

Apprentissage de gestes techniques par une architecture multimedia ontologique

Azziz Anghour*, Myriam Lamolle*, Thinh Dong*, Chan Le Duc*, Guylain Delmas*

*LIASD - EA4383, IUT de Montreuil, Université Paris8
{ anghour, m.lamolle, dong, c.leduc, delmas } @iut.univ-paris8.fr,

Résumé. Nous nous proposons de concevoir une nouvelle plateforme d'apprentissage multimedia pour faciliter l'acquisition de compétences dans le contexte de métiers manuels. En particulier, cette nouvelle plateforme s'adresse à des apprenants qui n'apprécient pas les méthodes traditionnelles de formation et qui préfèrent principalement des supports vidéo comme ressources pédagogiques, personnalisées selon leurs propres préférences.

Pour l'apprenant, la plateforme fournit des recherches sémantiques à partir d'ontologies et propose des ressources pédagogiques appropriées selon son profil et son parcours personnalisé. De plus, la plateforme permet aux utilisateurs d'ajouter de nouvelles ressources annotées qui enrichissent les domaines de formation. Cet article présente l'architecture de cette plateforme et les idées principales sous-jacentes pour résoudre le problème de l'adaptation dynamique de parcours personnalisés dans le contexte de l'apprentissage de métiers manuels.

1 Introduction

Au sein des entreprises industrielles ou des entreprises artisanales, le niveau d'expertise est développé par l'acquisition de gestes précis et de procédures. Les professionnels sont généralement entraînés "sur le tas" et tirent bien souvent partie de l'expertise d'une personne hautement qualifiée lors de l'apprentissage de techniques particulières à un métier. Ils peuvent aussi suivre des formations traditionnelles par l'apprentissage où une alternance entre les cours académiques et la pratique en entreprise est formalisée. Les caractéristiques principales de ce type de formation est de montrer et expliquer les gestes techniques et les procédures nécessaires pour la réalisation ou la réparation d'un produit.

L'objectif de notre travail est de concevoir une plateforme multimédia dirigée par des ontologies, nommée *Learning Café*, qui facilitera ou sera un complément à l'apprentissage de ces gestes et procédures. Pour ce faire, nous adoptons une méthode fondée sur des vidéos qui montrent exactement les gestes à accomplir pour des métiers manuels et leurs contextes de mise en pratique. Plus précisément, la plateforme multimedia permet :

- de décrire et de sauvegarder les vidéos afin de les exploiter de façons différentes selon le contexte de l'apprentissage,
- de construire des parcours personnalisés en fonction de l'utilisateur qui veut se former.

L'originalité de notre approche réside dans le fait que *Learning Café* rend possible le stockage, la qualification et l'accès personnalisé pour des non-spécialistes tels que des apprenants

ou des formateurs. Tous les outils, par exemple l'annotation de vidéo, la révision d'ontologies, etc., ne nécessitent pas de connaître les langages spécifiques (tels que OWL (Hitzler et al., 2012)) à la mise en place et l'utilisation des ontologies. Ceci facilite l'utilisation des différents modules composant l'architecture de *Learning Café* dans des contextes variés et permet de mettre à jour en continu les différentes ontologies correspondant à la description des profils-utilisateurs, du catalogue des formations et des vidéos disponibles. Du point de vue de l'utilisateur, la plateforme est composée de deux parties à savoir :

1. L'interface de stockage et d'indexation, qui est couplé principalement avec l'annotation de vidéo. Il permet à l'utilisateur de définir les métadonnées nécessaires dans le processus de personnalisation d'une vidéo lors de sa lecture. L'utilisation des ontologies afin de décrire un domaine de formation mais aussi la structure d'une vidéo permettent à un utilisateur d'indiquer les éléments clés utiles dans les vidéos pour une formation donnée en fonction du niveau de l'apprenant. Ces éléments vont focaliser l'attention de l'apprenant sur des parties spécifiques lors de la lecture de la vidéo rendant les gestes techniques et les procédures d'un métier plus compréhensibles.
2. L'interface de visualisation adapte les vidéos présentées selon le profil de l'utilisateur. Le moteur de scénarisation de parcours personnalisé choisit la séquence de la vidéo proposée et produit le rendu expressif à appliquer sur la vidéo pour augmenter le focus. Ceci rend les éléments importants des vidéos plus visibles. Trois possibilités sont offertes à savoir l'apprentissage adaptatif, la "gamification" et la consultation directe de support multimedia selon des mots-clé.

La figure 1 présente une vue globale de la plateforme *Learning Café*. Elle met en exergue le processus de génération dynamique de parcours personnalisés à l'aide du réseau d'ontologies mis en place (les flèches représentent les alignements générés entre les ontologies).

Pour illustrer notre présentation, nous allons utiliser le même exemple tout au long de cet article. Considérons un cas d'utilisation concernant l'acquisition de compétences dans le métier de la boulangerie. Un certain nombre de vidéos disponibles et annotées ont été décrites dans l'ontologie Vidéo (notée VO dans la figure 1) et l'ontologie des domaines de formation (cf. TO¹ dans la figure 1). Dans ce contexte, nous imaginons qu'un utilisateur U_i , un boulanger, veut ajouter une nouvelle vidéo sur la sécurité lors de l'utilisation d'une machine à pétrin. Un autre utilisateur U_j demande, quant à lui, à voir une ressource pédagogique ou à suivre une formation (cf. la flèche numérotée 1 sur la figure 1). La nouvelle vidéo proposée par U_i est annotée pour décrire son contenu pédagogique, sa durée, son format, etc. U_i peut définir des zones particulières à mettre en exergue pour montrer plus précisément sur l'image la mise en sécurité. Notons qu'un utilisateur peut réaliser de multiples annotations sur une même vidéo permettant par exemple de ne pas annoter les mêmes extraits de la vidéo selon le niveau du futur apprenant. Ainsi, l'ontologie VO est dynamiquement révisée via le module de révision dynamique (flèche n°1.2 sur la figure 1) qui contrôle que l'ajout de la description de cette nouvelle vidéo n'entraîne pas une incohérence de VO et par voie de conséquence du réseau d'ontologies. N'importe quelle nouvelle requête d'un utilisateur sur des thèmes relatifs à cette nouvelle vidéo entraînera la prise en compte de cette dernière lors de la génération d'un nouveau parcours de formation personnalisé et de sa mise en forme par le module de rendu expressif. Dans ce cas, la requête de l'utilisateur U_j (flèche n°1.1), le module "Génération de

