Référencement par compétence, recherche et assistance dans les environnements d'apprentissage et de travail

- Résultats du projet PRIOWS

Gilbert Paquette,

Directeur de la Chaire de recherche CICE,
Centre de recherche LICEF, Télé-université
www.licef.ca/gp; www.licef.ca/cice

Résumé. Les principaux résultats du programme de recherche sur l'ingénierie ontologique et le Web sémantique sont d'abord présentés. PRIOWS est un programme de trois ans qui vient de se terminer. Il s'est composé d'un projet d'innovation en gestion de l'information technique à l'aide d'ontologies chez Hydro-Québec et de quatre projets de recherche portant sur le traitement des ontologies, sur la modélisation des connaissances et des scénarios de travail et de formation, sur l'indexation sémantique des ressources et sur l'assistance aux usagers en fonction de leurs connaissances et de leurs compétences. Un cadre d'applications (framework) intégrant ces différentes composantes sera présenté, ainsi qu'une implémentation dans un système, TELOS (Technology-enhanced Learning Operating System), permettant de produire des environnements d'apprentissage ou de travail fondés sur des scénarios multi-acteurs.

1. Présentation du programme de recherche

Le Projet PRIOWS avait au départ un objectif général: développer les connaissances et les applications du Web sémantique et de l'ingénierie ontologique. D'une durée de trois ans, il a été réalisé grâce à une recherche collaborative entre le Centre de recherche LICEF (TÉLUQ-UQÀM), l'entreprise d'État Hydro-Québec et la compagnie CDS.

1.1 Le projet d'innovation GIT

La première composante de PRIOWS, le projet GIT, a été réalisée dans un contexte d'innovation en entreprise chez Hydro-Québec. Il s'est agit de concevoir, mettre en place et valider un système de gestion des connaissances à la Direction de la production de cette entreprise. Ce processus d'innovation a consisté à modéliser les connaissances, à référencer sémantiquement les ressources des banque techniques et à interroger les ressources sur la base de ce référencement à partir de scénarios de travail.

Les travaux ont permis d'implanter l'ensemble de la solution chez Hydro-Québec : éditeur de scénario, éditeur de connaissances, éditeur d'ontologies, système d'exploitation, exécuteur de scénarios, référenceur sémantique. Le prototypes de ces outils ont été étendus et adaptés au contexte de l'entreprise. On a également intégré à la solution les services Web donnant accès aux bases de données techniques d'Hydro-Québec. Un outil de migration des instances lors de l'évolution de l'ontologie donnant un accès intégré aux bases de données a été réalisé. L'exécuteur de scénarios de travail a passé avec succès les tests d'intégration permettant de

synchroniser le mode autonome « sur la route » avec l'application serveur. La solution a subi plusieurs validations fonctionnelles auprès de participants d'Hydro-Québec. Cependant, une validation terrain complète reste à faire. Elle est en cours à l'interne chez Hydro-Québec.

1.2 Les composantes de recherche et de développement

La composante d'innovation et de transfert GIT (composante A) a servi de fil conducteur au processus de recherche et de développement dans lequel quatre autres composantes ont fait l'objet des recherches. Ces recherches génériques ont eu pour objet d'étendre les champs d'application du Web sémantique hors du domaine particulier du GIT.

Les travaux de la *composante B* visaient à assurer la qualité des modèles de connaissances et des ontologies par un processus d'ingénierie ontologique en deux temps. Dans un premier temps, les connaissances explicites ou tacites des experts sont captées et structurées à l'aide d'un éditeur de connaissances semi-formelles. Dans un deuxième temps ce modèle semi formel est transformé et formalisé pour créer une ontologie de domaine. Cette équipe a produit notamment une méthode de modélisation semi-formelle des connaissances, ainsi qu'un processus et des outils de transformation de modèles semi-formels en ontologie.

Les travaux de la *composante C* se sont concentrés sur la construction de scénarios d'activités multi-acteurs pour la gestion des connaissances et la formation. On y a créé une banque de scénarios exécutables dans TÉLOS, ainsi que des opérations et des « patterns » pouvant être intégrés à l'aide de l'éditeur de scénarios pour construire de nouveaux scénatios. On a également spécifié et construit un outil logiciel, le référenceur sémantique, permettant aux concepteurs d'attribuer et de visualiser les connaissances et les compétences associées aux ressources d'un scénario, aussi bien les acteurs, que les activités et les ressources intrants à ces activités ou produites par les acteurs responsables de l'activité. On a finalement implanté trois outils de recherche des ressources sur la base de ce référencement par connaissance et par compétence.

La *composante D* a mené des recherche sur les méthodes et les outils assurant la construction, la maintenance et l'assurance qualité des ontologies. Sur le premier plan, l'équipe a travaillé à l'extraction des ontologies à partir de textes, ainsi qu'à la modularisation des ontologies pour leur éventuelle reconstruction et leur réutilisation. En ce qui concerne la maintenance des ontologies, on a créé des outils pour la restructuration, la confrontation et la fusion des ontologies. Au niveau de l'assurance qualité, on a développé des protocoles d'évaluation ainsi que des métriques de mesure de qualité d'une ontologie.

