A., & Harman, K. (2007). Advancing sustainability of open educational resources. *Issues in Informing Science & Information Technology*, 4.
- [24] Ellis, R. K. (2009). *Learning Management Systems*. Alexandria, VI: American Society for Training & Development (ASTD).
- [25] Watson, W., & Watson, S. L. (2007). An argument for clarity: What are learning management systems, what are they not, and what should they become.
- [26] Singh, H., & Reed, C. (2001). A white paper: Achieving success with blended learning. *Centra software*, 1, 1-11.
- [27] Rosenberg, M. J., & Foshay, R. (2002). E-learning: Strategies for delivering knowledge in the digital age. *Performance Improvement*, 41(5), 50-51.
- [28] Harman, K., & Koohang, A. (Eds.). (2007). *Learning objects: standards, metadata, repositories, and LCMS*. Informing Science .
- [29] Hung, D., & Nichani, M. (2001). Constructivism and e-learning: Balancing between the individual and social levels of cognition. *Educational Technology*, 41(2), 40-44.
- [30] Jones, C. (June, 2001). Rules of the game. *Online Learning Magazine*, 5 (6).
- [31] Robertson, J. (2003), "Is it document management or content management?", Step Two Design, CM Briefing 2003-04, Published on 14 February 2003, [online], available: [https://www.steptwo.com.au/papers/cmb\\_dmorcml/](https://www.steptwo.com.au/papers/cmb_dmorcml/).
- [32] Hall, B. (2002). *Learning management systems 2002*. Retrieved March 1, 2004, from <http://www.brandonhall.com>
- [33] Fardoun, H., Montero, F., & López-Jaquero, V. (2008). eLearnXML: Hacia el desarrollo de sistemas eLearning basado en modelos. In IX Congreso Internacional de Interacción PersonaOrdenador, Albacete, June (Vol. 9, No. 11, pp. 351-360).
- [34] Strijker, A., & Collis, B. (2002). New pedagogies and re-usable learning objects: Toward a different role for an LMS (pp. 334-339). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [35] Brennan, Michael, Susan Funke, and Cushing Anderson. "The learning content management system: A new elearning market segment emerges." *An IDC White Paper 1* (2001): 14.
- [36] Krämer, B. J. (2010). Learning objects: Standards, metadata, repositories, and LCMS—Edited by Keith Harman & Alex Koohang. *British Journal of Educational Technology*, 41(6), 973-973..
- [37] Lehman, R. (2007). Learning object repositories. *New directions for adult and continuing education*, 2007(113), 57-66.
- [38] Chan, L. (2004). Supporting and enhancing scholarship in the digital age: The role of open access institutional repositories. *Canadian Journal of Communication*, 29, 277-300.
- [39] Metros, S. E. (2005). Learning objects: A rose by any other name. *EDUCAUSE review*, 40(4), 12-13.
- [40] Canvas, website: [www.instructure.com](http://www.instructure.com)
- [41] Moodle, website: [www.moodle.com](http://www.moodle.com)

## Bibliographie

---

- [42] Sakai, website: [www.sakaiproject.org](http://www.sakaiproject.org)
- [43] dotLRN/OpenACS, website: [www.dotlrn.org](http://www.dotlrn.org)
- [44] Desire2Learn, website: [www.d2l.com](http://www.d2l.com)
- [45] The Blackboard Learning System, website: [www.blackboard.com](http://www.blackboard.com)
- [46] Edvance360, website: [www.edvance360.com](http://www.edvance360.com)
- [47] Elan Learning Management System, website: [www.ttnlearning.com](http://www.ttnlearning.com)
- [48] Leung, C., & Chan, Y. (2003). mLearning: A new paradigm in electronic learning. In Proceedings of the 3rd IEEE ICALT (pp. 76-84).
- [49] Sharples, M., Taylor, J., & Vavoula, G. (2005, October). Towards a theory of mobile learning. In Proceedings of mLearn (Vol. 1, No. 1, pp. 1-9).
- [50] Buedding, H., & Schroer, F. (2009). Knowledge to go: using mobile technologies for mobile learning inside and outside university and school. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 3(1), 1-14.
- [51] Khaddage, F., & Zhou, W. (2009). A Mobile Learning model for Universities-Re-blending the current learning environment. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 3, 18-23.
- [52] Lam, P., Wong, K., Cheng, R., Ho, E., & Yuen, S. (2011, March). Changes in student mobile learning readiness—comparison of survey data collected over a nine-month period. In *Global Learn* (pp. 180-189). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [53] Georgieva, E., Smrikarov, A., & Georgiev, T. (2005, June). A general classification of mobile learning systems. In *International conference on computer systems and technologies-CompSysTech* (Vol. 8, pp. 14-6).
- [54] Naismith, L., Lonsdale, P., Vavoula, G. N., & Sharples, M. (2004). Mobile technologies and learning.
- [55] Keegan, D. (2005, October). The incorporation of mobile learning into mainstream education and training. In *World Conference on Mobile Learning*, Cape Town (p. 11).
- [56] Pachler, N., Bachmair, B., Cook, J., & Kress, G. (2010). *Mobile learning*. New York, NY: Springer, 10, 978-1.
- [57] Trifonova, A., & Ronchetti, M. (2003). *A General Architecture for M-Learning*. Trento, Italy: Department of Information and Communication Technology, University Of Trento.
- [58] Pinkwart, N., Hoppe, H. U., Milrad, M., & Perez, J. (2003). Educational scenarios for cooperative use of Personal Digital Assistants. *Journal of computer assisted learning*, 19(3), 383-391.
- [59] Doneva, R., Kasakliev, N., & Totkov, G. (2007). Towards mobile university campuses.
- [60] Kambourakis, G., Kontoni, D. P. N., & Sapounas, I. (2004, February). Introducing attribute certificates to secure distributed E-learning or M-learning services. In *Proceedings of the IASTED International Conference* (pp. 436-440).
- [61] Liu, Y., Han, S., & Li, H. (2010). Understanding the factors driving m-learning adoption: a literature review. *Campus-Wide Information Systems*, 27(4), 210-226.
- [62] Barker, A., Krull, G., & Mallinson, B. (2005, October). A proposed theoretical model for m-learning adoption in developing countries. In *Proceedings of mLearn* (Vol. 2005, p. 4th).
- [63] Caudill, J. G. (2007). The growth of m-learning and the growth of mobile computing: Parallel developments. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 8(2).
- [64] Samuels, P. (2007). Mathematics Support and New Technologies. *MSOR CONNECTIONS*, 7(1), 10.
- [65] Denk, M., Weber, M., & Belfin, R. (2007). Mobile learning-challenges and potentials. *IJMLO*, 1(2), 122-139.
- [66] Ooms, A., Linsey, T., Webb, M., & Panayiotidis, A. (2008). The in-classroom use of mobile technologies to support diagnostic and formative assessment and feedback. In *Proceedings of the 7th London International Scholarship of Teaching and Learning Conference*.
- [67] Wang, P., & Ryu, H. (2009). Not SMS, but mobile quizzes: Designing a mobile learning application for university students. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 3(4), 351-365.
- [68] Juniu, S. (2002). Implementing handheld computing technology in physical education. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 73(3), 43-48.
- [69] Yin, C., Song, Y., Tabata, Y., Ogata, H., & Hwang, G. J. (2013). Developing and implementing a framework of participatory simulation for mobile learning using scaffolding. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(2), 137-150.
- [70] Wu, P. H., Hwang, G. J., Su, L. H., & Huang, Y. M. (2012). A context-aware mobile learning system for supporting cognitive apprenticeships in nursing skills training. *Journal of Educational Technology & Society*, 15(1), 223-236.
- [71] Cavus, N., & Ibrahim, D. (2009). m-Learning: An experiment in using SMS to support learning new English language words. *British journal of educational technology*, 40(1), 78-91.
- [72] El-Hussein, M. O. M., & Cronje, J. C. (2010). Defining mobile learning in the higher education landscape. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(3), 12-21.
- [73] Cavus, N. (2011). Investigating mobile devices and LMS integration in higher education: Student perspectives. *Procedia Computer Science*, 3, 1469-1474.
- [74] Ogata, H., Li, M., Hou, B., Uosaki, N. O. R. I. K. O., EL-BISHOUTY, M. M., & Yano, Y. O. N. E. O. (2011). SCROLL: Supporting to share and reuse ubiquitous learning log in the context of language learning. *Research & Practice in Technology Enhanced Learning*, 6(2).
- [75] Kubicek, H., Cimander, R., & Scholl, H. J. (2011). Layers of interoperability. In *Organizational Interoperability in E-Government* (pp. 85-96). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [76] Fox, M.S. (1993). Issues in enterprise modeling. *IEEE Conf. Proc. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 1, pp. 86-92.
- [77] Uschold, M., King, M., Moralee, S., and Zorgios, Y. (1998). The Enterprise Ontology. *The Knowledge Engineering Review*, 13 (1), 31-89.

