

Université de Montréal
Département d'Informatique et de
Recherche Opérationnelle

Rapport d'examen prédoctoral

***Systèmes Tutoriels Intelligents pour l'Organisation¹ :
Gestion de la connaissance et de l'intelligence collective***

Amal Zouaq

Mots-clés : Systèmes tutoriels Intelligents, gestion des connaissances, gestion des compétences, intelligence collective, Web sémantique, ontologies

Août 2005

¹ STIO

Table des matières

1	INTRODUCTION	4
2	LES SYSTEMES TUTORIELS INTELLIGENTS (STI)	5
2.1	Architecture	6
2.1.1	Le module expert	6
2.1.2	Le module de l'apprenant	6
2.1.3	Le module pédagogique (le tuteur)	7
2.1.4	L'environnement d'enseignement et le module interface	7
2.1.5	SCORM (Sharable Content Object Reference Model)	8
2.1.5.1	Le modèle d'agrégation du contenu SCORM	9
2.1.5.2	Les méta-données	10
2.1.5.3	L'environnement d'exécution de SCORM	11
3	LE DOMAINE DU KNOWLEDGE MANAGEMENT	12
3.1	Epistémologie de la connaissance.....	13
3.1.1	La connaissance dans l'organisation	13
3.1.2	La connaissance tacite et explicite.....	14
3.1.3	La pensée de Nonaka et Takeuchi (SECI model)	14
3.2	Outils du Knowledge Management.....	16
3.2.1	Les systèmes de gestion de documents et de contenus	16
3.2.2	Les Workflows	16
3.2.3	Les groupwares, outils collaboratifs	16
3.2.4	Les cartes de connaissances.....	17
3.2.5	L'intelligence d'affaire (business intelligence)	17
3.2.6	Les systèmes basés sur l'intelligence artificielle	17
3.2.7	Les portails de connaissance	17
3.3	Critique du domaine	18
4	SOLUTION PROPOSEE	19
4.1	La gestion des compétences	19
4.2	La création d'une mémoire collective.....	20
4.2.1	La capture de la connaissance informelle	21
4.2.2	La préservation du contexte.....	22
4.3	L'incorporation des principes du Web Sémantique.....	22
4.3.1	Définition des ontologies.....	23
4.3.2	Avantages du Web sémantique.....	23
4.3.2.1	Interopérabilité des systèmes et indépendance du modèle de données	23
4.3.2.2	Intégration des données hétérogènes.....	23
4.3.2.3	Mécanismes de recherche enrichis et automatisation	24
4.3.3	Parallèle SCORM / Web sémantique	24
4.4	Architecture Préliminaire.....	25

4.5	Création de la connaissance	28
4.5.1	L'éditeur d'ontologies	28
4.5.2	L'éditeur d'objets d'apprentissage	28
4.5.3	Le gestionnaire de méta-données	29
4.5.4	Le gestionnaire d'annotations libres	30
4.5.5	Le gestionnaire de compétences	31
4.6	Capture de la connaissance	32
4.6.1	Le localisateur d'expertise	32
4.6.2	Le module de validation	32
4.6.3	L'analyseur d'annotations	32
4.7	Organisation de la connaissance	32
	La carte des connaissances	33
4.8	Dissémination de la connaissance	33
4.8.1	Le Système Tutoriel Intelligent	33
4.8.1.1	L'analyseur d'écart de compétences	33
4.8.1.2	Le générateur de plans de formation	33
4.8.1.3	L'environnement de formation	34
4.8.1.4	Les outils RBC	35
4.8.2	Le forum avancé	35
4.9	Architecture Technique	35
4.9.1	Les services Web	35
4.9.2	Les services Web sémantiques	35
4.9.3	La grille d'apprentissage	36
4.9.4	Vers une grille d'apprentissage de services sémantiques	36
5	CONCLUSION.....	38
6	PLAN DE REALISATION.....	39
7	BIBLIOGRAPHIE	39

1 Introduction

Les domaines de la formation en ligne (eLearning) et du « knowledge management » sont deux domaines dont l'évolution a toujours suivi une trajectoire séparée. Toutefois, la nécessité de penser ces deux domaines comme un tout se révèle de plus en plus indispensable, notamment dans le contexte d'une organisation, où la gestion des connaissances et une politique de formation permanente pouvant assurer une maîtrise efficace des compétences font partie des préoccupations quotidiennes [41, 78, 79]. La rapidité d'implantation, ces dernières années, d'outils de formation en ligne, sans prise en compte de la gestion des connaissances et sans l'utilisation des connaissances globales de l'organisation a montré l'inefficacité de ces outils en contexte organisationnel [41]. L'objectif global de cette recherche est donc de proposer une approche intégrée de la gestion des connaissances et compétences et de la formation en ligne.

Par ailleurs, la demande d'une formation adaptée à un besoin précis et à un moment précis est très présente au sein des organisations, et spécialement au sein des entreprises (Just-in time, Just enough learning). En effet, de nos jours, les organisations ont une politique de formation qui ne cible pas des besoins précis, mais s'articule plutôt autour d'une formation dans un contexte académique, ou autour d'une formation orientée groupe plutôt qu'individu. Il y a donc nécessité de proposer une plateforme de formation en ligne qui puisse, d'une part, intégrer une gestion efficace et modulable (en fonction de l'individu, du groupe, des besoins) des connaissances et compétences, et d'autre part, qui permette la création dynamique de plans de formation au moment opportun (just in time) pour combler des besoins ciblés (just enough).

Enfin, le développement du eLearning, ces dernières années, a conduit à un important volume d'informations hétérogènes et difficilement réutilisables. L'effort de standardisation qui a vu le jour suite à ces problèmes doit nécessairement être pris en compte dans les projets de recherche du domaine afin d'assurer l'interopérabilité des systèmes et le partage et la réutilisation des connaissances.

Pour ce faire, nos objectifs sont de :

1. Utiliser le modèle de Nonaka et Takeuchi [9, 13] (modèle SECI), une des références les plus citées dans le domaine du « Knowledge Management », pour définir une nouvelle architecture qui supporte la gestion des connaissances et des compétences dans l'organisation. En effet, le modèle SECI n'a jamais été utilisé pour combler les lacunes dans la gestion des connaissances et compétences de l'organisation, mais seulement pour décrire les modes de transmission de la connaissance, et surtout, il n'a pas été utilisé dans le contexte de la formation en organisation ;
2. Adapter le modèle SECI [9, 13] de manière à exploiter les différents flux de connaissances pour la prise en compte de ces connaissances dans la formation et réaliser ainsi la synergie « Knowledge Management - eLearning » ;
3. Intégrer les connaissances disponibles et la formation à transmettre ;
4. Déterminer une méthode permettant de définir des objets de connaissances et d'apprentissage (Learning Knowledge Objects), c'est-à-dire définir les connaissances (règles d'expertise, savoir-faire, etc.) de manière à ce qu'elles

- s'auto-explicitent. Cela doit permettre une gestion plus fine (création, utilisation, recherche) de la sémantique contenue dans les « Learning Knowledge Objects »;
5. Tenir compte du contexte des connaissances en développant des ontologies qui intègrent la gestion des connaissances et compétences;
 6. Permettre un accès centralisé à des sources d'information hétérogènes, et intégrer les standards du Web sémantique et du eLearning afin de permettre la réutilisation des connaissances ;
 7. Générer des plans de formation, utilisés dans les systèmes tutoriels intelligents (STI), adaptés à l'individu et à son contexte ;
 8. Utiliser l'effort collectif pour l'enrichissement de la mémoire collective par la création collective de connaissances utilisées dans un contexte de formation, et de ce fait, capitaliser l'effort collectif, les connaissances et les compétences;
 9. Implanter un système intégré sous forme de grille d'apprentissage.

Le plan de développement de ce travail est organisé de la manière suivante : en premier lieu, nous présenterons une description de l'architecture des STI et de ses différents composants. Nous introduirons ensuite le standard SCORM pour la gestion du contenu de la formation en ligne. En second lieu, nous introduirons le concept du « knowledge management », les types de connaissances dans l'organisation, le modèle SECI, ainsi qu'une typologie des outils du domaine. Enfin, nous présenterons la solution proposée, et détaillerons le plan de réalisation de cette recherche.

Notons que cette recherche s'applique à toute organisation, entreprise, ou toute autre institution. Elle n'est pas essentiellement dirigée vers le monde de l'entreprise, mais peut lui être appliquée.

2 Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI)

L'idée de systèmes d'apprentissage automatisés remonte au début des années soixante (1960), avec les espoirs suscités par le domaine de l'intelligence artificielle, qui a donné lieu aux systèmes d'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur). Ce n'est que dans les années 80 qu'est apparu le terme STI.

Selon Murray [55], les STI sont des systèmes d'enseignement informatiques qui possèdent un contenu sous forme de base de connaissance (qui spécifie ce qui doit être enseigné), des stratégies d'enseignement (qui spécifient la manière d'enseigner ce contenu) ainsi qu'une connaissance sur le niveau de l'apprenant dans le contenu, afin d'adapter dynamiquement leur enseignement.

Le développement dans les dernières années du eLearning ou de la formation via Internet a conduit à la création de ressources Web dédiées à la formation en ligne. Lorsque nous parlons de eLearning dans le présent rapport, nous ne visons pas uniquement cette notion de ressources internet, mais nous référons à un continuum à l'idée des STI, intégrant les capacités Internet et le contenu Web aux systèmes tutoriels intelligents. Il s'agit donc d'une version évoluée de eLearning.

2.1 Architecture

De manière générale, les STI se composent de quatre modules principaux [56] : le module expert, le module de l'apprenant, le module pédagogique et l'environnement d'enseignement-interface.

La figure suivante (Figure 1) montre les différents composants d'un STI.

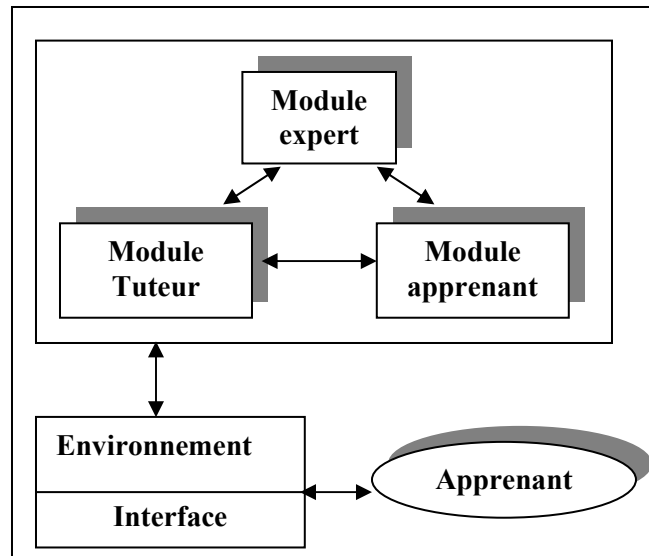


Figure 1 : Composants d'un STI [56]

2.1.1 Le module expert

C'est le module qui regroupe toute la connaissance nécessaire au processus d'enseignement, on parle de connaissance reliée à l'expertise du domaine. En général, un module expert doit aussi posséder un savoir-faire, c'est-à-dire une expertise sur la manière de résoudre les problèmes du domaine.

Un ensemble de stratégies ont été utilisées pour la représentation de la connaissance dans un module expert telles que les représentations à base de règles (règles de production, logique de premier ordre) ou les représentations en réseaux (réseaux sémantiques, graphes conceptuels, réseaux de cadres, etc.) [57, 77]. Actuellement, les ontologies deviennent de plus en plus un mécanisme fréquent de représentation des connaissances d'un domaine.

2.1.2 Le module de l'apprenant

Ce module permet d'identifier, pour un apprenant, son niveau courant de compréhension du domaine de connaissance. Selon McCalla et Greer [58], l'implantation du modèle de l'apprenant est essentielle à l'adaptation du système d'apprentissage aux besoins des apprenants.

VanLehn [59] décrit les différences ou les similarités entre le modèle expert et le modèle de l'apprenant en terme de conceptions erronées ou de conceptions manquantes. Les conceptions manquantes peuvent être décrites comme des conceptions possédées par l'expert mais pas par l'apprenant, tandis que les conceptions erronées sont des connaissances (fausses) possédées par l'apprenant, mais pas par l'expert.

C'est sur la base de ces conceptions erronées et/ou manquantes que plusieurs architectures du modèle de l'apprenant ont été proposées :

Les modèles de recouvrement (overlay student models)

Dans ces modèles, les connaissances de l'apprenant sont considérées comme étant un sous-ensemble des connaissances de l'expert, et le but de l'enseignement est d'élargir ce sous-ensemble, de manière à arriver idéalement à couvrir l'ensemble des connaissances de l'expert. C'est ce type de modèle qui est le plus utilisé dans les STI actuels.

L'un des exemples typiques de STI dans ce cas de figure est le célèbre STI Guidon [60].

Les modèles différentiels (differential student models)

Le modèle différentiel est une extension du modèle de recouvrement dans le sens où la connaissance est divisée en deux ensembles distincts :

- la connaissance que l'apprenant est censé connaître à un moment donné ;
- la connaissance qui n'a pas encore été présentée à l'apprenant ;

Tout comme le modèle de recouvrement, le modèle différentiel ne tient pas compte des conceptions erronées de l'apprenant (misconceptions/bugs).

Ce type de modèle a été implanté dans le tuteur WEST [61].

Les modèles de perturbation (perturbation student models)

Ce type de modèle retrace la connaissance de l'apprenant qui n'appartient pas au domaine de connaissance de l'expert, autrement dit, ses conceptions erronées. Le modèle des perturbations ajoute à la connaissance de l'expert une librairie de conceptions erronées (bug library). Le processus utilisé pour la création d'une telle librairie peut être énumératif ou génératif. Dans le premier cas, il s'agit de lister l'ensemble des conceptions erronées possibles suite à une analyse du problème et des erreurs fréquemment commises par les apprenants. Dans le second cas, il s'agit de générer des conceptions erronées à partir d'une théorie cognitive donnée.

Dans ce type de modèle, le but est d'augmenter les connaissances de l'apprenant, tout en éliminant ses conceptions erronées.

Ce type de modèle a été implanté dans le tuteur BUGGY [76].

2.1.3 Le module pédagogique (le tuteur)

Le module tuteur met en œuvre des stratégies pédagogiques pour enseigner la connaissance d'un domaine donné. Toute stratégie pédagogique doit être basée sur des principes pédagogiques et psychologiques formels. Les besoins de l'apprenant doivent être identifiés, et pris en compte dans la stratégie d'enseignement.

Globalement, ce module sert à trois fonctions principales [62] : il contrôle la présentation du contenu à l'apprenant, il doit être capable de répondre aux questions de l'apprenant et il doit pouvoir déterminer quand les apprenants ont besoin d'aide et quel type d'aide leur prodiguer.

2.1.4 L'environnement d'enseignement et le module interface

La notion d'enseignement, lorsqu'il est informatisé, induit plus qu'une simple présentation du cours à l'apprenant. Un tuteur effectif doit normalement superviser les progrès de l'apprenant et fournir une assistance lorsque cela est requis explicitement ou implicitement. Cette supervision de l'apprenant se fait au travers d'un environnement d'enseignement. Celui-ci permet à l'apprenant de suivre un cours tout au long d'une session d'apprentissage et de demander de l'aide au besoin. Selon Burton [63],

l'environnement d'apprentissage définit le type de problèmes que l'apprenant doit résoudre ainsi que les outils disponibles nécessaires à cette résolution.

De façon générale, l'interface d'un STI doit être conviviale et modélisée de manière à ne pas poser des problèmes de compréhension supplémentaires à l'apprenant. L'interaction humain-machine dans les STI est particulièrement complexe car les usagers de ces systèmes travaillent par définition avec des concepts qu'ils ne maîtrisent pas bien. Dans ce contexte, une interface incorrectement modélisée peut remettre en cause tout le processus d'enseignement. Selon Miller [64], il est important de tenir compte de deux aspects fondamentaux pour créer une interface de STI. En premier lieu, l'interface doit permettre un enseignement clair et direct. En second lieu, elle doit faciliter l'interaction de l'apprenant avec le domaine enseigné, en tenant compte de la manière dont ce dernier conceptualise ce domaine.

