
Apprentissage adaptatif temps réels par système multi-agent

Gestion de parcours individuels et collaboratifs

Azziz Anghour¹, Myriam Lamolle¹, Farès Belhadj²,
Vincent Boyer²

1. LIASD-EA4383, Université Paris 8 – IUT de Montreuil
140 rue de la Nouvelle France, 93100 Montreuil, France
{anghour, myriam.lamolle}@iut.univ-paris8.fr

2. LIASD-EA4383, Université Paris 8
2 rue de la Nouvelle France, 93100 Montreuil, France
{amsi, boyer}@ai.univ-paris8.fr

RÉSUMÉ. Dans cet article nous présentons une nouvelle architecture de génération de parcours de formation et de gestion de la progression d'apprenants dans un contexte multi-utilisateurs pour une collaboration en temps réel entre différents apprenants. La génération implique deux étapes : 1) construire un graphe de grains pédagogiques pertinents selon les pré-requis et la progression de l'apprenant dans le parcours mais aussi ses compétences, 2) recommander des ressources pédagogiques associées à chaque nœud d'un grain pédagogique. Différents critères sont proposés pour sélectionner ces ressources en adéquation au profil de l'apprenant, à ses communautés et aux appréciations des autres utilisateurs sur ces ressources.

ABSTRACT. In this paper, we present a new architecture of learning path generation and managing the learner's progression in multi-users context for a real time collaboration between different learners. The generation implies two steps: 1) building a graph of learning objects according to their prerequisites and according to the learner progression in her/his learning path, 2) the recommendation of pedagogical resources associated to each graph node. Different criteria are proposed to select the relevant pedagogical resources in the scope of the learner's profile, learner's communities, and the appreciations of other learners about the available pedagogical resources. These criteria are used to maximize a fitness function for the pedagogical resources.

MOTS-CLÉS : apprentissage adaptatif, apprentissage collaboratif, recommandation, système multi-agents.

KEYWORDS: adaptive learning, recommendation of pedagogical resources, multi-users context, web-based learning environment.

DOI:10.3166/ISI.23.2.89-109 © 2018 Lavoisier

1. Introduction

Avec l'avènement des nouvelles technologies du Web, apprendre une langue, un métier, un geste technique, etc., devient possible n'importe où, n'importe quand. Cependant la phase d'apprentissage elle-même doit prendre en considération un certain nombre de paramètres comme le profil de l'utilisateur en terme de savoir et de savoir-faire au moment de sa demande de formation. Dans ce contexte, le problème central de l'apprentissage sur des plateformes Web est l'adaptation des parcours de formation à l'apprenant afin d'obtenir un apprentissage plus pertinent, voire plus précis. Le but est donc de construire des parcours dynamiques et individualisés. En fait, en premier lieu, les ressources pédagogiques devraient être adaptées aux besoins de chaque utilisateur, selon son profil qui pourrait être déterminé par exemple par son niveau de connaissance, par ses préférences en terme d'environnement (apprentissage individuel ou collaboratif), de type de ressources pédagogiques, etc. Deuxièmement, l'apprenant ne devrait pas ressentir l'impression de « déjà vu » ou « déjà fait » en faisant des activités au final répétitives ou avec le même type de contenu. Pour permettre une certaine adaptation de l'apprenant, beaucoup de solutions ont été proposées (Zniber *et al.*, 2005 ; Markowska-Kaczmar *et al.*, 2010). Ces solutions sont généralement fondées sur des approches de modèle d'apprentissage. Il existe trois grandes familles pour modéliser un processus d'apprentissage à savoir : 1) les approches orientées activités (Naji *et al.*, 2013) où le processus d'apprentissage est représenté par un graphe dans lequel chaque activité est identifiée et décomposées, 2) les approches orientées ressources (De-marcos *et al.*, 2008 ; Kampiris *et al.*, 2006 ; Vagliani *et al.*, 2007) où la construction de parcours renvoie la sélection, l'assemblage et la présentation des contenus, et enfin 3) les approches orientées objectifs (Bouhdidi *et al.*, 2013 ; Talhi *et al.*, 2007) où le processus d'apprentissage est vu comme un processus de satisfaction d'objectifs pédagogiques. Ces approches utilisent un ensemble d'algorithmes et de techniques provenant de l'Intelligence Artificielle et du Web sémantique tels que l'optimisation par colonie de fourmis (Kardan *et al.*, 2014 ; Kumar *et al.*, 2013 ; Naji *et al.*, 2013 ; Pushpa, 2012 ; Valigliani *et al.*, 2007), les réseaux bayésiens (Bouhdidi *et al.*, 2013), l'algorithme « Support Vector Machines » (SVM) (Ouraiba *et al.*, 2009), les ontologies (Banlue *et al.*, 2016 ; Brut *et al.*, 2010 ; Ghailini *et al.*, 2014 ; Muruganandam *et al.*, 2017).

Les travaux de recherche cités précédemment ont mené au développement de plusieurs systèmes d'apprentissage adaptatif. Ces systèmes ont été conçus pour gérer soit un apprenant individuellement, soit un groupe d'apprenants collaborant. Nous proposons, outre ces deux situations d'apprentissage (*i.e.* en mode individuel ou en mode collaboratif), une nouvelle situation appelée apprentissage individuel avec des points de rencontre *ad hoc* entre les pairs d'un même niveau de compétences. Ainsi, lors d'une session d'apprentissage, l'apprenant peut alterner « mode individuel »/ « mode collaboratif » selon ses préférences du moment, sa progression et la progression des autres apprenants dans la formation ; mais aussi en accord avec la disponibilité des ressources pédagogiques de l'environnement d'apprentissage.

ses contributions dans l'environnement d'apprentissage en terme de collaboration et d'activités ; mais aussi d'auto-évaluation lors de l'inscription à *Learning Café* définissant son *c* (débutant, junior, senior, etc.). Enfin, plusieurs relations mémorisent les différents parcours de formation réalisés ou en cours par les apprenants et les différentes opinions des utilisateurs sur ces parcours. La figure 1 présente une vue partielle de l'ontologie UPO focalisée sur les formations concernant l'apprenant et ses relations avec différents concepts traduits par des classes OWL telles que formation, grain pédagogique, ressources pédagogiques (resp. *Training*, *LearningObject*, *PedagogicalResource*), etc. L'ontologie UPO est aussi le point d'ancrage d'échanges sur le réseau social interne de la plate-forme *LearningCafé*.