Enfin, l'équipe de la *composante E* s'est donnée pour objectif de fournir une assistance aux acteurs d'un scénario dans un contexte dynamique, ouvert et évolutif. Un modèle sémantique des usagers a été élaboré, fondé sur une représentation par ontologie des connaissances et des compétences d'un usager. Ce modèle s'enrichit au fil des activités de l'usager dans un ou plusieurs scénarios d'application. On a réalisé les outils d'un système d'assistance pouvant être greffé à un éditeur de scénario, mais collaborant avec lui pour offrir des conseils sur l'exécution des tâches, le choix des ressources à utiliser et l'adaptation de la séquence des activités.

Nous allons maintenant présenter une partie significative des résultats du programme de recherche PRIOWS, compte tenu de l'espace disponible. La section 2 présentera le cadre d'application (« framework ») regroupant les composantes de base du système TELOS et celles plus récentes servant au référencement sémantique, à la recherche de ressources et à l'assistance fournies aux acteurs. La section 3 sera consacrée à l'implémentation dans TELOS d'un un

algorithme de comparaison des connaissances et des compétences et son utilisation pour la recherche de ressources et pour l'assistance aux usagers d'un scénario. La section 4 présentera un exemple d'application à un module de formation.

2. Un cadre conceptuel pour le référencement, la recherche et l'assistance

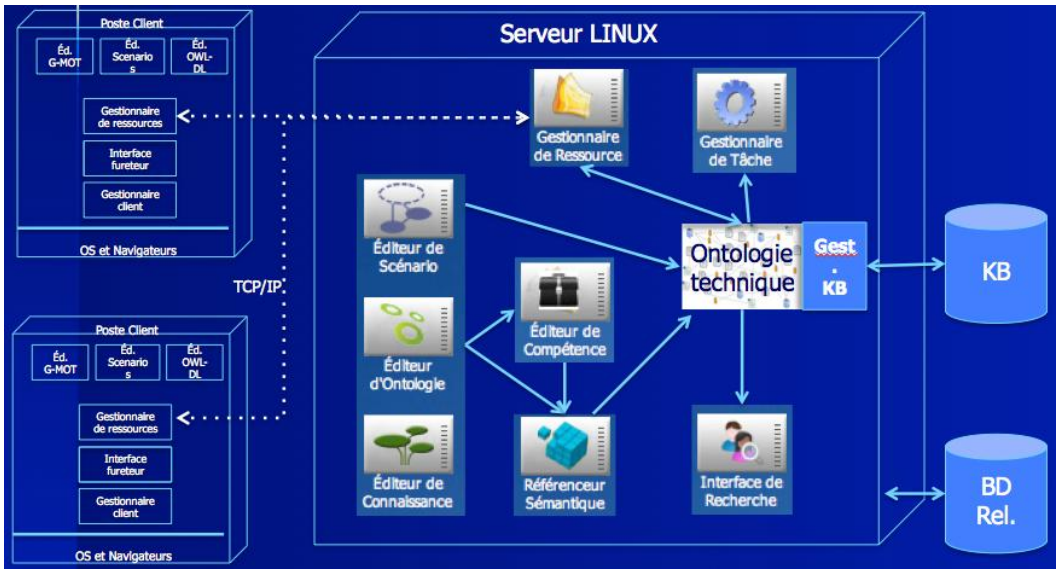

Figure 1 – Architecture de TÉLOS

La figure 1 présente le cadre conceptuel sur lequel repose le système TELOS développé dans le projet PRIOWS. Sans entrer dans les détails techniques, il s'agit d'une architecture client-serveur sur un réseau TCP/IP. Le système est dirigé par une ontologie (Tetlow et al 2001; Kleppe, et al. 2003, Uschold 2008), dont les classes se peuplent d'instances (KB : Base de connaissances) à travers les opérations des différents modules, lesquels échangent des données par services (Wilson, Blinco and Rehak 2004). Nous décrivons maintenant certains de ces modules d'un point de vue conceptuel.

2.1 L'ontologie technique TELOS et les outils de base

Le système TELOS (Paquette, Rosca et al 2006; Paquette and Magnan 2008) est le principal produit du réseau de recherche canadien LORNET dont les travaux se sont terminés fin 2008. TELOS utilise les ontologies de deux façons. Il intègre sa propre architecture conceptuelle sous la forme d'une ontologie technique dont le code dirige une partie centrale de l'exécution du système. Cette ontologie technique ayant été construite à l'aide d'un éditeur graphique d'ontologies OWL-DL réalisé au Centre LICEF et dérivé du langage MOT (Paquette, 2008).

TELOS est un système d'assemblage d'environnements en ligne, chacun constitués par l'agrégation de divers types de ressources sous la forme de scénarios d'activité ou « workflows ». Dès le début du projet PRIOWS, le système offrait, dans une interface usager accessible par fureteur Web, les outils suivants: un gestionnaire des ressources, un éditeur graphique des scénarios, un gestionnaire des tâches en exécution, un éditeur de connaissances semi formelles et un éditeur d'ontologies.

Le *gestionnaire de ressources* donne accès à toutes les ressources disponibles dans TELOS que celles-ci soient des acteurs, documents, des outils, des opérations, des scénarios, des modèles de connaissances ou des ontologies de domaine. Ces ressources sont classifiées dans la hiérarchie des classes de l'ontologie technique qui gère TELOS en tant que classes (instanciées à l'exécution) ou instances. Lorsqu'une ressource est intégrée dans un des dossiers, elle acquiert une sémantique d'exécution fournie par les propriétés de cette classe dans l'ontologie technique. Cette sémantique permet de décider ce que TELOS doit faire de la ressource au moment de l'exécution : la présenter s'il s'agit d'un document, présenter une fiche d'information s'il s'agit d'un acteur ou exécuter un composant logiciel s'il s'agit d'un outil d'une opération.