Le développement actuel du eLearning a conduit à un accroissement du volume des ressources web destinées à la formation en ligne, et au développement de contenus propriétaires et hétérogènes. De telles pratiques ont montré leurs limites : la recherche, la réutilisation et le partage des connaissances sont quasi impossibles dans de tels systèmes. L'utilisation de mécanismes de formation en ligne dans les organisations n'a fait que souligner davantage le problème.

Par ailleurs, nous avons précédemment mentionné que notre définition du eLearning impliquait le recours à un STI. Le développement du contenu eLearning a donc une influence sur la gestion du module expert dans un STI, qui recouvre la connaissance du domaine. Aussi, afin de répondre à ce besoin de standardisation, et d'unifier les mécanismes de création et de réutilisation de la connaissance, ces dernières années ont vu l'émergence de spécifications dans la gestion du contenu de formation.

Parmi les standards du eLearning les plus connus, nous pouvons citer la spécification LOM du IEEE LTSC [29], les spécification IMS [30], la spécification CMI d'AICC [75], ou encore le standard SCORM [26, 27]. Comme ce dernier est une spécification adaptée des meilleures pratiques et spécifications susmentionnées, il représente donc une vue intégrée et récente des recommandations provenant des acteurs majeurs du domaine. C'est la raison pour laquelle nous utiliserons ce standard pour la gestion du contenu eLearning dans notre projet. Nous présentons SCORM dans la section suivante.

2.1.5 SCORM (Sharable Content Object Reference Model)

Le département de la défense américain a mis en place en 1997 un projet appelé ADL (Advanced Distributed Learning) visant à l'établissement de standards pour la formation en ligne. L'objectif de cette initiative était de rendre les contenus d'apprentissage réutilisables, accessibles, durables et interopérables. Pour ce faire, SCORM [26] a intégré diverses démarches de standardisation présentes sur le marché et développées par des groupes comme IMS Global Learning Consortium Inc., AICC², ARIADNE³ et IEEE LTSC⁴.

² The Aviation Industry Computer-Based Training Committee

³ Alliance of Remote Instructional Authoring & Distribution Networks for Europe

⁴ the Institute of Electrical and Electronics Engineers Learning Technology Standards Committee

SCORM est un modèle de référence qui se scinde en un modèle d'agrégation de contenu et un environnement d'exécution. Il définit un ensemble de normes (techniques, conceptuelles et méthodologiques) pour la production du contenu mais aussi pour l'environnement d'enseignement de ce contenu. A terme, cette initiative vise à la création de bibliothèques digitales composées d'objets de connaissances (Learning objects) réutilisables, partageables, évolutifs et accessibles via le Web. L'objectif final serait de pouvoir générer des cours dynamiquement à partir de ces objets de connaissances selon les besoins de l'apprenant, quelque soit l'endroit où ces objets sont physiquement entreposés.

2.1.5.1 Le modèle d'agrégation du contenu SCORM

Ce modèle a pour but de définir des ressources d'apprentissage réutilisables et partageables, ainsi que de les agréger en un contenu structuré [28].

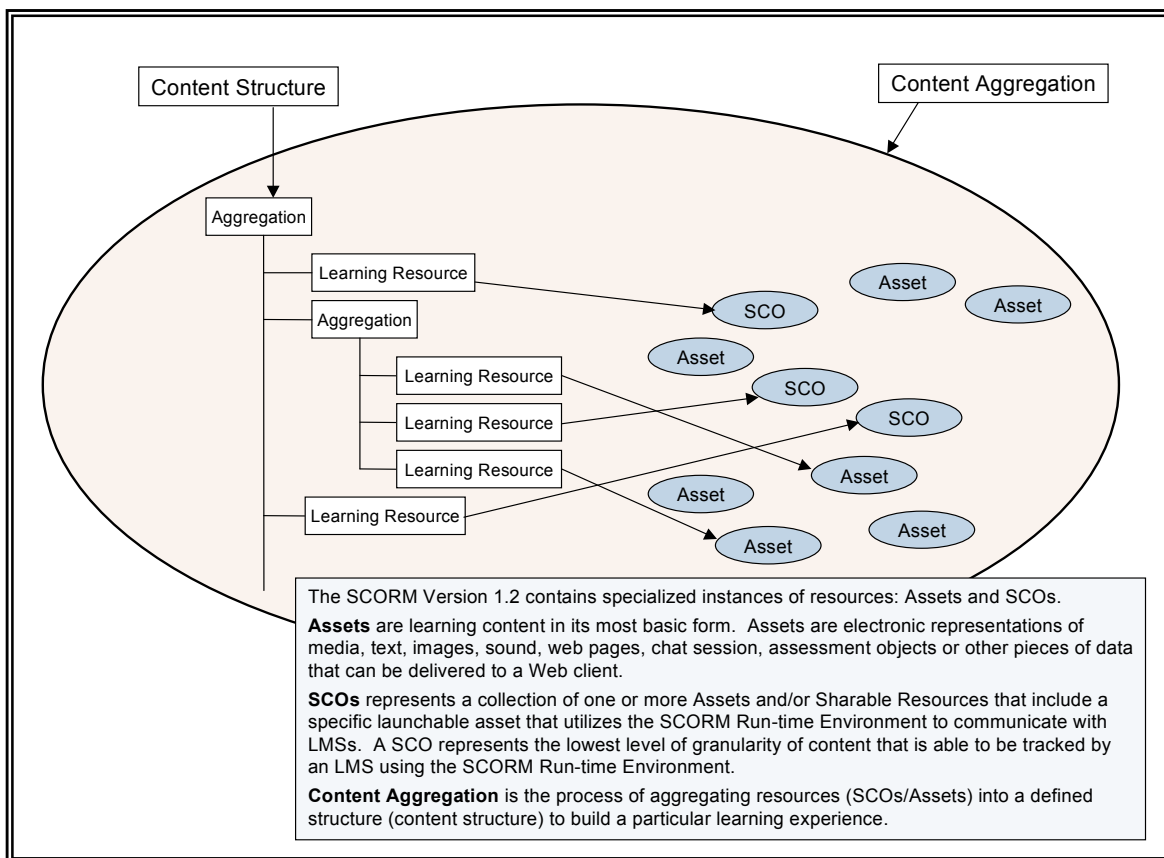


Figure 2 : Gestion du contenu selon SCORM [66]

Trois types de ressources ont été définis par SCORM :

Les actifs (assets) : il s'agit de la forme la plus élémentaire de contenu d'apprentissage comme des textes, des images, des sons, des pages Web, des fonctions javascript, etc.

Les SCOs (Sharable Content Objects) : un SCO est composé d'un ensemble d'actifs, ainsi que d'un dispositif de communication normalisé avec l'environnement d'apprentissage. Les SCOs sont des unités qui doivent rester relativement petites, mais il

n'existe pas de norme pour définir la taille d'un SCO, et c'est au concepteur de la ressource d'apprentissage d'évaluer cette taille. Par ailleurs, il doit veiller à ce que ce SCO soit indépendant d'un contexte d'apprentissage afin d'être réutilisable, ou à définir cette réutilisation selon les contextes.

Les actifs aussi bien que les SCOs sont associés à des méta-données qui décrivent leur contenu et facilitent leur recherche.

Les agrégations de contenu : elles constituent les structures qui permettent de rassembler les ressources d'apprentissage en un contenu d'enseignement sous forme de modules, cours etc. Elles sont également associées à des méta-données.

2.1.5.2 Les méta-données

Les méta-données établissent une correspondance entre les éléments LOM [29] (Learning Objects Metadata) et chacun des composants du modèle de contenu SCORM (actifs, scos, contenus d'agrégation) et en définissent l'utilisation recommandée afin de présenter une description uniforme. Elles sont également conformes à la spécification XML d'IMS sur les méta-données (IMS Learning Resource Meta-data XML Binding Specification) [30].

Le modèle d'information des méta-données SCORM définit les éléments de données nécessaires pour obtenir des méta-données conformes à la norme SCORM. Ce modèle est subdivisé en neuf catégories d'éléments [66]:

« La catégorie *Généralités* contient l'information générale servant à décrire la ressource dans son ensemble.

La catégorie *Cycle de vie* contient les données sur l'historique et sur l'état actuel de la ressource ainsi que sur ceux qui ont eu un impact sur cette ressource tout au long de son évolution.

La catégorie *Méta-métadonnées* contient l'information sur l'enregistrement de méta-données lui-même (plutôt que sur la ressource décrite par l'enregistrement).

La catégorie *Technique* contient les caractéristiques et exigences techniques de la ressource.

La catégorie *Éducative* contient les caractéristiques éducatives et pédagogiques de la ressource.

La catégorie *Droits* contient les droits de propriété intellectuelle ainsi que les conditions d'utilisation de la ressource.

La catégorie *Rapport* contient les caractéristiques qui définissent le rapport entre cette ressource et les autres ressources ciblées.

La catégorie *Annotation* contient des commentaires sur l'utilisation de la ressource à des fins éducatives ainsi que les détails relatifs à l'auteur et à la date de création des commentaires.

La catégorie *Classification* définit la position de cette ressource dans un système de classification particulier. »

Chacune des trois catégories de méta-données SCORM (Actif, SCO et agrégat de contenu) prend la forme de documents XML autonomes conformes à la spécification IMS sur les associations XML de méta-données sur les ressources d'apprentissage. Ces documents XML doivent être valides et bien constitués, conformes à la définition de schéma XML (XSD) évoquée dans le document IMS « Learning Resource Meta-data XML Binding Specification »[30].

2.1.5.3 L'environnement d'exécution de SCORM

L'environnement d'exécution de SCORM doit permettre d'assurer l'interopérabilité entre les contenus d'apprentissage SCO (Sharable Content Object) et les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS). Le sigle LMS (Learning Management System) désigne l'ensemble des fonctionnalités de présentation, de suivi, de production de rapports et de gestion d'un contenu d'apprentissage, des progrès des élèves et de leurs interactions. Un LMS peut aussi bien désigner un système de gestion de cours très simple qu'un environnement distribué très complexe, à l'échelle d'une entreprise.

Selon SCORM, les contenus d'apprentissage doivent être interopérables avec des LMS multiples, quels que soient les outils utilisés pour créer le contenu. Afin d'assurer cette interopérabilité, il doit exister un moyen commun :

- permettant de lancer un contenu;
- permettant d'établir une communication entre ce contenu et un LMS;
- permettant l'échange d'éléments d'information prédéfinis entre le LMS et le contenu lors de son exécution.

La figure suivante schématise cette communication.

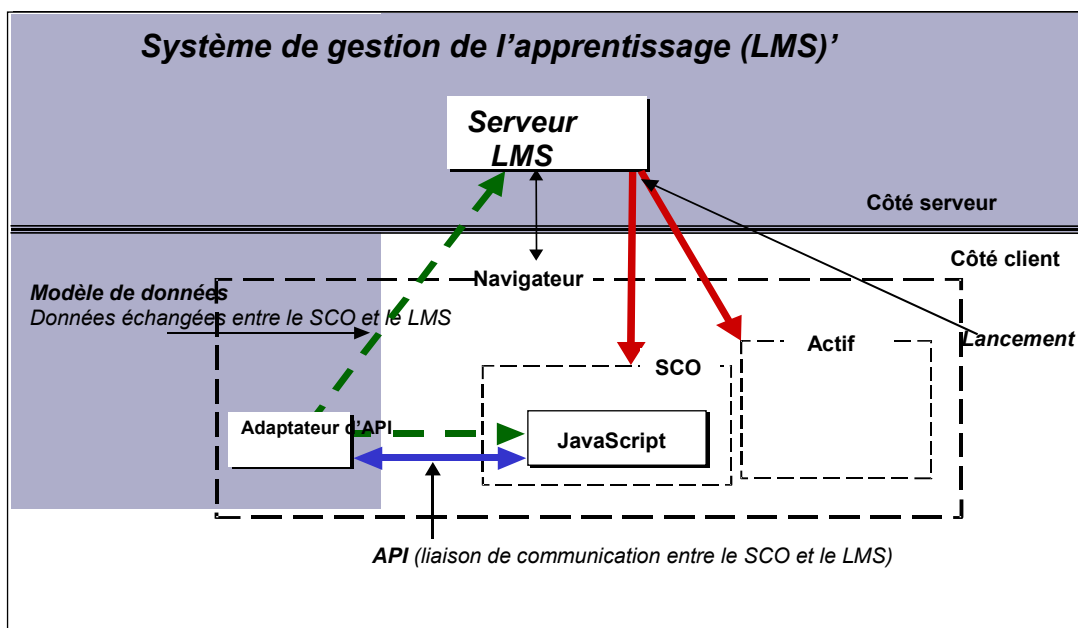


Figure 3 : Communication dans l'environnement d'apprentissage SCORM [26, 27]

Cette présentation de SCORM effectuée, il reste à formuler une remarque : le degré de granularité de SCORM s'arrête au niveau de l'actif (asset). A partir de ce niveau, il n'est plus possible de contrôler la connaissance contenue dans la ressource pédagogique (les méta-données sous forme de concepts n'étant pas suffisantes à elles seules pour décrire un important volume de connaissances). Cela conduit à des difficultés de suivi des connaissances réelles qu'acquiert l'apprenant, et à des difficultés de recherche des objets

d'apprentissage pertinents, ce qui est d'autant plus handicapant dans un contexte d'organisation. Par ailleurs, il n'existe pas de synergie entre le contenu des formations, et la gestion quotidienne de l'organisation, d'où le besoin d'un « knowledge management » orienté vers la formation. Nous introduisons le domaine du « knowledge management » dans la prochaine section.

3 Le domaine du Knowledge Management

Selon Prax [12], le « knowledge management » est « un processus de création, d'enrichissement, de capitalisation et de diffusion des savoirs qui implique tous les acteurs de l'organisation, en tant que consommateurs et producteurs ». L'idée derrière le « knowledge management » est d'arriver à capitaliser les connaissances individuelles, ce qui n'est déjà pas une mince tâche, mais également de faire en sorte que la connaissance collective soit supérieure à la somme de ces performances et connaissances individuelles, d'où l'idée d'intelligence collective.

D'autres définitions existent, pratiquement autant qu'il y a d'auteurs. Nous en donnons un aperçu:

Knowledge management...

...addresses the generation, representation, storage, transfer, transformation, application, embedding, and protecting of organizational knowledge [18].

...is the process of increasing the efficiency of knowledge markets by generating, codifying, coordinating, and transferring knowledge [17].

...is about harnessing the intellectual and social capital of individuals in order to improve organizational learning capabilities [19].

...is the systematic management of vital knowledge and its associated processes of creating, gathering, organizing, diffusion, use, and exploitation [20].

...aims at raising the level of individual knowledge to the organizational level by capturing and sharing individual knowledge and turning it into organizational knowledge [21].

Il existe plusieurs raisons qui ont poussé à l'émergence du « knowledge management » [17] :

- Le manque d'information sur la connaissance existante : les organisations réalisent de plus en plus la difficulté de connaître les informations ou connaissances en leur possession, et celles qui leur font défaut ;
- L'asymétrie de la connaissance : certains départements de l'organisation peuvent détenir une grande partie de connaissance sur un sujet donné, et un autre presque pas. La connaissance est donc mal répartie ;
- La localité de la connaissance : généralement, une connaissance est détenue et transmise dans un groupe d'individus qui travaillent à proximité les uns des autres. Il est donc difficile de faire circuler l'information dans des sphères plus grandes ou d'atteindre une connaissance plus éloignée ;

- Le foisonnement de l'information : devant les masses d'information dont l'on dispose, il devient difficile de trouver la connaissance pertinente recherchée.

La section suivante introduit l'épistémologie de la notion de connaissance, ainsi que les principaux modèles de gestion des connaissances de l'organisation.

3.1 Epistémologie de la connaissance

Dans la société et l'institution contemporaines, le rôle central de la connaissance est de plus en plus reconnu comme étant d'une importance cruciale pour l'évolution de lesdites société et institution. L'augmentation sans cesse continue du flot et de la masse de savoir, principalement due aux ressources et médiums électroniques, crée une nécessité : celle de modéliser, structurer et mieux cerner cette connaissance. Sans cette structuration, une telle quantité d'information se révèle ingérable, et donc inutilisable, et ne peut évoluer vers la notion de connaissance.