## Bibliographie

---

- [78] Panetto, H., Whitmann, L., and Chatha, K.A. (2005). *Ontology for Enterprise Interoperability in the domain of Enterprise Business Modeling*. In *Interoperability of Enterprise Software and Applications* (Panetto H., Ed.), Hermes Science Publishing, London, pp. 103-113.
- [79] Gruber, R.T. (1995). Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *Int. J. of Human Computer Studies*, 43 (5/6), 907-928.
- [80] W3C (2004). *OWL (Web Ontology Language)*. World Wide Web Consortium. Available from <http://www.w3.org/2004/OWL>.
- [81] BPMI (2008). *Business Process Modeling Notation, Version 1.1*. Business Process Management Initiative (BPMI). Available from <http://www.bpmn.org>.
- [82] Herzum, P. (2002). *Web Services and Service-Oriented Architecture*, Cutter Consortium, Executive Report Vol. 4, No. 10.
- [83] Khalaf, R., Curbera, F., Nagy, W., Mukhi N., Tai, S., Duftler, M. (2005), *Understanding Web Services*. In *Practical Handbook of Internet Computing* (M. Singh, Ed.), Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL.
- [84] Chappell, D.A. (2004). *Enterprise Service Bus*. O'Reilly Media Inc., USA.
- [85] Zopounidis, C., & Pardalos, P. M. (Eds.). (2010). *Handbook of multicriteria analysis* (Vol. 103). Springer Science & Business Media.
- [86] Morgenstern, O., & Von Neumann, J. (1953). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press.
- [87] Savage, L. J. (1954). *The Foundations of Statistics*, seconde édition par Dover Publications, 1972. New York.
- [88] Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). *Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century*. World Scientific.
- [89] Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5-21). Springer, Boston, MA.
- [90] Fishburn, P. C. (1978). A survey of multiattribute/multicriterion evaluation theories. In *Multiple criteria problem solving* (pp. 181-224). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [91] Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukias, A., & Vincke, P. (2006). *Evaluation and decision models with multiple criteria: Stepping stones for the analyst* (Vol. 86). Springer Science & Business Media.
- [92] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and economic development of economy*, 20(1), 165-179.
- [93] Jahan, A., & Edwards, K. L. (2013). VIKOR method for material selection problems with interval numbers and target-based criteria. *Materials & Design*, 47, 759-765.
- [94] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and economic development of economy*, 17(2), 397-427.
- [95] Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press.
- [96] Turban, E., & Aronson, J. (2001). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. New Jersey, Prentice-Hall.
- [97] Keen, P. G., & Morton, S. (1978). *MS (1978). Decision support systems: An organizational perspective*.
- [98] Scott Morton, M. S. (1971). *Management decision systems: Computer based support for decision making*. Boston: Harvard University.
- [99] Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2011). *Multiple criteria decision making: from early history to the 21st century*. World Scientific.
- [100] Mateo JRSC. *Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. London: Springer; 2012.
- [101] Wang JJ, Jing Y-Y, Zhang C-F, Zhao J-H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renew Sustain Energy Rev* 2009; 13:2263-78, [12/].
- [102] Hayashi K. Multicriteria analysis for agricultural resource management: a critical survey and future perspectives. *Eur J Oper Res* 2000; 122:486-500.
- [103] Korhonen P, Moskowitiz H, Wallenius J. Multiple criteria decision support – a review. *Eur J Oper Res* 1992; 63:361-75.
- [104] C. L. Hwang, K. Yoon, "Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey", vol. 186, Springer Science & \$2 Business Media, 2012
- [105] Belton V, Stewart T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Springer Science & \$2 Business Media; 2002.
- [106] Polatidis H, Haralambopoulos DA, Munda G, Vreeker R. Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning. *Energy Sources, Part B : Econ, Plan, Policy* 2006 ; 1:181-93.
- [107] Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy multiple attribute decision making methods. In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [108] Hwang, F. P. (1987). *An expert decision making support system for multiple attribute decision making* (Doctoral dissertation, Kansas State University).
- [109] Jackson, C., & Pascual, R. (2008). Optimal maintenance service contract negotiation with aging equipment. *European Journal of Operational Research*, 189(2), 387-398.
- [110] Bhushan, N., & Rai, K. (2007). *Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process*. Springer Science & Business Media.
- [111] Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., & Sorenson, K. (2002). *Guidebook to decision-making methods* (Vol. 28, p. 29). WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA.
- [112] Belton, V. (1986). A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. *European journal of operational research*, 26(1), 7-21.
- [113] Mateo, J. R. S. C. (2012). *Multi-criteria analysis*. In *Multi criteria analysis in the renewable energy industry* (pp. 7-10). Springer, London.
-