L'éditeur de scénarios est une autre composante centrale de l'architecture TELOS. Il utilise un langage graphique formel dérivé du langage MOT (Paquette, 2010). L'éditeur de scénarios permet d'inclure un flux de données et un flux de contrôle dans le même scénario. Le flux de contrôle est représenté par les liens P entre les fonctions, activités et conditions et les liens R entre les acteurs et les activités. Le flux de données est représenté par les liens I/P (intrant/produit) qui passent l'information fournie à l'entrée d'une activité aux acteurs qui produisent des informations nouvelles.

Dans TELOS, l'exécution d'une ressource de type scénario permet de générer une interface usager appelée *gestionnaire des tâches* dans lequel les acteurs pourront réaliser les activités en utilisant et en produisant les ressources du scénario. Le gestionnaire des tâches est géré par l'ontologie technique en ce sens que l'exécution du scénario repose sur l'association des ressources composant le scénario aux classes de l'ontologie technique.

L'*éditeur d'ontologies* G-MOT/OWL (Paquette 2008; Paquette et Rogozan 2011), est un outil de TELOS qui peut également être utilisé de façon autonome sur un poste client hors de TELOS. Une version antérieure de cet éditeur, MOT+OWL, a d'ailleurs servi à l'élaboration de l'ontologie technique de TELOS. G-MOT/OWL sert aussi comme outil de conception d'ontologies de domaine pour le référencement des ressources de TELOS, la recherche des ressources et l'assistance aux usagers. G-MOT permet de fournir une représentation graphique complète d'OWL-DL combinant les vertus d'une construction interactive des modèles, tout en exportant le graphe ainsi créé vers un fichier conforme au standard OWL-DL.

L'*éditeur de profil compétence* a été ajouté au système au cours du projet PRIOWS. Pour ce faire, nous avons étendu l'ontologie technique de base en y ajoutant des classes et des propriétés décrivant les compétences. La figure 2 présente une partie du modèle G-MOT/OWL qui permet d'associer à toute ressource décrite dans le gestionnaire de ressources TELOS une compétence actuelle (pour les acteurs) ou une compétence seuil ou visée (pour un document, une activité ou un scénario). Chaque compétence est décrite par un énoncé en langue naturelle et, par un triplet (K, S, P) composé d'un descripteur K choisi dans une ontologie domaine (classe, propriété, instance ou certaines combinaisons de ces descripteurs de base), d'une habileté générique S choisie dans une taxonomie et d'un niveau de performance P défini à l'aide de critères de performance, tel que été décrit dans (Paquette, 2007). Sur cette base, une interface usager permet au concepteur d'un scénario d'éditer un référentiel de compétences.

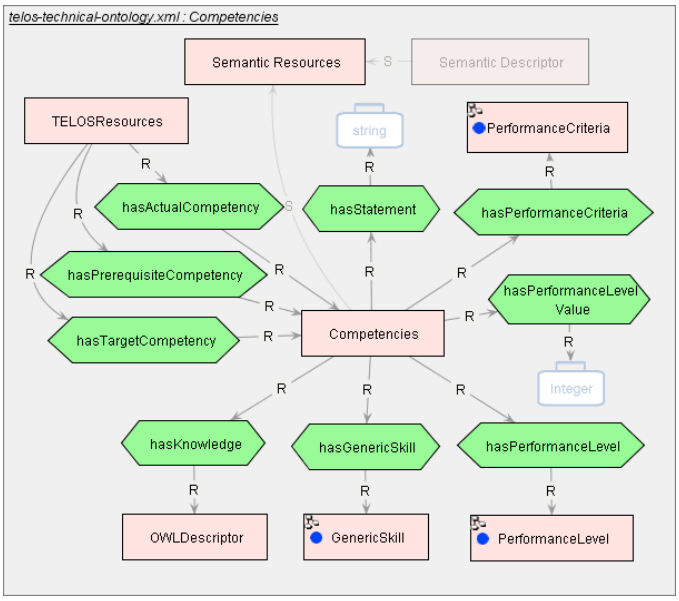

Figure 2 – Une partie de l'ontologie technique pour l'édition des profils de compétence

2.2 Le référencement sémantique et la recherche de ressources

L'extension de l'ontologie technique présentée dans la section précédente a permis la création d'un autre outil de TELOS - *le référenceur sémantique*. Cet outil permet aux utilisateurs de décrire le contenu des ressources en leur associant des descripteurs de connaissance et/ou de compétence. Le processus de référencement est présenté à la figure 3.