Le concept de connaissance est une notion qui reste floue, ou qui du moins, n'a pas qu'une seule définition ou acception. De nombreuses disciplines se sont attaquées à sa formalisation, telles que la philosophie, l'économie-gestion, la sociologie ou l'informatique. Nous nous concentrerons sur les points de vue apportés dans le domaine de la gestion (management) et de l'informatique.

Selon Davenport et Prusak [17], la connaissance peut être définie comme suit :

« Knowledge is a fluid mix of framed experience, values, contextual information and expert insight that provides a framework for evaluating and incorporating new experiences and information. It originates and is applied in the minds of knowers. In organizations, it often becomes embedded not only in documents or repositories but also in organizational routines, processes, practices and norms. »

Pour Nonaka et Takeuchi [13]: « Knowledge, unlike information, is about beliefs and commitment. »

3.1.1 La connaissance dans l'organisation

Selon Assudani [1], il existe un ensemble de réflexions théoriques liées à la connaissance dans l'organisation [10, 24, 15] :

Un premier courant de pensée considère la connaissance comme une vérité fondamentale. Le discours et la narration d'histoires sont pour eux les meilleurs moyens de création et dissémination de la connaissance au sein d'une organisation. L'analyse des narrations au sein de l'organisation représente donc une activité critique pour la gestion des connaissances.

Un second courant insiste sur l'importance de la notion de contexte pour appréhender le sens d'une connaissance. La création de la connaissance et l'apprentissage (vu comme une construction sociale) sont donc ancrés dans la pratique, et ne peuvent faire abstraction des conditions dans lesquelles ils interviennent [2, 3]. Dans la même veine, la théorie pragmatique, incarnée par Dewey, indique que la connaissance et la vérité sont totalement subjectives, et donc incomplètes. Pour eux, la connaissance n'est pas une chose que l'on possède mais que l'on pratique ou fait.

Dans le domaine organisationnel, la connaissance est essentiellement vue comme une ressource permettant d'obtenir des avantages compétitifs. Mais là encore, de nombreuses

définitions existent. Selon Cook et Brown [4], deux épistémologies fondamentales peuvent être dégagées de la pléthore des acceptions : l'épistémologie de la possession et l'épistémologie de l'action. Dans l'épistémologie de la possession, la connaissance est vue comme une ressource que l'organisation possède et qui peut être créée par les acteurs et réseaux de l'organisation. Cette connaissance peut être décomposée en une connaissance possédée par les acteurs « knowledge of », et une connaissance provenant ou créée par les acteurs « knowledge from ». Dans l'épistémologie de l'action ou de la pratique, la connaissance est appréhendée comme un processus actif et dynamique « knowing as action ». Selon Cook et Brown [4], « knowing » réfère au travail épistémique qui est effectué en tant que partie d'une action ou pratique, que cette action soit individuelle ou collective.

Il existe plusieurs manières de classifier la notion de connaissance [86]. Nous nous concentrerons toutefois sur la classification en connaissance tacite et explicite car c'est cette dernière qui est la plus usitée dans le domaine du « knowledge management ».

3.1.2 La connaissance tacite et explicite

Polanyi a introduit la notion de connaissance tacite [5], c'est-à-dire une connaissance implicite et inarticulée, qui s'inscrit et s'acquiert dans une expérience quotidienne. Ainsi que le fait remarquer Stenmark [8], c'est à partir de son travail qu'a été dérivée la classification de la connaissance en connaissance explicite et connaissance tacite. Toutefois, Polanyi ne fait pas clairement de distinguo entre ces deux notions car selon lui, une part de tacite existe en toute connaissance et donc une connaissance ne peut être complètement explicite. Pour Polanyi, « nous savons plus que nous pouvons exprimer » [5].

Dans la même lignée, certains chercheurs refusent de clairement scinder la connaissance en tacite/explicite, et identifient une part plus ou moins importante des deux dans chaque connaissance [6, 7].

Pour ceux qui opèrent une distinction claire entre les deux formes de connaissance [9], la connaissance explicite est une connaissance codifiée sous une forme formelle telle qu'une procédure, une règle ou un manuel. La connaissance tacite ou implicite n'est, quant à elle, pas directement formalisable et se retrouve ancrée dans certaines actions et certains contextes. Elle existe dans les cerveaux des gens et se manifeste au travers de leurs actions. Le transfert d'un tel type de connaissance n'est donc pas aisé [10].

3.1.3 La pensée de Nonaka et Takeuchi (SECI model)

Nonaka et Takeuchi représentent l'une des références les plus citées dans le domaine du « knowledge management » [9, 13, 14, 24]. Leur recherche a produit un modèle pour expliquer le processus de création de la connaissance dans l'organisation, qu'ils ont appelé la spirale de la connaissance (knowledge spiral). Ils indiquent que c'est le dialogue continu entre la connaissance tacite et explicite qui permet de créer une connaissance organisationnelle. Le développement de la connaissance se fait par sa transmission entre les individus et les groupes au moyen de différentes dynamiques de transformation [12], ainsi que le montre la figure 4. Par ailleurs, ils distinguent la connaissance individuelle de la connaissance collective.

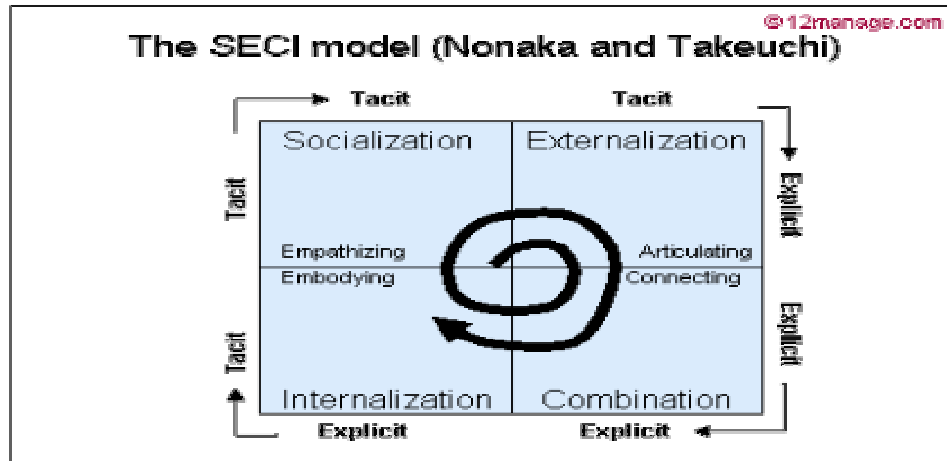


Figure 4 : Transmission et transformation des connaissances [14]

Prax [12] a expliqué les transitions de la connaissance du modèle de Nonaka et Takeuchi :

La socialisation : elle permet la transmission d'une connaissance tacite en connaissance tacite, et est représentée par l'interaction des individus au sein d'un groupe.

La formalisation : elle permet de transformer une connaissance tacite en connaissance explicite, et désigne l'explicitation des pratiques et croyances. Elle doit toutefois se baser sur une formalisation commune, et des concepts partagés afin d'être compréhensible par tous.

L'intériorisation : Elle permet de créer une dimension tacite à partir d'une connaissance explicite. La connaissance explicite est tellement bien intégrée à ce niveau qu'elle peut se transformer en réflexe ou automatisme.

La combinaison : elle permet la transmission d'une connaissance explicite, qui, additionnée à d'autres connaissances explicites, permet de produire de nouvelles connaissances, et ce par le biais de règles logiques comme la déduction, l'inférence, ou la généralisation.

Le modèle SECI de Nonaka et Takeuchi peut être critiqué dans sa partition distincte de la connaissance entre une connaissance tacite et une connaissance explicite. Ainsi, Tsouka [7] contredit la définition de la connaissance tacite comme étant une connaissance explicite internalisée, et soutient que la connaissance tacite est inséparable de la connaissance explicite : "tacit knowledge is the necessary component of *all* knowledge". Dans notre recherche, nous soutenons ce point de vue. Le fait de ne pas pouvoir codifier la connaissance tacite par un formalisme de représentation direct ne signifie pas toutefois que cette connaissance est perdue pour la mémoire organisationnelle et collective. L'organisation doit se doter de mécanismes pour disséminer cette connaissance tacite au travers d'outils concepts comme les communautés de pratique par exemple.

Dans cette section, nous allons présenter les différents types d'outils qui peuvent servir à la création, compréhension et au partage des connaissances dans une organisation. Nous les situons dans le contexte des modes de transmission de la connaissance établis par Nonaka et Takeuchi.

3.2 Outils du Knowledge Management

Les typologies des outils de « knowledge management » sont multiples. Nous avons choisi de nous inspirer de celle citée en [23] car elle nous semble exhaustive.

3.2.1 Les systèmes de gestion de documents et de contenus

Ce type de système essaie de gérer l'ensemble des documents corporatifs et de les stocker dans un entrepôt (repository). Pour plusieurs organisations, il s'agit d'un premier pas vers une politique de « knowledge management », et ces documents représentent le savoir explicite de l'organisation. Des mécanismes de catalogage et de recherche d'information sont disponibles. Selon Choo [71], les membres d'une organisation combinent leur connaissance explicite en échangeant toutes sortes de documents comme des mémos, des notes, etc., ce qui peut amener à la création d'une nouvelle connaissance.

3.2.2 Les Workflows

Les systèmes de « workflow » servent à gérer les processus standardisés de l'activité dans l'organisation. Leur objectif est d'automatiser les tâches et processus, en définissant les rôles, les règles à suivre et le cours logique du flux de connaissance lors d'une activité. Comme la définition d'un « workflow » requiert une formalisation du processus à travers un dialogue entre les différents acteurs, elle induit une externalisation et une combinaison de la connaissance.

3.2.3 Les groupwares, outils collaboratifs

L'une des principales activités du « knowledge management » est la possibilité de collaborer que ce soit entre les employés d'une même organisation, entre différentes organisations ou entre différents systèmes informatiques sans intervention humaine (Peer-to-Peer computing). A la base, un « groupware » est un outil qui doit permettre à des équipes géographiquement dispersées de travailler ensemble [12, 23]. Un « groupware » est généralement constitué de mécanismes synchrones (chat), asynchrones (email) ou basé sur la notion de communauté (e-groupes, communautés de pratique).

Selon Nonaka et Takeuchi [9, 24], l'externalisation de la connaissance est générée par le dialogue et par la réflexion collective. Les « groupwares », de par leur mécanisme de communication informelle, aident à réaliser cette externalisation.

Il existe diverses applications pour la collaboration, comme Lotus Notes ou Microsoft Exchange. ICM AssetWeb d'IBM [65] est un autre exemple de groupware.

En ce qui concerne les communautés de pratique, Lave et Wenger ont été les premiers à introduire le concept en 1991 [3]. Ils décrivent une communauté de pratique comme suit: « a set of relations among persons, activity, and world, over time and in relation with other tangential and overlapping communities of practice. In these communities, newcomers learn from old-timers by being allowed to participate in certain tasks relating to the practice of the community. Over time newcomers move from peripheral to full participation in the community ».

Ils pensent que ce type de communauté est une condition intrinsèque à l'existence de la connaissance. Pour eux l'apprentissage dans de telles communautés, nommé « learning as Legitimate Peripheral Participation » n'est pas seulement un apprentissage situé dans la pratique mais une part intégrale de la pratique sociale génératrice de connaissance.

La narration d'histoires (story-telling) peut être considérée comme un moyen de disséminer la connaissance entre les membres d'une communauté de pratique.

3.2.4 Les cartes de connaissances

Les cartes de connaissance (knowledge maps) ne stockent pas la connaissance en elle-même, mais sont des pointeurs sur les membres de l'organisation qui détiennent cette connaissance, un peu comme un système de pages jaunes. Une carte de connaissances standard est constituée des profils de compétences des membres, et un outil de recherche (localisateur d'expert) est alors utilisé pour retrouver la personne la plus à même de fournir l'information requise. Une carte de connaissance est donc une carte d'expertise de l'organisation, organisée en catégories, et facilite le transfert de connaissances tacites et/ou explicites si un échange a bien lieu entre l'expert en question et le demandeur d'information.

L'approche DEMOIR est un exemple de système de localisation d'expertise [52].

3.2.5 L'intelligence d'affaire (business intelligence)

Elle est constituée d'un ensemble d'outils qui permettent de manipuler de gros volumes de connaissances et d'en extraire certaines informations clés (tri, catégorisation, structuration de l'information). Ces outils englobent aussi bien les DSS (Decision Support Systems), OLAP (On-Line Analytical Processing), EIS (Executive Information Systems) que les entrepôts de données (data warehouse, data mining). Ce type de systèmes permet la combinaison des connaissances de manière à créer une nouvelle connaissance.

3.2.6 Les systèmes basés sur l'intelligence artificielle

Les systèmes de raisonnement à base de cas et les réseaux de neurones sont des exemples de techniques d'intelligence artificielle qui peuvent être utilisées dans le knowledge management. Le raisonnement à base de cas peut, par exemple, retrouver des cas similaires à un problème courant et ce faisant, servir de référence. Les systèmes basés sur l'intelligence artificielle font généralement appel à une externalisation des connaissances.

3.2.7 Les portails de connaissance

Le rôle premier d'un portail de connaissances est de fournir un accès transparent à l'information de l'organisation, de manière centralisée. Il s'agit en quelque sorte de systèmes de médiation qui permettent aux utilisateurs d'avoir une vision partagée des connaissances de l'organisation, malgré l'hétérogénéité de leurs sources. On peut aussi parler de portes d'accès à l'ensemble des ressources de l'organisation, qu'elles soient destinées à l'intranet ou à être visibles sur internet. Un portail peut contenir une taxonomie de l'entreprise, une catégorisation de l'information, et un mécanisme de recherche d'information. Des portails plus évolués peuvent ne pas seulement être des répertoires de ressources, mais également comprendre un ensemble d'outils de «knowledge management» tels que ceux cités ci-dessus. Les individus et communautés peuvent donc utiliser le portail comme point d'accès unique pour effectuer leurs tâches, et comme lieu de rencontre virtuel, favorisant ainsi l'échange de connaissances aussi bien explicites qu'implicites. Ce type de portail peut par ailleurs être personnalisé de manière à contenir les informations et liens en fonction du profil de l'utilisateur.

3.3 Critique du domaine

L'évolution du « knowledge management » qui s'est effectuée de manière très rapide et très peu structurée, a donné lieu à un ensemble d'outils de gestion de la connaissance comme ceux cités ci-dessus. On s'est retrouvés face à une multitude de systèmes hétérogènes, avec des modèles de données distincts, et donc face à un manque de standardisation flagrant. Nous pensons qu'un système de « knowledge management » doit être en mesure de s'intégrer aux ressources existantes d'une organisation, et que cette intégration doit se faire dans le respect des derniers standards développés. Dans le cas contraire, les efforts consentis pour intégrer différentes sources de données sont très grands, sans parler de la maintenance de ces systèmes. C'est à ce niveau que le Web sémantique peut intervenir de manière à permettre la création de systèmes homogènes, au langage commun, facilitant l'intégration du « knowledge management » au système d'information de l'organisation.

De plus, le « knowledge management » doit faire face à un ensemble de défis inhérents à la nature de la connaissance car elle est souvent incomplète, imprécise, et locale, sans parler des facteurs organisationnels et humains [22]. Dans une politique de « knowledge management », le contenu, aussi bien que les personnes et les systèmes informatiques qui le constituent sont autant de problématiques à prendre en compte.

Par ailleurs, au niveau eLearning, l'accroissement des ressources dédiées à la formation a engendré la nécessité de gérer ce contenu, et nous avons assisté ces dernières années à l'émergence de standards pour la gestion du contenu, et la mise en place d'infrastructures de recherche et d'organisation d'objets d'apprentissage dans des entrepôts. L'adoption de ces standards et axes de recherche dans notre projet nous permet de nous situer à la pointe des derniers développements dans le domaine, et de pallier aux faiblesses qui découlent de leur non adoption, à savoir : la difficulté du contrôle du contenu de la connaissance, la difficulté de suivi des connaissances réelles qu'acquiert l'apprenant, et la difficulté de recherche des objets d'apprentissage pertinents (à un apprenant, à un contexte), ce dernier point est d'autant plus important que l'on se situe dans le contexte d'une organisation. En effet, la mise en place de politiques de formation dans les organisations souffre en général d'un manque d'intégration à leur gestion quotidienne et à la structure d'information existante, et ne cible pas les besoins réels de l'organisation. Les outils mis en place ne permettent donc pas de capitaliser les connaissances et compétences existantes. Il importe d'essayer de remédier à cette situation.