1. *i.e.* Training Ontology

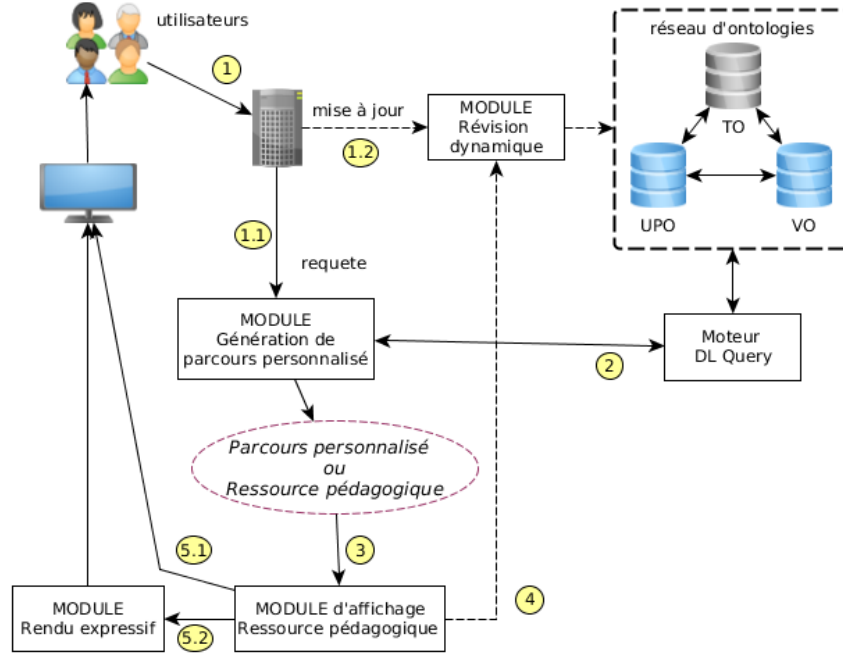


FIG. 1 – Architecture fonctionnelle de la plateforme LearningCafé

parcours personnalisé” envoie une requête au moteur “DL² Query”(flèche n°2) pour obtenir une ressource pédagogique ou un ensemble de ressources pédagogiques pertinentes par rapport au profil de U_j , aux mots-clés de recherche ou au métier (dans notre exemple, la boulangerie). Le module “Génération de parcours personnalisé” envoie le résultat de la recherche au module d’affichage “Ressource pédagogique” (flèche n°3) pour un affichage (flèche n°5.1) de la ressource qui est une vidéo avec le rendu expressif préféré par l’utilisateur U_j (flèche n°5.2) pour cette ressource vidéo. Dans le même temps, le module d’affichage “Ressource pédagogique” demande au module de révision dynamique de mettre à jour l’ontologie UPO³ mémorisant le fait que U_j a vu ces ressources pédagogiques (flèche n°4).

Notre propos dans cet article est d’explicitier le principe général de conception de la plateforme fondée sur une Architecture Dirigée par les Ontologies (ODA). Dans un premier temps, nous introduisons les composants indispensables de l’architecture. Puis, nous détaillons les trois ontologies constituant un réseau par l’entremise de leurs alignements dans la section 2. La section 3 présente la révision dynamique des ontologies qui maintient la cohérence du réseau d’ontologies. Dans la section 4, le module de génération de parcours personnalisés montre comment ce module calcule un parcours dynamique adapté au profil des utilisateurs et de leurs feedbacks. Ces différentes relations sont visibles sur la figure 1. La section 6, quant à elle, présente une synthèse des travaux de recherche dans le contexte de l’apprentissage personnalisé

2. Description Logics

3. *i.e.* User-Profile Ontology

à l'aide d'ontologies. Puis, nous concluons dans la section 7 sur les améliorations à apporter à notre plateforme compte-tenu des premières expérimentations de chaque module.

2 Réseau d'ontologies de Learning Café

Le projet *Learning Café* est centré sur l'apprentissage de métiers manuels où l'expérience et le savoir-faire sont développés par l'acquisition de gestes et de procédures précis. Le consortium de ce projet⁴ est composé d'utilisateurs finaux d'entreprises pour des métiers concernant la boulangerie, la pâtisserie, le nettoyage industriel ou chez des particuliers, et le jardinage. Ces agents doivent acquérir des compétences particulières pour leurs progressions professionnelles sachant que beaucoup d'entre eux sont réfractaires aux formations académiques classiques.

Aussi, la plateforme *Learning Café* nécessite de représenter différentes ontologies pour faciliter les demandes concernant les ressources pédagogiques, les compétences, les formations, les profils-utilisateurs, etc., et la conception de scénario narratif dynamique des parcours personnalisés (voir la figure 1). La méthode METHONTOLOGY (Corcho et al., 2005) a été utilisée pour construire les premières versions des modèles ontologiques parce qu'elle inclut le vocabulaire, la granularité et les usages attendus. De plus, cette méthode est combinée avec une approche dirigée par les ontologies (Silva et al., 2011).

Une première ontologie, dite *User-Profile Ontology* (UPO), permet de décrire le profil des utilisateurs mais aussi la traçabilité des parcours réalisés et l'évaluation des ressources pédagogiques par ces utilisateurs. Une deuxième ontologie a été mise en place, dite *Training Ontology* (TO), pour concevoir des catalogues de formation selon des métiers. Enfin, la troisième ontologie, dite *Video Ontology* (VO), permet de décrire et de mémoriser les vidéos et leurs annotations pour les classer. Pour établir les liens sémantiques entre ces trois ontologies, un module d'alignement calcule les similarités entre les concepts provenant des différentes ontologies et crée les correspondances. Le réseau d'ontologies est alors obtenu.