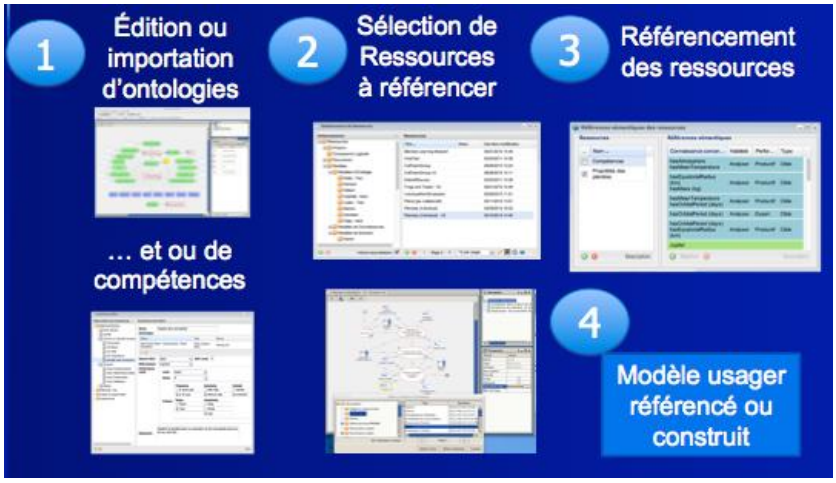

Figure 3 – Le processus de référencement sémantique dans TELOS

Ce processus suppose qu'une ontologie de domaine a été importée dans le gestionnaire de ressource et qu'un profil de compétence a été édité sur la base de cette ontologie (étape 1). Dans le référenceur sémantique, le concepteur du scénario sélectionne d'abord les ressources à référencer à partir d'un scénario en construction ou du gestionnaire de ressources (étape 2). Il peut voir les références sémantiques, connaissances ou compétences, déjà associées à certaines ressources. Il peut décider ensuite d'ajouter, de modifier ou de supprimer une référence aux ressources (étape 3). Ces références sont ensuite enregistrées de façon persistante dans la base de

connaissances de l'ontologie technique, plus précisément dans le modèle usager des acteurs d'un scénario (étape 4).

Le référencement sémantique des ressources a permis de créer des outils de recherche des ressources interrogeant le référencement déclaré dans l'ontologie technique. Trois types de recherches par connaissances sont disponibles dans TELOS : la recherche simple, la recherche avancée et la recherche par ressource. La *recherche simple* identifie les ressources par le nom descripteurs sémantiques. La *recherche avancée* permet à l'utilisateur de créer des requêtes mieux ciblées. Il peut notamment créer des descripteurs combinés en agençant des descripteurs des classes, des instances ou des propriétés. Il peut aussi construire des requêtes en fonction des composants d'une compétence : référent ontologique, habileté ou niveau de performance.

Dans la *recherche par ressource*, les requêtes consistent à rechercher, à partir d'une ressource donnée, toute celles ayant des référents sémantiques communs, identiques ou proches de ceux de la ressource donnée que celle-ci soit un acteur, un document ou un scénario. Ainsi, ce dernier type de recherche pourra répondre à des questions comme « Je veux toutes les ressources qui correspondent à mon profil des compétences » ou « je veux des ressources qui m'aideront à réaliser telle activité du scénario ». Ces ressources sont obtenues en appariant les connaissances acquises de l'acteur avec celle associées aux ressources ou en appariant les compétences préalables ou cibles de l'activité d'un scénario avec celles des autres ressources.

3. La comparaison des connaissances et des compétences pour la recherche par proximité et l'assistance

La recherche par proximité et l'assistance aux usagers nécessitent toutes deux une comparaison de deux ou plusieurs ressources, quant à leur référencement par une ontologie de domaine (si on se limite aux connaissances), ou quand à une comparaison entre compétences. Ce dernier cas est évidemment plus complexe car il implique une comparaison entre les composants d'une compétence, soit la connaissance (K), l'habileté (S) et la performance (P) qui composent la compétence.

3.1 La comparaison des descripteurs d'une ontologie de domaine

La comparaison des descripteurs par ontologie de domaine s'appuie sur la structure même de l'ontologie. Par exemple, pour un descripteur de type classe, les superclasses, les sous-classes ou les instances d'une classe sont considérées comme proches. Pour un descripteur combiné (classe-domaine, propriété, classe-codomaine), la recherche par proximité identifiera les ressources référencées par la classe domaine ou codomaine du descripteur ou par des faits spécifiques (instance de la classe domaine, propriété, valeur). La figure 4 identifie d'autres cas de proximité.

Nous avons exploré systématiquement 6 formes de descripteurs sémantiques pour décider de la proximité de deux descripteurs par ontologie de domaine K1 et K2. Un concept (forme C) est proche de ses sous-classes, superclasses et instances. Il est aussi proche d'une propriété d'objet ou de donnée (formes D-PO-R et D-dP) ayant un domaine ou un codomaine identique ou équivalent à C. Un descripteur de type D-PO-R est proche d'une sous-propriété ou sur-propriété

ayant les mêmes domaines et les mêmes codomaines ou des domaines ou des codomaines sous-classes ou superclasses de D ou R.[1]

Type de K1	Type de K2 'proche'				Type de résultat
	C	I	FG	FS	
C	✓	✓	✓		K2 proche de K1
I	✓			✓	K2 proche de K1
FG	✓			✓	
FS		✓	✓	✓	

Légende : K=descripteur de connaissance;
C=classe; I=Instance; FG=(Dom, Prop,Codom); FS=(Inst,Prop Inst)

Figure 4 – Une définition heuristique de la proximité de deux référents ontologiques

Par ailleurs, ce type de comparaison heuristique des références sémantiques permet aussi de définir quand un descripteur K_1 est plus général ou plus spécifique qu'un autre K_2. Par exemple, K_1 est plus général que K_2 si K_1 est une superclasse de K_2, possède K_2 comme une instance, sert de domaine ou de codomaine à un propriété d'objet ou de données K_2, ou contient une instance du domaine or du codomaine d'un descripteur de propriété K_2.