## Bibliographie

---

- [114] Fülöp, J. (2005, November). Introduction to decision making methods. In BDEI-3 workshop, Washington (pp. 1-15).
- [115] Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- [116] Kahiigi Kigozi, E., Ekenberg, L., Hansson, H., Tusubira, F. F., & Danielson, M. (2008). Exploring the e-learning state of art. *Electronic Journal of e-learning*, 6(2), 77-88.
- [117] Kandies, J., & Stern, M. B. (1999). Weaving the Web into the classroom: An evolution of Web enhanced instruction. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1147-1152). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [118] Guri-Rosenblit, S. (2005). 'Distance education' and 'e-learning': Not the same thing. *Higher education*, 49(4), 467-493.
- [119] Chen, N. S., & Wang, Y. H. (2005, July). Cyber schooling framework: Improving mobility and situated learning. In *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)* (pp. 290-292). IEEE.
- [120] Waterhouse, S. A. (2005). *The power of elearning: The essential guide for teaching in the digital age*. Prentice Hall.
- [121] Nicholson, P. (2007). A history of e-learning. *Computers and Education*, 1-11.
- [122] Nagy, A. (2005). The impact of e-learning. In *E-Content* (pp. 79-96). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [123] Guri-Rosenblit, S. (2005). 'Distance education' and 'e-learning': Not the same thing. *Higher education*, 49(4), 467-493.
- [124] Liesebach, K., Franz, E., Stange, A. K., Juschka, A., Borcea-Pfutzmann, K., Böttcher, A., & Wahrig, H. (2011). Collaborative E-learning. In *Digital privacy* (pp. 657-677). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [125] Oblinger, D. G., & Hawkins, B. L. (2005). The myth about e-learning. *Educause review*, 40(4), 14-15.
- [126] Купер, И. П. (2002). Rosenberg MJ E-learning: strategies for delivering knowledge in the digital age. New York: McGraw-Hill, 2001. *Социологический журнал*, (2), C-169.
- [127] Kim, J., Park, K., & Kim, Y. (2014). Diversity and Satisfaction: Analysis of Learners' Satisfaction According to the Online Learning Interaction. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(21), 9157-9166.
- [128] Hunt, M., Davies, S., & Pittard, V. (2007). *Harnessing technology review 2007. Progress and impact of technology in education. Summary report*.
- [129] Khan, B. H. (1997). Web-based instruction (WBI): What is it and why is it. *Web-based instruction*, 5-18.
- [130] Triacca, L., Bolchini, D., Botturi, L., & Inversini, A. (2004). Mile: Systematic usability evaluation for e-Learning web applications. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 4398-4405). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- [131] Lanzilotti, R., Ardito, C., Costabile, M. F., & De Angeli, A. (2006). eLSE methodology: a systematic approach to the e-learning systems evaluation. *Journal of Educational Technology & Society*, 9(4), 42-53.
- [132] Kljun, M., Vicic, J., Kavsek, B., & Kavcic, A. (2007, June). Evaluating comparisons and evaluations of learning management systems. In *2007 29th International Conference on Information Technology Interfaces* (pp. 363-368). IEEE.
- [133] Medina-Flores, R., & Morales-Gamboa, R. (2015). Usability evaluation by experts of a learning management system. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(4), 197-203.
- [134] Melton, J. (2006). *The LMS Moodle: A usability evaluation*. Prefectural University of Kumamoto. Retrieved February, 21, 2008.
- [135] Debevc, M., Povalej, P., Verlič, M., & Stjepanovič, Z. (2007, April). Exploring usability and accessibility of an e-learning system for improving computer literacy. In *International Conference in Information Technology and Accessibility*.
- [136] Monari, M. (2005). *Evaluation of collaborative tools in Web-based e-learning systems*. Master's Degree Project.
- [137] Bremer, D., & Bryant, R. (2005, July). A Comparison of two learning management Systems: Moodle vs Blackboard. In *Proceedings of the 18th Annual Conference of the National Advisory Committee on Computing Qualifications* (pp. 135-139).
- [138] Poulouva, P., Simonova, I., & Manenova, M. (2015). Which one, or another? Comparative analysis of selected LMS. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 186, 1302-1308.
- [139] Kakasevski, G., Mihajlov, M., Arsenovski, S., & Chungurski, S. (2008, June). Evaluating usability in learning management system Moodle. In *ITI 2008-30th International Conference on Information Technology Interfaces* (pp. 613-618). IEEE.
- [140] Munkhtsetseg, N., Garmaa, D., & Uyanga, S. (2014, July). Multi-criteria comparative evaluation of the e-learning systems: a case study. In *2014 7th International Conference on Ubi-Media Computing and Workshops* (pp. 190-195). IEEE.
- [141] Itmazi, J. A., Megías, M. G., Paderewski, P., & Vela, F. L. G. (2005). A comparison and evaluation of open source learning management systems. *IADIS AC*, 1(11).
- [142] García, F. B., & Jorge, A. H. (2006, May). Evaluating e-learning platforms through SCORM specifications. In *IADIS Virtual Multi Conference on Computer Science and Information Systems (MCCSIS 2006)*, IADIS.
- [143] Kotler, P., Saliba, S., & Wrenn, B. (1991). *Marketing management: Analysis, planning, and control: Instructor's Manual*. Prentice-hall.
- [144] Palmer, A. and Hartley B. (1996). *The Business and Marketing Environment*, McGraw-Hill, New York
- [145] Wilson, R. and Gilligan C. with Pearson, D. (1992). *Strategic Marketing Management*, ButterworthHeinemann, Oxford.
- [146] Johnson, G., & Scholes, K. (1988). *Exploring corporate strategy*. 2 nd. Edition. Englewood Cliffs, NJ.
- [147] McDonald, M., & McDonald Malcolm H B. (1992). *The marketing planner*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [148] Fifield, P., & Gilligan, C. (1995). *Strategic marketing management: Planning and control, Analysis and Decision*. Butterworth-Heinemann.
- [149] Aaker, D. A. (1992). *Developing business strategies* (Vol. 26). Wiley.
- [150] O'shaughnessy, J. (2014). *Competitive marketing (RLE marketing): A strategic approach*. Routledge.
- [151] Greenley, G. E. (1986). *The strategic and operational planning of marketing*. McGraw-Hill Book Co Ltd.
- [152] Taylor, B. (1982). *New dimensions in corporate planning. The Realities of Planning*, Pergamon Press, Oxford.
-