Quand un apprenant commence ou suit une formation, la plateforme *Learning Café* compare la formation choisie et son profil pour détecter le niveau des aptitudes correspondantes. Pour acquérir une nouvelle compétence c d'un métier m , un apprenant a peut envoyer une requête au module de génération de parcours. Quand le module de génération de parcours prend en compte la requête dans le contexte (a, c, m) , il cherche les vidéos pertinentes en utilisant les connaissances inférées à partir du réseau d'ontologies et le niveau de l'apprenant a (débutant, avancé, etc.). L'ensemble des vidéos qui correspondent à la requête peuvent être partiellement ordonnées en accord avec l'ordre défini pour les grains pédagogiques (notés LO⁵) définis dans TO. Cet ensemble de LO est nécessaire pour acquérir la compétence c du métier m pour l'apprenant a . Certains LO peuvent être des pré-requis pour d'autres LO. Un graphe (*i.e.* un ensemble de parcours personnalisés) de vidéos, correspondant à un ensemble de gestes techniques, est construit à partir de l'ensemble des vidéos, éventuellement prenant en compte les connaissances issues de l'ontologie VO.

Dans le cas d'utilisation présenté dans la section 1, l'apprenant U_j désire voir des vidéos concernant la boulangerie pour acquérir des compétences sur la sécurité lors de la manipulation de machines industrielles (cf. *requête* dans la figure 1). Après envoi de la requête au module de génération de parcours, il recevra un ensemble de vidéos à visualiser. Pour cela, les paramètres

4. partenaires académiques : LIASD, LIRIS, et partenaires industriels : La Talermerie, INBP

5. Learning Object

de la requête fournissent des informations telles que les compétences déjà acquises par U_j , le métier concerné, la notion de sécurité, etc., qui sont encapsulées dans le triplet (a, c, m) mentionné précédemment. Compte-tenu de la complexité des ontologies⁶, les figures 2, 3, 4 montrent seulement les concepts et les relations entre ces concepts qui sont le coeur du réseau d'ontologies.

2.1 Ontologie UPO

L'ontologie des profils-utilisateurs UPO⁷ permet de distinguer les différents utilisateurs qui apprennent, gèrent, collaborent, guident, etc., par l'intermédiaire de la plateforme *Learning Café*. Chaque utilisateur est décrit par des informations spécifiques telles que son nom, son prénom, son email, son parcours académiques, ses compétences et son niveau pour chaque compétence. Un deuxième type d'information concerne ses contributions sur *Learning Café* en terme de collaboration et d'activités. Par ce biais, chaque utilisateur obtient des badges et peut choisir des rendus expressifs pour jouer une vidéo (Belhadj et al., 2013). Lors de l'inscription d'un utilisateur à *Learning Café* ou à l'apprentissage d'un nouveau métier, un diagnostic est réalisé et le résultat est mémorisé par des propriétés spécifiques telles que le niveau (débutant, junior, senior, etc.). Enfin, des relations mémorisent les différents parcours faits par un utilisateur ainsi que leurs opinions sur ces parcours.

La figure 2 présente une vue partielle d'UPO en mettant en exergue les informations personnelles (cf. la classe *User*) et les ressources pédagogiques. La classe *PedagogicalResource* a comme sous-classes une classification par métier (*BakerVideo* par exemple dans la figure 2) ou par types de ressources pédagogiques (*i.e. Document, Video, Image, etc.*). La classe *Video* a aussi une sous-classification en terme de durée. Par exemple, *Video5* dans la figure 2 représente les vidéos ayant une durée de moins de 5'. Les relations représentées par des lignes en pointillées partant de la classe *User* vers la classe *PedagogicalResource* définissent les activités réalisées. Par exemple, les utilisateurs *ont vu, aime/n'aime pas, ont compris/n'ont pas compris, suggère, etc.*, une ressource pédagogique pour un parcours dynamique personnalisé.

Pour notre cas d'utilisation, l'apprenant a a vu et compris deux vidéos $V1$ et $V2$ sur la boulangerie. Il veut maintenant voir une nouvelle vidéo sur la sécurité à respecter lors de l'utilisation d'une machine à pétrin. Le moteur "DL Query" trouve trois vidéos pertinentes par rapport à cette demande à savoir $V2$, V_i qui n'a pas été aimé par un autre apprenant et V_k qui est suggérée par d'autres utilisateurs. Le module de génération de parcours personnalisé dynamique organise une scénarisation adaptée à a avec $V2$, V_i et V_k et ses préférences (*i.e.* le rendu expressif, la durée maximale des vidéos voulue pour la session, etc.) tenant compte du fait que $V2$ a déjà été vue par a , V_k est suggérée, etc.

2.2 Ontologie TO

L'ontologie du domaine des formations, dite TO⁸, représente les différents métiers connus et les formations possibles pour ces métiers créées par des formateurs.

La figure 3 présente une vue partielle de TO se focalisant sur les formations (cf. classe *Training*) pour des métiers (cf. classe *Trade*), les grains pédagogiques LO (cf. classe *Learnin-*

6. et de l'espace limité pour cet article

7. disponible à linc.iut.univ-paris8.fr/learningCafe/UserProfile.owl

8. disponible à <http://linc.iut.univ-paris8.fr/learningCafe/Training.owl>

Architecture ontologique pour des métiers manuels

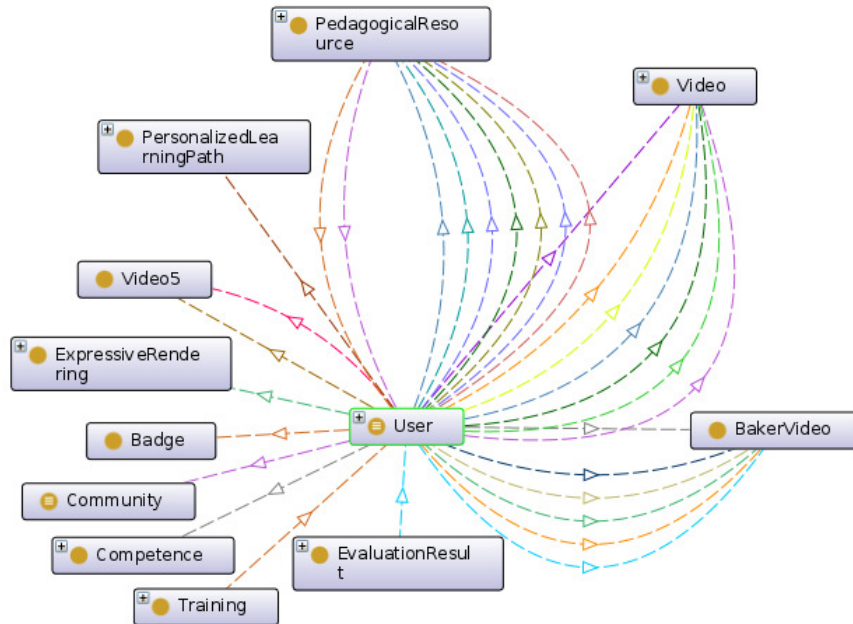


FIG. 2 – Représentation partielle d'UPO

gObject) avec leurs objectifs sous-jacents et les ressources pédagogiques associées aux grains pédagogiques. La conception de TO tient compte de la spécification IEEE LOM pour décrire les grains et ressources pédagogiques (Barker et Campbell, 2010).

