

Chapitre X

TELOS et la gestion des connaissances

X.1. Introduction: un système d'inter- opération pour télé- apprentissage?

X.1.1. L'expérience LICEF

Les connaissances peuvent se développer par expérience ou dans le cadre des activités pédagogiques. Ces activités peuvent être soutenues par des instruments et des personnes de support, groupées en applications d'instruction. Les applications peuvent être planifiées, implémentées et gérées dans le cadre des systèmes d'instruction. Ces systèmes doivent être projetés, réalisés et modifiés. La technologie éducationnelle rencontre des questions, comme: "Avec quelles stratégies et moyens faut-il équiper les technologues A et les méthodologues B, qui veulent doter (avec de méthodes et des instruments de composition et de gestion) un publique d'auteurs C et des gestionnaires D, qui organisent des applications d'instruction, dans le cadre desquels, un groupe d'assistants E puisse instruire un ensemble d'élèves F, de façon que ceux-ci obtiennent une amélioration G de leurs compétences, dans le domaine de connaissances H, pour accomplir les performances I dans les contextes J - et tout cela, de façon optimale, selon des critères K, vérifiables par des méthodes L".

La figure 1 signale la complexité de la situation créée par la cascade des longs cycles de production instrumentale et intellectuelle, réclamant une gestion globale.

L'institut LICEF s'est proposé de construire une base pour la gestion unitaire du cycle de vie des systèmes d'instruction: commençant avec la planification de leur architecture et de leur comportement, continuant avec l'implémentation et la mise en exploitation - au sens de la réalisation, avec leur aide, des applications concrètes d'instruction - et finissant avec l'observation du comportement, pour reprendre la boucle de reingénierie, en opérant des corrections et des améliorations. Les systèmes gérés dans la grande boucle doivent pouvoir soutenir le cycle de vie des

2 Titre de l'ouvrage

applications (leçons, cours, autres activités, etc.) qu'elles gèrent à leur tour: planification, implémentation, exécution, production des résultats cognitives et matérielles, analyse, correction.

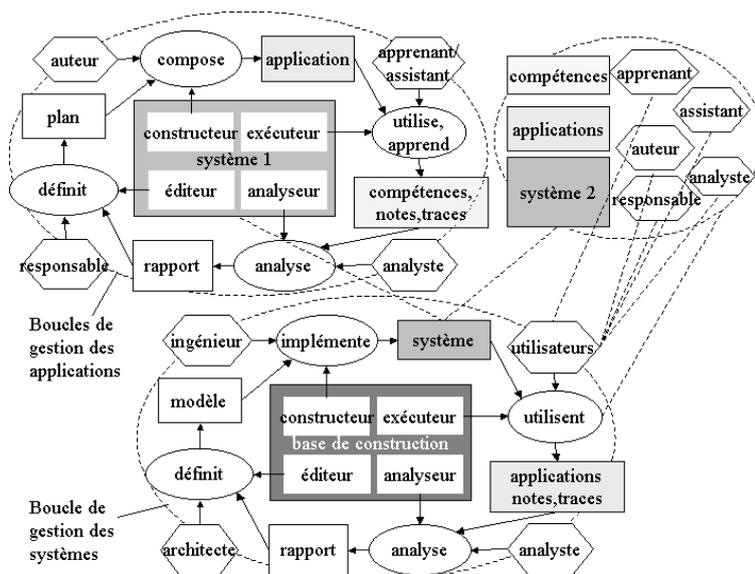


Figure 1: Cycles de gestion des systèmes et des applications d'instruction

Dans la phase de planification (définition) des applications, les connaissances et les évolutions des compétences visées par les processus instructives sont précisées. Ensuite sont définies les structures des ressources de support médiatique et les scénarios des activités pédagogiques. Des structures et des processus pré-pédagogiques (préparation du cadre, diffusion) ou post-pédagogiques (analyse des résultats) peuvent aussi être définies. Pour la description (modélisation) LICEF a proposé une combinaison de graphes (utilisant l'éditeur MOT-AGDI- voir [PAQ 03]) et des fiches de métadonnées. Les éditeurs qui permettent la définition des diverses parties du système (connaissances, activités, ressources, etc.) ont été intégrés dans ADISA (atelier distribué d'ingénierie des systèmes d'apprentissage [PAQ 01]), qui permet à une équipe de coopérer par Internet, pour définir des projets.

La construction et l'exploitation effective du système (application) d'instruction définis dans un devis (projet) ADISA (conformément à la méthode d'ingénierie MISA- voir [PAQ 99]) est à la charge des équipes d'implémentation (design) et d'instruction, qui peuvent utiliser des outils de composition et des stratégies didactiques variées. Par exemple, dans le système EXPLORA (construit par LICEF - voir [PAQ 00])- pour équiper des campus virtuels, comme celui de la Téléuniversité

de Montréal), les fonctions de composition (des programmes d'enseignement, des groupes, des cours en ligne, des scénarios d'activités et d'évolution des compétences, des interventions du conseiller automatique, etc.) et d'exploration- accessibles en fonction des "rôles" joués à un moment donné par les participants - sont réalisées avec des instruments web d'usage général, ou construits par LICEF.

L'avancement des recherches (en software engineering) sur l'automatisation de la relation entre l'architecture et le programme- a soulevé l'intérêt pour la génération des structures et la reproduction des processus- en partant de leurs modèles. Ces préoccupations allaient mener à la vision générative du système TELOS (voir X.5). À l'aide du contrôleur général de ressources ION, les possibilités d'agrégation statique et dynamique ont été investiguées et l'utilisation des modèles procédurales comme instrument de coordination de l'exécution a été étudié, introduisant, dans ce but, le mécanisme des "fonctions"- exploré à l'aide du gestionnaire VAL (voir X.4).

Les résultats du déroulement des activités pédagogiques (traces, notes, produits), soutiennent les boucles de réaction (comme l'intervention d'un système conseiller, la modification des profils des compétences et l'enrichissement des portfolios personnels). L'analyse des résultats peut orienter la modification des nouvelles versions des applications ou des structures de connaissances qu'elles utilisent comme repère. L'évaluation de l'efficacité de la chaîne globale, peut inspirer la boucle de reingénierie des systèmes d'instruction.

J'ai eu la tâche de mettre au point la gestion cohérente de la chaîne représentée dans la figure 1, pour permettre le passage de Explora à Explora2 [ROS 01]. L'architecture conçue à cette occasion, intégrait des blocs pour la gestion: des connaissances, des personnes et des ressources matérielles, de l'agrégation statique et de la planification des activités, de l'assistance. Sur le plan technique, une attention spéciale était accordée à la distribution et à l'interopérabilité des composantes. La création des passerelles entre Explora et autres systèmes (AdapWeb ExploraGraph, Sigal), l'intégration dans le projet Edousource (qui visait la connexion des répertoires canadiens de ressources pédagogiques, indexées par des métadonnées xml, respectant les normes IMS-Cancore) et surtout les exigences du projet SavoirNet (qui a imposé le passage de Explora2 vers la posture de portail liant une grappe de fournisseurs de services de télé- éducation) ont préparé le terrain pour fructifier l'expérience LICEF dans le cadre du projet LORNET.

X.1.2. Le projet LORNET et le système TELOS

À la conférence de fermeture des projets dédiés à la stimulation de l'utilisation de l'Internet dans l'enseignement canadien, financés par le réseau TeleLearning (Vancouver, 2002) j'ai proposé un nouveau cycle, dédié à la coordination des efforts pour connecter divers systèmes d'instruction et de gestion des connaissances, réduisant les redondances coûteuses. La tendance vers le WEB sémantique [BER 01] et les "Web Services" liant les sites capables de fournir des services pédagogiques

4 Titre de l'ouvrage

(campus virtuels, bases de ressources pédagogiques, etc.) avaient ouvert des possibilités intéressantes et posaient des problèmes comme: gestion de l'accès, confidentialité, droits d'auteur, besoin d'autonomie pour les systèmes raccordés, etc. On devait définir l'architecture "d'un système d'inter- opération pédagogique": protocoles, services de base, stratégie d'implémentation d'une politique qui mène progressivement à l'interopérabilité (technique, administrative, sémantique) entre les entités S_x , liées au système S et respectant ses normes.