3.2 La comparaison des descripteurs par compétence

Sur la base de ce qui précède, on peut définir la proximité de deux compétences $C_1=(K_1, S_1, P_1)$ and $C_2=(K_2, S_2, P_2)$. La figure 5 illustre la méthode dans le cas où la partie connaissance K_1 est proche de K_2 selon les critères de la section précédente. L'illustration représente les composantes (S, P) des deux compétences sur une grille où les habiletés S sont ordonnées de 0 à 9 et groupées en quatre classes: $\{\{0,1\}, \{2,3,4\}, \{5,6,7\}, \{8,9\}\}$. Les indicateurs de performance sont en abscisse, groupés en quatre niveaux 0,2, 0,4, 0,6 et 0,8.

Par exemple, une compétence C1 avec une habileté « analyse » et un niveau de performance « expert » est étiquetée 5,8 (S1 + P1). Une autre compétence C2 aux niveaux 7,2 ou 6,4 sera considérée comme proche et plus forte que C1 parce que l'habileté « synthétiser » et l'habileté « réparer » sont dans la même classe que l'habileté « analyser » mais requièrent un niveau de performance plus élevé. Par ailleurs, une compétence C2 étiquetée 5,2 sera considérée très proche et plus faible que C1 parce qu'ayant le même niveau d'habileté, mais un plus faible niveau de performance. Les autres compétences dites « éloignées » sont considérées comme non comparables à C1.

Aussi, selon la relation général/spécifique entre les parties « connaissance » de la compétence, C2 sera définie comme équivalente, plus générale ou plus spécifique que C1. Ces relations entre compétences peuvent être combinées pour définir des relations plus complexes. Par exemples, une compétence peut être définie comme proche, plus forme et plus générale qu'une autre.

[1] Cette étude étend les travaux de Maidel et al. (2008) qui compare les descripteurs par classe dans une taxonomie dans 5 cas de comparaisons. Cette étude montre une impact positif sur l'utilisation de la proximité sémantique pour l'assistances aux usagers dans les systèmes de recommandation

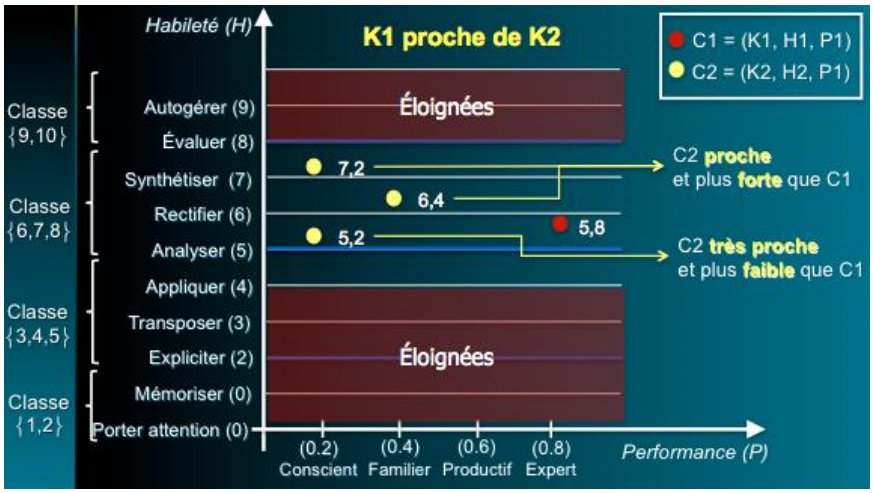

Figure 5 – Une définition heuristique de la proximité de deux référents par compétence.

3.3 Utilisation des comparaisons pour l'assistance

Pour l'assistance, nous avons étendu l'éditeur de scénario pour permettre l'ajoute d'agents conseillers, liés à certaines tâches critiques appelé « points d'insertion ». Ces agents sont définis par un concepteur par un ensemble de règles. Dans chacune de ces règles, un et un seul acteur du scénario responsable de la tâche est choisi comme récepteur de l'assistance. Si un évènement déclencheur se produit au moment de l'exécution du scénario tel que « tâche complétée », « ressources ouverte », etc., chaque règle applicable est évaluée et ses actions sont déclenchées, dépendant de l'évaluation de sa condition.

Chacune des conditions d'une règle est un triplet :

- *Quantification* a 2 valeurs: Une ou Toutes; ce sont des abréviations pour "l'usager récepteur a une (ou toutes) de ses compétences en *relation* avec une *liste de compétences objet*".
- *Relation* est une des relations de comparaison entre descripteurs sémantique présentées plus haut: Identique, PlusGénérale, PlusSpécifique, Proche, TrèsProche, PlusForte, PlusFaible ou toute combinaison de ces relations.
- *ListeCompétencesObjet* est une liste de compétences préalables ou cibles de la tâche au point d'insertion ou d'une ressource intrant ou produite à ce point d'insertion avec lesquelles seront comparées les compétences de l'usager-récepteur.

Voici un exemple de condition:

Toutes /ProchePlusSpécifiques / CompétencesCibles Essai

Quand cette condition est évaluée, les compétences associées à l'usager sont recueillies, ainsi que les compétences cibles associées à la ressource « Essai ». L'évaluation de la relation "ProchePlusSpécifique" fourni une valeur vrai ou faux, permettant ou non le déclenchement de la règle.

4. Un exemple d'assistance à un scénario

Nous allons maintenant illustrer l'utilisation de ces concepts généraux pour l'assistance à un scénario dans un domaine particulier.