## Bibliographie

---

- [153] Stacey, R. D. (2007). Strategic management and organisational dynamics: The challenge of complexity to ways of thinking about organisations. Pearson education.
- [154] Porter, M. (1985). *Competitive Advantage*", Free Press, New York, 1985. Porter Competitive Advantage 1985.
- [155] Tilles, S. (1968). *Making strategy explicit*. Business Strategy, Penguin, London.
- [156] Ansoff, I., & McDonnell, E. (1990). *Implanting Strategic Management*, Prentice Hall. New York.
- [157] Johnson, G. Scholes, K. (1993): *Exploring Corporate Strategy*. Hemel Hempstead.
- [158] Davidson, J. H. (1987). *Offensive marketing: How to make your competitors follow*. England: Gower Publishing Company Limited.
- [159] Mercer, D. (1992). *Marketing*, Blackwell, Oxford.
- [160] Argenti, J. (2018). *Practical corporate planning*. Routledge.
- [161] Brassington, F., & Pettitt, S. (2006). *Principles of marketing*. Pearson Education.
- [162] Brown, L., McDonald, M., & McDonald, M. (1994). *Competitive marketing strategy for Europe: developing, maintaining and defending competitive advantage*. Macmillan.
- [163] Baker, M. (1992). *Marketing Strategy and Management*, 2nd edn, Macmillan, London.
- [164] Kenny, B. and Dyson, K. (1989). *Marketing in Small Business*, Routledge, London.
- [165] Brown, R. (1993). *Market Focus: Achieving and Sustaining Marketing Effectiveness*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [166] Carson, D., Cromie, S., McGowan, P., & Hill, J. (1995). *Marketing and entrepreneurship in SMEs: an innovative approach*. Pearson Education.
- [167] Kay, J. (1993). *Foundations of corporate success* Oxford University Press. Utilizada versión traducida (1994): *Fundamentos del éxito empresarial*, Ariel Sociedad Económica.
- [168] EduTools-WCET, website: [www.wcet.wiche.edu](http://www.wcet.wiche.edu)
- [169] Riahi, G. (2015). E-learning systems based on cloud computing: A review. *Procedia Computer Science*, 62, 352-359.
- [170] Tin Can API. Website at <https://tincanapi.com>.
- [171] Zeleny, M., & Cochrane, J. L. (1982). *Multiple criteria decision making* McGraw-Hill New York, 34.
- [172] Lehoux, N., & Vallée, P. (2004). *Analyse multicritères*. Ecole Polytechnique de Montréal: Montréal.
- [173] Bakhouyi, A., Dehbi, R., Talea, M., & Batouta, Z. I. (2016). Selection of commercial and open source LMS: Multi-criteria analysis and advanced comparative study. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(7), 4980-4989.
- [174] Wind, Y., & Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658.
- [175] Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- [176] Wright, C. R., Lopes, V., Montgomerie, T. C., Reju, S. A., & Schmoller, S. (2014). Selecting a learning management system: Advice from an academic perspective. *Educause Review*.
- [177] Bakhouyi, A., Dehbi, R., & Talea, M. (2016, December). Multiple criteria comparative evaluation on the interoperability of LMS by applying COPRAS method. In *2016 Future Technologies Conference (FTC)* (pp. 361-366). IEEE.
- [178] Sakarkar, G., Deshpande, S. P., & Thakare, V. M. (2012). Intelligent online e-learning systems: a comparative study. *International Journal of Computer Applications*, 56(4).
- [179] Kurilovas, E., Bireniene, V., & Serikoviene, S. (2011). Methodology for Evaluating Quality and Reusability of Learning Objects. *Electronic Journal of e-Learning*, 9(1), 39-51.
- [180] Kurilovas, E., Bireniene, V., & Serikoviene, S. (2011). Methodology for Evaluating Quality and Reusability of Learning Objects. *Electronic Journal of e-Learning*, 9(1), 39-51.
- [181] Leal, J. P., & Queirós, R. (2012). A comparative study on LMS interoperability. In *Virtual Learning Environments: Concepts, Methodologies, Tools and Applications* (pp. 1613-1630). IGI Global.
- [182] Kurilovas, E., & Dagienė, V. (2009). Multiple criteria comparative evaluation of e-Learning systems and components. *Informatica*, 20(4), 499-518.
- [183] Kurilovas, E., & Dagienė, V. (2009). Learning Objects and Virtual Learning Environments Technical Evaluation Criteria. *Electronic Journal of e-Learning*, 7(2), 127-136.
- [184] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and economic development of economy*, 1(3), 131-139.
- [185] Podvezko, V. (2011). Comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Inžinerinė ekonomika*, 134-146.
- [186] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Tamošaitienė, J. (2010). Risk assessment of construction projects. *Journal of civil engineering and management*, 16(1), 33-46.
- [187] Popović, G., Stanujkić, D., & Stojanović, S. (2012). Investment project selection by applying copras method and imprecise data. *Serbian Journal of Management*, 7(2), 257-269.
- [188] Sonwalkar, N. (2002). Demystifying Learning Technology Standards: Part I: Development and Evolution. *Syllabus*, 15(8), 26-29.
- [189] Savarimuthu, J., & Burra, V. D. K. (2005). Issues in e-learning standards. *Sunway Academic Journal*, 2, 55-65.
- [190] Naidu, S. (2006). *E-learning: A guidebook of principles, procedures and practices*. Commonwealth Educational Media Centre for Asia (CEMCA).
- [191] Cantoni, V., Cellario, M., & Porta, M. (2004). Perspectives and challenges in e-learning: towards natural interaction paradigms. *Journal of Visual Languages & Computing*, 15(5), 333-345.
- [192] Jackson, M. L., & Woelk, D. (2003). *A Guiding Vision for Fluid Learning: The Future of Education and Training*. IC<sup>2</sup> Articles.
- [193] Komatsoulis, G. A., Warzel, D. B., Hartel, F. W., Shanbhag, K., Chilukuri, R., Fragoso, G., ... & Covitz, P. A. (2008). caCORE version 3: Implementation of a model driven, service-oriented architecture for semantic interoperability. *Journal of biomedical informatics*, 41(1), 106-123.