Ma provocation a réussi et le projet LORNET (learning object repository network) a été lancé en 2003 (il durera jusqu'en 2008) impliquant plusieurs centres de recherche, spécialisés sur 6 thèmes: T1: Interopérabilité des répertoires d'objets d'apprentissage -Université Simon Fraser, Vancouver; T2: Ingénierie pédagogique et agrégation des objets d'apprentissage- Téléuniversité, Montréal; T3: Objets d'apprentissage actifs et adaptatifs- Université de la Saskatchewan; T4: Forage des objets d'apprentissage et extraction des connaissances- Université de Waterloo; T5: Création, recherche et diffusion d'objets d'apprentissage multimédia avancés- Université d'Ottawa; T6: (équipe d'intégration, coordonnée de Montréal)- Système d'opération pour télé-apprentissage (TELOS).

J'ai conçu (entre 2003 et 2005) l'architecture conceptuelle [ROS 06] du système TELOS (tele-learning operating system) de la sorte qu'il permette:

- la corrélation des repères sémantiques (connaissances et compétences) utilisés pour l'indexation des personnes, des objets et des activités gérées dans le cadre de chaque système connecté S_x , pour permettre une gestion globale de l'évolution des connaissances dans l'espace S (voir partie X.2)

- l'accès des utilisateurs d'un système (S_x) aux répertoires de ressources d'un autre (S_y), pour les utiliser séparément ou pour les incorporer, avec des composantes d'autres origines, dans des agrégats placés dans les bibliothèques de ressources partageables (voir partie X.3)

- l'exécution des scénarios procédurales définies dans un système (S_x), dans le cadre d'un autre (S_y) (voir en [MAR 05] l'exemple réalisé par LICEF) ou la modélisation et l'orchestration des procédures qui impliquent des éléments de plusieurs systèmes couplés à S (voir partie X.4)

- la production, dans le cadre des systèmes S_x d'éléments étendant d'autres systèmes (S_y) ou l'extension (l'évolution) du système S par la fabrication en cascade de systèmes et d'applications d'instruction (voir partie X.5)

- l'utilisation des services offerts par des composantes du systèmes S_x (objets, personnes) par des composantes du système S_y utilisant des interfaces connectées statiquement (enveloppes des ressources secondaires) ou distribuées dynamiquement (agents gérés par un noyau de communication) (voir partie X.6).

Un tel objectif ambitieux a posé des difficiles problèmes méthodologiques et épistémologiques (voir aussi [SPE 98]). Avant de formuler les cas d'utilisation qui définissent les spécifications comportementales, j'ai énoncé dix principes stratégiques dans le document de vision [ROS 03]- dont je présente ici un extrait:

1[] Déplacer l'accent de l'informatique distribuée appliquée à l'éducation vers l'éducation soutenue par la télé- informatique. 2 [] trouver des contextes ou l'apprentissage en réseau a lieu et montrer qu'il se passe mieux après l'intervention (l'assistance) conçue en TELOS 3 [] En plus de fournir des formules et des instruments d'assistance, TELOS devrait donc concevoir, utiliser et offrir des outils pour observer, comprendre et décrire l'éducation distribuée. 4 [] Le succès [] ne viendra pas seulement de leur structure optimale mais surtout de l'efficacité de leur utilisation 5 [] une vision d'ingénierie éducationnelle globale, où la partie télé-informatique n'est qu'une composante du système à optimiser. [] 6 Les livrables conceptuels pourraient survivre à la désuétude prévisible des implémentations informatiques[] 7 [] obtenir des effets importants sur le plan conceptuel avec des efforts réduits sur celui du développement. 8 []faire de la veille informationnelle pour éviter les développements inutiles et agréger de modules externes dans les prototypes TELOS. 9 [] plusieurs modules alternatifs [] accessibles sur le " BUS de services " et mises en relations en fonction du contexte et de la formule de fonctionnement adoptée. 10. [] sa batterie de formules, son langage [] améliore la coordination du système d'humains et d'outils (formant le " processeur distribué ") travaillant pour la réussite d'un phénomène d'éducation. []"

X.1.3. Conclusion d'une recherche interdisciplinaire

La vision adoptée pour aborder les problèmes LICEF-LORNET a été le résultat d'un trajet de recherche de longue durée. Je me suis engagé dans la l'étude du phénomène de l'explication, comme pédagogue en quête de compréhension du miracle didactique. La pratique de l'ingénierie (électronique et télécommunication, informatique) et l'expérience d'organisateur et coordonnateur d'un centre de formation professionnelle (en Roumanie) m'ont sensibilisé envers le problème complémentaire de l'instrumentation technique de l'éducation. Le prototypage de laboratoire (effectué à l'Université de Montréal, dans le cadre des projets: "Multimédia métamorphique", "Stéréo- explication", "Meta-démonstrateur", "Instruction à triple contrôle", "TaxiNet", "StereoTudor") m'a permis d'explorer les mécanismes d'interaction (coopération) explicative: communication multimédia, co-action, partage des ressources.

Dans ma thèse de doctorat [ROS 99] j'ai tenté l'établissement d'un modèle global du phénomène de l'explication, tenant compte de toutes ses dimensions: sémantiques, instrumentales, psychologiques, etc. J'ai scruté les motifs profonds pour lesquels nous ne disposons pas d'une science de la "technologie éducationnelle"- combinant les facettes instrumentales et sémantiques. Nous sommes forcés à regarder un phénomène unitaire par la multitude de prismes d'une grande variété de domaines, chacun ayant ses primitives, épistémologie, langage, paradigmes, expériences, rituels, modèles et priorités. Cela impose une approche systémique interdisciplinaire (ou transdisciplinaire) qui peut être inspirée par des guides pour le

traitement de la complexité (comme [LEM 90] et [MOR 90]) mais qui n'est pas encore appuyée par une épistémologie appropriée.

J'ai structuré ma perplexité sur une "carte des difficultés de modélisation" en formulant les prolégomènes d'une synthèse transdisciplinaire (ou d'une science) dédiée à l'étude du phénomène de l'explication, résumés dans les observations suivantes (qui m'ont orienté dans l'organisation de l'architecture TELOS):

Progrès ou conservation: relations circulaires entre "modèle" et "réalité".

La modélisation (description) des phénomènes peut les orienter en conformité avec certaines valeurs et buts. La réalité mérite d'être observée (modélée) - même si on aime la conserver. Mais entre "réalité" et "modèle" se tisse un cercle d'influences réciproques, accentué lorsque le "modèle" est utilisé comme instrument par les participants. Le système réalité - miroir a sa physiologie globale, son propre destin.

Dualité structure/processus, existence/transformation, adaptation/ évolution.

Les entités physiques et conceptuelles liées par de relations (influences) créent des unités systémiques et déterminent leur comportement (physiologie). D'autre part, les processus physiques et cognitifs sédimentent des structures (entités et relations). Une vision systémique complète doit refléter la dualité existence- transformation, utilisant des modèles de "structures- en processus".

Individu en société: dualité cognitive. Comme le métabolisme d'une cellule coexiste avec celui de l'organisme qui l'englobe (s'influençant réciproquement), le métabolisme cognitif individuel interfère avec celui de la communauté cognitive humaine, au milieu duquel il est "situé". La communication entre deux personnes peut être vue comme un rapport entre deux systèmes cognitifs distincts, mais aussi comme manifestation de la physiologie cognitive du système- espèce.

La connaissance, comme système communicationnel La phénoménologie affirme l'unité de la paire objet observé - sujet observateur. Nous pouvons élargir cette vision pour tenir compte du caractère partagé de la connaissance, incluant, dans un tout unitaire, le sujet représenté, le symbole représentant et la paire humaine qui communique sur le sujet, utilisant la représentation.

Bipolarité de l'explication; la consonance expert-novice. "L'explication"- se base sur la consonance cognitive vécue par la paire humaine. Synchrones ou asynchrones, sonore, textuel ou graphique, direct ou à distance, plus ou moins profond (efficace)- le rapport explicatif entre un "expert" et un "novice" est un phénomène essentiellement bipolaire.

Le spectre large de "l'assistance". Le concept "d'assistance" - couvre une vaste gamme de significations. Il peut s'agir d'une simple "information" - livraison d'un message opportun et intelligible. Quand la compréhension des concepts est difficile- il y a un besoin d'"éclaircissement". Si cela est opportun, le bénéficiaire est aidé à "apprendre les connaissances"- pour pouvoir les réutiliser à sa guise. Les systèmes de "support" évolués doivent permettre la combinaison flexible de ces possibilités.

Versatilité: liberté et cohérence. La politique d'une institution (communauté) peut combiner les approches "émergentes" (utilisateur- apprenant entouré par des moyens de support) avec celles "planifiées" (scénarios et stratégies préétablies). Un

système de support à l'instruction doit soutenir une grande variété de formules de collaboration et une multitude de paradigmes comportementaux.