Enfin, au niveau des systèmes tutoriels intelligents, l'acquisition des connaissances du domaine passe souvent par un processus d'élicitation des connaissances d'un expert, inspirée en cela par la vision de la représentation symbolique de Simon et Newell [81]. Outre que cette démarche est très coûteuse en temps, elle n'est pas réellement efficace. En effet, l'expert d'un domaine n'a souvent pas conscience de la totalité de son expertise [81], ni ne peut la décomposer en unités élémentaires ou règles tel que cela a été prôné dans la création des modules experts en intelligence artificielle. Nous identifions deux problèmes dans cette vision : premièrement, la décomposition de la connaissance aboutit à son appauvrissement dû à son atomisation et à la perte du discours narratif [80], et deuxièmement, le fait de compter sur un expert unique comme source des connaissances

du système nous paraît singulièrement rigide, et coûteux en terme de temps et d'argent dans un contexte d'organisation.

Pour remédier à ces deux problèmes, nous proposons de mettre en place un système alimenté par l'effort collectif des membres de l'organisation et par leur participation active à la génération des connaissances du système de formation. Par ailleurs, nous proposons que le contenu des formations ne soit pas décomposé en connaissances extrêmement granulaires, mais s'appuie essentiellement sur le discours narratif des membres de l'organisation, obéissant en cela à des pratiques prônées par divers chercheurs dans le domaine de la formation ou de la gestion des connaissances [1, 2, 3, 80, 82].

4 Solution proposée

Ainsi donc, nous pouvons affirmer que jusque maintenant, le « knowledge management » et le domaine des STI/eLearning ont suivi des trajectoires de développement distinctes. L'émergence de standards comme LOM [29] et SCORM [26, 27] montre que la communauté eLearning s'est rendu compte de la nécessité de standardiser les contenus de ses cours. Par ailleurs, le Web sémantique a suivi le même raisonnement au niveau des ressources Web. Même s'il n'était pas orienté initialement vers l'organisation, la masse d'information d'une organisation et la difficulté de la gérer ont fait du Web sémantique la pierre angulaire de la gestion des connaissances dans l'organisation, un intranet sémantique en quelque sorte.

De plus, une organisation est une entité qui doit bénéficier de formation permanente, et gérer l'évolution de son environnement par l'acquisition de nouvelles connaissances, et l'optimisation de l'utilisation des connaissances existantes.

Aussi, pour permettre l'intégration des domaines du eLearning et du « knowledge management », nous proposons :

- La gestion des compétences des membres de l'organisation;
- La création d'une mémoire collective;
- L'incorporation de méta-données et d'ontologies (Web sémantique) à la structure d'information de l'organisation;
- L'utilisation de cette infrastructure sémantique pour la création de formations ciblées et pertinentes, dispensées au sein d'un système tutoriel intelligent.

4.1 La gestion des compétences

Un des types de connaissances les plus sensibles dans le contexte d'une organisation est le concept de compétence. Une compétence peut être définie comme l'habileté à effectuer une activité dans une situation donnée. Une compétence professionnelle réfère donc à une habileté démontrée à effectuer adéquatement une activité professionnelle [43]. Selon [42], « La compétence d'un individu est une intelligence pratique des situations qui s'appuie sur des ressources et des connaissances et qui les transforment ».

Une spécification pour l'encodage des compétences dans le domaine de la formation a été élaborée par IMS : « Reusable Definition of Competency or Educational Objective Specification » (RDCEO) [44]. Ainsi qu'indiqué dans le titre, une compétence est un objectif d'apprentissage.

Dans notre projet, l'unité de connaissance de base est appelée LKO (Learning Knowledge Object). Il s'agit d'objets de connaissance enrichis par une couche sémantique constituée de méta-données et d'annotations. Ces objets peuvent aussi bien provenir de l'activité quotidienne de l'organisation (documents, emails, etc.) qu'être des ressources d'apprentissage (Scos, actifs, contenus d'agrégation) destinées à la formation des membres de l'organisation.

Les compétences ou objectifs d'apprentissage devront être liés aux objets d'apprentissage enrichis (LKO). Ce lien pourra soit être direct, soit passer par une organisation de la connaissance en projets et rôles, si l'organisation en question est une entreprise par exemple. Une compétence pourra être subdivisée en sous-compétences plus élémentaires. Plus généralement, il reste à creuser quelles relations peuvent exister entre les compétences elles-mêmes, comme celles proposées dans [87] par exemple (relation d'analogie, d'agrégation, de généralisation et de déviation). Ce sont ces relations qui permettront de définir l'ontologie des compétences. En effet, la description de la structure de l'organisation et de ses compétences cibles ou existantes sera effectuée au travers d'une ontologie de l'organisation et d'une ontologie de compétences, elles-mêmes rattachées à une ontologie du domaine (voir la section 4.3 et la section 4.5.1 concernant les ontologies).

La maîtrise de compétences cibles par les membres de l'organisation pourra s'effectuer par le biais de la génération de plans de formation, et par l'instauration de mécanismes de contrôle de l'utilité de la formation.

4.2 La création d'une mémoire collective

La gestion des compétences et plus globalement des connaissances doit s'appuyer sur la création d'une mémoire collective. Dans notre approche, nous pensons que le résultat et le flux des activités de base du « knowledge management » doivent être organisés dans ce que l'on appelle une mémoire organisationnelle (Organizational Memory) (figure 5), et que cette mémoire doit servir à la capitalisation des connaissances au sein de l'organisation. Il existe au moins deux bonnes raisons pour la création d'une mémoire organisationnelle : les organisations oublient de manière presque systématique ce qu'elles ont fait dans le passé et pourquoi elles l'ont fait. Par ailleurs, si un individu avait la même faible capacité de mémorisation qu'une organisation, il serait considéré comme déficient. Il importe donc de remédier à cet état de choses.

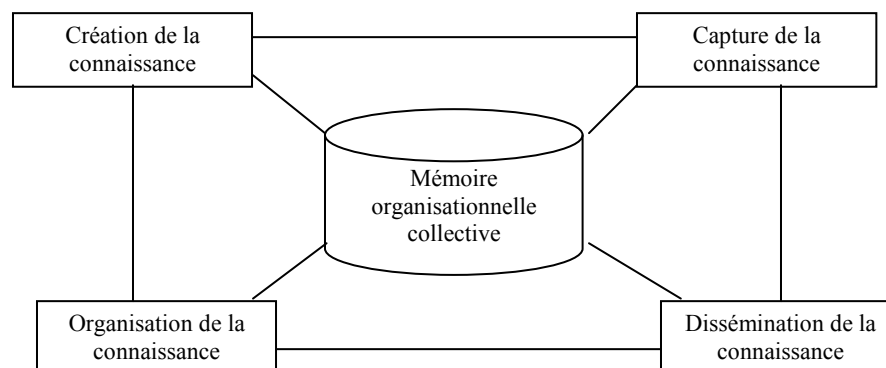


Figure 5 : Activités de base du « knowledge management »

Selon Prax, « La mémoire organisationnelle désigne le capital de connaissance accessible indépendamment des acteurs qui l'ont créé » [12]. C'est cet effort de capitalisation qui permet l'émergence d'une connaissance collective. Par ailleurs, la mémoire d'une organisation ne dépend pas uniquement des individus qui la composent. Elle réside également dans les processus, tâches, règles et structures de l'organisation, qui renferment les expériences et apprentissages successifs.

Plusieurs recherches ont été menées concernant les mémoires organisationnelles, parmi lesquelles les systèmes suivants méritent d'être relevés :

- FRODO [36] (a Framework for Distributed Organizational Memories) qui utilise des ontologies pour la description de la connaissance de l'organisation;
- KnowMore [34] qui augmente le système de description des tâches de l'entreprise (Workflow) par de l'information contextuelle pertinente;
- COMMA [35] (Corporate Memory Through Agents) qui utilise la technologie Agent pour la création et la maintenance d'un système de gestion des connaissances dans l'organisation;

Une mémoire organisationnelle n'est pas juste un moyen d'accumuler et de représenter la connaissance, c'est aussi un mécanisme de partage. En plus de la gestion des connaissances explicites, elle doit œuvrer à :

- La capture de la connaissance informelle;
- La préservation du contexte de la connaissance;

4.2.1 La capture de la connaissance informelle

Ainsi qu'indiqué précédemment, il existe deux grands types de connaissances : la connaissance formelle, et la connaissance implicite ou informelle. La connaissance informelle représente la toile de fond de toute connaissance, et elle peut être exprimée sous forme de faits, d'idées, de croyances, de questions, de décisions, d'histoires, de notes créées en marge de documents, ou encore de points de vue. Ce type de connaissance représente un élément organisationnel de première importance, car une bonne partie de la connaissance créée et partagée par les membres d'une organisation n'est jamais formalisée. Nous devons donc trouver un moyen de favoriser la transmission de cette connaissance implicite, de manière à ce qu'elle puisse s'intégrer dans les systèmes d'information et dans le processus organisationnel.

Pour plusieurs chercheurs [33, 11], la capture de la connaissance informelle passe par son explicitation, de manière à créer une compréhension partagée au sein des équipes ou groupes ayant à accomplir une tâche commune. Conklin, dans le système IBIS [11] , parle de la gestion de conversations créatives incluant des idées, faits, et questions, etc. de manière à se souvenir des décisions prises par le passé et des raisons ayant amené à de telles décisions, en somme, une mémoire du processus décisionnel.

Dans la même veine, Winograd et Flores [31, 32] ont créé un outil « The coordinator » pour la gestion des conversations dans un contexte d'entreprise, basé sur une taxonomie d'actes linguistiques et dont l'idée principale est que les dialogues en entreprise sont basés sur une ensemble de schémas et actes linguistiques et que l'on peut donc contraindre ces dialogues à rester dans le cadre de ces actes linguistiques.

Belvedere est un autre système ayant pour but la représentation explicite du raisonnement [54].

Dans une approche différente, l'idée de communauté de pratique est un autre moyen d'assurer la dissémination de la connaissance tacite [2, 85]. C'est une structure qui se crée en marge des groupes formels de l'organisation, et réunit des individus ayant des intérêts communs, donc favorables au partage de leur connaissance. Le système MILK [53] a tenté de fournir des outils pour la gestion de telles communautés.

Dans notre recherche, la création de communautés de pratique se fait par le biais de forums de discussion, et c'est le rattachement de ces forums à l'architecture de connaissances globale qui permet de les exploiter efficacement. Par ailleurs, l'ajout d'une couche sémantique par le biais des méta-données et des annotations permet également la création de connaissances tacites, et leur partage via les sessions de formation (voir la section 4.5 et la section 4.8.2).

4.2.2 La préservation du contexte

L'un des enjeux majeurs d'une mémoire organisationnelle est la préservation du contexte des documents et ressources. Cela n'est que rarement effectué au sein des organisations, sans parler de la préservation du contexte des interactions sociales, comme les réunions, les conversations, les présentations etc. Au niveau des STI, la notion de contexte est très importante, comme par exemple lors de la présentation d'explications pour l'aide à la résolution de problèmes [39, 40]. Pour Brézillon [67, 68], c'est l'absence d'une représentation explicite du contexte qui constitue l'une des raisons de l'échec des systèmes à base de connaissances. Pour lui [69, 70], le contexte peut être interprété comme une collection de conditions particulières et d'influences qui rendent une situation unique et compréhensible.

Nous aimerions investiguer plus en détail la notion de contexte. A ce jour, nous voulons introduire une couche contextuelle aux « learning knowledge objects ». Toute annotation, explication et méta-donnée associée à un LKO est considérée comme une connaissance contextuelle. Lors d'une session d'apprentissage, ou lors du déclenchement d'un objectif d'apprentissage, c'est le modèle de l'apprenant, incluant la compétence à atteindre et l'historique de ses activités, qui définit le contexte dans lequel et selon lequel un plan de formation est généré.

Nous avons indiqué que les objets de connaissance nommés LKO seront enrichis d'une couche sémantique articulée autour d'ontologies. C'est ce que nous détaillons dans la section suivante.

4.3 L'incorporation des principes du Web Sémantique

L'idée principale du Web sémantique repose sur la séparation des informations de leur présentation pour en faciliter la gestion et le traitement. Les ressources sont identifiées de manière unique et organisées autour d'une ontologie, et chaque ressource est associée à des méta-données qui sont définies avec des langages qui permettent de décrire les ressources ainsi que les relations qui les lient à l'aide de marqueurs sémantiques.

L'incorporation du Web sémantique dans notre projet se fera par la création d'ontologies pour structurer la connaissance de l'organisation et par la gestion du contenu au moyen de méta-données. Ces méta-données permettront entre autres d'assurer la gestion du contexte des « learning knowledge Objects » et la transmission des informations tacites.

Plusieurs langages de représentation sont aujourd'hui disponibles dans le cadre du Web sémantique: les Topic Maps, RDF, DAML+OIL, et OWL. Ces langages permettent de définir des ontologies.

4.3.1 Définition des ontologies

Selon Gruber [16], une ontologie est une spécification d'une conceptualisation. En informatique, ce terme signifie une description formelle des concepts et des relations qui peuvent exister pour un agent ou une communauté d'agents humains et/ou logiciels. La principale raison d'être des ontologies est le partage et la réutilisation de connaissances au moyen d'un langage commun. C'est par le biais de cette formalisation et de ce vocabulaire commun que des agents logiciels peuvent être à même d'explorer et de retrouver des informations pertinentes. Les ontologies permettent également de conserver la signification du contenu aussi bien pour les êtres humains que pour les machines.

Il existe plusieurs types d'ontologies qui varient en fonction de leur complexité de représentation du monde. Les plus simples décrivent formellement la sémantique qui existe entre les champs d'une base de données. Les taxonomies ou les thésaurus sont un peu plus complexes (ontologies « light ») et permettent de décrire des liens sémantiques du type « est une sorte de », « est représenté par » ou, plus spécifiquement, « est une sous-classe de ».

La représentation de liens sémantiques plus spécifiques, et plus nombreux comme par exemple, « fait partie de » ou « est associé à » aboutit à des ontologies plus complexes. Enfin l'intégration de propriétés particulières, de règles d'utilisation et de contraintes permet de créer les ontologies les plus riches (sémantiquement parlant).

4.3.2 Avantages du Web sémantique

Dans le traitement des connaissances au sein d'une organisation, le Web sémantique et l'utilisation des ontologies offrent plusieurs avancées majeures:

4.3.2.1 Interopérabilité des systèmes et indépendance du modèle de données

Les ontologies offrent la possibilité de créer un modèle de données commun à l'ensemble des applications de l'organisation. Elles permettent de mettre en place des référentiels partagés et centralisés autour desquels les connaissances collectives peuvent être organisées. De plus, les ontologies proposent une modélisation des informations totalement indépendante des applications qui les utilisent.

4.3.2.2 Intégration des données hétérogènes

Le Web sémantique fournit une infrastructure facilitant l'intégration de sources d'informations hétérogènes. Il peut être utilisé pour la mise en place de portails de connaissances dont le rôle est d'unifier et d'organiser l'accès aux différentes sources d'information disponibles dans l'organisation.

4.3.2.3 Mécanismes de recherche enrichis et automatisation

Les ontologies offrent des capacités de recherche très puissantes. En effet, les mécanismes de recherche et de navigation utilisent les relations unissant les éléments d'informations, ces relations définissant le sens et le contexte d'utilisation de ces informations. Par ailleurs, si les éléments des documents sont représentés dans une ontologie, il est alors possible d'automatiser des tâches définies à partir des méta-données.