## Bibliographie

---

- [194] Athabasca University 2010. *Theory and Practice of Online Learning*, ISBN: 0-919737-59-5. pp 92. Canada.
- [195] Collier, G., & Robson, R. (2002). *E-learning Interoperability standards*. White Paper of Sun Microsystems
- [196] "E-learning Interoperability Standards," White paper of Sun Microsystems.
- [197] Learning Technologies Standardization Committee (LTSC). Web site at <http://ltsc.ieee.org/>
- [198] IMS Global Learning Consortium. Web site at <http://www.imsproject.org/>
- [199] US Department of Defense, Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative. Web site at <http://www.adlnet.org>.
- [200] Fallon, C., & Brown, S. (2002). *E-learning standards: a guide to purchasing, developing, and deploying standards-conformant e-learning*. CRC Press.
- [201] Varlamis, I., & Apostolakis, I. (2006). The present and future of standards for e-learning technologies. *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, 2(1), 59-76.
- [202] Jones, E. R. (2002, March). Implications of SCORM™ and emerging e-learning standards on engineering education. In *Proceedings of the 2002 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference* (pp. 20-22). The University of Louisiana at Lafayette.
- [203] Friesen, N. (2005). Interoperability and learning objects: An overview of e-learning standardization. *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, 1(1), 23-31.
- [204] Sun Microsystems (2002). White paper: E-Learning application infrastructure. Retrieved from [http://eduworks.com/Documents/eLearning\\_Interoperability\\_Standards\\_wp.pdf](http://eduworks.com/Documents/eLearning_Interoperability_Standards_wp.pdf)
- [205] IMS Global Learning Consortium (2003). *IMS Abstract Framework: A Review*. Retrieved from <https://www.imsglobal.org/sites/default/files/af/IAFReviewv1.pdf>
- [206] Bao, C., & Castresana, J. M. (2011). Interoperability Approach in E-Learning Standardization Processes. In *Handbook of Research on E-Learning Standards and Interoperability: Frameworks and Issues* (pp. 399-418). IGI Global.
- [207] IMS Global Learning Consortium (Instructional Managements Systems Project). Retrieved from <http://www.imsproject.org/>
- [208] IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC). Retrieved from <http://www.ieeeltsc.org/>
- [209] Zhang, L. F., Yu, F., Shen, Y., Liu, Y., & Liao, G. P. (2007, August). Research on technology standardization for e-learning. In *2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics* (Vol. 7, pp. 4144-4148). IEEE.
- [210] Barlas, C. (2006). Digital rights expression languages (DRELS). *JISC Technology and Standards Watch*, 6(3), 1-42.
- [211] Rights Expression Languages, WG4 - IEEE Learning Technology Standards Committee. Retrieved from <http://www.ieeeltsc.org/working-groups/wg4DREL/>
- [212] Computer Managed Instruction, WG11 - IEEE Learning Technology Standards Committee. Retrieved from <http://www.ieeeltsc.org/working-groups/wg11CMI/>
- [213] IEEE Learning Technology Standards Committee – WG11. Retrieved from <http://grouper.ieee.org/groups/ltsc/wg11/>
- [214] IEEE Learning Technology Standards Committee – WG12. Retrieved from <http://grouper.ieee.org/groups/ltsc/wg12/>
- [215] Krämer, B. J. (2010). Learning objects: Standards, metadata, repositories, and LCMS—Edited by Keith Harman & Alex Koohang. *British Journal of Educational Technology*, 41(6), 973-973
- [216] Shariat, Z., Hashemi, S. M., & Mohammadi, A. (2014). Research and compare standards of e-learning management system: A survey. *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)*, 6(2), 52-57.
- [217] Aviation Industry Computer-Based Training Committee. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation\\_Industry\\_Computer-Based\\_Training\\_Committee](https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_Industry_Computer-Based_Training_Committee).
- [218] RUSTICI Software - SCORM – PENS. Retrieved from [scorm.com/pens/](http://scorm.com/pens/).
- [219] AICC Document Archive. All AICC Publications and Versions. Retrieved from <https://github.com/ADL-AICC/AICC-Documents-Archive>
- [220] AICC (Aviation Industry Computer Based Training Committee). *AICC GUIDELINES and RECOMMENDATIONS*. Retrieved from <http://www.immagic.com/eLibrary/cbicbt99/standard/aicc.pdf>
- [221] ADL Technical Team: SCORM Specification. <http://www.adlnet.org/>
- [222] Advanced Distributed Learning (ADL), Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 4th Edition, Content Aggregation Model (CAM). Aug, 2009.
- [223] Tin Can API. Retrieved from <https://tincanapi.com>.
- [224] M. Aberdour and A. Downes, "TIN CAN do for me?," April, pp. 53–54, 2013.
- [225] xAPI - ADL Net. Retrieved from <https://www.adlnet.gov/xapi/>
- [226] Total Learning Architecture - ADL Net. Retrieved from <https://www.adlnet.gov/tla/>
- [227] Experience API. Retrieved from <https://github.com/adlnet/xAPI-Spec/blob/master/xAPI-About.md>.
- [228] Del Blanco, Á., Serrano, Á., Freire, M., Martínez-Ortiz, I., & Fernández-Manjón, B. (2013, March). E-Learning standards and learning analytics. Can data collection be improved by using standard data models?. In *2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1255-1261). IEEE.
- [229] Learning Record Store: What is an LRS? Retrieved from <http://scorm.com/tincaoverview/what-is-an-lrs-learning-record-store/>
- [230] Hamzah, W. A. F. W., Ali, N. H., Saman, M. Y. M., Yusoff, M. H., & Yacob, A. (2015, April). The use of Tin Can API for web usage mining in E-learning applications on the social network. In *2015 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)* (pp. 113-118). IEEE.
- [231] Murray, K., Berking, P., Haag, J., & Hruska, N. (2012). Mobile Learning and ADL's Experience API. *Connections*, 12(1), 45-50.
- [232] CMI-5 and the Experience API - Experience API. Retrieved from <https://experienceapi.com/cmi5/>
- [233] Basaeed, E., Berri, J., Zemerly, J., & Benlamri, R.: Webbased context-aware m-learning architecture. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)* 1(1), 5–10 (2007).
-