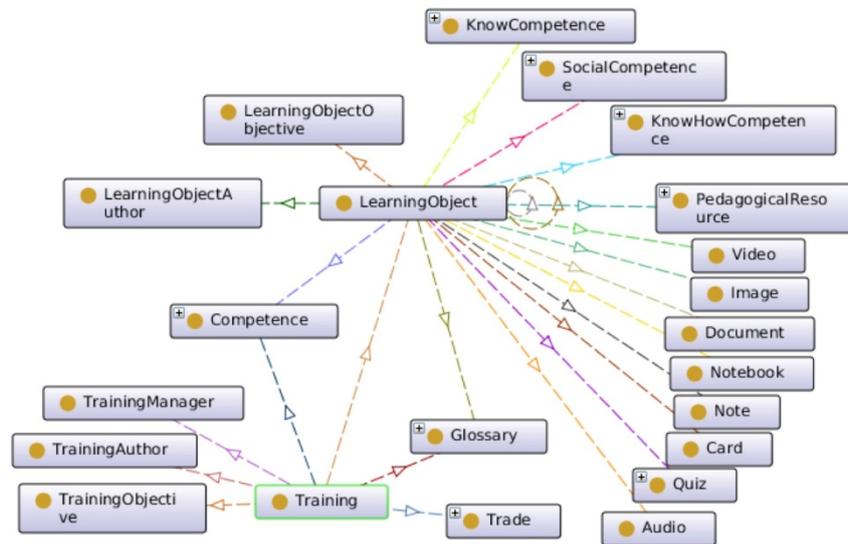


Figure 2. Vue partielle du modèle de l'ontologie des formations TO

De la même façon, la seconde ontologie, appelée *Training Ontology* (TO), permet de représenter les différents métiers (cf. classe *Trade* dans la figure 2), les formations associées créées par des utilisateurs (experts ou non) (cf. classe *Training* dans la figure 2) pour lesquelles nous avons le détail des grains pédagogiques dont elles sont constituées ainsi que les ressources pédagogiques (cf. classe *LearningObject* dans la figure 2) ainsi que les ressources pédagogiques (cf. classe *PedagogicalResource* dans la figure 2) sont réutilisables dans différentes formations.

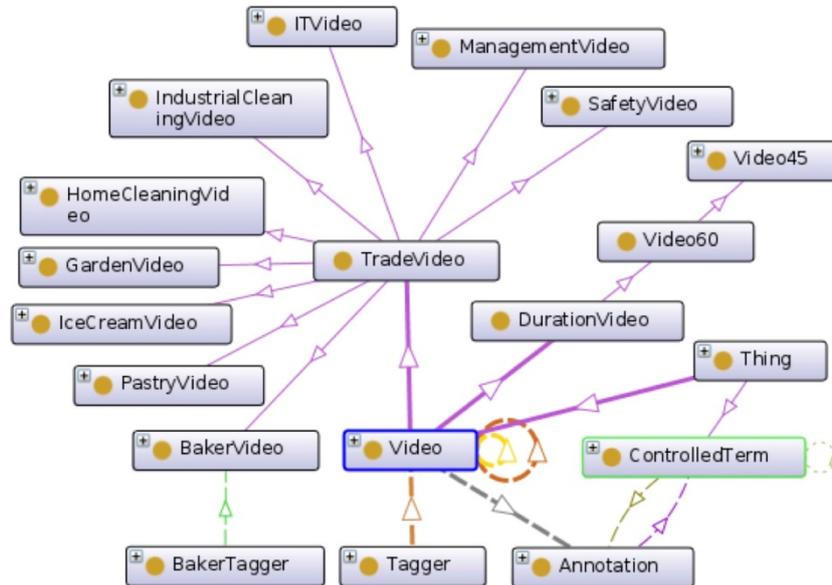


Figure 3. Vue partielle du modèle de l'ontologie des vidéos VO

Enfin, la troisième ontologie, appelée *Video Ontology* (VO), permet de modéliser les méta-connaissances sur les ressources pédagogiques multimédia qui ont été annotées grâce à des outils comme Advene¹ (cf. figure 3). La figure 3 se focalise sur la classe principale *Video* et une partie de sa hiérarchie de classes dans le contexte de différents métiers, les annotations faites (cf. classe *Annotation* dans la figure 3) comme le type de traitement à appliquer sur la vidéo pendant une certaine durée, le vocabulaire utilisé (cf. classe *ControlledTerm* dans la figure 3) dans la vidéo pour faciliter la recherche d'une vidéo particulière lors de la mise en place d'une session de formation.

Notons que, dans cet article, nous utiliserons principalement UPO et TO qui sont le socle de la génération des parcours de formation.

2.2. Modèles adaptatifs pour les ressources pédagogiques

Il a été démontré qu'il est important la présentation des documents pédagogiques pour faciliter et augmenter la capacité d'apprentissage des apprenants (Eboa *et al.*, 2010). En ce sens, les deux ontologies *UPO* et *TO* permettent de modéliser le type d'adaptation possible sur des images et des vidéos. À l'heure actuelle, l'adaptation

1. Voir <https://www.advene.org>.

concerne principalement la notion de rendu expressif (Belhadj *et al.*, 2012) pour des images ou des vidéos. Le rendu expressif (aussi appelé rendu non-photoréaliste) porte sur des techniques illustratives qui favorisent la mise en exergue de certaines zones de l'image ou de la vidéo qui sont efficaces pour les concepts à apprendre et en omettant les détails qui pourraient être perturbateurs lors de l'apprentissage. Les annotations contenues dans l'ontologie *VO* sont utilisées pour produire des abstractions alors que la stylisation à appliquer à une vidéo ou à une image est déduite du profil-utilisateur mémorisé dans l'ontologie *UPO*. Ainsi, le processus de rendu expressif produira une vidéo spécifique à chaque utilisateur de la plate-forme grâce à ces deux aspects. L'application de tel ou tel rendu est fait à la volée au moment de l'utilisation de la vidéo en temps réel mais n'est jamais stockée sur la plate-forme *Learning Café*. Un exemple d'application de rendu est présenté dans la figure 4 où l'image du haut correspond à l'image d'origine, celle en bas à gauche à une stylisation de type « bande dessinée » pour mettre en exergue la zone du poste de travail d'un menuisier et une partie floutée pour cacher la zone de moindre importance lors du déroulement de la vidéo, et celle en bas à droite la zone de danger que représente l'escalier sur le même principe que l'image précédente.