4.1 Un scénario d'apprentissage

La figure 6 présente une copie d'écran de l'éditeur de scénario G-MOT (Paquette et al., 2011). On y voit quatre tâches, deux acteurs (un professeur et un étudiant) et des ressources intrants aux tâches ou produites par l'acteur responsable de tâche (lien R). À la tâche initiale, l'étudiant lit les consignes générales du scénario et la liste des compétences visées qu'il doit acquérir. Dans la seconde, il construit une table des propriétés des planètes en utilisant le document « Propriétés des planètes ». Dans la troisième tâche, il utilise la table validée par le professeur pour comparer cinq propriétés des planètes pour établir des relations entre elles et il rédige un texte à cet effet. Dans la quatrième tâche, il doit résoudre un problème : ordonner les planètes selon leur distance du soleil et il rédige un essai sur les planètes qui peuvent soutenir la vie. À droite sur le modèle de ce scénario, on trouve trois agents d'assistance associés à autant de points d'insertion. Leurs rôle est de fournir de l'assistance aux usagers du scénario relativement à la tâche à laquelle ils sont associés (cibles du lien R). Notons que chaque tâche peut être décomposée en sous-modèles sur un ou plusieurs niveaux auxquelles ont peut aussi associer des agents conseillers.

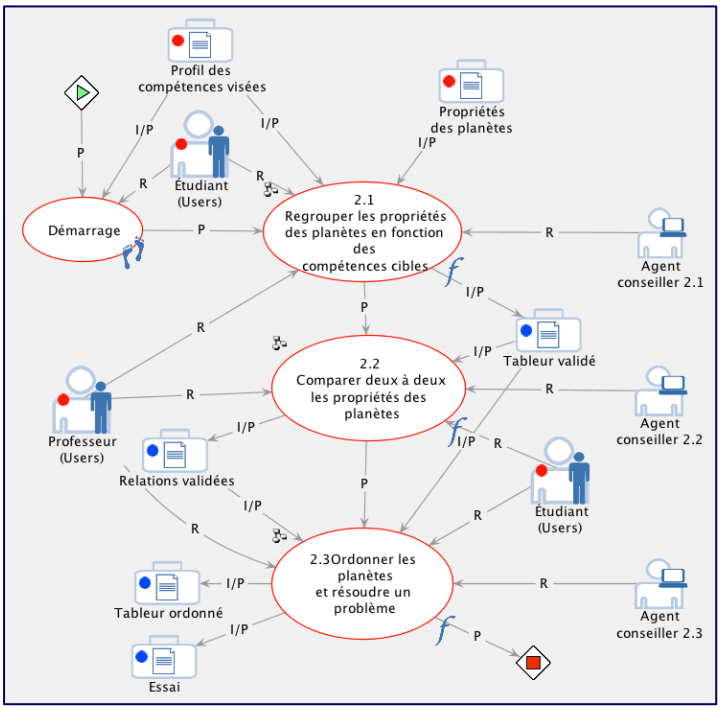

Figure 6 – Un exemple de scénarios et trois agents conseillers à différents points d'insertion

4.2 Le référencement par connaissances et par compétences

Les objets composant ce scénario peuvent être référencés par connaissances à l'aide de descripteurs choisis dans un ontologie de domaine sur le système solaire, tel qu'indiqué à la section 2.2. Sur la base de cette ontologie, on peut définir un profil de compétences. La figure 7 présente le résultat du référencement sémantique pour certaines ressources du scénario dans l'interface du référenceur sémantique.

Cet outil permet de visualiser les connaissances ou les compétences et de les comparer. Par exemple, les compétences d'un usager Étudiant peuvent être comparées visuellement à celles associées à la tâche 2.1 du scénario de la figure 6 ou à celles de la ressource « Tableur validé » à produire. On pourra ainsi vérifier si cet usager possède les compétences préalables ou visée par

une ressource ou une activité du scénario. C'est cette étude qui permettra de définir des recommandations quant aux ressources à étudier ou des notifications au professeur.

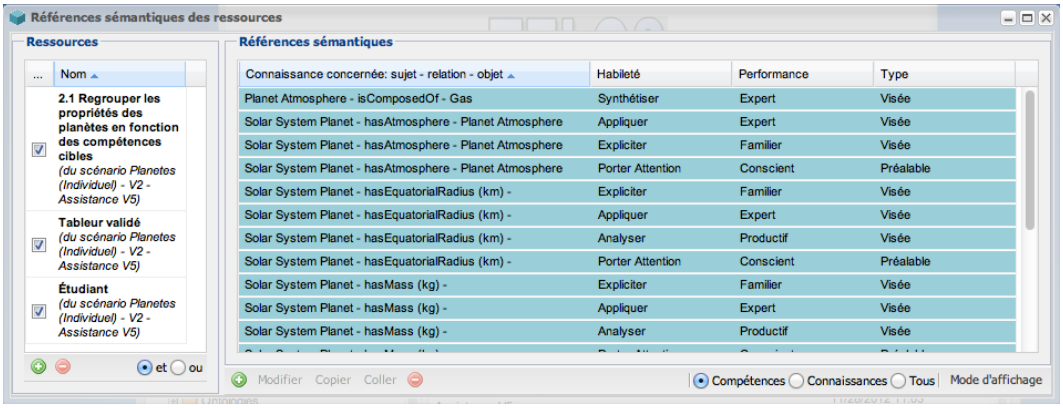

Figure 7 – Référencement sémantique des ressources à un point d'insertion

4.3 Des exemples d'assistance

La figure 8, regroupe des captures d'écran de l'interface de définition des règles de l'agent conseiller pour la tâche « Regrouper les propriétés des planètes….» présentée plus haut.