## Bibliographie

---

- [234] Martin, S., Peire, J., & Castro, M.: M2Learn: Towards a homogeneous vision of advanced mobile learning development. In: Education Engineering (EDUCON), pp. 569-574, IEEE (2010).
- [235] Jones, A. C., Scanlon, E., & Clough, G.: Mobile learning: Two case studies of supporting inquiry learning in informal and semiformal settings. In: Computers & Education, vol. 61, pp. 21-32 (2013)
- [236] Ozdamli, F., & Cavus, N.: Basic elements and characteristics of mobile learning. In: Procedia-Social and Behavioral Sciences, vol. 28, p. 937-942 (2011).
- [237] García-Peñalvo, F. J., & Conde, M. Á.: The impact of a mobile personal learning environment in different educational contexts. In: Universal Access in the Information Society, vol. 14, p. 375-387 (2015).
- [238] Experience API. (n.d.). Retrieved 26 August 2018, from <https://xapi.com/>
- [239] Panagiotakis, S., Kalogiannakis, M., Ripoll, N., & Vassilakis, K. (2010, February). Towards Synchronous Tele-Education: Solutions, Trends and Experience Gained. In proceedings of the 3rd E-Learning Excellence Forum and Conference (eLExFORUM 2010) (pp. 2-4).
- [240] Papadokostaki, K., Mastorakis, G., Panagiotakis, S., Mavromoustakis, C. X., Dobre, C., & Batalla, J. M. (2017). Handling big data in the era of internet of things (IoT). In Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era (pp. 3-22). Springer, Cham.
- [241] Lim, C. P., & Churchill, D. (2016). Mobile learning.
- [242] ADL. (n.d.). Retrieved 25 March 2018, from <http://www.adlnet.gov/>
- [243] The xAPI Overview. (n.d.). Retrieved 26 March 2018, from <http://www.adlnet.gov/research/performance-tracking-analysis/experience-api>
- [244] Rosen, M., Lublinsky, B., Smith, K. T., & Balcer, M. J. (2012). Applied SOA: service-oriented architecture and design strategies. John Wiley & Sons.
- [245] Vasista, T. G. K., & AlSudairi, M. A. (2013). Service-oriented architecture (SOA) and semantic web services for web portal integration. In Advances in Computing and Information Technology (pp. 253-261). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [246] Garriga, M., Rozas, K., Anabalon, D., Flores, A., & Cechich, A. (2016, October). RESTful mobile architecture for social security services: A case study. In Computing Conference (CLEI), 2016 XLII Latin American (pp. 1-11). IEEE.
- [247] P. Hung, J. Lam, C. Wong and T. Chan, "A Study on Using Learning Management System with Mobile App," 2015 International Symposium on Educational Technology (ISET), Wuhan, 2015, pp. 168-172.
- [248] N. Wang, X. Chen, G. Song, Q. Lan and H. R. Parsaei, "Design of a New Mobile-Optimized Remote Laboratory Application Architecture for M-Learning," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 3, pp. 2382-2391, March 2017.
- [249] Casany Guerrero, M. J., Alier Forment, M., Mayol Sarroca, E., Piguillem Poch, J., Galanis, N., García Peñalvo, F. J., & Conde González, M. Á. (2012). Extending Moodle services to mobile devices: the Moodbile project. In UBICOMM 2012: the Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (pp. 24-28).
- [250] N. F. D. Filho and E. F. Barbosa, "A service-oriented reference architecture for mobile learning environments," 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings, Madrid, 2014, pp. 1-8.
- [251] Casany, M. J., Alier, M., Mayol, E., Piguillem, J., Galanis, N., García-Peñalvo, F. J., & Conde, M. Á. (2012). Moodbile: A framework to integrate m-learning applications with the LMS. Journal of Research and Practice in Information Technology, 44(2), 129.
- [252] Phankokkruad, M., & Woraratpanya, K. (2009, December). Web services for learning management systems: Communication architecture. In 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC) (pp. 403-408). IEEE.
- [253] Muñoz-Merino, P. J., Kloos, C. D., & Naranjo, J. F. (2009). Enabling interoperability for LMS educational services. Computer Standards & Interfaces, 31(2), 484-498.
- [254] Alier, M. F., Guerrero, M. J. C., Gonzalez, M. A. C., Penalvo, F. J. G., & Severance, C. (2010). Interoperability for LMS: the missing piece to become the common place for e-learning innovation. International Journal of Knowledge and Learning, 6(2-3), 130-141.
- [255] Bakhouyi, A., Dehbi, R., & Talea, M. (2018, July). A New Web Service Architecture for Enhancing the Interoperability of LMS and Mobile Applications Using the Next Generation of SCORM. In International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (pp. 719-726). Springer, Cham.
- [256] Bakhouyi, A., Dehbi, R., & Talea, M. (2019, May). Toward an Adaptive Architecture for Integrating Mobile Apps with LMS using Next Generation of SCORM. In 2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS) (pp. 1-7). IEEE.
- [257] Hardt, D., & Jones, M. (2012). The oauth 2.0 authorization framework: Bearer token usage.
- [258] GitHub - xAPI-vle/moodle-logstore\_xapi: A Moodle plugin to send xAPI statements to an LRS using events in the Moodle logstore. Retrieved 02 March 2018, [https://github.com/xAPI-vle/moodle-logstore\\_xapi](https://github.com/xAPI-vle/moodle-logstore_xapi).
- [259] .....
- [260] AICC/CMI-5\_Spec\_Current Wiki - GitHub. Retrieved 02 March 2018, [https://github.com/AICC/CMI-5\\_Spec\\_Current/wiki](https://github.com/AICC/CMI-5_Spec_Current/wiki)
- [261] GitHub - cawerkenthin/cmi5-AU-Simulator. Retrieved 12 April 2018, <https://github.com/cawerkenthin/cmi5-AU-Simulator>
- [262] Postman | The Collaboration Platform for API Development. Retrieved 04 July 2018, <https://www.getpostman.com>
- [263] Adlnet/xAPI-Spec - Agent Profile Resource. Retrieved 15 July 2018, <https://github.com/adlnet/xAPI-Spec/blob/master/xAPI-Communication.md#agentprofiles>.
- [264] xapi-statement-viewer. (n.d.). Retrieved 25 May 2018, from <https://github.com/adlnet/xapi-statement-viewer>
- [265] adlnet/xAPIWrapper: Wrapper to simplify communication to an LRS. (n.d.). Retrieved 25 May 2018, from <https://github.com/adlnet/xAPIWrapper>
- [266] xAPI Dashboard. (n.d.). Retrieved 25 May 2018, from [https://github.com/adlnet/xAPIDashboard/blob/master/API\\_dashboard.md](https://github.com/adlnet/xAPIDashboard/blob/master/API_dashboard.md)
-

## Bibliographie

---

- [267] Aroyo, L., & Dicheva, D. (2004). The new challenges for e-learning: The educational semantic web. *Journal of Educational Technology & Society*, 7(4), 59-69.
- [268] Alier, M. F., Guerrero, M. J. C., Gonzalez, M. A. C., Penalvo, F. J. G., & Severance, C. (2010). Interoperability for LMS: the missing piece to become the common place for e-learning innovation. *International Journal of Knowledge and Learning*, 6(2-3), 130-141.
- [269] Rodrigues, T., Rosa, P., & Cardoso, J. (2008). Moving from syntactic to semantic organizations using JXML2OWL. *Computers in Industry*, 59(8), 808-819.
- [270][4] Vigliocco, G., Lauer, M., Damian, M. F., & Levelt, W. J. (2002). Semantic and syntactic forces in noun phrase production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(1), 46.
- [271] Cardoso, J., & Sheth, A. (2006). The semantic web and its applications. In *Semantic Web Services, Processes and Applications* (pp. 3-33). Springer, Boston, MA.
- [272] Maree, M., & Belkhatir, M. (2015). Addressing semantic heterogeneity through multiple knowledge base assisted merging of domain-specific ontologies. *Knowledge-Based Systems*, 73, 199-211.
- [273] Sporny, M., Longley, D., Kellogg, G., Lanthaler, M., & Lindström, N. (2014). JSON-LD 1.0. W3C Recommendation, 16, 41.
- [274] Ristoski, P., & Paulheim, H. (2016). Semantic Web in data mining and knowledge discovery: A comprehensive survey. *Web semantics: science, services and agents on the World Wide Web*, 36, 1-22.
- [275] Brambilla, M., Ceri, S., Della Valle, E., Volonterio, R., & Acero Salazar, F. X. (2017, April). Extracting emerging knowledge from social media. In *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web* (pp. 795-804). International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- [276] Fürber, C. (2016). Data Quality in the Semantic Web. In *Data Quality Management with Semantic Technologies* (pp. 69-77). Springer Gabler, Wiesbaden.
- [277] Pauwels, P., Zhang, S., & Lee, Y. C. (2017). Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Automation in Construction*, 73, 145-165.
- [278] World Wide Web Consortium (W3C), Resource Description Framework (RDF), <http://www.w3.org/RDF/> (last accessed: October 2018)
- [279] World Wide Web Consortium. (2014). RDF 1.1 concepts and abstract syntax, <https://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/> (last accessed: October 2018)
- [280] Frank Manola, Eric Miller, eds., *RDF Primer*, W3C Recommendation, 10 February 2004, <http://www.w3.org/TR/rdfprimer/> (last accessed: October 2018)
- [281][19] Wilkinson, K., Sayers, C., Kuno, H., & Reynolds, D. (2003, September). Efficient RDF storage and retrieval in Jena2. In *Proceedings of the First International Conference on Semantic Web and Databases* (pp. 120-139). CEUR-WS.org.
- [282] Broekstra, J. (2005). Storage, querying and inferencing for semantic web languages.
- [283] Beckett, D., & McBride, B. (2004). RDF/XML syntax specification (revised). W3C recommendation, 10(2.3), <https://www.w3.org/TR/2003/WD-rdf-syntax-grammar-20030123/> (last accessed: October 2018)
- [284] Beckett, D. (2014). Rdf 1.1 n-triples. URL: <https://www.w3.org/TR/n-triples>. (last accessed: December 2018)
- [285] Beckett, D., Berners-Lee, T., Prud'hommeaux, E., & Carothers, G. (2014). RDF 1.1 Turtle. World Wide Web Consortium.
- [286] Berners-Lee, T., & Connolly, D. (2011). Notation3 (N3): A readable RDF syntax. W3C team submission, 28.
- [287] Brickley, D. (2004). RDF vocabulary description language 1.0: RDF schema. <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>.
- [288] Haase, P., Broekstra, J., Eberhart, A., & Volz, R. (2004, November). A comparison of RDF query languages. In *International Semantic Web Conference* (pp. 502-517). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [289] Prud'hommeaux, E. (2008). SPARQL query language for RDF, W3C recommendation. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> (last accessed: October 2018).
- [290] The Friend of a Friend (FOAF) project, <http://www.foafproject.org/> (last accessed: December 2018)
- [291] BigBlogZoo, <http://bigblogzoo.sourceforge.net/> (last accessed: January 2019)
- [292] Huynh, D., Mazzocchi, S., & Karger, D. (2005, November). Piggy bank: Experience the semantic web inside your web browser. In *International Semantic Web Conference* (pp. 413-430). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [293] Sein-Echaluce, M. L., Fidalgo-Blanco, Á., & Esteban-Escano, J. (2019). Technological ecosystems and ontologies for an educational model based on Web 3.0. *Universal Access in the Information Society*, 1-14.
- [294] Decker, S., Melnik, S., Van Harmelen, F., Fensel, D., Klein, M., Broekstra, J., ... & Horrocks, I. (2000). The semantic web: The roles of XML and RDF. *IEEE Internet computing*, 4(5), 63-73.
- [295] World Wide Web Consortium. (2014). JSON-LD 1.0: a JSON-based serialization for linked data.
- [296] Bakhouyi, A., Dehbi, R., Banane, M., & Talea, M. (2019). A Semantic Web Solution for Enhancing The Interoperability of E-learning Systems by Using Next Generation of SCORM Specifications. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(11).
- [297] Bakhouyi, A., Dehbi, R., Banane, M., & Talea, M. (2019, July). A semantic web solution for enhancing the interoperability of e-learning systems by using next generation of SCORM specifications. In *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development* (pp. 56-67). Springer, Cham.
- [298] Disponible : <https://test.gblrs.com/>