4.3.3 Parallèle SCORM / Web sémantique

Nous avons précédemment indiqué que nous voulons utiliser la norme SCORM pour la gestion des objets de connaissances destinés à la formation. On peut faire le parallèle entre les principes du modèle SCORM et ceux du Web Sémantique en soulignant qu'ils visent à une meilleure gestion du contenu, et qu'ils adoptent tous les deux l'incorporation de méta-données aux ressources. Toutefois, le niveau de granularité de la connaissance est différent : dans le Web sémantique, tout le contenu d'un document est associé à des méta-données. Dans SCORM, la granularité de la connaissance s'arrête au niveau de l'actif (asset). Or un actif peut en lui-même se composer d'une ou plusieurs pages Web, donc le contenu est une sorte de boîte noire, inaccessible à des mécanismes de recherche de connaissance (Nous verrons plus loin comment nous avons décidé de pallier à cela). Par ailleurs, SCORM isole les méta-données de description d'une ressource de cette dernière, tandis que les ressources du Web sémantiques sont composées du contenu et des méta-données (Notons toutefois que le contenu et les données peuvent être également séparés).

L'architecture présentée dans la figure suivante (Figure 6) présente une vue globale du projet et représente l'architecture conceptuelle d'un STIO : un système tutoriel intelligent intégrant les outils de knowledge management. Pratiquement, elle se scinde en outils de conception ou d'édition et en outils d'exploitation. Nous détaillerons de quelle manière et à quel niveau les concepts du Web sémantique, de SCORM et de la gestion des compétences seront intégrés, et nous articulerons la description des différentes composantes de l'architecture autour des activités de base du « knowledge management » dans une mémoire organisationnelle.

Dans notre architecture préliminaire, la mémoire organisationnelle collective est composée essentiellement de l'entrepôt des objets d'apprentissage enrichis ou LKO, des LKO candidats, sorte de mémoire à court terme, et des ontologies.

4.4 Architecture Préliminaire

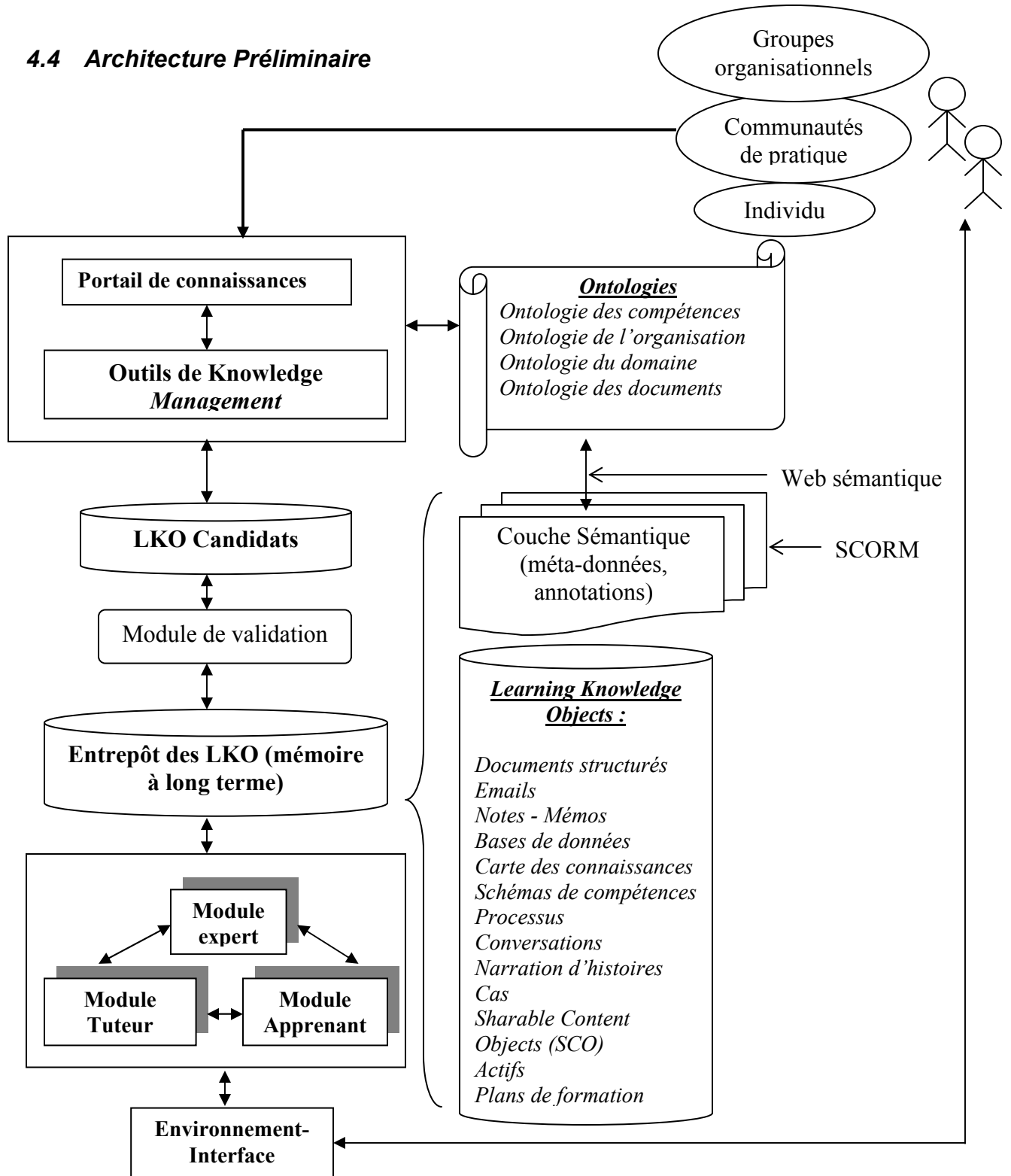


Figure 6 : Architecture conceptuelle d'un STIO

Les différents intervenants de l'organisation accèdent aux outils de «knowledge management» et de formation via un portail de connaissances. Dans ce portail, ils disposent d'un espace public de travail, mais également d'un espace privé. Tout passage d'un domaine privé à un domaine public se fait par le biais d'un processus de publication. Ce processus sert à faire le lien avec les connaissances existantes, comme par exemple les ontologies ou les membres de l'organisation. Même si une ressource est privée, elle peut bénéficier des connaissances de l'espace public.

Les Outils de «knowledge management» se scindent en outils d'édition de contenu (figure 7) et outils d'exploitation (figure 8).

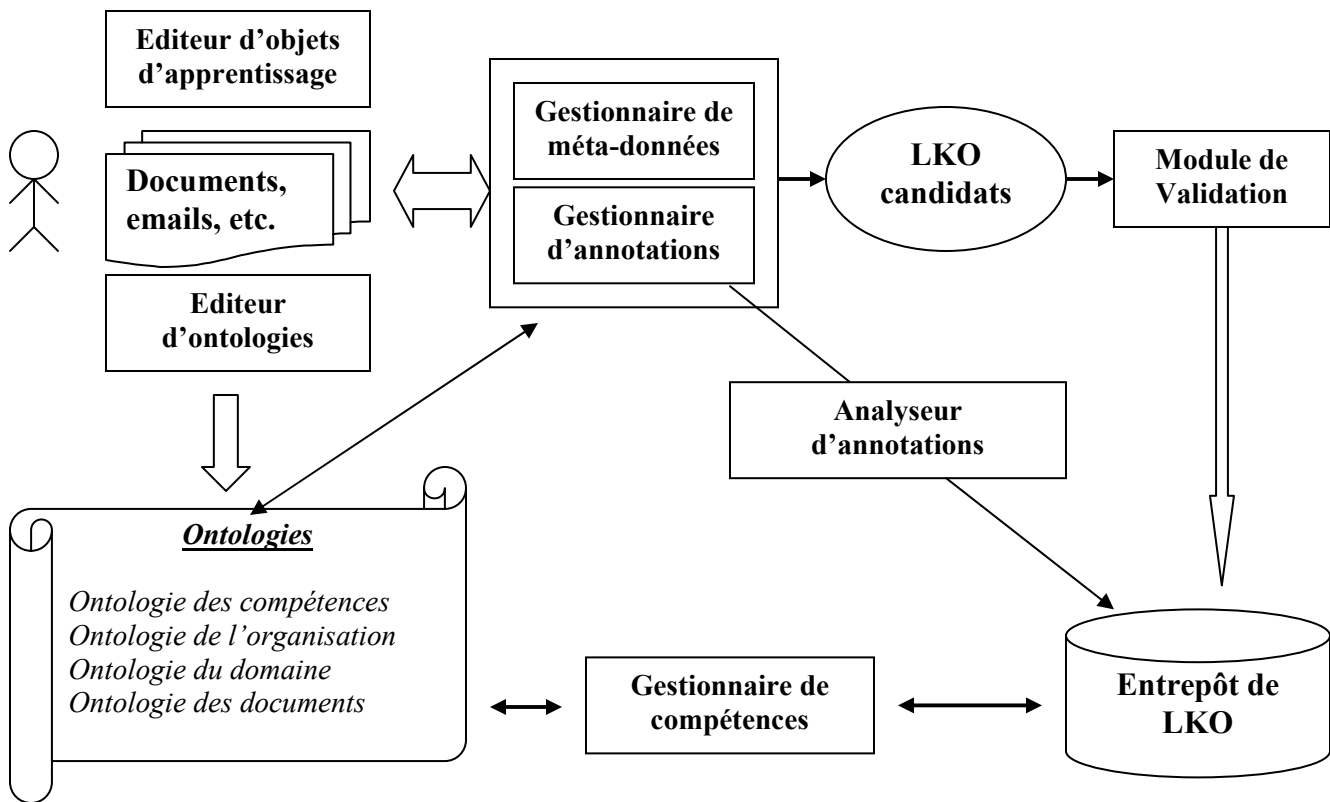


Figure 7 : Outils d'édition de contenu

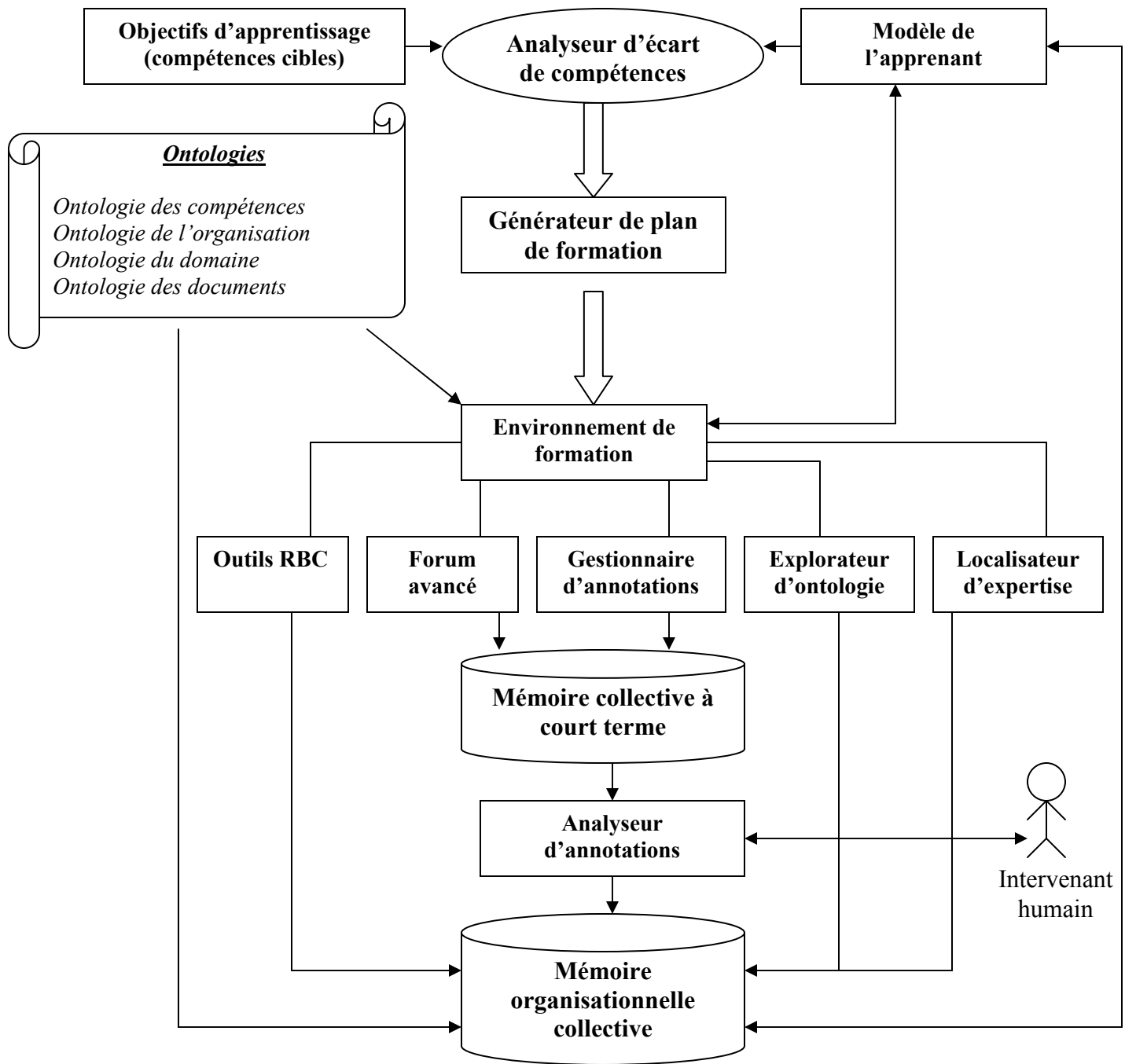


Figure 8 : Outils d'exploitation de contenu

Nous allons présenter les différents modules de notre architecture en fonction de leur rôle dans les activités de base du « knowledge management », à savoir : la création, la capture, l'organisation et la dissémination de la connaissance.

4.5 Création de la connaissance

Au niveau de notre système, la création de la connaissance est assurée par l'éditeur d'ontologies, l'éditeur d'objets d'apprentissage, et les gestionnaires de méta-données et d'annotations. Nous proposons d'utiliser toute ressource de l'organisation comme un contenu d'apprentissage ou « Learning Knowledge Object ». Autrement dit, après un processus de validation, toute ressource créée et annotée par un membre permet d'enrichir la mémoire collective.

4.5.1 L'éditeur d'ontologies

Dans notre modèle, les ontologies jouent un rôle crucial, puisqu'elles servent à déterminer un vocabulaire commun et à faire le lien entre les différentes ressources. Elles incluent une ontologie de l'organisation, qui décrit la structure de l'organisation, et les rôles de ses membres, une ontologie des compétences qui définit quelles compétences cibles sont nécessaires à l'organisation et de quelles compétences elle dispose, une ontologie du document qui décrit la structure d'un document, et enfin une ontologie du domaine servant à décrire les concepts clé du domaine. Il existe plusieurs éditeurs d'ontologies qui sont disponibles, et nous ne comptons pas nous lancer dans la création de tels éditeurs. Nous utiliserons l'éditeur Protégé [37] de l'université Stanford, qui a des fonctionnalités avancées pour la création d'ontologies et qui permet de les exporter en différents formats tels que RDF et OWL, ou dans une base de données relationnelle.

4.5.2 L'éditeur d'objets d'apprentissage

Comme nous l'avons dit, les LKO peuvent représenter n'importe quelle ressource. Ils se divisent en objets d'apprentissage initialement prévus comme ressources de formation devant être dispensées dans un STI (SCOs) et en objets qui proviennent de l'activité quotidienne de l'organisation (notes, mémos, emails, documents structurés, etc.).

Dans le cas des ressources d'apprentissage destinées à la formation, le concepteur de l'objet dispose d'un éditeur qui lui permet d'identifier les propriétés de l'objet, qui peut être un actif, un SCO, ou un contenu d'agrégation de manière à être conforme à la norme SCORM. Des outils de recherche (d'objets particuliers, d'objets similaires) et de réutilisation d'objets doivent être prévus, de même que des mécanismes d'exportation et d'importation de cours ou d'objets d'apprentissage à partir de leur contenu d'agrégation (document XML).

Par ailleurs, nous avons indiqué qu'un document devait être structuré selon une ontologie de documents, qui permet de décrire sa structure et permet de retrouver plus efficacement le contenu d'un document. Pour ce faire, n'importe quel document devra pouvoir être décomposé en fragments de textes, qui seront des actifs (selon la terminologie de SCORM). Ces actifs ou fragments devront être reliés à des concepts du domaine, représentés dans l'ontologie du domaine. Cette décomposition du document en fragments intéressants du point de vue pédagogique sera effectuée par le concepteur du document, pourra servir ensuite à la recherche d'objets d'apprentissage ou d'actifs plus pertinents, et nous permettra ainsi de pallier au phénomène de boîte noire de certains actifs dans SCORM. Un SCO devra donc être constitué exclusivement à partir d'une composition d'actifs.