2.3. Utilisation du réseau de connaissance

Ces trois ontologies (*UPO*, *TO* et *VO*) sont accessibles par un moteur de révision pour les différentes opérations de mise à jour, d'alignement du réseau de connaissance et de communication par services Web afin de consulter les données. Le moteur de révision permet d'ajouter de nouveaux concepts, de nouvelles propriétés (données ou propriétés d'objets), de nouveaux axiomes, etc., tout en garantissant que le réseau de connaissance reste cohérent. Les interfaces de consultation de données offrent un ensemble de services sur les données tels que la recherche d'individus (*i.e.* les instances des classes ou d'un ensemble de classes liées).

Les interfaces développées utilisent OWL API² et DL-Query pour retrouver les données des ontologies. Par exemple, pour trouver la formation d'un apprenant qui est identifié par « ID_Learner1 », la requête DL-Query correspondante est :

```
Training and inverse(hasTraining) some (Learner and idLearner value "ID_Learner1" (1)
```

De plus, le raisonnement sur ces ontologies permet de détecter des communautés d'apprentissage par inférence de connaissances à partir des métiers et des compétences associées. Les membres de chaque communauté peuvent travailler ensemble dans des groupes d'échange construit en mélangeant des utilisateurs de différents niveaux. Ceci a pour but de faciliter l'apprentissage en créant une émulation et une motivation plus grande.

² Voir <http://owlapi.sourceforge.net>.



Figure 4. Exemple de rendu expressif pour la stylisation d'une vidéo

3. Architecture pour la création et le pilotage de parcours de formation en contexte multi-utilisateurs

Pour répondre aux problèmes évoqués précédemment, nous proposons un système de création et de pilotage de parcours de formation personnalisés (cf. figure 5).

Cette nouvelle architecture est fondée sur une approche d'apprentissage hybride évoquée dans l'introduction de l'article. Elle gère deux situations à savoir un apprentissage individuel et un apprentissage collaboratif par points de rencontre. Dans la première situation, le système peut générer dynamiquement un parcours de formation adapté à chaque apprenant. Les composants architecturaux impliqués dans cette situation sont le « Recepteur » (cf. « Receiver » dans la figure 5), le « Moteur de génération de graphe » (resp. « Graph Generation Engine », GGE dans la figure 5), le « Moteur de recommandation » (resp. « Recommendation Engine », RE dans la figure 5) et les ontologies.

Dans la seconde situation d'apprentissage, le système permet de construire un parcours de formation pour un groupe d'apprenants. Aussi, en plus des composants précédents, le système utilise une architecture multi-agents pour la gestion de la synchronisation entre les apprenants et la gestion des cas critiques qui peuvent apparaître lors d'une session d'apprentissage. Les agents impliqués sont le « Gestionnaire d'agents » (*cf.* « Agent Manager », AM dans la figure 5), les « Agents de recommandations » (*resp.* « Recommendation Agents », RA dans la figure 5), et « Agents de gestion de cas critiques » (*resp.* « Critical Case Management Agent », CCMA dans la figure 5).

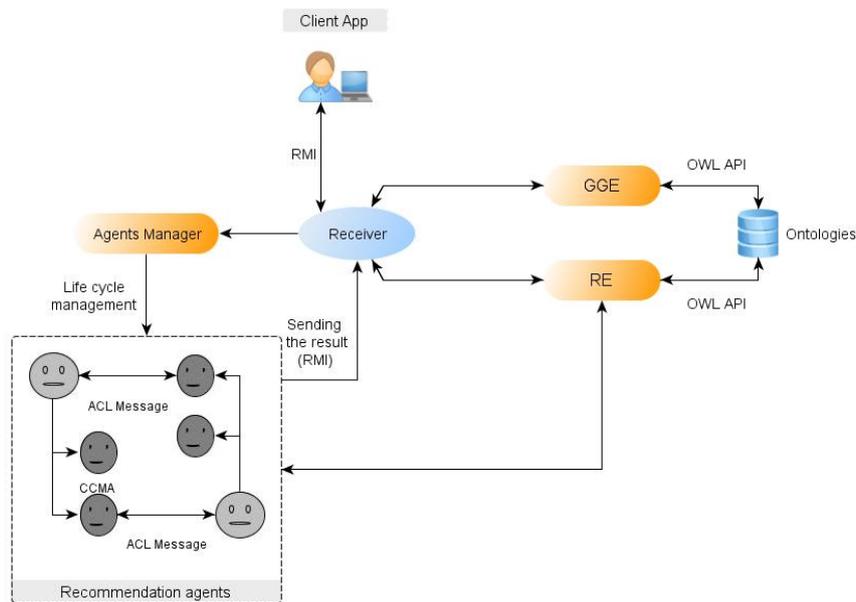


Figure 5. Architecture multi-agents du système de construction et pilotage des parcours

La création d'un parcours de formation implique deux étapes :

1) la génération d'un graphe de grains pédagogiques fondé sur le profil de chaque apprenant et dépendant de la formation ou de la compétence choisie par l'apprenant. Cette première étape est la même quelle que soit la situation d'apprentissage.

2) la déduction d'une ligne directrice de recommandation de ressources pédagogiques pour chaque nœud du graphe, pour un apprenant seul (vidéos, documents textuels, etc.) ou pour un groupe d'apprenants dans le cas d'une situation collaborative (*e.g.* mini-jeu multi-utilisateurs, etc.).

Dans la même situation d'apprentissage, un apprenant peut basculer d'un mode individuel en un mode collaboratif et inversement. Ce changement de mode prend en compte les préférences de l'utilisateur et dépend de la disponibilité de ressources pédagogiques comme dans l'ontologie TO. Les sous-sections suivantes décrivent le rôle de chaque composant de l'architecture.