# ANNEXES

## ANNEXE 1

```
package json_rdf;

/**
 *
 * @author BAKHOUYI
 */
public class JSON2RDF {

    private static final Object close = new Object();
    private static final int writeSpaceCount = 1;
    public static final byte[] NULL = new byte[]{'n', 'u', 'l',
'1'};
    public static final int NULL_LOWER = 'n';
    public static final int NULL_UPPER = 'N';
    public static final int TRUE = 't';
    public static final int TRUE_UPPER = 'T';
    public static final int FALSE = 'f';
    public static final int FALSE_UPPER = 'F';
    public static final int COLON = ':';
    public static final int COMMA = ',';
    public static final int LEFT_BRACKET = '[';
    public static final int LEFT_BRACE = '{';
    public static final int RIGHT_BRACKET = ']';
    public static final int RIGHT_BRACE = '}';
    public static final int STRING = '"';
    public static final int SP = ' ';
    public static final int BS = '\\';
    public static final int CR = 13;
    public static final int LF = 10;
    public static final int EOF = -1;
    public static final byte[] EOL = new byte[]{'\r', '\n'};
    private final ByteArrayOutputStream buf = new
ByteArrayOutputStream();

    public Json() {
    }

    private Map createEmptyMap() {
        return new HashMap();
    }

    public void write(PrintStream out, Object obj) throws
IOException {
        write(out, obj, false);
    }

    public void write(PrintStream out, Object obj, boolean format)
throws IOException {
        write(out, obj, format, 0);
    }
}
```

---

```
private synchronized void write(PrintStream out, Object obj,
boolean format, int depth) throws IOException {
    if (obj == null) {
        out.write(NULL);
        out.flush();
        return;
    }
    if (obj instanceof String) {
        out.write(String);
        out.print(escape((String) obj));
        out.write(String);
        out.flush();
        return;
    } else if (obj instanceof Map) {
        out.write(LEFT_BRACE);
        Map map = (Map) obj;
        Iterator<Map.Entry> it = map.entrySet().iterator();
        Map.Entry entry;
        while (it.hasNext()) {
            entry = it.next();
            String key = escape(entry.getKey().toString());
            Object val = entry.getValue();
            if (val instanceof DuplicatedKeyList) {
                writeMulti(out, key, (List) val, format, depth);
            } else {
                if (format) {
                    writeBreak(out, depth + writeSpaceCount);
                }
                write(out, key, format, depth +
writeSpaceCount);
                out.write(COLON);
                if (format) {
                    writeSpace(out, writeSpaceCount);
                }
                write(out, val, format, depth +
writeSpaceCount);
            }
            if (it.hasNext()) {
                out.write(COMMA);
            }
        }
        if (format) {
            writeBreak(out, depth);
        }
        out.write(RIGHT_BRACE);
        out.flush();
        return;
    } else if (obj instanceof Collection) {
        out.write(LEFT_BRACKET);
        Iterator it = ((Collection) obj).iterator();
        while (it.hasNext()) {
            if (format) {
                writeBreak(out, depth + writeSpaceCount);
            }
        }
    }
}
```

---

```
        write(out, it.next(), format, depth +
writeSpaceCount);
        if (it.hasNext()) {
            out.write(COMMA);
        }
    }
    if (format) {
        writeBreak(out, depth);
    }
    out.write(RIGHT_BRACKET);
    out.flush();
    return;
}
if (obj instanceof Number || obj instanceof Boolean) {
    out.print(obj);
} else {
    out.write(String);
    out.print(escape(obj.toString()));
    out.write(String);
}
out.flush();
}

public Object read(InputStream in) throws IOException {
    return read(in, Charset.forName("UTF-8"));
}

public synchronized Object read(InputStream in, Charset charset)
throws IOException {
    int b;
    while ((b = in.read()) != EOF) {
        if (b > 32 && b != COMMA) {
            switch (b) {
                //list
                case LEFT_BRACKET: {
                    List list = new ArrayList();
                    Object obj;
                    while ((obj = read(in, charset)) != close) {
                        if (obj instanceof Finish) {
                            list.add(((Finish) obj).val);
                            break;
                        } else {
                            list.add(obj);
                        }
                    }
                    return list;
                }
                //map
                case LEFT_BRACE: {
                    Map map = createEmptyMap();
                    Object key;
                    Object val;
                    while ((key = read(in, charset)) != close) {
                        while ((b = in.read()) != COLON) {
                            if (b == EOF) {
```

---

```

        throw new IOException("EOF");
    }
}
val = read(in, charset);
if (map.containsKey(key)) {
    Object prev = map.get(key);
    DuplicatedKeyList list;
    if (prev instanceof
DuplicatedKeyList) {
        list = (DuplicatedKeyList) prev;
        //((DuplicatedKeyList)
prev).add(val);
    } else {
        list = new DuplicatedKeyList(new
ArrayList());
        list.add(prev);
    }
    list.add(val);
    map.put(key, list);
    //}
    System.err.println("WARNING:
duplicated key: " + key);
} else {
    if (val instanceof Finish) {
        val = ((Finish) val).val;
        map.put(key, val);
        break;
    } else {
        map.put(key, val);
    }
}
}
return map;
}
//string
case STRING: {
    buf.reset();
    int a = 0;
    while ((b = in.read()) != STRING || a == BS)
{
        buf.write(b);
        a = b;
    }
    return
unescape(buf.toString(charset.name()));
}
case TRUE_UPPER: {
}
//true
case TRUE: {
    in.skip(4);
    return true;
}
//false
case FALSE_UPPER: {