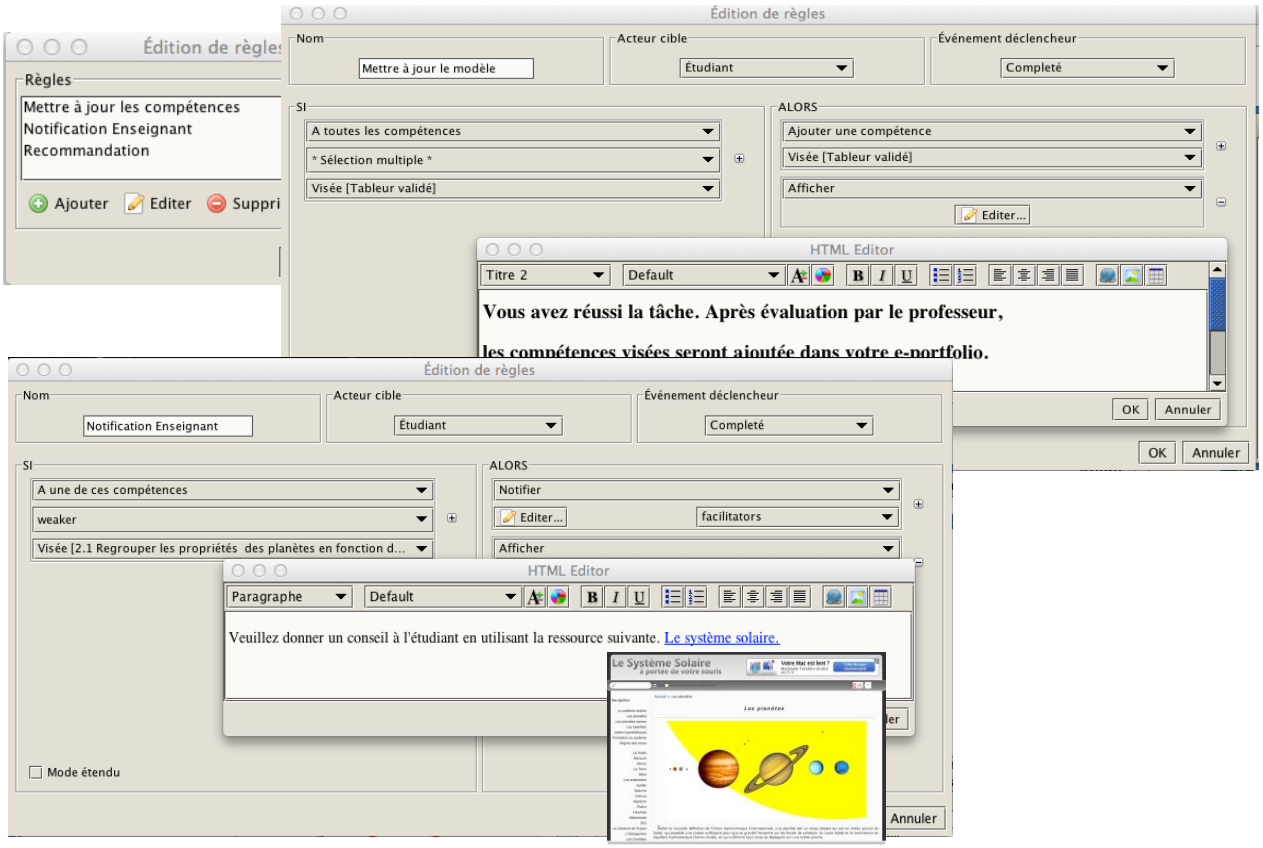

Figure 8 – L'interface de définition d'un agent conseiller et deux règles

Chaque agent conseiller est défini par un ensemble de règles. On y voit trois règles utilisant le référencement sémantique.[2] La première ajoute dans le modèle de l'étudiant, une partie de la liste des compétences visées, lorsqu'il réussit la tâche en fonction de l'évaluation du professeur. La seconde notifie le professeur en cas de grande difficulté de l'étudiant et lui suggère une intervention à l'aide d'une nouvelle ressource (2ème partie de la figure). La troisième n'est pas indiquée sur la figure, mais elle donne un conseil à l'étudiant pour l'aider à réussir la tâche.

Conclusion

En conclusion, le projet PRIOWS a produit les résultats suivants :

- Une application fonctionnelle pour la gestion de l'information technique chez Hydro-Québec (GIT). Ce travail d'innovation a permis de valoriser et d'adapter un prototype du système TELOS, tout en validant une méthode de gestion des connaissances.
- Une première méthode de modélisation semi-formelle et un processus de formalisation de ces modèles en ontologie ou de scénarios de travail et de formation.
- Une méthode et un outil de référencement sémantique des ressources et des outils de comparaison et de recherche des ressources par connaissance et par compétence
- Un cadre conceptuel et des outils pour la restructuration des modèles ontologiques, intégrables dans un éditeur d'ontologies
- Des outils d'assistance et de personnalisation fondés sur un modèle de scénario, une ontologie de domaine et un profil de compétence.