Pas de deux pour monter la spirale "faire - connaître". Une forme puissante d'assistance est d'opérer en "pas de deux" : l'expert fait parce qu'il sait, le novice sait progressivement - parce qu'il est aidé à faire. On peut utiliser des paires novices - ordinateur (l'expert est représenté par un simulateur) ou le travail en "triple commande" : l'expert intervient quand l'ordinateur ne peut plus faire face.

Intelligence distribuée et téléinformatique synaptique. Les qualités intrinsèques d'un assistant humain (bien choisi, disponible et bien intentionné) sont difficiles à simuler, sans dégrader le dipôle explicatif. Mais le réseau d'ordinateurs peut rendre des services d'appareillement, agissant comme une infrastructure synaptique- pour le cerveau collectif.

Complexité, perplexité, pragmatisme. Le nombre impressionnant d'éléments et étapes, d'aspects, de critères et de méthodes, qui interviennent dans la chaîne éducative, impose la simplification des modèles, stratégies et instruments, conformément à une orientation "pragmatique" : les services les plus utiles par les moyens les plus abordables.

Tenant compte des ces principes, j'ai présenté dans ma thèse quelques modèles de travail, en assomant leur caractère explorateur, comme méthode et contenu. Dans celui dédié à la physiologie du système éducatif [ROS 99-Chap C5] j'ai présenté le tissu vaste des éléments impliqués. Dans le modèle de la démonstration informatisée [ROS99- Chap.C8] j'ai coagulé les aspects qui tient de la mécanique de l'interaction dans le concept de "mode de coopération".

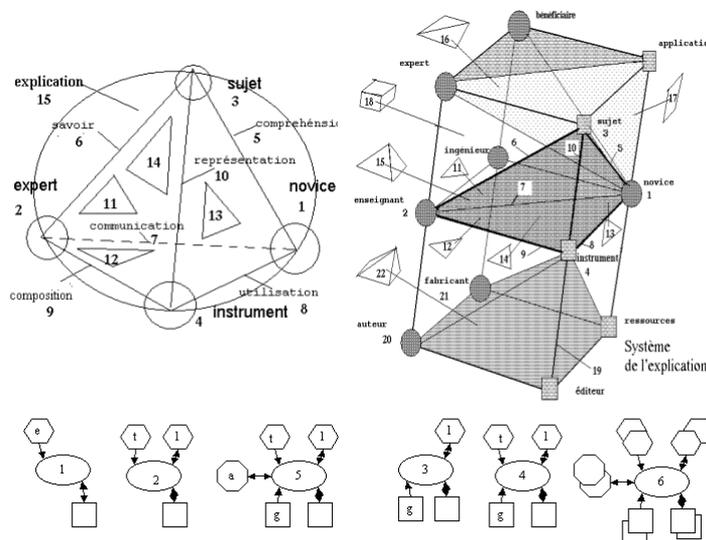


Figure 2: Le modèle du processus explicatif

Pour refaire l'unité sémantique- instrumentale, j'ai présenté [ROS99- Chap C5] un modèle pyramidal simple (reproduit dans la figure 2a) du système explicatif. Les 4 sommets (le novice N, l'explicateur E, le sujet S, l'instrument I) sont liés par 6 arêtes (de la compréhension N-S, application E-S, représentation O-S, résonance N-E, construction E-O, utilisation E-N). Ce modèle peut être complété avec les sous-systèmes de la réalisation de l'instrument éducatif I (par un auteur, utilisant des outils de composition construits par un fabricant) et de l'utilisation des connaissances S (dans le cadre d'une application réalisée pour un bénéficiaire, sous la surveillance d'un expert), le prisme en entier étant géré par un ingénieur de système.

La fig. 2c signale quelques topologies possibles pour une activité à effet éducatif: l'exécution par quelqu'un qui apprend par expérience; l'exécution assistée par un expert-guide (2), par un instrument de support (3), par une paire expert-instrument (4), par un instrument renforcé avec un agent (conseiller automatique) (5) ou par d'un groupe complexe d'éléments de support (6). Au cas d'une chaîne, la topologie de chaque étape peut varier.

Les éléments qui interviennent sont: les personnes (porteuses de connaissances évolutives) et les objets (porteuses de messages éclairant des connaissances). Ce qui distingue les systèmes d'instruction de ceux de facilitation du travail, de la communication, de la coopération, de la décision- est l'importance accordée à l'évolution "des connaissances" des participants- qui constitue le but des activités. La modélisation du sommet S de la pyramide explicative (les connaissances abstraites) et des côtés de rapport avec S (les compétences des personnes et les capacités explicatives des instruments) est donc la base de la gestion des systèmes équipés avec des instruments et des personnes de support impliquées dans des processus au cours desquels les personnes modifient leurs compétences.

X.2. Explication et gestion des connaissances

X.2.1. Les connaissances et leur représentation

En dépit des considérations dispersées dans une littérature multidisciplinaire, la définition des "connaissances" reste problématique. Harcelé par des questions (quel est le rapport entre un concept abstrait partagé, ses représentations symboliques, la réalité qu'il représente et les concepts concrets ressentis par des humains; comment évolue une connaissance comme partie d'un espace cognitif et comme système englobant ses sous-concepts?; dans quels "jeux de langage" prend-elle son sens [WIT 03]?; quel est le spécifique des communications homme-homme, homme-machine et machine-machine et comment peuvent-elles être combinées?; etc.) et avisé sur le paradoxe de la définition du "mot" par des mots... je considère:

(1a) la connaissance = vécu cognitif, reflétant une certaine réalité (extérieure ou psychique) perçue dans un certain contexte, exprimée par un fragment de langage (mot, expression, description), comprise par les membres d'une communauté- qui l'encadrent dans certains domaines et peuvent la détailler en sous-composantes.

Par "le mot" qui la représente, la connaissance vive est reflétée dans la glace d'une réification. Le processus de communication permet l'utilisation des représentations, le sens étant récupéré au moment de l'interprétation. Les mots et les expressions qui composent les "messages" utilisent un repère sémantique nommé "langage"- capital culturel bâti par coexistence et éducation. Sur la base du repère naturel du langage, peuvent être bâtis, conformément à des normes d'organisation variées- des domaines (espaces) de connaissances. Ces systèmes, établissant des relations entre les représentations, modélisent (déclarent) des relations entre les connaissances représentées (et entre les réalités qu'elles reflètent). Elles peuvent donc enrichir (expliciter) "le sens" et être utilisées comme repères, vers lesquelles on fait de renvois (références), identifiant une connaissance par ses coordonnées.

Les diverses formes d'organisation des "repères de connaissances" (et en conséquence, des processus de référence et de repérage) ont, chacune, leurs qualités. Les modélisations par graphes (comme celles utilisés en MOT et incorporées en ADISA [PAQ 03]) introduisent des liens typés (de composition, de précédence, etc.)- suggestives pour l'humain et utiles pour des déductions mécaniques. Le meilleur potentiel d'inférence automatique est obtenu quand le repère est organisé conformément à une logique "compréhensible" par l'ordinateur- d'où l'intérêt pour les ontologies [MIZ 03]. Dans LORNET, une équipe de recherche s'est occupé de l'enrichissement de MOT+ pour qu'il puisse gérer des ontologies [PAQ 04].

Chaque notion incluse dans un domaine d , peut être référencée (dans le but d'identification ou d'explication) en précisant, dans son UKL (*universal knowledge locator*) kd : la norme Nk d'organisation (par nom unique, adresse du document descripteur ou référence vers une ontologie des normes), le repère (domaine) de référence $d(Nk)$ organisé selon cette norme (nom unique, adresse du document qui le contient ou position dans une ontologie des domaines) et l'adresse interne $a(d)$ de la connaissance ("le chemin" à l'intérieur du domaine) :

$$(1b) kd = [Nk, d(Nk), a(d)]$$

Une connaissance K peut être référencée avec deux (ou plusieurs) repères (domaines) différents, auxquels elle appartient et qui lui complètent la signification:

$$(1c) kD = [kd1, kd2...]$$

Elle peut être aussi précisée par des "décompositions" S : sous- espaces notionnels organisés selon des normes Ns :

$$(1d) kS = [Ns1, s1(k1, k2...kn)]$$

Pour une description riche, on peut combiner la localisation dans plusieurs domaines et la décomposition en sous- concepts:

$$(1e) k = [kD, kS] = [Nd, Ns, kd1, kd2...S(k1, k2, ...kn)]$$

X.2.2. Les compétences et les capacités explicatives

Dans un système de support à l'éducation, l'évolution de la compréhension des sujets expliqués et les contributions potentielles ou effectives des personnes et des instruments de support- doivent être observées. La simple "indexation" d'un élément par rapport à une connaissance k n'est pas suffisante, cachant une approche binaire (sais/ne sais pas): ce qui est référé est supposé connu (réductionnisme édulcorant le caractère graduel de "l'apprentissage"). On a besoin de descriptions qualitatives et quantitatives des rapports entre une personne et une connaissance : *les compétences*.