Par exemple, la classe *Trade* a les sous-classes *BakerTrade*, *PastryTrade*, *HomeCleaningTrade*, *IndustrialCleaningTrade*, etc. Une formation concerne un métier, ce qui est représenté par une relation *hasTrade* (cf. ligne en pointillée entre ces deux classes dans la figure 3). Cette relation est indiquée comme ayant une relation inverse permettant ainsi au raisonneur de trouver toutes les formations d'un métier. Cette relation *hasTrade* a une hiérarchie de sous-relations suivant la même hiérarchie que la classification des métiers. Pour chaque formation, un ensemble de grains pédagogiques est associé par la relation *hasLearningObject*. Pour chaque métier, formation ou grain pédagogique, un ensemble de compétences est associé. Certains grains pédagogiques ont des pré-requis (relation *hasPrerequisite*) qui sont aussi des grains pédagogiques. De la même manière, des ressources pédagogiques nécessitent que les utilisateurs voient préalablement d'autres ressources pédagogiques.

2.3 Ontologie VO

La figure 4 présente les classes principales de l'ontologie des vidéos (VO)⁹ mettant en exergue les vidéos annotées (cf. la classe *Video* et ses sous-classes), les annotations (classe *Annotation*), et le vocabulaire (classe *ControlledTerm*) utilisé par les annotateurs pour commenter les vidéos. Les annotations elles-mêmes sont réalisées grâce au modèle Cinelab (Champin,

9. disponible à <http://linc.iut.univ-paris8.fr/learningCafe/Video.owl>

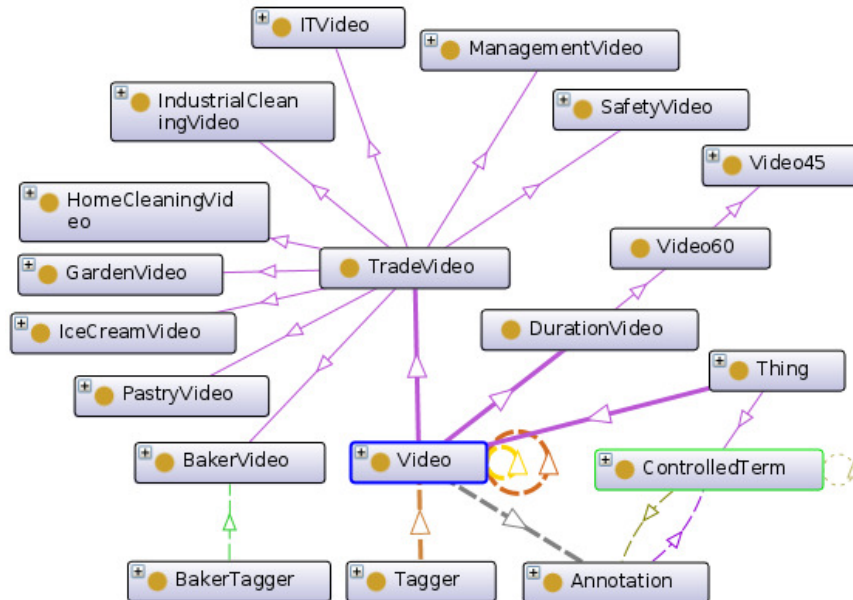


FIG. 4 – Classes principales de l'ontologie VO des vidéos

2.4 Alignement des ontologies

Les ontologies sont complétées par des alignements pour former un réseau afin d'affiner la recherche d'information. Ces alignements sont mis à jour régulièrement suite à des mises à jour de concepts ou d'axiomes dans les ontologies. Pour ce faire, le serveur d'alignement mixe différentes API d'alignement. Des services Web fondés sur OWL API (Horridge et Bechhofer, 2011) permettent de gérer ces alignements et les requêtes des autres composants de *Learning Café*. Partant de la campagne "Ontology Alignment Evaluation Initiative¹⁰" de 2013, nous avons choisi d'ajouter YAM++ (Ngo et Bellahsene, 2012) pour ses performances à aligner deux concepts dans le but d'accroître les alignements sémantiques pertinents. Cependant, *Learning Café* implémente une nouvelle approche (Lamolle et al., 2011) pour découvrir des alignements complexes. Ce sont des correspondances complexes entre un concept atomique et un concept complexe (définie par une formule) ou entre deux concepts complexes définis dans des ontologies OWL. Cette approche prend en compte les aspects sémantiques des entités qui sont imposés par les axiomes de l'ontologie. Tout d'abord, notre méthode transforme les ontologies OWL en graphes qui représentent les relations sémantiques entre leurs entités. Puis, elle combine plusieurs aligneurs classiques pour générer les correspondances entre des entités atomiques. L'objectif ici est de générer et enrichir les correspondances simples découvertes par YAM++ et AROMA (David et al., 2007). Enfin, la génération des correspondances complexes est réalisée par la détection de sous-graphes pertinents représentant les formules alignables par l'exploitation de leur structure et une mesure de similarité terminologique.

10. <http://oaei.ontologymatching.org/2013/results/index.html>

Par exemple, le concept atomique *Video* est aligné pour les trois ontologies VO, TO, UPO. De plus, le serveur d'alignement peut générer des alignements complexes tels que : $UPO : Video \sqsupseteq 1 UPO : isSeenVideo.UPO : User \sqcup UPO : Video \sqsupseteq 1 UPO : isSuggestedBy.UPO : User \sqsubseteq TO : Video$.