4.5.3 Le gestionnaire de méta-données

Nous avons dit que l'un des prérequis à une mémoire organisationnelle est son intégration à l'existant. Dans le cas de documents déjà existants, comme des documents Word ou des emails par exemple, le concepteur des documents se charge de leur adjoindre des méta-données basées sur un standard prédéfini. Etant donné que toute ressource de l'organisation peut être considérée comme un objet d'apprentissage, nous avons décidé que les méta-données seraient exprimées par le modèle LOM. Nous tenons toutefois à souligner qu'il est possible d'ajouter des méta-données propriétaires si besoin est, ou d'utiliser d'autres normes comme Dublin Core par exemple [25].

Le concepteur humain peut également créer des documents dans l'éditeur d'objets d'apprentissage sous forme de pages Web par exemple.

Ainsi, en même temps qu'il crée des ressources d'apprentissage, le concepteur doit également créer un document de méta-données décrivant la ressource d'apprentissage afin d'en faciliter la localisation et la réutilisation ailleurs. Les méta-données sont généralement désignées sous le vocable d'annotations sémantiques.

Pour la création des méta-données et leur rattachement à la notion de Web sémantique, nous avons le choix principalement entre les langages RDFS, DAML+OIL, et OWL. DAML+OIL et OWL s'appuient sur la syntaxe RDF en lui ajoutant une expressivité accrue. Par ailleurs, le standard SCORM utilise la norme LOM pour la définition des méta-données, et nous avons trouvé une spécification IMS utilisant RDF pour représenter la norme LOM : « RDF binding of LOM metadata » [38]. Dans un souci d'interopérabilité et de respect des standards, nous avons donc opté pour le langage RDF/RDFS, d'autant plus qu'il existe de nombreuses ontologies déjà construites dans ce langage. Nous utiliserons également RDF pour exprimer nos ontologies. Enfin, il reste à noter que nous ne pensons pas rencontrer de problème majeur si nous voulons un jour migrer nos formats en DAML+OIL ou en OWL. Il existe par exemple des outils qui permettent d'exporter une ontologie en l'un ou l'autre de ces formats [37].

Notons également que les éléments des méta-données seront exprimés par le biais du vocabulaire conceptuel défini dans les ontologies. Le module de méta-données devra donc comprendre une interface conviviale pour la saisie des méta-données, et leur sauvegarde sous format RDF, ainsi qu'un mécanisme de liaison avec le vocabulaire ontologique.

Les méta-données sont considérées comme *indépendantes du contexte* lorsqu'elles décrivent une ressource d'apprentissage sans tenir compte de l'ensemble particulier articulé autour d'une stratégie d'apprentissage déterminée. Ainsi, dans la norme SCORM, « les méta-données propres à une stratégie d'apprentissage particulière sont des méta-données *spécifiques au contexte* et sont incorporées à la hiérarchie du contenu. Les méta-données *indépendantes du contexte* désignent habituellement les enregistrements de méta-données autonomes inaltérables désignant les actifs numériques, les objets de contenu ou les ensembles d'objets. » [66].

Il existe toujours un compromis à faire entre la notion de contexte et la notion de réutilisation. En effet, plus une ressource est bornée à un contexte spécifique, moins elle est réutilisable et vice-versa. Toutefois, nous pensons que dans le domaine de l'organisation, il est hautement important de conserver l'aspect de contexte, car il fait

également partie du processus qui a amené à la création de telle ou telle ressource, ou à la prise de telle ou telle décision. C'est la notion de contexte, au niveau de l'organisation, qui permet la préservation de la valeur de la connaissance dans le temps. Nous avons donc décidé de déterminer, pour chaque ressource d'apprentissage, dans quel contexte elle doit être utilisée ou appliquée, et dans quel contexte elle est créée. Cette information devra figurer dans les méta-données et le fichier annoté (voir section 4.5.4) associé à la ressource d'apprentissage.

Notons qu'il existe plusieurs éditeurs d'objets d'apprentissage de type SCORM, incluant des créateurs de méta-données conformes également à SCORM, comme par exemple l'éditeur « Reload » qui est « open-source » [91], « Moodle » [93], ou encore « DOKEOS » [94]. Il existe aussi des « plugins » permettant d'associer des méta-données à des documents de type Word, PDF, etc. [92]. Il est possible que nous adaptions et utilisions le code source de ces projets, s'il est disponible, pour nous aider dans la création de nos propres éditeurs. Mais nous ne comptons pas les utiliser intégralement, car ces derniers ne font pas de lien avec des ontologies, et n'incluent pas des capacités d'annotations comme nous entendons le faire (voir ci-dessous).

4.5.4 Le gestionnaire d'annotations libres

La mémoire organisationnelle peut devenir un monde annoté, qui offre des possibilités sémantiques accrues. Si cette annotation est convenablement réalisée, des logiciels (agents ou autres) peuvent exploiter ces annotations et effectuer des inférences pour assister les utilisateurs dans leur exploitation de cette mémoire. C'est dans cet esprit que nous avons conçu le gestionnaire d'annotations libres, qui a pour objectif d'offrir une couche sémantique supplémentaire à celle des méta-données. Ainsi en plus des annotations sémantiques (ou méta-données), nous voulons pouvoir gérer ce qu'on appelle des annotations libres.

Par annotation libre, nous entendons les commentaires, notes, explications ou n'importe quel type de remarque rattachés à un document ou à une portion de document, sans altérer ce dernier [95].

Selon différents chercheurs [96, 97, 98], la lecture de documents ne doit pas être une activité passive, mais doit supposer un engagement actif et une pensée critique pour aboutir à une véritable compréhension de la connaissance contenue dans le document. L'activité d'annotation d'un document permet au lecteur de se créer une représentation interne de son contenu, par le biais de surlignage ou de notes créées en marge du document. De manière générale, l'annotation permet de personnaliser le document, cela en donne une interprétation personnelle et peut servir à différentes fonctions comme à discuter d'un texte, à servir d'outil de relecture ou encore à servir d'outil de correction comme c'est le cas lors de la correction d'un devoir sur un support papier par exemple.

Dans notre projet, un gestionnaire d'annotations libres permettra de créer, pour chaque ressource d'apprentissage, un ou plusieurs fichiers d'annotation également exportés sous format RDF, et qui seront référencés dans la méta-donnée Annotation de la norme SCORM. Un fragment du document sera choisi par le concepteur de l'annotation, et sera relié à des concepts de l'ontologie du domaine par un module de représentation

sémantique. Ce module servira essentiellement à créer une sorte de carte des concepts représentés dans l'annotation. L'ensemble des fragments créés au cours d'un processus d'annotation pourra être comparé aux fragments créés par le concepteur du document, et permettra de retracer certaines incompréhensions du lecteur du document, ou de l'apprenant en cours d'apprentissage.

Lorsqu'un usager aura accès au document, il pourra également en consulter les annotations, chargées à partir d'un ou plusieurs serveurs d'annotations. Ces annotations pourront être visualisées sous leur forme textuelle, mais également sous leur forme graphique (carte de concepts). Notons que comme exemples d'outils d'annotation, nous pouvons citer SHOE [88], Annotea [89] ou encore AeroDAML [90].

4.5.5 Le gestionnaire de compétences

Une compétence dans notre système est décrite en fonction de la spécification IMS RDCEO [44]. Elle est liée à un ensemble de « Learning Knowledge Objects ». Ce module permet la gestion des compétences (création, modification, suppression) et leur rattachement aux LKO. Il permet également de faire le lien avec les membres de l'organisation.

La figure suivante permet d'indiquer comment les différentes ontologies de notre projet sont reliées, et de quelle manière un document peut être structuré, annoté et rattaché à des compétences.

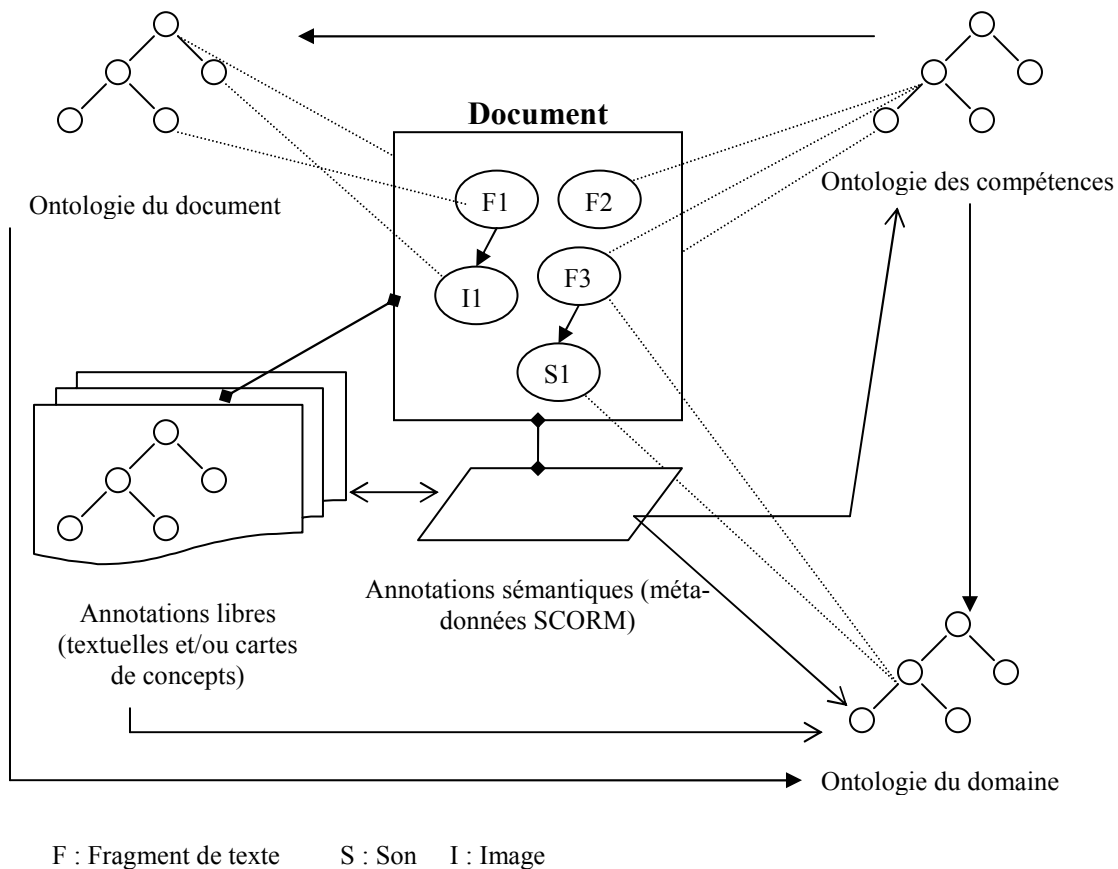


Figure 9 : Structuration d'un document dans notre système

4.6 Capture de la connaissance

A ce niveau, il s'agit de retrouver l'expertise que possède l'organisation.

4.6.1 Le localisateur d'expertise

A partir des cartes de connaissance et de compétences, il est possible d'aller rechercher l'expertise désirée. Puisque les systèmes de « knowledge management » et de eLearning sont intégrés, il est également possible de capturer l'expertise d'un membre ou d'une collectivité dans le temps. En effet, les ressources créées par ce membre ou cette collectivité, les LKO qu'ils ont suivis dans une session d'apprentissage, les activités auxquelles ils ont pris part, tous ces processus sont répertoriés et permettent de déterminer le niveau actuel de connaissance et de contribution à la connaissance. On peut aussi imaginer des mécanismes de recherche de membres ayant des intérêts similaires, pour trouver des communautés de pratique adéquates par exemple, ou trouver un membre ayant un rôle similaire, etc.

4.6.2 Le module de validation

Lorsqu'un LKO ou un concept d'ontologie est créé ou annoté par un membre de l'organisation, il devient un objet candidat à un stockage dans la mémoire organisationnelle collective permanente. En effet, notre architecture est dotée d'une sorte de mémoire à court terme, qui permet de contrôler l'utilité d'un LKO avant sa catégorisation comme connaissance collective. Ce mécanisme permet de contrôler la quantité et la qualité des données stockées. Ce processus de validation est effectué au moyen de l'appréciation des membres de l'organisation sur son importance, et/ou par sa fréquence d'utilisation. Nous voulons aussi explorer l'utilisation d'algorithmes génétiques pour la survie de documents [73]. Par ailleurs, on peut prévoir une validation finale par un intervenant humain.

4.6.3 L'analyseur d'annotations

Si la mémoire collective est un monde annoté, il importe de pouvoir tirer profit de ces annotations. Plusieurs individus, que ce soit lors de leurs activités quotidiennes dans l'organisation, ou lors de sessions de formation, peuvent annoter le même document. On se retrouve donc avec plusieurs annotations de la communauté. L'analyseur d'annotation permet d'organiser ces annotations, et en offre différentes vues : par date, par membre, par LKO. Ces annotations ont un indicateur qui indique leur fréquence de lecture et l'utilité que leur assignent les membres. Un intervenant humain peut alors déterminer si ces annotations sont toutes importantes et remanier celles qui appartiennent à l'espace public (sans modifier celles reliées au modèle de l'apprenant). Ce n'est qu'au terme de ce processus que les annotations appartiennent à la mémoire collective à long terme. Notons d'ailleurs que ce processus doit intervenir de manière cyclique.

4.7 Organisation de la connaissance

Ainsi que nous l'avons précédemment mentionné, les connaissances sont organisées autour d'ontologies (organisation, compétences, document, domaine) qui sont mises à jour en fonction des activités des membres de l'organisation.

La carte des connaissances

Les connaissances contenues dans la mémoire organisationnelle doivent pouvoir être visualisées. Un mécanisme d'exploration de l'ontologie doit donc être prévu, selon deux modes : par mot-clé, et par exploration de la hiérarchie des concepts de l'ontologie. C'est ce qui est effectué par l'explorateur d'ontologie. Par ailleurs, on peut penser à implanter différentes vues de la connaissance de l'organisation : par membre, par rôles, par compétences, par concept, etc. On doit pouvoir également effectuer des requêtes de filtrage d'information au niveau de l'édition de contenu, par exemple lors de la création d'un document, on doit pouvoir rechercher des documents similaires recouvrant les mêmes concepts, ou des projets similaires dans l'historique des projets, etc. En effet, il est possible qu'un membre ait besoin, au cours de son activité quotidienne, de découvrir quels documents ont été écrits à propos de tel ou tel sujet. Il doit donc disposer de mécanismes de recherche documentaire. Dans notre système, ces mécanismes vont se baser sur la fragmentation des SCOs en actifs et la liaison de ces derniers aux concepts de l'ontologie. Les mots-clé utilisés par le membre devront donc être présents dans l'ontologie. La recherche devra également tenir compte des annotations des membres, qui retracent leurs expériences et compétences, et ne pas se borner seulement aux annotations sémantiques. Un usager pourra ainsi retrouver les documents annotés par tel ou tel membre, ce qui peut être intéressant lorsque l'on connaît l'expertise et le niveau d'expertise de ce membre. Comme les données seront stockées sous format RDF mais également dans une base de données relationnelle, nous prévoyons d'effectuer des requêtes en langage SQL, et probablement en langage RDQL (Ce dernier étant un langage de requêtes pour les documents RDF).

4.8 Dissémination de la connaissance

La dissémination de la connaissance au sein de l'organisation peut être effectuée par le biais de différents mécanismes comme les portails de connaissance, les agents intelligents, les systèmes de recommandation, les engins de recherche et les navigateurs de carte de connaissance.

Les mécanismes que nous utilisons dans notre recherche sont de deux types : un mécanisme de dissémination de connaissance explicite, concrétisé par des sessions de formation personnalisées (module STI), et un mécanisme de partage de connaissance informelle concrétisé par un forum avancé.

4.8.1 Le Système Tutoriel Intelligent

4.8.1.1 L'analyseur d'écart de compétences

Ce module détermine, à partir des compétences cibles, et de l'historique des activités effectuées par l'apprenant, quels sont les objectifs d'apprentissage à atteindre. Il passe alors cette information au générateur de plans.