3.1. Le composant « Receiver »

Le « Receiver » assure le fonctionnement approprié du système. Tous les autres composants sont à son service et sous sa responsabilité. Notamment, il est responsable de l'assignation des différentes requêtes qu'il reçoit aux composants impliqués dans la création et le pilotage du processus. Le « Receiver » gère à la fois les parcours individuels et multi-utilisateurs. Dans le premier cas, il communique seulement avec le composant « Graph Generation Engine » (GGE), pour construire le graphe et sélectionner les ressources pédagogiques appropriées. Dans la seconde situation d'apprentissage, après que le GGE ait construit le graphe et que le « Receiver » ait vérifié l'existence de ressources pédagogiques multi-utilisateurs associées au nœud du graphe concerné par le point de rencontre de collaboration via le moteur de recommandation « Recommendation Engine » (RE), le « Receiver » commence la communication avec le module multi-agents du système pour synchroniser les apprenants et piloter la session d'apprentissage collaboratif.

3.2. Le composant « Graph Generation Engine » (GGE)

Le GGE construit dynamiquement le graphe des grains pédagogiques, dits *Learning Objects* (LO), selon la formation (resp. la compétence) choisie et le profil utilisateur. Il s'agit de transformer une liste initiale de LO en un graphe hiérarchique de plusieurs niveaux (cf. *Level* dans la figure 6). Cette organisation hiérarchique prend en compte la progression de l'apprenant dans son parcours et ce qu'il a déjà acquis en terme de LO et de liens de pré-requis entre les différents LO (*i.e.* les LO qui doivent être acquis avant). En fait, les LO de la liste initiale qui n'ont pas de pré-requis représentent les feuilles du graphe (cf. *Level 0* dans la figure 6), les nœuds qui ont pour pré-requis ceux du niveau 0 sont de niveau 1, et ainsi de suite.

Les LO de même niveau sont indépendants. Cela sous-entend que l'apprenant est libre de commencer par n'importe quel LO du niveau courant. De plus, la validation d'un LO par l'apprenant implique la mise à jour du graphe par le GGE.

En effet, le GGE met à jour dynamiquement le graphe au fur et à mesure de la progression de l'apprenant, tout en prenant en compte les dernières opinions des autres utilisateurs sur les ressources pédagogiques (autant qualité que pertinence). Par conséquent, les LO d'un niveau supérieur peut descendre d'un niveau si l'apprenant a validé les LO précédents du niveau inférieur.

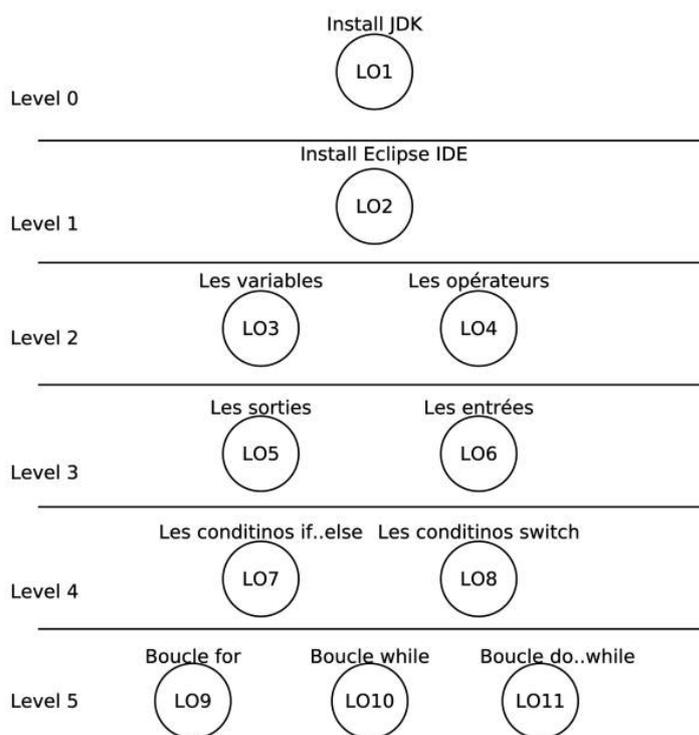


Figure 6. Exemple de génération d'un graphe pour une formation en Java de niveau débutant

Pour cela, trois stratégies d'évaluation d'acquisition ont été prévues :

- l'auto-évaluation où l'apprenant est invité à vérifier par lui-même s'il a acquis ou non un LO ;
- l'évaluation par les pairs où l'apprenant est évalué par d'autres apprenants de la même communauté ;
- l'évaluation par des quiz ou des exercices de ré-investissement créés par des formateurs ou des experts dans l'ontologie *TO*.

3.3. Le composant « Recommendation Engine » (RE)

Pour chaque LO, soit un nœud d'un graphe, le RE sélectionne les ressources pédagogiques les plus appropriées selon le profil de l'utilisateur courant ou pour un groupe d'utilisateurs. Le choix d'une ressource est réalisé selon plusieurs critères qui sont liés à l'apprenant, la communauté ou les ressources pédagogiques elles-mêmes.

Un exemple de recommandation est présenté dans la figure 7. Remarquons que le RE ordonne la liste des ressources pédagogiques mais cela n'impose en rien à l'apprenant de suivre cet ordre.

Les conditinos if..else					
Titre :	Building Java Programs	Titre :	Les tests et les conditions java	Titre :	The if-then and if-then-else Statements
Langue :	en	Langue :	fr	Langue :	en
Niveau de difficulté :	0	Niveau de difficulté :	1	Niveau de difficulté :	1
Durée :	17 min	Durée :	7 min	Durée :	5 min
Format :	T	Format :	T	Format :	T
Démarrer...		Démarrer...		Démarrer...	
Impressions		Impressions		Impressions	
Notre sélection de ressources pédagogiques					

Figure 7. Exemple de recommandation pour le LO « Les conditions If ... Else » de la formation en Java

Les critères utilisés à l'heure actuelle sont :

- les **critères de préférence** (f_p) : ils concernent principalement les préférences de l'apprenant en terme de langue préférée (par ex., français puis anglais, etc.), format des ressources mais aussi durée de la session prévue par l'apprenant ;
- les **critères d'évaluation** (f_e) : ils portent sur les appréciation faites par une communauté sur les ressources pédagogiques mises à disposition par le **RE** durant les sessions d'apprentissage. Ces critères sont la compréhension, l'appréciation, la recommandation et l'efficacité ;
- les **critères pour les ressources pédagogiques** (f_r) : qui incluent la langue, le format, le niveau de difficulté et la durée de la ressource.