Le premier des objectifs des alignements est de faciliter le contrôle de la cohérence du réseau d'ontologies par un raisonneur. Le deuxième objectif est de trouver plus facilement les données pertinentes lors d'une session d'apprentissage. Continuons un peu l'exemple introduit dans la section 1 pour générer un parcours personnalisé d'apprentissage. La requête avec le triplet (a, c, m) est traité par le module "DL Query" qui recherche les ressources pédagogiques pertinentes, en particulier des vidéos, et renvoie un ensemble de données à savoir : (i) les ressources pédagogiques vues, comprises, non comprises par a dans le contexte de (c, m) , et les ressources suggérées par d'autres utilisateurs (*i.e.* d'autres apprenants avec le même niveau, des formateurs ou des experts de (c, m)) dans le même contexte ; (ii) les grains pédagogiques avec leur ensemble de ressources pédagogiques. Les vidéos pertinentes sont trouvées grâce aux alignements entre les classes $TO : Video$ et $VO : Video$ d'une part, et entre les individus de la classe $TO : Glossary$ utilisés par les grains pédagogiques (de $TO : LearningObject$) et les individus de la classe $VO : ControlledTerm$ liés aux individus de la classe $VO : Video$ d'autre part.

3 Révision dynamique d'ontologie

Une fois cette première version du réseau d'ontologies réalisée, il faut assurer son évolution, afin de proposer de nouvelles formations pour de nouveaux métiers mais aussi pour enrichir les formations existantes avec de nouvelles ressources pédagogiques. Ainsi, l'ontologie VO devrait pouvoir intégrer de nouvelles vidéos annotées. Toutes ces nouveautés impliquent une évolution du réseau par l'adjonction de nouveaux concepts, de nouveaux axiomes, de nouveaux individus, voire de nouveaux contextes d'utilisation.

Si nous considérons une ontologie comme un ensemble d'états qui décrivent notre compréhension d'un domaine d'application, il est nécessaire de réviser l'ontologie en prenant en compte de nouvelles connaissances à ajouter. Cette opération amène deux nouvelles questions à résoudre : (i) comment changer l'ontologie pour intégrer cette nouvelle connaissance tout en garantissant sa cohérence ? Et (ii) comment changer l'ontologie de telle façon que sa nouvelle version soit aussi proche que possible de sa version initiale ? Ces questions peuvent être considérées comme des critères pour définir un opérateur de révision sur des ontologies. Parmi les premiers travaux traitant la révision dynamique d'une base de connaissance, le framework AGM (Alchourron et al., 1985) a introduit un ensemble de postulats logiques à respecter pour définir un opérateur de révision. Parmi ces contraintes, le retrait de connaissances et la minimalité des changements sont les plus problématiques.

Récemment, Ji *et al.* (Qiu et al., 2009) ont présenté le système RaDON qui peut vérifier la cohérence d'une ontologie simple et d'un réseau d'ontologies lors de la révision de connaissance. Ce système est fondé sur une notion "relâché" de la cohérence d'ontologie et supporte uniquement la révision d'ontologie inexpressive.

Cependant, cette approche sémantique ne peut pas utiliser directement les ontologies DL. Dans le contexte du projet *Learning Café*, les ontologies sont exprimées en OWL2 (Hitz-

ler et al., 2012). Aussi, le module de révision implémente une révision basée “tableau” en *SHIQ**.

Dans le cas d’utilisation introduit dans la section 1, le module de révision dynamique est déclenché quand une nouvelle vidéo annotée concernant la boulangerie est ajoutée. Ce module extrait de nouveaux termes à partir des annotations de cette vidéo pour enrichir VO. Si VO mise à jour devient incohérente, le module de révision dynamique soit demande une intervention des experts, soit gère directement les changements en modifiant ou détruisant quelques connaissances incompatibles dans VO.

4 Génération dynamique de parcours personnalisé

Plusieurs solutions ont été proposées pour générer des parcours de formation personnalisés (Markowska-Kaczmar et al., 2010). Les processus d’apprentissage utilise un ensemble d’algorithmes et de techniques issus de l’Intelligence Artificielle et du Web Sémantique tels que l’optimisation par colonie de fourmis (Naji et Ramdani, 2013), les réseaux bayésiens (El Bouhdidi et al., 2013), les “Support Vector Machines” (SVM) (Ouraiiba et al., 2009), les ontologies (Ghailani et al., 2014), etc. Les travaux de recherche actuels gèrent un unique apprenant ou un groupe d’apprenants durant une session. Avec *Learning Café*, nous souhaitons gérer une situation supplémentaire d’apprentissage à savoir un apprentissage individuel mais avec quelques points de rencontre avec d’autres pairs qui ont le même niveau. En plus de la situation d’adaptation, ce nouveau cas d’utilisation entraîne la résolution du problème de la synchronisation des pairs pour accomplir ces activités d’apprentissage qui exigent plusieurs collaborateurs, ou pour solutionner les problèmes qui pourraient survenir dus au retard ou à l’absence d’un (ou plusieurs) pair(-s) lors d’un point de rencontre.

4.1 Module de génération de parcours

Pour résoudre les problèmes mentionnés précédemment, nous proposons un module (voir Figure 5) pour concevoir et gérer dynamiquement des parcours d’apprentissage personnalisés. Ce module est fondé sur une méthode hybride d’apprentissage. En effet, il extrait des informations utiles pour générer ces parcours principalement à partir des deux ontologies UPO et TO. Il gère aussi la mise à jour de l’ontologie UPO par rapport aux activités réalisées par les utilisateurs qui permet ensuite d’avoir une traçabilité de la progression des utilisateurs.

Ce module de génération de parcours personnalisé intègre un ensemble de composants interagissant. Le **contrôleur** supervise pour assurer le bon déroulement du système qui est interfacé avec d’autres composants. Il est responsable de l’assignation des requêtes aux composants impliqués dans le processus de génération dynamique de parcours et dans la gestion du cycle de vie des agents de suivi (cf. flèches n°1.1 et 2 dans la figure 1). Les requêtes sont envoyées au module “DL Query” qui est basé sur une architecture DAO. Les requêtes DL sont calculées via l’interface OWL API du raisonneur (Horridge et Bechhofer, 2011). Les **agents de suivi** gèrent la synchronisation des utilisateurs et garantissent une progression régulière lors d’un parcours en évitant les conflits qui pourraient survenir lors d’une session. De plus, pour chaque compétence ou formation choisie, le contrôleur, s’il ne l’a pas encore fait, crée un agent de suivi. Le **générateur de parcours** produit des parcours pédagogiques personnalisés dynamiquement pour chaque apprenant (cf. flèche n°3 dans la figure 1).