En particulier, nous avons réalisé une implantation d'un processus d'assistance par compétence validé dans un certain nombre de situations. Cette implantation fait de TELOS un atelier facilitant l'exploration de recherches futures pour l'étude de la personnalisation dans les environnements d'apprentissage et de travail, et également, une base pour des transferts à de nouvelles organisations désirant innover dans la gestion de leurs connaissances et de leurs compétences.

Un aspect critique de ce processus est la validation expérimentale d'une définition heuristique de la proximité des descripteurs par connaissances et compétences. Un éventail plus large de situations devra être étudié pour améliorer cette définition. L'ajout de poids aux différents critères de comparaison permettrait, par exemple, de tenir compte du fait qu'un sous-classe ou une superclasse est plus proche d'une classe que ses instances ou ses propriétés, surtout si plusieurs propriétés servent à définir la classe.

L'exemple présenté ici ne rend par justice à la généralité de notre modèle de scénario multi-acteur. Nous avons construit une banque de scénarios dont plusieurs impliquent de la collaboration entre apprenants ou entre utilisateurs et divers types de facilitateurs. L'assistance aux groupes dans des scénarios collaboratifs devra faire l'objet de nouvelles recherches.

Finalement, pour accroitre l'utilité pratique de la méthode et des outils, certaines tâches devront être partiellement ou totalement automatisées, en particulier le référencement sémantique. L'ergonomie générale du système devra également être améliorée. Une plus grande ouverture aux principes du Web de données devra aussi être implantée.

[2] D'autres règles n'utilisant pas le référencement sémantique sont aussi possibles, par exemple vérifier si les ressources à consulter ont été ouvertes; si le temps suggéré a-t-il été respecté, etc.

Remerciements

L'auteur tient à remercier le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG-NSERC), ainsi qu'Hydro-Québec pour leur aide financière et leur collaboration à ce projet. Il tient aussi à remercier les chercheurs de l'équipe PRIOWS, ainsi que les ingénieurs informatiques et doctorants ayant participé au projet.

Bibliographie

Kleppe, A. G., Warmer, J. B., & Bast, W. (2003). *MDA explained : the model driven architecture : practice and promise.* Boston: Addison-Wesley.

Maidel R., Shoval P., Shapira B., & Taieb-Maiomon M. (2008) Evaluation of an Ontology-content based filtering method for a personalized newspaper, Proceedings of the 2008 ACM Conference on Recommender Systems (RecSys '08), Lausanne, Switzerland, pp. 91-98

Moulet, L., Marino, O., Hotte, R., & Labat, J.- M. (2008). Framework for a competency-driven, multi-viewpoint and evolving learner model. In B. Woolf, et al. (Eds.), Proceedings ITS 2008, 9th International Conference Intelligent Tutoring Systems, (LNCS 5091, pp. 702-705). Montréal, Canada: Springer.

Paquette G. (2008) Graphical Ontology Modeling Language for Learning Environments. *Technology, Instruction., Cognition and Learning*, Vol.5, p.133-168, Old City Publishing.

Paquette G. (2010) *Visual Knowledge Modeling for Semantic Web Technology.* 463 pages, IGI Global.

Paquette G., Rogozan D., Contamines J., Leonard M. (2006) Correspondance entre le langage graphique MOT+OWL et les primitives de représentation OWL-DL. TELOS documentation. LICEF Centre de recherche LICEF.

Paquette G. (2010) Ontology-Based Educational Modelling - Making IMS-LD Visual, Technology, Instruction, Cognition and Learning , Vol.7, Number 3-4, pp.263-296, Old City Publishing, Inc.

Paquette, G. et Rogozan D. 2011. Un processus de construction et d'évolution d'un système dirigé par ontologies. Dans 4èmes Journées Francophones sur les Ontologies (22 – 23 Juin 2011).

Paquette, G. (2007). An Ontology and a Software Framework for Competency Modeling and management. Educational Technology & Society, 10(3), 1-21.

Paquette, G. and Magnan, F. (2008) An Executable Model for Virtual Campus Environments in H.H. Adelsberger, Kinshuk, J.M. Pawlowski and D. Sampson (Eds.), *International Handbook on Information Technologies for Education and Training, 2nd Edition*, Springer, Chapter 19, pp. 365-405, June 2008.

Paquette, G., Rogozan, D. Marino, O. (2012) Competency Comparison Relations for Recommendation in Technology Enhanced Learning Scenarios, RecSysTel'12 Conference, Saarbrüecken, Septembrer 2012

Paquette, G., Rosca, I., Mihaila, S., Masmoudi, A. (2006) Telos, a service-oriented framework to support learning and knowledge management. In Pierre, S., ed.: *E-Learning Networked Environments and Architectures: a Knowledge Processing Perspective.* Springer-Verlag.

Tetlow, P., Pan, J., Oberle, D., Wallace, E., Uschold, M., Kendall, E. (2001) Ontology driven architectures and potential uses of the semantic web in systems and software engineering. http://www.w3.org/2001/sw/BestPractices/SE/ODA/051126/.

Uschold, M. (2008) Ontology-Driven Information Systems: Past, Present and Future, in *Proceedings of the Fifth International Conference on Formal Ontology in Information Systems*, C. Eschenbach and M. Gruninger, eds., IOS Press, Amsterdam, pp 3-20.

Wilson, S., Blinco, K., Rehak, D. (2004) Service-oriented frameworks: Modelling the infrastructure for the next generation of e-learning systems. Presented at the alt-i-lab'04.