L'objectif du RE est de minimiser la fonction de *fitness* suivante :

$$f = f_p \times [f_r + f_e] \quad (2)$$

où

$$f_p = \prod_{i=1}^l w_i \times C_i, f_r = \prod_{i=1}^m w_i \times C_i, f_e = \prod_{i=1}^n w_i \times C_i, \quad (3)$$

et w_i sont les poids représentant l'importance des critères C_i , avec l, m, n représentant le nombre de critères.

Trois possibilités sont offertes pour calculer le poids : (i) les poids sont attribués par une équipe pédagogique, (ii) ils sont déterminés par le système après une étape d'apprentissage impliquant un nombre minimum d'apprenants, ou (iii) ils sont calculé dynamiquement et changé lors d'une session d'apprentissage. La valeur de C_i dépend de chaque critères selon une formule spécifique.

3.4. Le système multi-agents pour le mode collaboratif

Dans le contexte multi-utilisateurs, en outre au problème de l'adaptation du parcours, vient s'ajouter le problème de la synchronisation entre les apprenants pour construire, en temps réel, un groupe de travail homogène. Cette synchronisation doit considérer plusieurs contraintes :

- le temps d'attente d'un apprenant pour collaborer sur un LO ne doit pas excéder la durée maximale qu'il a choisi ou un ratio d'attente dépendant de la durée prévue pour sa session,
- les membres d'un groupe d travail doivent avoir au moins une langue préférée en commun,
- la recommandation des ressources doit prendre en considération les préférences communes de tous les membres du groupe.

Pour répondre à ces différentes contraintes, nous proposons un système multi-agents pour gérer l'apprentissage en mode collaboratif par point de rencontre. Les composants de ce système sont les suivants :

- « Agent Manager » (AM) qui gère le cycle de vie des agents de recommandation. Donc, pour chaque grain pédagogique (LO) sélectionné, si cela n'a pas déjà été fait, l'AM crée un agent de recommandation. Ce dernier sera détruit par l'AM quand il n'y aura plus de grain pédagogique dans la liste d'attente ;
- « Recommendation Agents » (RA) gèrent la synchronisation entre les apprenants et assurent le déroulement sans à coup des parcours de formation en évitant les cas critiques qui peuvent survenir durant une session d'apprentissage. Ainsi, chaque **RA** qui gère une liste d'apprenants dans un grain pédagogique. Les tâches principales de tels agents sont :
 - la gestion de la liste associée à un grain pédagogique. Puis, l'agent ajoute de nouveaux arrivants dans sa liste et détruit chaque apprenant servi,
 - la création de groupes homogènes de collaboration sur la base des différents profils des utilisateurs,
 - pour chaque groupe créé, l'agent utilise **RE** pour calculer une recommandation de ressources pédagogiques fondée sur le grain pédagogique en question et le profil du groupe. Le profil du groupe correspond à l'intersection des profils de ses membres ;
 - la détection de cas critique. Un apprenant se retrouve dans un cas critique après expiration du temps d'attente choisi sans que l'agent ait réussi à trouver un groupe de collaboration pour l'apprenant concerné. De tels cas peuvent apparaître à cause

de l'absence d'apprenant sur le grain pédagogique, ou à cause de l'hétérogénéité des profils des utilisateurs en activité. Pour résoudre ces cas, l'agent en question crée un agent « fils », dit "Critical Case Management Agent" (CCMA), dont la tâche sera de trouver une solution au problème.

– « Critical Case Management Agent » (CCMA) gèrent les cas critiques. Pour trouver une solution, le CCMA contacte les agents du même niveau, autrement dit, les agents responsables des LO de même niveau sur le graphe. Le but est ici d'obtenir les informations concernant chaque liste de ces agents et de proposer à l'apprenant d'aller travailler un autre LO où il y a des apprenants en attente, ou au contraire, de lui proposer de revenir dans le mode d'apprentissage individuel. Le CCMA est supprimé à la fin de sa tâche.

4. Expérimentation

Nous avons développé un premier prototype de l'architecture proposée. Ce prototype est doté d'interfaces Web qui permettent à l'apprenant d'interagir avec l'environnement d'apprentissage. Dans cette interface, l'apprenant peut exploiter les différents services que sont la génération/visualisation de parcours de formation, la visualisation des différentes ressources pédagogiques recommandées par la plateforme, et l'évaluation de chaque ressource. Dans le contexte multi-utilisateur, l'objectif est de connecter plusieurs apprenants en temps réel sur un ensemble de LO. Nous allons dérouler maintenant un exemple en détail.

4.1. Exemple

Nous avons testé la plate-forme sur la formation appelée « *Development* » qui concerne les bases du langage Java. La formation est un ensemble de LO et de leurs pré-requis comme présentés dans la figure 6. Pour chaque LO, nous avons associé un ensemble de ressources pédagogiques.

4.2. Génération du graphe

Pour chaque session d'apprentissage d'un utilisateur, le graphe est généré au regard de la progression des apprenants dans la formation. En effet, dans le respect de l'apprenant, le système construit un graphe composé de tous les LO non encore acquis par l'apprenant. La figure 8 montre un exemple de graphe en cours de session.

Les nœuds foncés (haut de la figure 8) représentent les LO qui sont accessibles (cliquables) par l'apprenant. Il n'y a pas de contrainte pour faire l'un ou l'autre en premier ; c'est au libre choix de l'apprenant. Cependant, la traçabilité des parcours déjà réalisés par d'autres apprenants et l'évaluation des compétences acquises permet de suggérer à l'apprenant actuel de commencer par l'une ou l'autre s'il a

besoin d'une aide pour se décider. Les nœuds grisés sont les LOS qui appartiennent au niveau suivant auquel l'apprenant n'a pas encore accès. En effet, l'ensemble des nœuds de ce niveau ont pour pré-requis le LO7 de la figure 6 (dont le titre est « Les conditions If... else ») du niveau précédent. L'apprenant doit valider ce LO7 pour avoir accès aux LO du niveau suivant.