LICEF avait déjà fait des pas dans cette direction. Mais la définition des systèmes d'apprentissage opérée avec ADISA propose seulement une caractérisation sémantique globale des activités et des ressources (voir les éléments de documentation ED310 et ED410- basés sur l'édition de graphes de connaissances avec MOT). La définition des compétences des publiques cibles (faite avec ED214) n'a pas d'effet pratique parce qu'elle n'est pas particularisée pour les participants concrets. On paye aussi le prix de l'absence d'un automatisme pour l'actualisation des plans ADISA vers des projets EXPLORA. Ainsi, pendant l'exécution des activités Explora, l'avancement dans la structure de la ressource-cours (piloté par le scénario d'activités) provoque la mise à jour d'un scénario générique "d'évolution des connaissances" -mais sans tenir compte des compétences préalables des utilisateurs.

En remarquant que le traitement qualitatif ne convient qu'aux décideurs humains et que l'explicitation quantitative fine demande des efforts de saisie et de calcul prohibitifs, j'ai cherché un formalisme simple pour que les compétences déclarées soient utilisables par les agents informatiques qui rendent des services d'appareillement explicatif et de vérification (optimisation) de l'équilibre sémantique.

Les relations R de l'espace des paires (personne, connaissance) - du "sait" global jusqu'aux diverses "habiletés"- peuvent être évaluées par un *niveau de maîtrise* m , face à une échelle M

(2a) $cR(p,k)=[MR,m(MR)]$ (par exemple $cSait(p,k)=[Msait,m(Msait)]$ etc).

L'organisation des repères de compétence soulève des problèmes difficiles (voir les recherches sur la mesure et l'évaluation en éducation). Ces complications peuvent engendrer une gestion fine des compétences, difficile à instrumenter. Ce n'est pas par hasard que l'enseignement se débrouille avec des *échelles simples d'évaluation uniforme* M (0-1, 0-10, 0-100, A-F etc.)

Dans le cas des vecteurs de relations $R[]$ on peut exprimer les "maîtrises" pour chaque relation, obtenant une caractérisation vectorielle de la compétence:

(2b) $cR[] (p,k)=[R, M, mr1, mr2.....]$

Une autre description des compétences peut se baser sur la décomposition de K en $S(k1...kn)$. On peut préciser, pour chaque sous- connaissance ki , si p la détient ou non (métrique binaire 0/1, identifiant la compétence de p avec le sous - espace des connaissances "connues") ou évaluer son niveau de maîtrise, sur une échelle utilisée uniformément pour toutes les sous-connaissances:

$$(2c) cS(p,K) = [bk1,bk2\dots bkn] = [S(k1, \dots kn), M, mk1, mk2\dots mkn]$$

(par exemple, en échelle binaire, le vecteur (1,1,0,0,0) précise que p maîtrise les premières 2 parties- des 5 dans lesquelles se décompose K)

Si on veut déployer la compétence par relations et par sous - connaissances, on obtient des matrices de compétences:

$$(2d) cRS[] (p,k) = [R,S,M, m(ri,kj)]$$

À part ces descriptions, on a souvent besoin d'une évaluation globale de la compétence relative à k déduite éventuellement des compétences composantes, à l'aide d'une formule de calcul:

$$(2e) c(p,k) = [M,m(M)] = f(m(r1),m(r2)\dots) = g(m(k1),m(k2)\dots) = h(m(ri,kj) R, S)$$

A la base d'une échelle simple de compétence globale c(p,k), on peut introduire une relation d'ordre entre les compétences:

$$(3a) (c1 \leq c2 \text{ si } m1 \leq m2), \text{ utilisable pour le choix des ressources de support.}$$

Un étudiant voulant passer d'un niveau c1 à un niveau c2 devra choisir un assistant ou un instrument explicatif capable de soutenir ce saut de compétence.

La fiche de caractérisation des ressources de support (personnes ou documents) doit donc signaler leurs *capacités explicatives*, utilisant un espace de relations r[] (p.k) de type "posture":

(2b1) $crposture[] (p,k) = [M, msavoirK, mviserK, mexpliquerK(x,y), mdecrireK(x,y), mevaluerK(x,y), mrecommanderK]$ - ou les parenthèses signalent le niveau de maîtrise exigé (x) et obtenu (y) par l'élève à qui la ressource pourrait expliquer (décrire, évaluer, recommander) la connaissance k.

L'utilisation des postures facilite la formulation des conditions de compétence associées à une opération réclamant un niveau de maîtrise o, abordée par un apprenant ayant le niveau c, assisté par un enseignant capable de réaliser des sauts (e1,e2) et par un document de support capable de soutenir des évolutions (d1,d2)- permettant des déductions comme:

$$(3b1) e1 \leq c < o \leq e2 \text{ ou } d1 \leq c < o \leq d2 - \text{une composante semble suffisante}$$

(3b2) $e1 < c < d1 < e2 < o \leq d2$ - l'enseignant peut porter l'apprenant dans la plage d'efficacité du document Etc...

X.2.3. L'évolution des compétences pendant les opérations explicatives

Une explication (discours, "leçon") potentielle peut donc être caractérisée par le "saut de compétence" (par rapport au sujet "atomique" K)- qu'elle suppose produire:

$$(2f) cL = (c1, c2) ; c1 - \text{niveau initial}; c2 - \text{niveau atteint}$$

Mais les étudiants p impliqués concrètement n'ayant pas le niveau c1 (mais c1) ni les intentions c2 (mais c2)- l'explication effective actionne comme un opérateur partiellement aléatoire:

$$(4a) L(p(c1,c2)) = cx - \text{niveau réel atteint par p après l'explication L}$$

La leçon porte chaque apprenant d'un niveau $c1$ à $L(c1)$ - qui peut différer de $c2$ et même de $c2$, car les présomptions théoriques sur ses effets ne peuvent avoir qu'une valeur statistique. Pourtant, l'explicitation des compétences, combinée avec des mesures de vérification, permettrait l'observation des situations comme:

(4b) $L(p(c1, c2)) = c2$ (leçon efficace- si $c11 \leq c1 \leq c2 \leq c12$)

= $c12$ (insuffisante- si $c11 \leq c1 \leq c12 \leq c2$)

= $c1$ (inutile- si $c11 \leq c12 \leq c1 \leq c2$ ou inabordable- si $c1 < c11$)

Les compétences déployées (vectorielles) compliquent les calculs. Par exemple, pour les caractérisations binaires (2c) on peut définir : "l'ordre des compétences", "la compétence de la leçon" et "l'effet de la leçon" comme :

(3c) $c1 \leq c2$ si $b1ki \leq b2ki$ pour tous les i

(2f1) $cL = (l1, l2, \dots, ln)$ ou $li = 1$ si la leçon explique la sous-connaissance ki

(4c) $L(c1) = c1 + cL$ (ou la "somme" sur chaque coordonné est "ou logique": une sub-connaissance existe déjà ou apparaît à cause de la leçon.

La gestion des connaissances et des compétences se complique encore si on considère des problèmes comme: la mise à jour des versions, la possibilité de rencontrer des éléments indexés sur des repères ou des normes différentes, l'autorité (crédibilité) des évaluations (L'estimation de la compétence de quelqu'un, représente son opinion sur ce qu'il sait, le résultat d'une évaluation formelle, le point de vue d'une institution ou l'opinion d'un autre?

X.3. Répertoires de ressources, agrégations et mode émergent

X.3.1. Mode de travail émergent

Inspiré par une série de projets que j'avais conduits (systèmes d'offre- demande, de licitation, de recommandation, etc.) et par des autres recherches sur le partage des ressources éducatives (voir par exemple [WEN 05]) j'ai basé "l'agrégation sémantique" [ROS 02]) des activités émergentes sur l'utilisation de la "la couche des connaissances" pour l'indexation des composantes. Cela permet l'appareillement de "l'offre d'assistance" et de la "demande de support explicatif".