```

---

```

    }
    case FALSE: {
        in.skip(5);
        return false;
    }
    //null
    case NULL_UPPER: {
    }
    case NULL_LOWER: {
        in.skip(4);
        return null;
    }
    //map right brackets
    case RIGHT_BRACE: {
    }
    case RIGHT_BRACKET: {
        return close;
    }
    //number
    default: {
        buf.reset();
        buf.write(b);
        while ((b = in.read()) != EOF) {
            if (isRegular(b)) {
                buf.write(b);
            } else {
                break;
            }
        }
        String str = buf.toString(charset.name());
        Number num;
        if (str.indexOf('.') != -1) {
            num = Double.valueOf(str);
        } else {
            num = Long.valueOf(str);
        }
        if (b == RIGHT_BRACKET || b == RIGHT_BRACE)
        {
            return new Finish(num);
        }
        return num;
    }
}

}

}

return close;
}

private void writeMulti(PrintStream out, Object key, Collection
value, boolean format, int depth) throws IOException {
    Iterator it = value.iterator();
    while (it.hasNext()) {
        if (format) {
            writeBreak(out, depth + writeSpaceCount);

```

```
    }
    write(out, key, format, depth + writeSpaceCount);
    out.write(COLON);
    if (format) {
        writeSpace(out, writeSpaceCount);
    }
    write(out, it.next(), format, depth + writeSpaceCount);
    if (it.hasNext()) {
        out.write(COMMA);
    }
}

}

private boolean isRegular(int b) {
    return b > 32
        && b != LEFT_BRACKET
        && b != LEFT_BRACE
        && b != COMMA
        && b != RIGHT_BRACKET
        && b != RIGHT_BRACE;
}

private String unescape(String str) {
    str = str.replace("\\b", "\b");
    str = str.replace("\\f", "\f");
    str = str.replace("\\n", "\n");
    str = str.replace("\\r", "\r");
    str = str.replace("\\t", "\t");
    str = str.replace("\\\"", "\"");
    return str;
}

public static String escape(String str) {
    str = str.replace("\b", "\\b");
    str = str.replace("\f", "\\f");
    str = str.replace("\n", "\\n");
    str = str.replace("\r", "\\r");
    str = str.replace("\t", "\\t");
    str = str.replace("\"", "\\\"");
    return str;
}

private void writeSpace(OutputStream out, int spaceCount) throws
IOException {
    byte[] b = new byte[spaceCount];
    for (int i = 0; i < b.length; i++) {
        b[i] = SP;
    }
    out.write(b);
}

private void writeBreak(OutputStream out, int spaceCount) throws
IOException {
    out.write(EOL);
}
```

```
        writeSpace(out, spaceCount);
    }

    public static Json getInstance() {
        return new Json();
    }

    public Object read(byte[] b) throws IOException {
        return read(new ByteArrayInputStream(b));
    }

    public static class DuplicatedKeyList extends AbstractList {

        private List list;

        public DuplicatedKeyList(List list) {
            if (list == null) {
                throw new NullPointerException("list is null");
            }
            this.list = list;
        }

        @Override
        public void add(int index, Object element) {
            list.add(index, element);
        }

        @Override
        public Object set(int index, Object element) {
            return list.set(index, element);
        }

        @Override
        public Object remove(int index) {
            return list.remove(index);
        }

        @Override
        public Object get(int index) {
            return list.get(index);
        }

        @Override
        public int size() {
            return list.size();
        }

        @Override
        public String toString() {
            Iterator it = iterator();
            if (!it.hasNext()) {
                return "[]";
            }
            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            sb.append('[');
```

```

        for (;;) {
            sb.append('@').append('=');
            Object e = it.next();
            sb.append(e == this ? "(this Collection)" : e);
            if (!it.hasNext()) {
                return sb.append(']').toString();
            }
            sb.append(',').append(' ');
        }
    }
}

class Finish {

    private Object val;

    public Finish(Object val) {
        this.val = val;
    }

}
}

```

## ANNEXE 2

title Sequence Diagram: View the (Gigantic) Interactive Video

note over LMS: learner authenticates as actor A

loop Blocks

loop AUs

LMS -> LRS: State API (AU\_id, session\_id, agent=A, registration=A\_enrollment, masteryScore=10, moveOn=Passed)

LMS -> LRS: Launched (AU\_id, session\_id, launchURL, launch\_mode=Normal, moveOn=Passed)

alt learner Waived from the AU

LMS -> LRS: Waived (AU\_id, session\_id, reason=Tested Out | Equivalent | Administrative)

else learner needs to Complete the AU

LMS -> AU: launch?endpoint=LRS &fetch=fetch\_url &actor=A & registration=A\_enrollment & activityId=AU\_id

AU -> LMS: POST fetch\_url

LMS -> AU: auth\_token

```

    AU -> LRS: Initialized, auth_token
        LMS -> AU: View and play the video course,
auth_token
    AU -> LRS: Played, auth_token
        LMS -> AU: View and play the video course,
auth_token
    AU -> LRS: Played, auth_token
        LMS -> AU: Pause the video course, auth_token
    AU -> LRS: Paused, auth_token
        LMS -> AU: Pause the video course, auth_token
    AU -> LRS: Paused, auth_token
    LMS -> AU: Move the progress bar of the video,
auth_token
    AU -> LRS: Searched, auth_token
    LMS -> AU: Switch to full screen view of video,
auth_token
    AU -> LRS: Interacted, auth_token
    AU -> LRS: Completed, auth_token
    AU -> LRS: Passed OR Failed, score, masteryScore,
auth_token
    alt learner's session closes
        AU -> LRS: Terminated, auth_token
    else learner's session times out
        LMS -> LRS: Abandoned
    end
end
end
LMS -> LRS: Satisfied(Block_id)
end
LMS -> LRS: Satisfied(Course_id)

note over Teacher's Dashboard: learner authenticates as Teacher
    loop xAPI Statement Viewer

```

```
Teacher's Dashboard -> LRS - xAPI Wrapper:  
GetStatements(Endpoint, Username, Password)
```

```
LRS - xAPI Wrapper -> Teacher's Dashboard:  
DisplayStatements(Answers)
```

```
end
```

```
note over Teacher's Dashboard: learner authenticates as Teacher
```

```
loop xAPI Dashboard
```

```
Teacher's Dashboard -> xAPIDashboard:  
Request(Activity/Verb/Object/Actor)
```

```
xAPIDashboard -> LRS - xAPI Wrapper:  
GetStatements(Endpoint, Username, Password, resquest)
```

```
LRS - xAPI Wrapper -> xAPIDashboard: Response(Statements)
```

```
xAPIDashboard -> Teacher's Dashboard: Graphic Results
```

```
end
```