Figure 8. Exemple de graphe d'un apprenant en cours de session pour la formation « Development »

4.3. Recommandation de ressources pédagogiques en mode individuel

Dans le mode individuel, le moteur génère une liste de ressources pédagogiques adéquates par rapport aux préférences de l'apprenant. La liste de ces ressources pédagogiques est ordonnée selon la fonction de *fitness* décrite précédemment. Ainsi, la ressource pédagogique qui a la valeur de *fitness* la plus élevée est mise en tête de liste.

La liste recommandée affiche différentes informations (cf. figure 7) sur chaque ressource pédagogique. Par exemple, dans la figure 7, la ressource pédagogique de gauche est un texte (T) en anglais qui nécessite environ 17 minutes pour le lire.

L'apprenant peut naviguer dans la liste pour sélectionner celle qu'il veut voir (cf. lien « Démarrer... »). Une fois qu'il a refermé la fenêtre de visualisation de la ressource, le système lui propose d'évaluer la ressource et de s'auto-évaluer. Un exemple d'interface d'évaluation rapide est donné dans la figure 9.

Vos impressions sur : Installer JDK (Java Development Kit) et NetBeans sous Windows

Avez-vous acquis : Oui Non

Avez-vous apprécié : Oui Non

Avez-vous compris : Oui Non

Recommandez-vous : Oui Non

Valider

Figure 9. Exemple d'interface d'évaluation d'une ressource pédagogique pour la formation « Development »

Après cela, le système redirige l'apprenant vers son graphe courant qui sera mis à jour automatiquement.

4.4. Recommandation de ressources pédagogiques en mode collaboratif

En mode collaboratif, le moteur de génération de parcours sélectionne les ressources pédagogiques pour chaque groupe d'utilisateurs. Pour tous les apprenants connectés en temps réel sur un même LO, le système construit une paire de profils. Si un apprenant est dans un cas critique comme mentionne précédemment, le moteur déplace l'apprenant en question sur un LO de même niveau pour lequel d'autres

apprenants sont en attente sinon le moteur lui propose de basculer en apprentissage individuel.

Pour mieux appréhender comment fonctionne le système, nous montrons les différentes interventions du CCMA par rapport au RE dans l'exemple suivant. Pour cette expérimentation, nous avons contraint notre exemple à des paires d'apprenants en collaboration. Bien évidemment, ces messages ne s'affichent pas dans une session sur la plate-forme Web.

Exemple

Quatre apprenants (notés “*userX*”) sont connectés ; et, “*user1*”, “*user2*”, “*user3*” abordent le LO9 (sur « Boucle For »), et “*user4*” aborde le LO11 (*i.e.* « Boucle do...while »). Le RE s'est exécuté. Les messages suivants montrent la recommandation proposée aux apprenants :

```
#####__Receiver listening ____#####
New connection => user1 on the LO : Boucle For
New connection => user2 on the LO : Boucle For
Creating a binome =>(user1, user2)
New connection => user3 on the LO : Boucle For
New connection => user4 on the LO : Boucle Do...While
user3@test.com is in CRITICAL CASE on the LO => Boucle For
BEST PROPOSITION for user3@test.com is Boucle Do...While
```

L'apprenant « *user3* » est dans un cas critique sur le LO9 après l'expiration du temps d'attente choisi (ici 10 sec.). En conséquence, le système propose à cet apprenant de faire le LO11 avec l'apprenant « *user4* » qui est en attente d'une collaboration.

Pour chaque apprenant d'une paire, le système envoie les ressources pédagogiques nécessaires et un avatar représentant l'autre apprenant avec qui un apprenant est supposé travailler.

5. Plateformes pédagogiques adaptatives et apprentissage collaboratif

Le développement considérables des technologies de l'information et de la communication des ces dernières années ont permis l'émergence d'un très grand nombre de plateformes de formation en lignes. En 2016, le répertoire THOT³ compte plus de 650 plateformes de formation en ligne dont 26 sont *open source*. Ces plateformes se composent généralement de trois grands espaces (Caraguel, 2013) :

1) un espace de cours permettant la mise en ligne de contenu de cours, le stockage de documents complémentaires, la proposition d'un ensemble d'activités aux apprenants. Un ensemble d'outils multimédias permettent de préparer des séquences de cours, des exercices, des questionnaires ; des examens sont aussi une

3. Voir <http://cursus.edu/>

fonctionnalité de cet espace. Dans l'ensemble, cet espace a plutôt une vocation didactique ;

2) un espace d'administration et de suivi regroupant des outils de planification, de suivi et de gestion, tels que la gestion des formations, la gestion des accès, la gestion des apprenants, la gestion des groupes, la gestion des enseignants et des tuteurs, la gestion des parcours de formation, etc. ;

3) un espace collaboratif regroupant des outils de communication synchrones et asynchrones tels que la messagerie électronique, les forums, le chat qui sont les plus couramment utilisés.

Certaines plateformes intègrent d'autres technologies comme la visioconférence, les classes virtuelles, le partage d'un tableau blanc en temps réel, etc. Ces outils favorisent des interactions entre enseignants (tuteurs) et apprenants, entre apprenants mais aussi entre tous les autres acteurs de la plate-forme (personnels administratifs, etc.). Parmi les plateformes *open source* les plus populaires dans le monde, citons Moodle⁴, Claroline⁵, Dokeos⁶, ATutor⁷, Ilias⁸ et Sakai⁹. Toutes ces plateformes proposent des outils de collaboration mais les meilleurs sont proposés par Moodle selon Carvus *et al.* (2014).