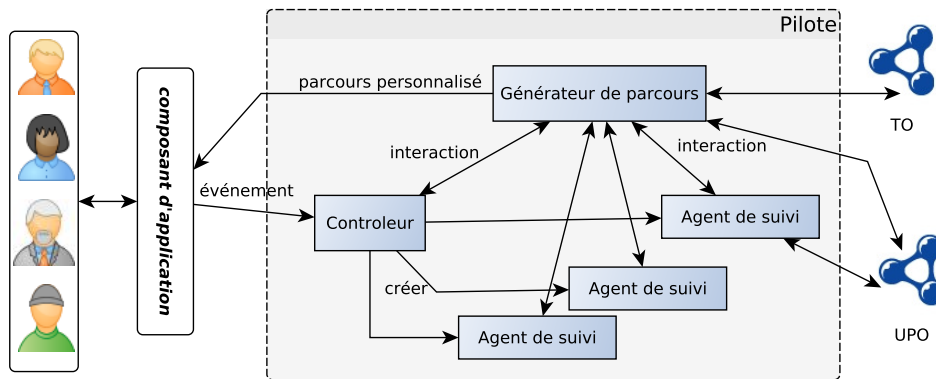


FIG. 5 – Architecture du module de génération de parcours

4.2 Processus de génération de parcours personnalisé

Le processus de génération de parcours est fondé sur les étapes suivantes :

1. **Sélection de grains pédagogiques.** Elle fournit un ensemble de grains pédagogiques (LO) (*i.e.* ressources pédagogiques + concept unique présenté par un LO). Les entrées sont le profil de l'apprenant (dans notre exemple, le profil de a) et une formation ou une compétence à acquérir dans un certain contexte (dans notre exemple, la compétence c dans le contexte du métier m). La sortie est un ensemble de LO adaptés à l'apprenant.
2. **Hiérarchie des grains pédagogiques.** Le module construit un arbre de LO tenant compte des pré-requis entre les différents LO. Les LO sans pré-requis représentent les feuilles de l'arbre (niveau 0). Les noeuds qui ont les LO de niveau 0 comme pré-requis représentent le niveau 1, et ainsi de suite. Un ensemble de ressources pédagogiques de différents types (tels que document, vidéo, audio, etc.) est relié à chaque noeud.
3. **Génération dynamique de parcours personnalisés.** Deux niveaux d'adaptation existent : (i) le chemin d'un grain pédagogique à un autre doit être personnalisé, (ii) pour chaque grain pédagogique, la meilleure ressource pédagogique est choisie par rapport au profil de l'apprenant.

Pour la génération dynamique de parcours, dans le cas (i), le module implémente l'algorithme en recherche en profondeur suffixe en respectant les pré-requis. Cet algorithme calcule le noeud racine après un processus récursif de la gauche vers la droite des sous-arbres. Le but principal est la validation des chemins d'adaptation pour le cas (ii). Ensuite, pour chaque noeud de l'arbre, les ressources pédagogiques les mieux adaptées à l'apprenant, suivi par un agent, sont choisies. Le choix d'une ressource pédagogique dépend de plusieurs critères attachés au profil de l'apprenant, à la ressource pédagogique elle-même, et à la durée de la session. Les critères principaux pour une ressource pédagogique sont la langue, le format, le niveau de difficulté, les taux de compréhension, d'appréciation, de suggestion et de popularité. L'objectif est de maximiser une fonction de fitness F qui permet de calculer dynamiquement le parcours

personnalisé.

$$F = \sum_{i=1}^n W_i C_i$$

où W_i sont les poids définissant l'importance des critères C_i et n est le nombre de critères associés à une ressource pédagogique. Nous proposons trois façons de calculer les différents poids : (i) les poids sont fixés par une équipe pédagogique, (ii) les poids sont déterminés par le système après une étape d'apprentissage impliquant un nombre minimal d'apprenants ou (iii) les poids sont calculés dynamiquement et modifiés d'un noeud à l'autre selon la priorisation des critères durant une session d'apprentissage. La valeur de C_i dépend de chaque critère selon les formules suivantes :

Langue qui est utilisée par les usagers ou dans une ressource pédagogique.

$$C_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j lang_j$$

tel que

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j = 1 \text{ et } lang_j = \begin{cases} 1 & \text{si } L_u \cap L_r \neq \emptyset \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

où L_u est l'ensemble des langues préférées, L_r est l'ensemble des langues disponibles pour une ressource pédagogique donnée dans le contexte d'une formation et α_j est le coefficient à appliquer selon l'importance de chaque langue de l'utilisateur.

Format a les valeurs T pour un média de type texte, V pour un type vidéo et A pour un type audio ; ce sont les types de ressources pédagogiques :

$$C_i = \alpha T + \beta V + \gamma A$$

tel que

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \text{ and } T, V, A = \begin{cases} 1 & \text{si } F_u \cap F_r \neq \emptyset \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

où F_u est l'ensemble des formats préférés par les utilisateurs, F_r est l'ensemble des formats disponibles pour une ressource pédagogique dans le contexte d'une formation et α, β, γ sont des coefficients à appliquer selon l'importance de chaque format pour un utilisateur.

Difficulté est le niveau de la ressource pédagogique selon une formation ou une compétence.

$$C_i = 1 - \frac{n}{4} \text{ tel que } n \in [0; 4]$$

où n représente le niveau de difficulté d'une ressource pédagogique.