4.8.1.2 Le générateur de plans de formation

Une fois les objectifs d'apprentissage déterminés, le générateur de plans de formation recherche les objets d'apprentissage enrichis (LKO) liés à l'objectif d'apprentissage. Il peut s'agir de fragments de documents, de n'importe quelle sorte d'actifs, ou de contenus d'agrégation. A partir du modèle de l'apprenant, il adapte ensuite le plan généré : si certains LKO ont déjà été suivis par l'apprenant dans le cadre d'autres objectifs

d'apprentissage, il les supprime. Par ailleurs, si certains prérequis n'ont pas encore été suivis par l'apprenant, ils sont ajoutés au plan de formation. Le plan généré se compose ensuite aussi bien d'objets d'apprentissage que de documents, emails, etc. Notons que les documents provenant de l'activité quotidienne sont clairement indiqués comme ressources émergeant de l'effort collectif, et à ce titre, proposées comme suggestions de lecture. Le plan ainsi généré pallie à un autre inconvénient du standard SCORM, qui ne permet que des structures statiques d'agrégations de contenu.

4.8.1.3 L'environnement de formation

L'environnement de formation se compose principalement d'un module de lecture, qui permet aussi bien de lire le contenu de l'objet d'apprentissage que les annotations des membres. Notons que le module de lecture doit disposer d'un navigateur qui lance les objets d'apprentissage de type SCO de manière conforme à la norme SCORM, ainsi qu'expliqué en section 2.1.5.3. Les annotations peuvent être triées par vues : par concepteur d'objet, par date, par membres, par appartenance à la mémoire à long terme, ou aux LKO candidats. Ces annotations représentent des explications en contexte de l'information présentée. L'apprenant peut également ajouter sa propre annotation dans le gestionnaire d'annotation, qui sert aussi bien côté édition que côté exploitation. Afin de pouvoir relier ses propres annotations à l'ontologie du domaine, l'apprenant dispose également d'un module de représentation sémantique : ce module fait appel à un explorateur d'ontologie, pour faire le lien entre les annotations et les concepts existants, et à un éditeur d'ontologie pour le cas où le concept n'existerait pas. Cette mise à jour de l'ontologie reste encore une fois locale, avant de passer par le module de validation et d'être accessible à la mémoire à long terme.

Par ailleurs, l'apprenant est libre de naviguer dans le plan de formation à sa guise. En effet, l'une des critiques adressées aux STI réside dans le fait d'obliger un apprenant à suivre une structure de cours préétablie, au moyen d'un bouton « suivant », sans autre possibilité d'exploration du contenu [72]. L'apprenant est à même de recommencer la lecture d'un module ou ses exercices autant de fois qu'il le désire. Nous comptons sauvegarder tout l'historique de ses activités, y compris le temps passé à lire un document, et le temps passé à l'annoter. Le modèle de l'apprenant est donc un modèle de recouvrement de la mémoire collective, ou plus exactement, de parties de la mémoire collective, en fonction du rôle de l'apprenant dans l'organisation.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, un STI comporte également un module pédagogique qui met en œuvre des stratégies pédagogiques. Dans notre cas, la stratégie pédagogique est incluse dans chaque LKO (ou SCO enrichi) présenté à l'apprenant. Il faut donc voir ce LKO comme un objet de connaissance autosuffisant, ayant ses propres règles pédagogiques, et l'objectif du STI est de présenter l'ensemble des LKO nécessaires à l'apprenant.

Afin de situer l'apprenant par rapport aux autres, il est également possible de prévoir un outil de mesure de l'écart entre l'annotation de l'apprenant et celle du concepteur du document, et de l'écart avec les autres apprenants, et de prévoir des mécanisme de discussion entre les apprenants concernant leurs annotations. Ce type de modélisation du modèle de l'apprenant fait partie de ce que l'on appelle les modèles ouverts « Open Learner Models » [74]. Enfin, si des questions ou problèmes subsistent, l'apprenant peut faire appel au localisateur d'expertise, décrit en section 4.6.1.

4.8.1.4 *Les outils RBC*

Le raisonnement à base de cas est fondamental à la capitalisation de l'expertise dans l'organisation et peut être intégré à plusieurs niveaux. Puisque les compétences, les membres et les LKO sont dotés d'une structure formelle, articulée autour d'ontologies, nous pensons utiliser le raisonnement à base de cas pour la recherche de similarité (compétences similaires, membres ayant des connaissances similaires, plans de formation similaire réutilisables etc.). La fragmentation des documents en actifs SCORM peut permettre de définir des cas plus spécifiques encore en terme de concepts utilisés. Par ailleurs, il est possible que cette mesure de similarité soit sémantiquement augmentée par les mécanismes d'inférence que permettent les ontologies. A ce propos, si l'expressivité du modèle RDF se révèle insuffisante, il sera possible de migrer vers des langages de représentation plus évolués tels que DAML + OIL et OWL, ainsi que le permet l'éditeur Protégé de l'Université Stanford [37].

4.8.2 Le forum avancé

Le forum avancé est un forum normal, où il est possible de créer des communautés de pratique informelles, afin de discuter d'un sujet donné. Le forum représente le moyen de disséminer la connaissance tacite. La valeur ajoutée de ce forum est liée au rattachement de son contenu aux ontologies de l'organisation. Il devient alors plus facile de rechercher des informations données. Il peut être utilisé aussi bien lors de sessions d'apprentissage que lors d'activités quotidiennes dans l'organisation.

4.9 Architecture Technique

Dans le cadre de notre architecture technique, nous voulons explorer différentes technologies basées sur les services Web, et plus précisément les services web sémantiques et les services grid.

4.9.1 Les services Web

Les services Web sont des services logiciels identifiés par une URI, et qui sont décrits, découverts et utilisés via des protocoles Web. Ces protocoles incluent SOAP, un protocole de messages basé sur XML pour la communication avec les Services Web, WSDL, le langage de description de la syntaxe des messages, et enfin des technologies pour la découverte des services Web, telles que UDDI et les registres ebXML.

Un registre UDDI ressemble à un répertoire, en l'occurrence de Services Web. Les Services Web constituent eux-mêmes des ressources de l'organisation, et une carte de connaissances de ces ressources est indispensable. L'utilisation de tels registres couplés à SOAP et WSDL permet de réduire les coûts d'intégration et le temps de développement d'applications. Par ailleurs, la nouvelle version du langage WSDL préconisé par le W3C permet de définir la sémantique des termes utilisés dans une description WSDL en référençant des ontologies RDF, rejoignant ainsi l'idée de l'automatisation dans la recherche des services Web adéquats.

4.9.2 Les services Web sémantiques

La prolifération de services Web dans le futur va induire le même phénomène que la prolifération de pages Web actuelles : ces services vont devenir difficiles à retrouver et à découvrir. C'est là qu'interviennent les Services Web Sémantiques. Plusieurs initiatives

sont prises pour le développement de tels services sémantiques, telles que le Semantic Web-enabled Web Service (SWWS) [45], la modélisation de services DAML-S [48], ou l'orchestration de Services Web [46, 47]. Nous voulons également investiguer cette piste de recherche de manière à tendre vers des services intelligibles pour des machines de manière automatique, comme la découverte dynamique de services, et la composition de services.

4.9.3 La grille d'apprentissage

Une autre idée intéressante et complémentaire commence à être évoquée dans les milieux de recherche : l'idée d'une grille d'apprentissage : « Learning Grid ». Le « grid computing » sert normalement à utiliser la puissance de calcul de plusieurs ordinateurs en réseau pour traiter des problèmes informatiques. Selon [51], « Les évolutions actuelles du e-Learning sont de plus en plus largement influencées par le développement à grand échelle de services "à la carte" pour améliorer les contenus et la téléprésence (enhanced learning). Dans cette perspective, le paradigme du « Learning Grid » vise plus à exploiter l'intelligence collective et les usages personnalisés dans les services du Grid plutôt qu'à tirer profit des capacités calculatoires et/ou des effets démultiplicateurs du connexionnisme. » C'est l'approche adoptée dans notre travail, puisque notre architecture vise à créer un modèle intégré de l'intelligence collective dans une organisation.

Par ailleurs, la grille d'apprentissage représente le lieu idéal pour la création de communautés virtuelles permettant un apprentissage informel basé sur les discussions et le dialogue [83], et rejoignant ainsi l'idée de communautés de pratique de Wenger [82, 85], et l'idée d'échanges de connaissances tacites tels que nous les concevons dans notre projet. Dans l'idée de la grille, on tend de plus en plus à voir l'apprentissage comme un processus social, et l'un des objectifs de la grille est la création dynamique et sécuritaire de communautés et de groupes d'individus et d'institutions coordonnés, une sorte d'organisateur social, en somme, basé sur des objectifs d'apprentissage communs par exemple [83, 84].

4.9.4 Vers une grille d'apprentissage de services sémantiques

Nous avons présenté en vrac les concepts de services Web, de services Web sémantique, et de grille d'apprentissage. Notre vision est que tous ces concepts se rejoignent et se complètent : les services Web sont la composante technique qui permet la réalisation de services Web sémantiques, et ces derniers, lorsqu'ils sont couplés à une ontologie, peuvent être localisés sur une grille d'apprentissage. Cette dernière doit par ailleurs s'appuyer sur l'architecture OGSA (the Open Grid Services Architecture). En effet, la notion de grille apparaît actuellement comme une vision complémentaire au Web sémantique [100, 101, 102]. La grille doit pouvoir bénéficier des méta-données du Web sémantique aussi bien au niveau de la recherche de ressources distribuées qu'au niveau de son infrastructure intrinsèque (Grid middleware). C'est là qu'intervient l'architecture OGSA qui se base sur une approche par services (grid services) et sur le développement de vocabulaires et de méta-données communs pour la description, la découverte, et l'intégration de services [100].

A ce jour, notre idée est de réaliser tous les modules présentés dans ce rapport par le biais de services grid. Nous hésitons entre la description de ces services en langage WSDL, qui permet une description de plus bas niveau des services (décrits en fonction de l'adresse IP

de la machine contenant le service et le port d'accès au service) et le langage DAML-S [48], qui offre une modélisation de services de plus niveau, organisée autour d'une ontologie de services [99] ainsi que le montre la figure 10. Nous penchons plus pour la dernière alternative qui nous permettrait là encore d'être conformes à la vision du Web sémantique centrée sur les ontologies et de créer une description de plus haut niveau qu'avec le WSDL. La modélisation de services en DAML-S pourra nous permettre d'explorer les domaines suivants :

La découverte automatique de services : les composants de type services web devront pouvoir être localisés dynamiquement sur la grille, et seront ainsi considérés dans les mécanismes de recherche, au même titre que lors de la recherche de documents par exemple ;

L'invocation automatique de services : les services devront pouvoir être déclenchés sans une intervention humaine obligatoire et préalable. Ainsi par exemple, après la détection ou le déclenchement d'un besoin en compétence, le service concerné ne devra pas attendre une demande de génération de plan de formation pour les membres concernés par la compétence en question. L'analyse d'écart de compétence devra donc être appelée automatiquement de même que le mécanisme de génération de plan de formation. Cette invocation peut être très intéressante car on peut même imaginer que ce service de génération communiquera avec un service de gestion de temps du membre afin de déterminer à quel moment une telle formation pourrait être dispensée et en informer ensuite le membre concerné, réalisant ainsi le « just in time, just enough learning » dont nous avons parlé dans notre introduction.

La composition automatique de services : nous pensons prévoir un ensemble de services à la granularité assez fine, comme par exemple un service de création de compétence, un service de liaison des compétences à des objets d'apprentissage, etc. Le déclenchement d'un besoin en compétence devra donc dynamiquement découvrir ces deux services.



Figure 10 : Ontologie de services de haut niveau [99]

Notons que DAML-S et OGSA sont complémentaires, dans le sens où dans ce cadre, DAML-S sert comme langage de description de l'ontologie des services présents sur la grille, tandis que OGSA représente une architecture globale qui intègre les technologies clé issues du GRID et les mécanismes de services web afin de créer un « framework » distribué permettant le partage des ressources d'une machine sous forme de « grid services ».

5 Conclusion

Dans cette recherche, notre objectif est d'arriver à capitaliser les connaissances, compétences, et l'effort collectif et individuel au sein d'une organisation. Pour ce faire, nous proposons une architecture pour la gestion des connaissances et compétences, permettant de générer des plans de formations ciblés au moment opportun. L'exploitation du modèle SECI permet par ailleurs de cibler les différents types de connaissances présents au sein de l'organisation (tacite, explicite, individuelle, collective), et de favoriser leur partage et réutilisation. Enfin, notre gestion des connaissances et nos mécanismes de formation se basent sur les derniers standards au niveau Web sémantique et eLearning, ce qui permet de créer une infrastructure interopérable, des connaissances réutilisables, et qui s'intègre dans le cadre des services Web sémantiques et du concept novateur de grille d'apprentissage. Notre contribution principale réside dans l'intégration et l'exploitation combinée des domaines des STI/elearning et du «knowledge management». Notre apport à la communauté STI/eLearning est de permettre de s'appuyer sur une infrastructure sémantique pour générer des formations plus ciblées et pertinentes tirant parti de l'expérience collective, tandis que notre apport à la communauté «knowledge management» est d'arriver à trouver une finalité à la gestion des connaissances qui prenne en compte tous les acteurs et membres de l'organisation ainsi que l'évolution de leurs compétences et connaissances dans le temps. Nous pensons que les mécanismes mis en place permettront de dépasser la limite la plus importante des systèmes de «knowledge management», à savoir la réticence des membres de l'organisation à partager leurs connaissances. Nous contribuons également à des mécanismes de recherche documentaire plus pertinents dans l'organisation, en nous appuyant sur la structure conceptuelle définie par le standard SCORM, sur notre structuration du document et sur des ontologies. Nous permettons aussi de pallier à l'inconvénient majeur de SCORM en explicitant et clarifiant le contenu des documents et des actifs, et ce par le biais d'annotations sémantiques et libres. Notre module de représentation sémantique permet au lecteur de construire une représentation externe d'un document et de contribuer à diffuser ses connaissances tacites et explicites par le biais d'annotations. L'utilisation de telles annotations, couplées à des ontologies, permet là encore d'enrichir la mémoire collective. Enfin, notre intégration des derniers standards eLearning à un Système Tutoriel Intelligent, et la mise en place d'une grille sémantique d'apprentissage au sein de l'organisation nous permettent de créer une architecture cohérente et complète.

6 Plan de réalisation

Description de la tâche	Durée en mois
Définition des ontologies	2 mois
Exploration des algorithmes génétiques pour la définition de l'utilité de documents et de la notion de contexte	1 mois
Exploration des principes de la grille d'apprentissage et des Services Web sémantique	1 à 2 mois
Spécification et développement des modules de création de la connaissance	3 à 4 mois
Spécification et développement des modules d'organisation de la connaissance	1 mois
Spécification et développement des modules de dissémination de la connaissance	2 à 3 mois
Spécification et développement des modules de capture de la connaissance	2 mois
Expérimentation	2 à 3 mois
Rédaction de la thèse	3 à 4 mois

7 Bibliographie

- [1] Rashmi H. Assudani (2005). Catching the chameleon: understanding the elusive term “knowledge”. Emerald Group Publishing Limited, Journal of Knowledge Management, Vol. 9, No. 2, pp. 31-44.
- [2] Brown, J.S. and Duguid, P. (1991). Organizational learning and communities of practice: towards a unified view of working, learning and innovation, Organization Science, Vol. 2, pp. 40-57.
- [3] Lave J. and Wenger E. (1991). Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation, Cambridge University Press.
- [4] Cook, S.D.N, and Brown J.S. (1999). Bridging epistemologies: The generative dance between organizational knowledge and organizational knowing, Organization Science, Vol. 10, No. 4, pp. 381-400.
- [5] Polanyi, M. (1966). The Tacit Dimension, Anchor Books, New York, NY.
- [6] Winter, S. (1988). Knowledge and competence as strategic assets, in Teece, D. (Ed.), The Competitive Challenge, Ballinger, Cambridge, pp. 159-84
- [7] Tsoukas, H. (1996). The firm as a distributed knowledge system: a constructionist approach, Strategic Management Journal, Vol. 17, pp. 11-25.
- [8] Stenmark Dick (2001). Leveraging Tacit Organisational Knowledge, Journal of Management Information Systems, Vol. 17, No. 3, pp. 9-24.
- [9] Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of knowledge creation, Organization Science, Vol. 5, No. 1, pp. 14-37.
- [10] Spender, J. C. (1996). Making knowledge the basis of a dynamic theory of the firm, Strategic Management Journal, Vol. 17, pp. 45-62.