Tout le monde s'accorde sur l'importance de ces possibilités de collaboration offertes par les plateformes pour favoriser un apprentissage socio-constructiviste (Brunel *et al.*, 2015 ; Collectif, 2012). Les effets du conflit socio-cognitif, l'affectivité, la zone proximale de développement, la pédagogie active, l'interaction et la motivation des apprenants sont tous des avantages du socio-constructivisme, permettant de briser l'isolement de l'apprenant et par voie de conséquence de réduire le taux d'abandon dans les dispositifs de formation à distance. Cependant, malgré leur disponibilité, ces outils de collaboration, sont très exploités (Brunel *et al.*, 2015 ; Collectif, 2012). En effet, ces plateformes mettent davantage l'accent sur la mise en ligne d contenu que sur la mise en place d'activités collaboratives (Géorge, 2001 ; Vaufrey, 2013). Les plateformes sont plutôt utilisées pour moderniser la pratique de l'enseignement traditionnel à caractère transmissif. Ainsi, même avec l'usage de ces plateformes, les enseignements privilégient la transmission de connaissances à leur construction par l'apprenant. L'activité de l'enseignant est donc davantage valorisée que l'activité de l'apprenant. C'est l'enseignant qui gère le processus d'apprentissage, c'est lui qui choisit les activités à réaliser, les ressources à utiliser et c'est encore lui qui décide de la production à livrer. La liberté de l'apprenant ne concerne que l'espace et le temps de

4. Voir <http://moodle.org/>

5. Voir <http://www.claroline.net/>

6. Voir <http://www.dokeos.com/>

7. Voir <http://www.atutor.ca/>

8. Voir <http://www.ilias.de/>

9. Voir <http://www.sakaiproject.org/>

l'apprentissage (la localisation de l'apprenant et horaires d'apprentissage) et non l'apprentissage lui-même.

Cette vision transmissive de connaissances qui met davantage l'accent sur l'acte d'enseignement que sur celui de l'apprentissage est aussi l'une des caractéristiques des plateformes des xMOOC telles que Coursera¹⁰ ou FUN¹¹. En effet, l'enseignant tient toujours le premier rôle. Les plateformes xMOOC ne font, généralement, que la diffusion des interventions pré-enregistrées de l'enseignant. Ces cours sont complétés par des activités asynchrones (quiz, forum de discussion, etc.), les communications synchrones étant exclues. Cela est dû au très grand effectif des apprenants qui suivent ce type de cours et qui rend difficile voire impossible de gérer une telle communication.

« Ce que l'on commence à avoir l'habitude de nommer les xMoocs signe donc le triomphe du contenu sur l'activité, de l'unicité sur la multitude, et de la transmission sur la co-construction » (Vaufrey, 2013).

Selon Komis *et al.* (2013), l'usage des plateformes et ses effets sur la performance de l'apprentissage est conditionné par la conception pédagogique des ces plateformes, le modèle d'enseignement que cette conception propose aux apprenants et l'intégration des outils Web 2.0 (outils de collaboration, etc.). Nous faisons l'hypothèse que la proposition d'une formule pédagogique permettant la socialisation de l'apprentissage via une plate-forme adaptée devient d'un intérêt certain pour favoriser une formation en ligne plus efficace. Le but est de proposer une formule pédagogique permettant une bonne intégration des principes socio-constructivistes afin de réduire le taux d'abandon auprès des apprenants. L'un des éléments le plus important autour duquel se construit l'apprentissage collaboratif est évidemment celui du « groupe ».

Dans l'objectif d'accélérer le processus de constitution de groupes et d'en améliorer l'efficacité, des méthodes automatiques assistées par ordinateur ont été proposées (Henry, 2013 ; Ounnas *et al.*, 2009 ; Srba *et al.*, 2015). Ces méthodes automatiques présentent plusieurs avantages, à savoir leur capacité à prendre en compte, dans la constitution des groupes, une grande quantité d'informations issues de différentes ressources. La constitution des groupes devient une tâche très rapide et qui pourra être réalisée en tout temps, sur demande de l'apprenant, de l'enseignant ou du système lui-même.

Notons d'autre part, que sur le plan social, les communications synchrones sont très appréciées des groupes pour se connaître et pour prendre en charge les moments de socialisation. Elles contribuent à la création du sentiment d'appartenance au groupe qui joue un rôle important dans une conversation. Cela a un effet très positif sur la motivation des apprenants, sur leur engagement dans une conversation et sur la motivation des apprenants, sur leur engagement dans la conversation et sur leur

10. Voir <https://fr.coursera.org/>

11. Voir <https://www.fun-mooc.fr/>

production. De plus, l'instantanéité des échanges favorise la compréhension mutuelle et facilite l'ajustement des comportements des interlocuteurs en tenant compte de leurs réactions de façon immédiate.

6. Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons proposé une nouvelle architecture pour la construction et le pilotage de parcours de formation dans un contexte mono et multi-utilisateurs par points de rencontre. Cette architecture intègre quatre composants principaux, le Receiver pour la gestion des échanges entre les différents composants de la plate-forme, le *Generation Graph Engine* prend en compte les relations entre les pré-requis et les différents grains pédagogiques (dit LO) d'une formation (resp. compétence) et la progression de l'apprenant qui a demandé la formation (resp. la compétence). Les différents critères liés à la recommandation de ressources pédagogiques sont très variés pour prendre en compte d'une part le profil de l'utilisateur mais aussi les opinions des autres utilisateurs sur les ressources pédagogiques, les LO et les parcours.

Notre architecture permet pour chaque utilisateur de créer des parcours personnalisés en adéquation avec les contraintes imposées par les créateurs de formation ou les formateurs. D'autre part, sur un niveau de graphe, l'apprenant est libre de choisir tel ou tel grain pédagogique (LO) mais il ne peut pas travailler un LO pour lequel il n'a pas acquis les pré-requis. En outre, il a aussi le libre choix de visualiser telle ou telle ressource pédagogique, voire plus, concernant le LO sur lequel il travaille. Toutes ces options permettent d'avoir un parcours personnalisé adapté.

Nos futurs travaux concernent principalement l'optimisation de la génération de parcours d'apprentissage avec une collaboration d'apprenants plus importante tout en restant en temps réel ; ce qui devrait faciliter le passage à l'échelle. Nous utiliserons aussi des méta-heuristiques pour obtenir un meilleur moteur de recommandation de parcours. D'un autre côté, nous devons effectuer une évaluation de notre plate-forme en terme d'utilisabilité. Enfin, il s'agira aussi de faire une analyse des traces d'activités faites par les apprenants pour améliorer la recommandation de formation ou de compétence.

Remerciements

Ce travail a été financé grâce au Fond Unique Interministériel (FUI-15 projet Learning Café) et labellisé par Cap Digital et Imaginove.

Bibliographie

Banlue K., Arch-int N., Arch-int S. (2016). Ontology Mapping and Rule-Based Inference for Learning Resource Integration. *Journal Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 14, n° 2, p. 97-155.