Compréhension (resp. appréciation) est le ratio entre le nombre d'apprenants qui ont compris (resp. aimé) la ressource pédagogique, noté $N_{understood}$ (resp. N_{like}), le nombre d'apprenants qui n'ont pas compris (resp. n'ont pas aimé) la ressource pédagogique, noté $N_{misunderstood}$ (resp. N_{unlike}), et le nombre de fois que la ressource pédagogique a été vu, noté N_{seen} . Nous obtenons ces informations par l'ontologie UPO (cf. Figure 2) par les relations *understood/misunderstood* (resp. *like/unlike*) et *haveSeen* existant entre la classe *User* et la classe *PedagogicalResource*. Les évaluations des ressources pédagogiques sont faites aussi par les apprenants eux-mêmes. Par exemple, le taux de compréhension est calculé par :

$$C_i = \frac{1}{N_{seen}+1} x \frac{N_{understood}+1}{N_{misunderstood}+1}$$

Suggestion est le ratio entre le nombre de fois que les utilisateurs suggèrent une ressource pédagogique et le nombre de fois qu'elle a été vue :

$$C_i = \frac{N_{suggest}}{N_{seen}+1}$$

Popularité indique si une ressource pédagogique est populaire ou non. Si une ressource pédagogique est utilisée dans la majorité des parcours personnalisés générés pour une certaine compétence ou une certaine formation, le niveau de popularité est haut.

$$C_i = \frac{N_p(R_k)}{N_{tp}}$$

où N_p représente le nombre de parcours ayant utilisé la ressource pédagogique R_k , et N_{tp} le nombre total de parcours générés.

Le projet *Learning Café* est en cours d'intégration ; aussi, nous n'avons pas encore fait d'évaluation pour estimer la qualité des contenus produits du point de vue des utilisateurs, professionnels d'un métier, et la pertinence des parcours générés.

5 Évaluation

Le processus d'utilisation est décisif dans le cas du projet *Learning Café*. En effet, il est nécessaire de faire en sorte que le système évolue selon les informations produites lors des interactions. Les usages sont aussi nécessaires pour évaluer la pertinence de nos propositions, notamment sur les processus de personnalisation. C'est pourquoi nous suggérons d'utiliser une méthodologie de conception centrée utilisateur et d'organiser des campagnes d'évaluation en trois étapes :

- au début du projet, une évaluation portait sur la perception de l'utilité de cette plateforme par les utilisateurs finaux.
- actuellement, nous testons l'usabilité des parties spécifiques de la plateforme : les interactions d'annotation et les interfaces de consultation de vidéo pour l'obtention d'information ou la formation. Nous proposons d'observer la façon dont les utilisateurs utilisent la plateforme (par des observations directes et par l'analyse des traces) et leur niveau de satisfaction. Les éléments testés sont des critères choisis pour l'annotation, la pertinence de l'information donnée dans les vidéos, les tâches accomplies avec les vidéos et les fonctions choisies. Les résultats de l'étude sont utilisés pour raffiner la conception des ontologies (analyse de la compréhension et précision de la description du contexte), les règles de personnalisation utilisées pour construire un scénario dynamique de formation, les effets stylistiques appliqués aux vidéos et les ergonomies des interfaces. Ces évaluations sont usuelles pour estimer la qualité des contenus produits.
- À la fin du processus, nous suggérons de faire un test en situation réelle et global avec une vingtaine de professionnels et de formateurs pendant une formation complète. Le premier objectif est de mesurer le processus d'apprentissage (en terme de compétences et de nouveaux comportements acquis) et l'expérience de l'utilisateur (EU) ; en particulier, sa satisfaction et son sentiment d'évolution. Le deuxième objectif est de mesurer l'efficacité (Tullis et Albert, 2008) de chaque proposition de recherche pour l'apprentissage et la construction de EU.

6 Travaux de recherche connexes

Plusieurs solutions d'e-learning adaptatif ont été proposées ces dernières années fondées sur des ontologies. Dans (Chung et Kim, 2012), le projet présenté est de développer un système d'e-learning supporté par des ontologies. L'ontologie d'un certain cours est composée d'une ontologie faite par un professeur et d'autant d'ontologies faites par des étudiants. Des interfaces de discussion, de visualisation et de partage de connaissances entre le professeur et les étudiants sont utilisées. Ces ontologies représentent des vues utilisateurs du même domaine d'apprentissage où l'ontologie du formateur est celle de référence (*i.e.* un cours). Les profils utilisateurs sont inconnus et la progression de l'apprenant n'est pas évaluée par rapport à sa connaissance préalable acquise. Dans (Yarandi et al., 2013), une approche est présentée pour développer un système d'e-learning adaptatif fondé sur la conception de contenu sémantique, d'apprenants et de modèles de domaine pour adapter le processus d'apprentissage aux besoins individuels de l'apprenant. Ce projet est proche de notre proposition mais les ressources pédagogiques ne sont pas spécifiquement décrites. Malheureusement, l'enrichissement de l'ontologie du domaine par des vidéos annotées n'est pas possible. Une nouvelle solution dans (Ghailani et al., 2014) est proposée pour modéliser une formation professionnelle bi-modale hybride fondée sur une ingénierie ontologique et une approche de compétences pédagogiques. Deux ontologies ont été conçues, celle des profils-utilisateurs et celles des compétences pour les formations. Les apprenants peuvent suivre des scénarios d'apprentissage librement ou guidés. Dans le dernier cas, le planning de formation est défini par les concepteurs de la formation après une phase de diagnostic du niveau de l'apprenant. Le scénario guidé peut évoluer lors de la session d'apprentissage, par exemple pour ajouter une nouvelle ressource pédagogique ou en enlever une en tenant compte de l'environnement mis à jour par les interactions d'autres utilisateurs.

Dans ces travaux de recherche, une ou deux ontologies sont construites mais aucune d'elles n'est dédiée à une progression personnalisée des apprenants, et spécifiquement dans le contexte des métiers manuels où des vidéos annotées montrant les gestes techniques sont des ressources primordiales. De plus, aucun de ces travaux n'aborde le problème de la révision d'ontologies. Une plateforme d'e-learning sémantique nécessite l'obtention d'informations pertinentes. Nous devons donc garantir la cohérence des ontologies à tout moment.

7 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté l'architecture de la plateforme *Learning Café* nécessitant de résoudre des problèmes liés aux architectures multimédia dirigées par les ontologies pour l'e-learning. Dans ce travail, chaque problème (*i.e.* le réseau d'ontologies, la révision dynamique d'ontologie, la génération de parcours personnalisés) ont donné des premiers résultats prometteurs. Les travaux futurs concernent principalement (i) l'optimisation du serveur d'alignement par services Web, (ii) l'optimisation de l'algorithme implémenté pour la révision dynamique d'ontologie pour garantir le passage à l'échelle du réseau d'ontologies, (iii) la scénarisation de parcours personnalisés en utilisant des meta-heuristiques telles que la "Variable Neighborhood Search" (Hansen et al., 2010). Une comparaison des différentes meta-heuristiques sera faite dans le contexte de *Learning Café* pour obtenir une meilleure recommandation de parcours d'apprentissage.