Une séquence typique pour le mode de travail émergent est:

1 **Publication.** Les participants ayant ce droit (mandat) déclarent de nouvelles ressources dans les répertoires appropriés. Dans les fiches signalétiques est opérée l'indexation par rapport à des repères de connaissances (organisées par exemple comme ontologies) structurant: l'espace conceptuel des domaines traités par les ressources, les conditions techniques requises pour leur fonctionnement et les conditions commerciales-administratives d'utilisation (droits, coûts, etc.).

2 **Repérage.** Les utilisateurs exploitent les instruments de repérage pour chercher les ressources de support (personnes, documents, etc.) dans les répertoires TELOS et externes (accessibles par TELOS). A la base des déclarations de compétence, des services d'appareillement peuvent faciliter l'optimisation de la sélection. Continuant

les développements du projet EDUSURCE, TELOS permettra l'utilisation de normes multiples pour l'organisation des repères de connaissances et compétences, mais proposera un dénominateur commun, en s'occupant des problèmes de translation et de fusion entre les normes.

3 Procuration. Après la négociation (conforme aux conventions et protocoles établis) on peut procurer et installer les objets qui peuvent être utilisés localement (à l'aide du contrôleur de ressources) ou des interfaces qui permettent leur manipulation à distance (aidé par les agents -voir X.7); on peut aussi entrer en communication (synchrone ou asynchrone) avec les personnes de support.

4 Utilisation. La manipulation de la ressource pour opérer et apprendre (ou pour produire une nouvelle ressource et la publier, dans le répertoire système ou le portfolio personnel) est facilitée par le contrôleur de ressources et le coordinateur des agents. La communication (collaboration) éducative va de la simple lecture (ou du simple chat) jusqu'aux formes évoluées - comme le travail coopératif - instructif.

5 Réaction. On réalise les annotations et les mises à jour appropriées (compétences de l'opérateur, notes sur le support, etc.). Certaines informations sont produites et enregistrées par les senseurs infiltrés dans la couche enveloppant les ressources. La nécessité de mettre à jour certaines références ou même de modifier un repère de connaissances peut arriver, en découvrant une ressource indexée défectueusement ou en raffinant un domaine. Dans des tels cas, des mécanismes doivent intervenir, pour vérifier, protéger ou mettre à jour les indexations qui se basent sur les anciennes versions des repères [ROG 04].

Des personnes, des instruments de support ou des agents informatiques peuvent assister ces opérations.

X.3.2. Répertoires de ressources

Les participants. Les processus instructifs (émergents ou planifiés) peuvent entraîner, comme acteurs opérant en diverses postures, des participants de plusieurs types (personnes, collections, catégories, équipes, agents) - sélectionnés parmi ceux inscrits dans les répertoires correspondants. L'évaluation de leur compétence doit être mise à jour pour tenir compte d'une activité d'apprentissage faite dans le cadre ou à l'extérieur du système.

Le principal type d'intervenant est la *personne*. La zone "sémantique" de sa fiche précise explicitement les compétences pour chaque domaine de connaissance, au niveau de granularité opportun. Les déductions sur la compétence par rapport à un concept, quand on connaît les compétences par rapport à des autres (avec lesquels il est associé, dans lesquels il se décompose ou desquels il fait partie) sont opérées automatiquement, sur la base des capacités d'inférence des normes utilisées pour les ontologies- repère. Les compétences ainsi déduites, peuvent être modifiées par des déclarations explicites - ce qui entraînera la modification des résultats déductibles. De pair avec sa carte, une personne (ressource primaire) forme la "ressource

secondaire" qui la représente dans le système- utilisable par le repérage. La ressource secondaire peut prévoir des voies de communication avec le participant qu'elle représente (modélise), devenant une interface d'accès.

Un autre type de participant (acteur potentiel) est *le groupe (la collection)* de personnes. Celui-ci peut être établi par énumération, chaque personne étant considérée avec ses caractéristiques, inclusivement ses compétences (on peut aussi introduire des restrictions de "similitude"- si on veut assurer une homogénéité du comportement). Une solution plus flexible est la définition des *catégories* - ayant des caractérisations sémantiques (compétences et préférences) similaires à celles qui décrivent une personne. La vérification de l'appartenance à une catégorie (et du droit de participer- à son nom) peut être faite au moment de l'instruction, en fonction des compétences d'un candidat. Les *équipes* sont conçues pour les situations où une opération peut ou doit être abordée par plusieurs participants, agissant de façon concurrente (selon des formules comme "l'un d'entre eux, n'importe lequel " ou "l'un après l'autre, dans cet ordre" etc.). À part les champs spécifiques (structure de l'équipe, le protocole de "floor-control", etc.) leur fiches de caractérisation peuvent contenir une zone sémantique.

Le dernier type de participant qui peut concrétiser un acteur est l'agent- un intervenant (humain ou artificiel) qui agit au nom d'un autre. Les agents informatiques peuvent déclencher diverses opérations, selon le programme élaboré par leur concepteur, au nom du participant qui les a mandatés et à l'appui de celui assisté. Ils ont des descriptions de compétence similaires à l'acteur représenté, mais aussi des champs spécifiques (conditions d'intervention, règles respectées, concepteurs et personnes représentées). Ils peuvent entrer dans la composition des agrégats mixtes (homme-machine).

Les objets. Les ressources matérielles impliquées dans les processus d'instruction (ou de préparation de l'instruction) comme outils de travail, produits des activités, ou en posture d'objet modifié- sont de plusieurs types (objets physiques, applications, documents, automates interactifs, systèmes) et peuvent être placées dans des répertoires collectifs et personnels (portfolios).

L'ensemble ressource primaire - fiche descriptive, forme une *ressource secondaire*, gérable informatiquement. Lorsqu'il est possible, le modèle de la ressource primaire est enrichi avec des facilitations d'accès et manipulation, devenant une vraie "interface", une couche qui "enveloppe" le noyau primaire et peut intermédiaire son utilisation. Sur la base de ses "méthodes publiques" la ressource secondaire peut être manipulée à distance par un participant ou par une autre ressource (ou agent). La manipulation *des objets physiques* (sans interface informatique) se réduit à leur déclaration, repérage et négociation, le reste des opérations étant extérieur au système. Dans le cas des "*applications*" informatiques, "le contrôleur de ressources" qui équipe l'infrastructure du système, s'occupe de la mise au point des conditions techniques nécessaires pour son utilisation (à distance ou localement) dans le contexte appelant.

Le contrôleur de ressources doit aussi assurer le traitement des *documents* par les applications qui les ont créés ou les passerelles de traduction appropriées. Une composition de type "leçon en ligne" a des caractéristiques de document (vise un saut de compétence) mais aussi d'application interactive. L'ambiguïté de la distinction, en informatique, entre "documents" et "applications" (les applications pouvant incorporer des textes explicatifs ou être considérées "documents" pour les éditeurs qui les ont produit)- nous fait utiliser le terme *document* dans le sens courant - d'objet porteur de message ayant certaines compétences explicatives. Le degré de réactivité à partir duquel un automate est promu à la condition "d'agent" (et déplacé dans le répertoire des participants)- est discutable. Des autres questions qui subsistent portent sur le classement des "**systèmes**" d'instruction complexes et sur la gestion du rapport entre un agrégat et les ressources documentaires qu'il englobe.

X.3.3. Facilitation de l'accès par agrégation

L'obligation de trouver chaque ressource nécessaire pour mener à fin une certaine tâche peut devenir encombrante. Dans de telles situations on peut assembler un groupe de ressources dans un agrégat [ROS 02] qui facilitera l'accès vers les ressources composantes. La fabrication des agrégats peut continuer récursivement, menant à des structures de plus en plus complexes. Elle peut profiter de "l'encapsulation" qui facilite la manipulation des ressources secondaires.

Quand entre les éléments de l'agrégat il n'y a pas de liaisons comportementales, son rôle étant seulement de les regrouper, offrant à son utilisateur des outils de sélection (menu de navigation, moteur de recherche, etc.)- nous avons à faire avec une *collection*. Si des liaisons apparaissent entre les éléments, définissant un *système* cohérent, l'agrégat se forme par *fusion*. Le groupe ou la catégorie sont des exemples de collections de personnes. Les répertoires de ressources (partagées ou personnelles) sont des exemples de collections d'objets. Les fusions d'objets peuvent avoir des formules variées et recourir à une large gamme d'outils de composition. Une forme importante d'agrégation est *l'agrégation procédurale*, obtenue en connectant des ressources aux modèles qui représentent leur utilisation, utilisés comme interfaces de contrôle (voir aussi [PER 05]- pour le caractère coagulateur des scénarios). On arrive ainsi aux opérations et aux fonctions.