- [11] Conklin E. J. (1996). Designing Organizational Memory: Preserving Intellectual Assets in a Knowledge Economy, PhD, Group Decision Support Systems.
- [12] Prax Jean-Yves (2000). Le guide du knowledge management, Concepts et pratiques du management de la connaissance, Dunod, Paris.
- [13] Nonaka I. and Takeuchi H. (1995). The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation, Oxford University Press.
- [14] Le modèle SECI.
Disponible à : http://www.12manage.com/methods_nonaka_seci.html.
- [15] Blackler, F. (1995). Knowledge, knowledge work and organizations: an overview and interpretation, Organization Studies, Vol. 16, No. 6, pp. 1021-46.
- [16] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontologies, Knowledge Acquisition, Vol. 5, No. 2, pp.199-220.
- [17] Davenport, T. H., and Prusak L. (1998). Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know, Cambridge, MA, Harvard Business School Press.
- [18] Hedlund, G. (1994), A Model of knowledge management and the NForm Corporation, Strategic Management journal, Vol. 15, pp. 73- 90.
- [19] Swan, J., Newell, S., Scarbrough, H., and Hislop, D. (1999). Knowledge management and Innovation: Networks and Networking, Journal of Knowledge Management, Vol. 3, No. 4, pp. 262-275.
- [20] Skyrme, D. (1997). Knowledge Management: Making Sense of an Oxymoron, Disponible à : <http://www.skyrme.com/insights/22km.htm>.
- [21] Rus, I. and Lindvall, M. (2002). Knowledge management in Software Engineering, IEEE Software, Vol. 19, No. 3, pp. 26-38.
- [22] Lethbridge T. C. (1994). PhD Thesis, Practical Techniques for Organizing and Measuring Knowledge, School of Graduate Studies and Research, University of Ottawa.
- [23] Baroni de Carvalho, R. and Ferreira, M. A. T. (2001). Using information technology to support knowledge conversion processes, Information Research, Vol. 7, No. 1.
- [24] Takeuchi, H. and Nonaka, I. (2000). Theory of organizational knowledge creation, in Knowledge Management, Classic and contemporary works, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp.139-182
- [25] Dublin Core Metadata initiative. Disponible à : <http://dublincore.org/>
- [26] Le modèle de référence SCORM (Sharable Content Object Reference Model) (2001) Version 1.2 - Aperçu de SCORM – Disponible à : <http://www.adlnet.org>.
- [27] Le modèle de référence SCORM (Sharable Content Object Reference Model) (2001) Version 1.2 – L’environnement d’exécution de SCORM – <http://www.adlnet.org>.
- [28] IMS Content Packaging Specification Version 1.1.2, Disponible à : <http://www.imsglobal.org/content/packaging/index.html>.
- [29] LOM (Learning Objects Metadata), Disponible à : <http://ieeeltsc.org/wg12LOM/>.
- [30] IMS Meta-data Specification Version 1.2. Includes: IMS Meta-data Information Model, IMS Meta-data XML Binding Specification, and IMS Meta-data Best Practice and Implementation Guide Disponible à : <http://www.imsglobal.org/metadata/>.
- [31] Flores, F., Graves, M., Hartfield, B. and Winograd, T. (1988). Computer Systems and the Design of Organizational Interaction, ACM Transactions on Information Systems, Vol. 6, No. 2, USA, pp. 153-172.

- [32] Winograd, T. and Flores, F. (1986). Understanding computers and cognition, a new foundation for design, Addison-Wesley, Boston, 1986.
- [33] Stenmark D. (2000). Turning Tacit Knowledge Tangible, In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS33), Maui, Hawaii.
- [34] Abecker, A., Bernardi, A., and Sintek, M. (1999). Proactive Knowledge Delivery for Enterprise Knowledge Management, Lecture Notes In Computer Science, Vol. 1756, Proceedings of the 11th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, Learning Software Organizations, Methodology and Applications, pp. 103 – 117.
- [35] Gandon, F. (2002). A Multi-Agent Architecture For Distributed Corporate Memories, Third International Symposium, From Agent Theory to Agent Implementation, at the 16th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2002), Vienna, Austria (EU), pp. 623-628.
- [36] Van Elst, L., and Abecker, A. (2002). Domain Ontology Agents for Distributed Organizational Memories. In Rose Dieng-Kuntz et al., Knowledge Management and Organizational Memories, Kluwer Acad. Publ.
- [37] L'éditeur d'ontologies Protégé. Disponible à : <http://protege.stanford.edu/>.
- [38] RDF binding of LOM metadata. Disponible à : <http://kmr.nada.kth.se/el/ims/metadata.html>.
- [39] Zouaq A., Frasson C. and Rouane K. (2000). The Explanation Agent, Intelligent Tutoring Systems, pp.554-563.
- [40] Zouaq A. (2000). Réalisation d'un agent pédagogique explicatif, Mémoire de Maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada.
- [41] Brandon-hall, Learning Management and Knowledge Management, is the holy grail of integration close at hand? Disponible à : <http://www.brandon-hall.com>.
- [42] St-amant G. E., Renard L. (2003). Aspects théoriques d'un cadre de développement des capacités organisationnelles, Working Paper, No. 0304-02, Chaire en gestion des compétences, École des sciences de la gestion, Université du Québec à Montréal.
- [43] Conceptual Reference Model for Competencies and Related Objects (2005), Preparatory technical report, ISO/IEC JTC 1/SC 36 N 1037. Disponible à : <http://jtc1sc36.org/doc/36N1037.pdf>.
- [44] IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objective Specification (RDCEO). Disponible à : <http://www.imsglobal.org/competencies/>
- [45] Semantic Web-enabled Web Service (SWWS). Disponible à : <http://swws.semanticweb.org>.
- [46] Leymann F. (2001). Web Services Flow Language (WSFL). Disponible à : <http://www-306.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSFL.pdf>.
- [47] Thatte S. (2001). XLANG. Disponible à : http://www.gotdotnet.com/team/xml_wsspecs/xlang-c/default.htm.
- [48] DAML-S. Disponible à : <http://www.daml.org/services/owl-s/>.
- [49] Content Object Repository Discovery and Registration/Resolution Architecture (CORDRA). Disponible à : <http://cordra.lsal.cmu.edu/>.
- [50] Content Object Repository Discovery and Registration/Resolution Architecture (CORDRA). Disponible à : <http://www.lsal.cmu.edu/lsal/expertise/projects/cordra/intro/intro-v1p00.pdf>.

- [51] Gouardères, G. (2004). GRID Learning Services, disponible à : http://archive-educite.ccsd.cnrs.fr/docs/00/02/76/33/PDF/G_Gouarderes.pdf.
- [52] Yimam-Seid, D. and Kobsa, A. (2003). Expert Finding Systems for Organizations: Problem and Domain Analysis and the DEMOIR Approach, *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-24.
- [53] Agostini, A., Albolino, S., Boselli, R., De Michelis, G., De Paoli, F., and Dondi, R. (2003). Stimulating Knowledge Discovery and Sharing, *Conference on Supporting Group Work Proceedings of the 2003 international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*, Sanibel Island, Florida, USA, pp. 248 – 257.
- [54] Suthers, D., Weiner, A., Connelly, J., and Paolucci, M. (1995). Belvedere : Engaging students in critical discussion of science and public policy issues, *7th World Conference on Artificial Intelligence in Education (AI-ED 95)*, Washington, DC.
- [55] Murray, T. (1999). Authoring Intelligent Tutoring Systems, *An Analysis of the State of the Art. International Journal of AI and Education*, Vol. 10, no. 1, pp. 98-129.
- [56] Burns, H.L., Capps C.G. (1988). *Foundations of Intelligent Tutoring Systems: An Introduction*. Foundations of Intelligent Tutoring Systems, Polson M.C., Richardson J.J.(eds), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 1-19.
- [57] Anderson , J.R. (1988). The Expert Module. *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. Polson M.C., Richardson J.J.(eds), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 21-53.
- [58] McCalla, G.I., Greer, J.E. (1991). Granularity-Based Reasoning and Belief Revision in Student Models. *The Key to Individualised Knowledge-Based Instruction*. Greer J.E., McCalla G.I. (eds), Nato ASI Series.
- [59] VanLehn, K. (1988). Student Modeling. *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Polson M.C., Richardson J.J.(eds), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 55-78.
- [60] Clancey, W.J. (1983). GUIDON, *Journal of Computer-Based Instruction*, Vol. 10, No. 1, pp. 8-14.
- [61] Burton, R.R. and Brown, J.S. (1982). An investigation of computer coaching for informal learning activities. *Intelligent Tutoring Systems*, Sleeman D. and Brown J. (Eds), Orlando, FL, Academic Press.
- [62] Half, H.M. (1988). Curriculum and Instruction in Automated Tutors, *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Polson M.C., Richardson J.J.(eds.), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp.79-108.
- [63] Burton, R.R. (1988). The Environment Module of Intelligent Tutoring Systems. *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Polson M.C., Richardson J.J.(eds), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 109-142.
- [64] Miller, J.R. (1988). The Role of Human-Computer Interaction in Intelligent Tutoring Systems, *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Polson M.C., Richardson J.J.(eds), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 143-189.
- [65] Huang, K-T (1998). Capitalizing on intellectual assets, in *IBM Systems Journal*, Vol. 37, No. 4, pp. 570-583.
- [66] Le modèle de référence SCORM^{MC} (Sharable Content Object Reference Model) (2001) Version 1.2 – Modèle d’agrégation du contenu SCORM. Disponible à : <http://www.adlnet.org>.

- [67] Brézillon, P. (1999). Context in Artificial Intelligence: A Survey of the literature. Disponible à : <http://www-poleia.lip6.fr/~brezil/Pages2/Publications/CAI1-99.pdf>.
- [68] Brézillon, P. and Pomerol, J.-Ch. (1996). Misuse and nonuse of knowledge-based systems: The past experiences revisited, Humphreys P. et al. (Eds.), Implementing Systems for Supporting Management Decisions, Chapman and Hall, pp. 44-60.
- [69] Brézillon, P. and Pomerol, J.-Ch (2001). Some comments about knowledge and context. Disponible à : <http://ftp.lip6.fr/lip6/reports/2001/lip6.2001.022.pdf>.
- [70] Anderson J.R. (1995). Cognitive psychology and its Implications, Freeman, New-York.
- [71] Choo, C.W. (1998). The Knowing Organization, Oxford, Oxford University Press.
- [72] Critique des systèmes de eLearning. Disponible à : http://learningarchitect.com/Graphics/PILOTed_200301.PDF.
- [73] Kuscı I. (2001). An Adaptive Approach to Organisational Knowledge Management, Knowledge and Innovation, Journal of the KMCI, Vol. 1, No. 2, disponible à : <http://www.iuj.ac.jp/faculty/ik/pubs/KuscıKIv1n2.pdf>.
- [74] Dimitrova V., Self J. and Brna P. (1999). The interactive maintenance of open learner models, in S.P. Lajoie and M. Vivet Eds., Artificial Intelligence in Education, Amsterdam, IOS Press, pp. 405-412.
- [75] AICC. Disponible à : <http://www.aicc.org/>
- [76] Brown J. S. and Burton R. R. (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. Cognitive Science, Vol. 2, pp.155-191.
- [77] Nkambou, R. (1996). Modélisation des connaissances de la matière dans un Système Tutoriel Intelligent : modèles, outils et applications, Montréal, Thèse de PhD en Informatique, Université de Montréal.
- [78] Ausserhofer, A. (2002). eLearning and Knowledge Management towards Life-long Education. Disponible à : <http://www.know-center.tugraz.at/en/divisions/publications/pdf/aausser2002-01.pdf>
- [79] Brockbank, B.J. (2001). Demystifying eLearning Portals, The Convergence of Enterprise Intelligence and Learning (White Paper). Disponible à : <http://knowledgemanagement.ittoolbox.com/browse.asp?c=KMPeerPublishing&r=%2Fpub%2FBB011002%2Epdf>
- [80] Rouane, K. (2004). Théorie et pratique de la construction humaine supervisée du sens, Montréal, Thèse de PhD en Informatique, Université de Montréal.
- [81] Luger, G. and Stubblefield, W (1998). Artificial Intelligence, Structure And Strategies For Complex Problem Solving, Addison-Wesley, Massachusetts, 3rd edition.
- [82] Wenger, E. (1998). Communities of Practice, Learning Meaning and Identity, Cambridge University Press, UK.
- [83] Nkambou, R. and Gouardères, G. (2005). Toward Learning Grid Infrastructures, to appear in Applied Artificial Intelligence Journal, September 2005, Taylor & Francis Group, 2005.
- [84] Gouardères, G., Yatchou, R., Nkambou, R. and Saber, M. (2005). The Grid-e-Card: An Architecture for Collective Intelligence Sharing on the Grid, to appear in Applied Artificial Intelligence Journal, September 2005, Taylor & Francis Group, 2005.
- [85] Wenger, E. (2000). Communities of Practice and Learning Systems, Organization, Vol. 7, No. 2, pp. 225-246.

- [86] Awad, E.M. and Ghaziri, H. M (2004). Knowledge Management, Prentice Hall, USA.
- [87] Nkambou, R., Lefebvre, B. and Gauthier, G. (1996). A Curriculum-Based Student Model for Intelligent Tutoring Systems, User Modeling, pp. 91-98.
- [88] Hendler, J., Berners-Lee, T., & Miller, E. (2002). Integrating Applications on the Semantic Web. Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol. 122, No.10, pp. 676-680.
- [89] Kahan J., Koivunen, M., Prud'Hommeaux, E., & Swick, R. (2001). Annotea: Open RDF Infrastructure for Shared Web Annotations. Paper presented at the WWW10 International Conference. 1-5 May, Hong Kong.
- [90] Kogut, P., & Holmes, W. (2001). AeroDAML - Applying Information Extraction to Generate DAML Annotations from Web Pages. Paper presented at the First International Conference on Knowledge Capture (KCAP 2001) - Workshop on Semantic Markup and Annotation, 21-23 October, Victoria, B.C., Canada.
- [91] L'éditeur SCORM Reload. Disponible à : <http://www.reload.ac.uk/>
- [92] L'API RSSCA. Disponible à : <http://www.scorm.com/SCORMProducts.php>
- [93] L'éditeur Moodle. Disponible à : <http://moodle.org/>
- [94] La plateforme DOKEOS. Disponible à : <http://www.dokeos.com/>
- [95] <http://annotation.semanticweb.org/Members/lago/AnnotationTool.2003-08-25.1258>
- [96] Denoue, L. (2000). De la création à la capitalisation des annotations dans un espace personnel d'informations. Thèse de PhD, Université de Savoie.
- [97] Adler, M., and van Doren, C. (1972). How to Read a Book, Simon and Schuster, New York, NY, Communications of the ACM, Vol. 38, No. 4, pp. 77-84.
- [98] Phelps, T. and Wilensky, R. (1997). Multivalent Annotations. In Proceedings of the First European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries, Pisa, Italy.
- [99] The DAML Services Coalition : Anupriya Ankolekar, Mark Burstein, Jerry R. Hobbs, Ora Lassila, David L. Martin, Sheila A. McIlraith, Srinu Narayanan, Massimo Paolucci, Terry Payne, Katia Sycara, Honglei Zeng. (2001). DAML-S: Semantic Markup For Web Services. Semantic Web Working Symposium, Stanford University, California, USA.
- [100] De Roure, D., Hendler, J. A. (2004). E-Science: The Grid and the Semantic Web. Intelligent Systems, IEEE, Vol. 19, No.1, pp. 65-71.
- [101] Foster I. (2001). Grid Technologies and Applications: Architecture and Achievements. International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics, 2001 (reprinted in Astronomical Data Analysis Systems and Software (ADASS) 2002).
- [102] Goble C. A and. De Roure D (2002). The Grid: an application of the semantic web, ACM SIGMOD Record, Vol. 31, pp. 65-70.