Remerciements

Ce projet a commencé en mai 2013 pour une durée de 3 ans et est financé par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (FUI-15), par les régions d'Île de France, Rhône-Alpes, Normandie et Pays de Loire.

Références

- Alchourron, C. E., P. Gardenfors, et D. Makinson (1985). On the logic of theory change : Partial meet contraction and revision functions. *Journal of Symbolic Logic* 50(2), 510–530.
- Barker, P. et L. M. Campbell (2010). Metadata for learning materials : An overview of existing standards and current developments. *Technology, Instruction, Cognition and Learning (TICL)* 50(3-4), 225–243.
- Belhadj, F., V. Boyer, G. Delmas, M. Lamolle, C. Le Duc, P.-A. Champin, et C. Michel (2013). Learning café : a semantic multimedia collaborative platform for e-learning. In *IEEE International Workshop on Multimedia Technologies for E-Learning (MTEL) - IEEE International Symposium of Multimedia (ISM 2013)*, pp. 1–6. IEEE ed. Anaheim, USA.
- Brickley, D. et R. Guha (2014). Rdf schema 1.1. W3C recommendation.
- Champin, P.-A. (2014). Cinelab ontology. Technical report.
- Chung, H.-S. et J.-M. Kim (2012). Ontology design for creating adaptive learning path in e-learning environment. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (ICMES 2012)*, Volume I.
- Corcho, O., M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, et A. López-Cima (2005). *Building Legal Ontologies with METHONTOLOGY and WebODE - Law and the Semantic Web*, Chapter II, pp. 142–157. Springer-Verlag.
- David, J., F. Guillet, et H. Briand (2007). Association rule ontology matching approach. *International Journal on Semantic Web and Information Systems* 3(2), 27–49.
- El Bouhdidi, J., M. Ghailani, et A. Fennan (2013). An intelligent architecture for generating evolutionary personalized learning paths based on learner profiles. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)* 57(2), 294–304.
- Ghailani, M., J. El Bouhdidi, et A. Fennan (2014). Towards an adaptive e-learning solution based on ontologies and competencies approach. *International Journal of Computer Applications (IJCA)* 98(21), 42–52.
- Hansen, P., N. Mladenović, et J. A. M. Pérez (2010). Variable neighbourhood search : methods and applications. *Annals of Operations Research* 175(1), 367–407.
- Hitzler, P., M. Krötzsch, B. Parsia, P. F. Patel-Schneider, et S. Rudolph (2012). Owl 2 web ontology language primer (second edition). W3C recommendation.
- Horridge, M. et S. Bechhofer (2011). The owl api : A java api for owl ontologies. *Semantic Web Journal Special Issue on Semantic Web Tools and Systems* 2(1), 11–21.
- Lamolle, M., C. Le Duc, et R. Touhami (2011). A semantic approach for discovering complex alignments. *Information Interaction Intelligence* 11(2).

- Lee, W., W. Bailer, T. Bürger, P.-A. Champin, J.-P. Evain, V. Malaisé, T. Michel, F. Sasaki, J. Söderberg, F. Stegmaier, et J. Strassner (2012). *Ontology for media resources 1.0*. W3C recommendation.
- Manola, F. et E. Miller (2004). *RDF primer*. W3C recommendation.
- Markowska-Kaczmar, U., H. Kwasnicka, et M. Paradowski (2010). *Intelligent Techniques in Personalization of Learning in e-Learning Systems - Computational Intelligence for Technology Enhanced Learning*, Chapter 1, pp. 1–23. Springer-Verlag.
- Naji, A. et M. Ramdani (2013). Using the ant colony algorithm to establish the best path of learning activities. *International Journal of Multimedia Technology* 7(78), 3873–3881.
- Ngo, D. H. et Z. Bellahsene (2012). YAM++ : (not) Yet Another Matcher for Ontology Matching Task. In N. Ancaux (Ed.), *BDA'2012 : 28e journées Bases de Données Avancées*, Clermont-Ferrand, France, pp. N/A.
- Ouraiba, E. A., A. Chikh, A. Taleb-Ahmed, et Z. El Yebdri (2009). Automatic personalization of learning scenarios using svm. In *Proceedings of the 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICAALT'09*, Washington, DC, USA, pp. 183–185. IEEE Computer Society.
- Qiu, J., H. Peter, Q. Guilin, H. Pascal, et S. Steffen (2009). RaDON - repair and diagnosis in ontology networks. In *Proceedings of The European Semantic Web Conference*, pp. 863–867.
- Silva, M., E. E. Soares, I. I. B. E. Costa, H. Barros, L. Dias, D. Vêras, et A. P. Silva (2011). Combining methontology and a model driven ontology approach to build an educational ontology. *IEEE Technology and Engineering Education (ITEE)* 6(3), 42–52.
- Troncy, R., E. Mannens, S. Pfeiffer, et D. V. Deursen (2012). *Media fragments URI 1.0 (basic)*. W3C recommendation.
- Tullis, T. et W. Albert (2008). *Measuring The User Experience : collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Morgan Kaufmann Pub.
- Yarandi, M., H. Jahankhani, et A.-R. H. Tawil (2013). A personalized adaptive e-learning approach based on semantic web technology. *Webology* 10(2), 510–530.

Summary

The main purpose of our study is to design a new multimedia learning platform to help the staff acquire new skills for their professional progression. In particular, this new platform is aimed at learners who do not appreciate conventional training methods, and who prefer training with new media supports personalized to their own background. From a learner's point of view, the platform provides semantic searches for media supports and proposes automatically the most appropriate video according to the user's personalized path. That video can be rendered according to the user's profile for enhancing specific information. In addition, the platform allows users to add new video resources, which will be automatically annotated, and to update learning domains. The present paper proposes a general design of the platform and the main ideas for addressing the arised research problems in the context of e-learning.