Le cycle de vie d'un agrégat est similaire à celui de tout autre ressource. Pendant l'édition- en groupant, intégrant ou orchestrant des composantes déjà enregistrées, un compositeur crée une "classe" reproductible et la publie, en lui attachant une fiche de caractérisation (incluant l'indexation sémantique). Dans la phase de particularisation, un administrateur peut dériver un certain nombre "d'instances" et les activer. Plus tard, quelqu'un trouve l'agrégat, lance une session d'utilisation, accèdent aux services de ses composantes, produisant des connaissances et des traces. La phase d'analyse permet l'observation des données et les réactions correctrices.

ADISA accorde une grande importance à la préparation des structures nécessaires pour soutenir le mode émergent. Elle contient des éditeurs utilisables pour définir les participants (104) et les ressources existantes (108) et réserve "l'axe médiatique" pour la modélisation des agrégats à construire. "L'axe de diffusion" permet la modélisation des opérations visant la mise au point du système d'apprentissage, dans son ensemble. Pour arriver à la fluidité réclamée par la réingénierie, il fallait (voir [VAN 03]) transformer ces modèles dans des outils pour la coordination des procédures qu'ils représentent.

X.4. Agrégations procédurales et mode planifié adaptable

X.4.1. Fonctions

La manipulation d'un agrégat structurel complexe peut devenir compliquée, justifiant diverses formes d'assistance. Partant de l'exemple des "batches" d'opérations utilisés dans l'automatisation de processus, nous avons utilisé le gestionnaire VAL pour définir des chaînes d'opérations exécutées par l'utilisateur d'une seule ressource, en obtenant des graphes de tâche type "flowchart"- dont l'exécution permet le mixage des décisions de l'opérateur humain avec les interventions programmées. Pour arriver à la coordination d'orchestres distribués formés par des personnes et agents machine, nous avons ajouté des facilités de type workflow à ces graphes, typiques pour les instruments genre CSCW.

Le but final était d'instrumenter sémantiquement la coopération pédagogique d'après un scénario prédéfini, mais adaptatif. Les systèmes d'ordonnancement et de coordination (CSCW, DSS, etc.), même ceux spécialisés en éducation (IMSLD, EML- voir [KOP 02], [MAR 04]) soutiennent plutôt la coopération d'une équipe constituée, et non pas sa formation - en fonction de nécessités et disponibilités fluctuantes. Ils ne disposent pas de mécanismes puissants de "matching pédagogique", basés sur l'explicitation des connaissances et des compétences évolutives. Utilisant des principes exposés dans la partie X.2, on peut indexer l'agrégat procédural en édition tel que, en exploration, il soutienne des processus d'adaptation et de sélection optimisant l'équilibre des compétences. Nous avons ainsi complété la physiologie des "fonctions", transformant le prototype VAL dans le gestionnaire de fonctions GEFO [ROS 04a], sur la base duquel a été organisée la démonstration du prototype TELOS [ROS 04b]

Tel qu'illustré dans la figure 3, le cycle de vie d'une fonction (en tant que agrégat procédural) passe par l'édition du modèle, la déclaration et la particularisation des instances, l'exécution et l'analyse des résultats.

Dans la phase "d'édition", les concepteurs des "modèles de fonction" déclarent l'enchaînement des opérations, fixent leur topologie (ajoutent les acteurs et les instruments de support) précisent les compétences proposées pour les opérations, les acteurs et les ressources. Le modèle d'une procédure utilise des représentations pour

les composantes: *acteurs* (hexagones) qui peuvent désigner des participants génériques ou spécifiques, *instruments* (rectangles) qui peuvent désigner des ressources concrètes ou des classes abstraites, *opérations* (ovales)- désignant des processus observés ou à réaliser.

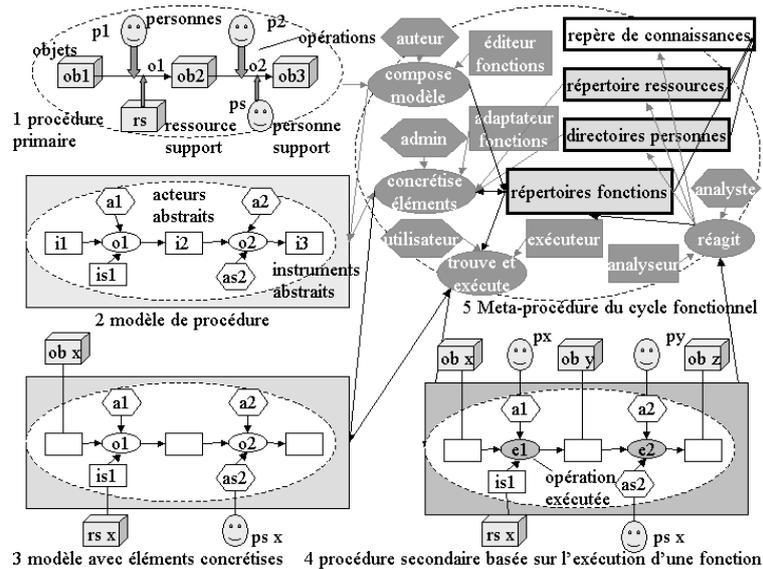


Figure 3: Les fonctions

Pendant la "particularisation", un administrateur crée des nouvelles "instances de fonction" en opérant (à partir des répertoires de ressources disponibles) des "concrétisations" (ressources pour les instruments, participants pour les acteurs)-adaptées au contexte d'exécution envisagé, de façon à optimiser l'équilibre de compétence. Une arborescence de modèles "dérivés" de plus en plus particuliers peut être obtenue de cette façon, menant éventuellement à des "contrats" (allouant seulement la liberté de changer les utilisateurs potentiels) ou à des "planifications" (fixant tous les participants).

Pendant "l'exécution de la fonction" les apprenants réalisent les opérations indiquées, profitant des services offerts par les documents et les participants de support (connectés pendant les étapes antérieures ou en temps réel, par les agents machine qui surveillent l'équilibre des compétences). Une fonction peut jouer en exploration des rôles variés: (1) Oriente les acteurs impliqués dans l'action, qui observent la chaîne des opérations et lisent les documents de support connectés à certains nœuds. (2) Surveille et guide l'utilisateur- s'il introduit des informations sur son avancement- et répond à certaines questions (3) Facilite le lancement et la

manipulation des ressources connectées (qu'elle agrège donc dynamiquement) (4) Facilite l'orchestration des humains et des agents machine, la gestion des activités pédagogiques et la gestion pédagogique des activités. (5) Rends des services de filtrage, sélection, conseils, appariement et mise en garde- si la concrétisation des participants et des ressources s'établit aussi pendant l'exécution.

X.4.2. Cycle et mode de vie, concrétisation progressive et métafonctions

Les fonctions peuvent aussi être utilisées pour décrire et gérer le "cycle de vie" de ressources ayant des structures variées ("collections" extensibles, "fusions" adaptables) et des formules d'évolution variées. Appliquant ce traitement au cycle de vie d'un agrégat fonctionnel f , on obtient une "métafonction" F , qui peut être utilisée dans la gestion des fonctions (ainsi qu'on peut voir dans la figure 4- capture d'écran d'une démonstration réalisée avec le prototype GEFO)

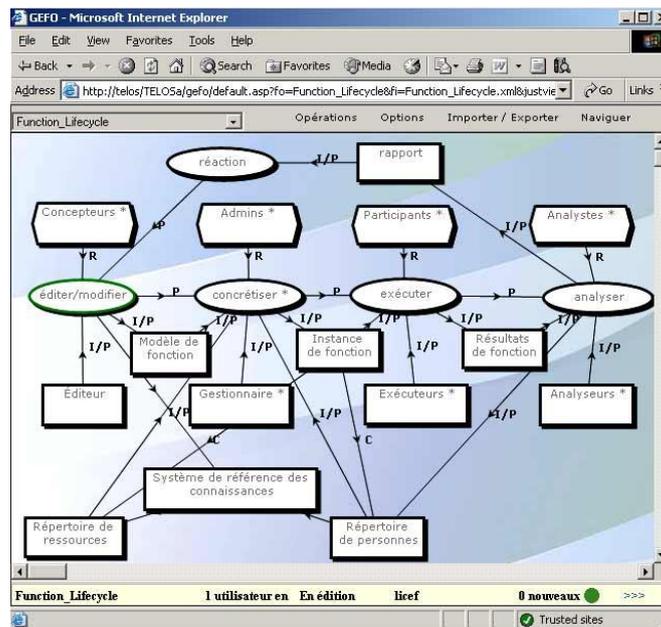


Figure 4: Métafonctions

Utilisant les métafonctions, on peut gérer les cascades de concrétisation menant d'un modèle abstrait à la réalisation effective des procédures. Le "mode de vie" caractérise l'espace de liberté de ce processus de dérivation- d'après une *topologie d'évolution du système*. Nous pouvons, par exemple, établir (observer, coordonner)

des modes comme: l'éditeur ne fixe que la topologie des opérations impliquées, laissant le droit de fixer les ressources à l'administrateur et de trouver des partenaires de support- à l'exécuteur. Ou: l'éditeur fixe les ressources de support; l'administrateur alloue les participants etc.