- Belhadj F., Suarez J., Boyer V. (2012). Consistent Media Model for Real-Time Scene Rendering, *Eurographics 2012*, Posters, p. 39-40, May 13-18, Cagliari, Italy.
- Bermudez L., Piasecki M. (2006). Metadata Community for the Semantic Web. *GeoInformatica*, vol. 10, n° 2, p. 159-176.
- Bouhdidi J. E., Ghailani M., Ferman A. (2013). An Intelligent Architecture For Generating Evolutionary Personalized Learning Paths Based On Learner Profiles. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)*, vol. 57, n° 2, p. 294-304.
- Brunel S., Girard P., Lamago M. (2015). Des plateformes pour enseigner à distance : vers une modélisation générales de leurs fonctions, *AIP Primeca*, Mars 2015, La Plagne, France.
- Brut M., Sèdes F. (2010). Ontology-Based Solution for Personalized Recommendations in E-Learning Systems. Methodological Aspects and Evaluation Criterias, *10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2010)*, p. 469-471, 5-7 July 2010, Sousse, Tunisie.
- Caraguel V. (2013). *Appropriation de technologies et apprentissage dans un environnement en e-learning : le rôle du tutorat en ligne*. Thèse en Sciences de Gestion, Université Aix-Marseille.
- Cavus N., Zabadi T. (2014). A comparison of open source learning management systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 143, p. 521-526.
- Collectif(2012). Plates-formes d'enseignement à distance dans l'enseignement supérieur, modes d'appropriation et standardisation des usages, *frantice.net*, n°5, sur site de la revue : <http://frantice.net/index.php?id=593>. ISSN 2110-5324.
- De-marcos L., Martinez J., Gutiérrez J. (2008). Swarm Intelligence in e-learning : A learning Object Sequencing Agent based on Competencies, *proceedings of the 10th annual Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2008)*, p. 17-24, July 12-16, Atlanta, USA.
- Eboa F. H. M., Courtemanche F. Aïmeur E. (2010). Cultural Adaptation of Pedagogical Resources within Intelligent Tutorial Systems. *Intelligent Tutoring Systems, 10th International Conference (ITS 2010)*, Part II, p. 340-342, June 14-18, Pittsburgh, USA.
- Géorge S. (2001). *Apprentissage collectif à distance. SPLACH : un environnement informatique support d'une pédagogie de projet*. Thèse en Sciences de l'éducation, Université du Maine.
- Ghailani M., Bouhdidi J. E., Fennan A. (2014). Towards an Adaptive e-Learning Solution based on Ontologies and Competencies Approach. *International Journal of Computer Applications*, vol. 98, n° 21, p. 42-52.
- Henry T. (2013). Creating effective student groups: An introduction to groupformation.org. *Proceedings of the 44th ACM technical symposium on Computer science education*, p. 645-650, Denver, USA.
- Karampiperis P., Sampson D. (2006). Automatic Learning Object Selection and Sequencing in Web-Based Intelligent Learning Systems. *Web-Based Intelligent E-Learning Systems: Technologies and Applications*. IGI Global, p. 56-71.
- Kardan A. A., Ebrahim M. A. Imani M. B. (2014). A new Personalized Learning Path Generation Method: AcoMap. *Indian Journal Science Research*, vol. 5, n° 1, p. 17-24.

- Komis V., Depover C., Karsenti T., Tselios N. Filippidi A. (2013). Comprendre l'usage des plateformes d'enseignement et les outils Web 2/0 dans des contextes universitaires de formation hybride : aspects méthodologiques. *Formation et profession*, vol. 21, n°2, p. 48-64.
- Kumar A., Nalavade J., Yeola V., Vivek V. (2013), An adaptive Learning System Based on Ant Colony Algorithm. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 3, n° 2, p. 212-214.
- Markowska-Kaczmar U., Kwasnicka H., Paradowski M. (2010). Intelligent Techniques in Personalization of Learning in e-Learning Systems. In *Computational Intelligence for Technology Enhanced Learning*, Berlin Heidelberg, Springer, p. 1-23.
- Muruganandam S., Srinivasan N. (2017). Personalised e-learning system using learner profile ontology and sequential pattern mining-based recommendation. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining (IJBIDM)*, vol. 12, n° 1, p. 78-93.
- Naji A., Ramdani M. (2013). Using the ant algorithm to establish the best path of learning activities. *Applied Mathematical Sciences*, vol. 7, n° 78, p. 3873-3881.
- Ounnas A., Davis H. C., Millard D. E., (2009). A framework for semantic group formation in education. *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 12, n° 4, p. 43-55.
- Ouraibas E.-A., Chikh A., Taleb-Ahmed A., Yebdri Z. E. (2009), Automatic personalization of learning scenarios using SVM. *Proceedings of the 9th International Conference of Advanced Learning Technologies (ICALT)*, IEEE Computer Society, p. 183-185, July 15-17, Riga, Lettonie.
- Pushpa M. (2012). ACO in e-Learning: Towards an adaptive learning path. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 4, n° 3, p. 458-462.
- Srba I., Bielikova M. (2015). Dynamic group formation as an approach to collaborative learning support, *IEEE Transactions on Learning Technologies*,), vol. 8, n° 2, p. 173-186.
- Talhi S., Djoudi M., Ouadfel S., Zidat S. (2007), Un canevas de Tuteur Intelligent Hypermédia pour l'Apprentissage à Distance Universitaire. *Proceedings of the International Conference on Computer Integrated Manufacturing (CIP)*, Novembre, Setif, Algérie.
- Valigiani G., Lutton E., Fonlupt C., Collet P. (2007). Optimisation par « hommilière » de chemins pédagogiques pour un logiciel d'e-learning. *Technique et Science Informatique*. Vol. 26, n°10, p. 1245-1267.
- Vaufrey C. (2013). *Quelles plateformes et uels modèles d'enseignement pour notre culture numérique ?*, <http://cursus.edu/article/19570/quelles-plateformes-quels-modeles-enseignement-pour/>
- Zniber N., Cauvet C. (2005). Systèmes pédagogiques adaptatifs : État de l'art et perspectives. Rapport technique, Laboratoire LSIS.