La représentation du méta-processus de la reproduction des procédures par leur modélisation et l'utilisation de ces modèles pour la création de phénomènes plus ou moins similaires ("phylogenèse" procédurale)- est la clé de la gestion des procédures dans le système TELOS. J'ai utilisé les métafonctions pour les démonstrations dédiées à l'explication de la physiologie globale proposée pour TELOS [ROS 04]. On pourrait activer ces modèles peut les transformer dans des outils de support système. Le gestionnaire de fonctions peut manœuvrer... ses propres "cas d'utilisation", à cause du caractère cybernétique du rapport procédure- fonction.

Un rapport circulaire se forme entre les processus (cognitifs) vécus par une communauté C et leur modélisation dans le "miroir - actif" M. Dans des phases "d'exécution", le modèle de la procédure est utilisé comme moyen pour l'orientation des acteurs impliqués dans des processus (modification des objets, des connaissances des participants, etc.) L'intervention du modèle est plus ou moins "active": à partir de la suggestion narrative faite à l'utilisateur, passant à de la mise en contact de deux ou plusieurs entités extérieures (au miroir) et l'intermédiation de leur communication (coordination), jusqu'au pilotage des éléments de la réalité par des "agents" installés dans le miroir. D'autres fois, le rapport est inverse: "le miroir" devient la cible des opérations préparatoires (leur influence sur la réalité pouvant se manifester ultérieurement): la modification des repères de connaissances et de compétences, l'édition d'un domaine de connaissances, la déclaration de nouvelles ressources et participants, édition et particularisation d'opérations et de fonctions, insertion de diverses informations sur les ressources, les participants et les opérations (indexation des compétences), etc. La relation réalité - miroir est bi-directionnelle et définit une physiologie globale. À part les changements déclaratifs (à l'édition), le modèle M est modifié (par feed-back) pendant son utilisation, suite à des constats faites par des utilisateurs ou des personnes et agents de surveillance.

Un exemple de processus, balayant entre la réalité et le miroir et déterminant "le mode de vie" d'une opération, est la concrétisation progressive de ses éléments. Un élément peut débiter (à l'édition) avec une caractérisation large (à limite - seulement la signalisation de sa présence). Puis il peut être restreint à un groupe ou une catégorie. Les responsables (administrateurs) intermédiaires peuvent opérer des précisions supplémentaires. Dans d'autres situations, l'élément (participant ou document) peut être précisé du début. Les dernières manifestations du processus de concrétisation, peuvent avoir lieu pendant l'exécution (mais avant la réalisation de l'action centrale): la connexion des documents- par des assistants, des partenaires - par les recommandeurs, ou des concrétisations faites par l'élève ou par les agents automatisés, en fonction du disponible au moment de l'opération, etc.

La gestion des compétences (voir chapitre X.2), combinée avec l'utilisation des instruments de recherche et d'appareillement, peut orienter la concrétisation des

composantes pendant l'édition ou l'exécution d'une fonction. Les agents machine profitent de l'explicitation sémantique, pour guider leurs interventions. Mais le problème d'organisation des services d'appariement sémantique est redoutable- tel que le signale la figure 5- dans laquelle les formes vides représentent les éléments abstraits (l'opération planifiée - O, l'exécuteur imaginé - E, le document de support projeté - D, l'assistant humain prévu - A) et les formes pleines- les éléments actualisés (o, e, a, d), ayant des caractéristiques de compétence (c1- requise, c2- visée) plus ou moins rapprochées à celles planifiées (C1, C2).

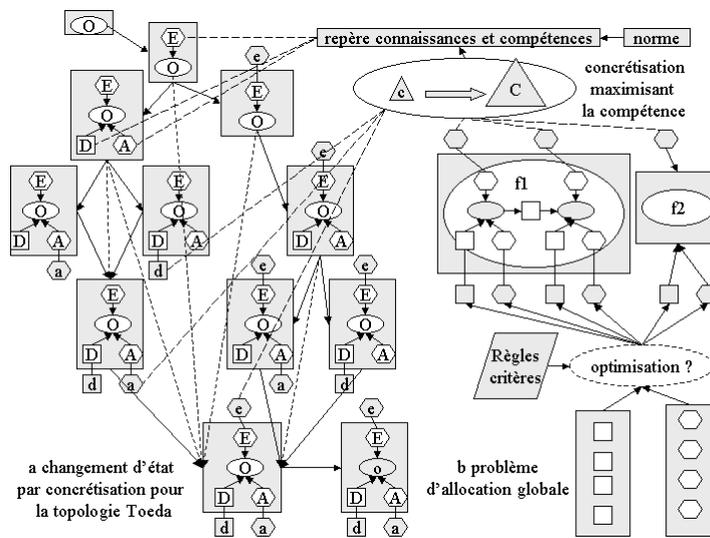


Figure 5 Concrétisation progressive et équations de compétences

Il y a une multitude d'alternatives pour passer par la "machine à états" qui fixe progressivement la topologie:

- O, OE, OEDA, OEDAa(d), OEDAad, OEDAead, OEDAoead;
- O, OE, OEE, OEDAe, OEDAea(d), OEDAead, OEDAoead; etc.

Chaque "concrétisation" (d'une ressource ou d'un acteur) change "l'équilibre sémantique" de l'opération concernée et influence la sélection des autres composantes et les réactions automatiques.

Toutefois, la concrétisation finale de O dans o peut apporter des surprises...

X.5. L'administration des chaînes de génération (extension)

La modélisation de processus "courts" impliquant plusieurs entités en inter-relation, constituant des "événements" de la vie communautaire, peut être

complémentée avec celle des processus longs d'évolution (voir un exemple en [LEH 02]) des entités et structures ("cycle de vie") et du mélange complexe de processus définissant la "physiologie" du système (voir [GAR 02]). Un autre niveau où des représentations procédurales peuvent avoir lieu est celui des longues chaînes liant les cycles des productions ontogénétiques par lesquels le système est étendu: un objet créé dans un processus étant utilisé (comme instrument ou matière première) dans un autre. L'ingénierie de l'instruction suppose donc une démarche "phylogénétique": préparer des systèmes "grand-mère", avec lesquels on puisse concevoir des applications "mère", qui puissent engendrer les "connaissances- enfants".

En pratique, la gestion des cascades de production et d'utilisation des ressources est confrontée à des problèmes de droits, mandats et normes régulatrices (voir une analyse expressive en [SES 03]). À qui un objet appartient-il? Qui a le droit de le fabriquer et de l'utiliser- et dans quelles conditions? Un ensemble d'objets distribués, organisés physiquement d'une certaine façon, coopérant dans le contexte d'une physiologie donnée et visant certains objectifs- peut être reparti sur des critères de droits de "propriété" et "utilisation". Le dernier problème majeur avec lequel "l'architecture conceptuelle" se confronte est la considération des aspects "pragmatiques" - liés à la connexion d'un système d'instruction au contexte administratif dans lequel il est utilisé par ses bénéficiaires: catégories d'utilisateurs, profils de compétences et méthodes d'évaluation, niveaux de protection de l'information, protocoles d'organisation du travail, planification etc.

Déçu par le traitement superficiel des aspects "juridiques" dans la littérature dédiée aux architectures dynamiques distribuées et par le progrès lent des recherches sur la "gestion des droits digitaux", j'ai adopté une formule "maison" (figure 6). Elle opère une segmentation, à fin de prendre en considération le passage d'un contexte institutionnel à l'autre, au long de la "cascade principale de production": 1 Les ingénieurs TELOS peuvent enrichir l'usine centrale ("core") 2. Le "core" permet la fabrication (par des technologues et des gestionnaires) des systèmes d'instruction (LKMS- learning and knowledge management systems)- pour divers bénéficiaires. 3 Les concepteurs utilisent un LKMS pour concevoir des applications (LKMA- learning and knowledge management applications) pour un certain public. 4 Les LKMA sont particularisées ensuite par des responsables locaux. 5 L'utilisation des LKMA cause l'évolution des connaissances des apprenants et peut produire aussi des résultats matériels (traces, notes, ressources éditées par les apprenants, annotations sur la qualité des services) 6 Ces produits (LKMP- learning and knowledge management products) peuvent être utilisés plus tard, par exemple pour l'analyse qui précède un autre cycle (feed-back, gestion des modèles et des portfolios des apprenants etc.).

La figure signale la relativité de cette décomposition- due à l'entremêlement des cascades. Le même processus peut simultanément faire part de plus d'une chaîne- en les connectant. Par exemple, la construction d'un LKMA est, en même temps, une phase d'utilisation dans le cycle de vie du *core*. Et l'utilisation d'un LKMS coïncide avec la construction d'un LKMA. Et ainsi de suite. Le caractère "phylogénétique"

des cascades de production surgit, suivant la "circulation" d'un certain élément. Une composante produite par les ingénieurs du noyau système peut être adaptée et incorporée dans un LKMS, puis placée dans un LKMA- d'où elle peut finalement entrer dans un LKMP.

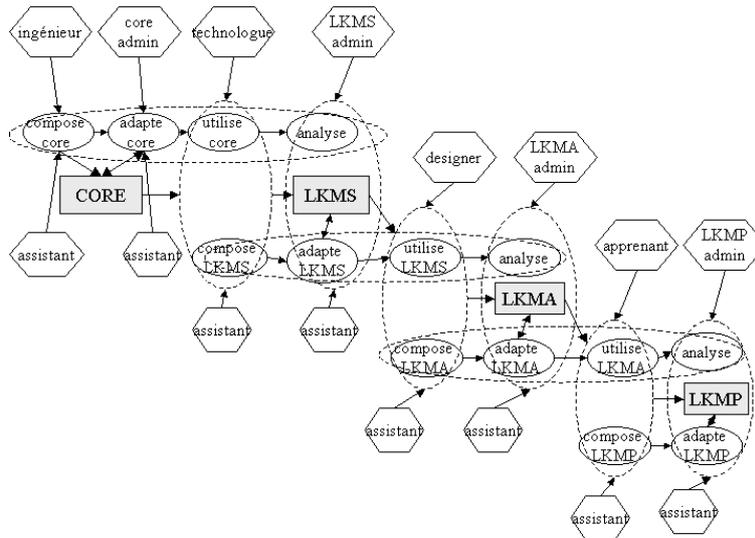


Figure 6: La cascade de production qui étend le système

X.6. Infrastructure pour l'interopération

TELOS doit faciliter l'inter-opération technique et sémantique entre ses utilisateurs et modules (distribués) et ceux de systèmes externes ("campus virtuels", "learning management systems", "learning application servers", "knowledge management systems", "support systems"). Il doit mettre en contact les "clients" avec les "fournisseurs", mettant à la disposition des bénéficiaires des moyens pour obtenir des services.

Poursuivant attentivement l'évolution des technologies (voir [FIE 02], [LEE 03], [OBE 05]) nous avons tâtonné une série de formules: passerelles "un à un" (relations croisées entre les utilisateurs et les diverses couches de deux applications- commençant avec celui de l'interface et terminant avec celui des données), intégration sur le poste client (utilisant des facilités du browser WEB ou du système d'opération), liaison en étoile sur un poste serveur. Finalement, nous avons adopté la solution (figure 7) d'un "bus de communication" coordonné par un "kernel" qui

déploie (distribue) et met en connexion les agents-interface de communication (voir une solution similaire en [25]), coordonnant l'enchaînement des phases déclare/ appelle/ livre/ reçoit- pour satisfaire les demandes de micro-services

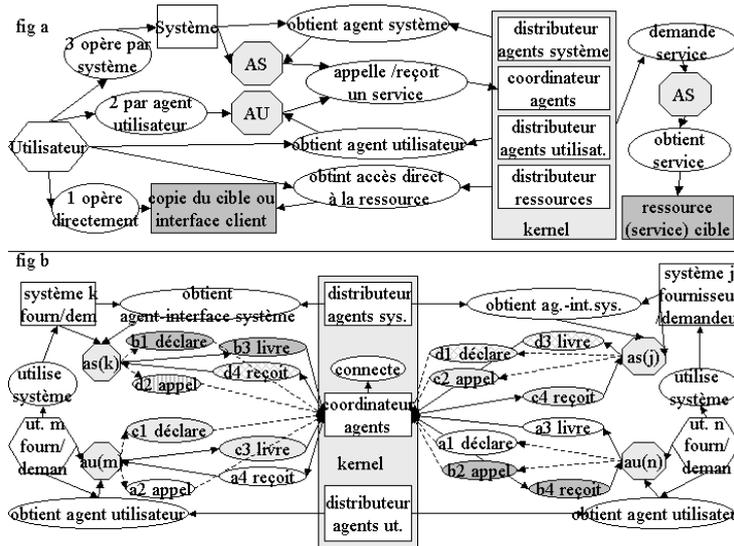


Figure7: Bus de services

Les "agents-interfaces" respectent un protocole d'inter- communication TELOS (opérant au-dessus des couches réseau). Tous les modules TELOS doivent être couplables à ce "bus de communication". Les systèmes externes qui désirent participer doivent être enveloppés (statiquement ou dynamiquement) avec les agents-interface TELOS. Un utilisateur demande/obtient un service par l'intermède de l'agent-interface alloué par le *kernel*- à lui (agissant comme interface visuelle) ou au système qu'il utilise (agissant en arrière-plan).

Le noyau TELOS contiendra aussi un contrôleur de ressources (délégant la manipulation de toute ressource au manipulateur approprié) et un module d'import-export- pour la communication avec des systèmes basés sur d'autres normes.

X.7 Synthèse des perspectives sur TELOS

La figure 8 résume les cinq perspectives discutées dans cet article.

1 TELOS appuie l'évolution globale d'un système impliquant des connaissances, utilisant comme système de référence des domaines d , respectant une norme n (organisée- o et définie- d par des experts $e1$). À leur tour- les experts $e2, e3-$

accomplissent l'indexation ip des participants p et l'indexation ir des ressources r , cataloguées dans les répertoires R du système. Avant d'être utilisées, les ressources r , p peuvent être repérées directement (re) par un utilisateur u (mode émergent) ou accédées (ac) par l'intermédiaire de modèles procéduraux (fonctions fo) qui sont indexés par des experts $e4$, durant l'édition (ed) - à fin d'appuyer les équilibres de compétences.

2. TELOS permet aux utilisateurs ut d'étendre une base de ressources continuellement, les aidant dans la recherche re des composantes nécessaires co , puis dans leur utilisation ut pour des buts variés, parmi lesquels l'agrégation de nouvelles ressources ag , suivie par leur publication pu dans les répertoires système.

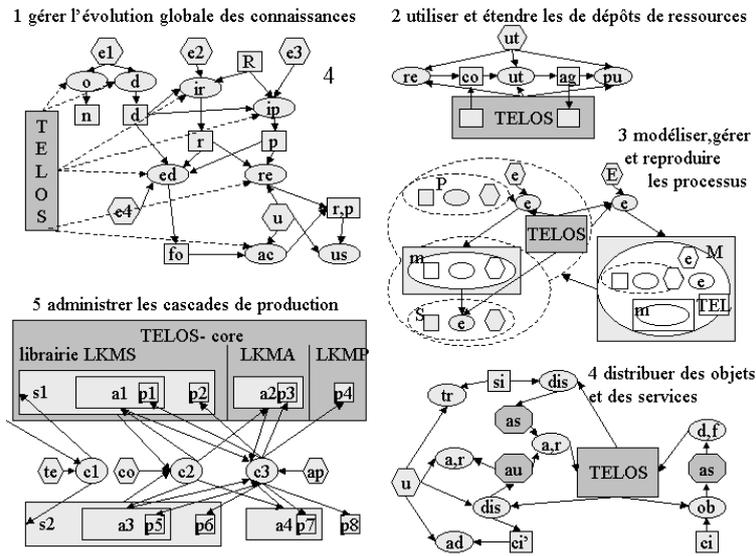


Figure 8: 5 perspectives sur TELOS

3. TELOS permet la reproduction des processus primaires- P qui inspirent l'édition- e de leurs modèles- m, utilisés dans la production de processus dérivés- S. Cette chaîne peut à son tour être modélée, le métamodèle M étant utilisable pour sa gestion.

4. TELOS permet à l'utilisateur u d'obtenir les services des ressources cible ci : 1 par l'intermédiaire d'actions directes ad sur des répliques ci' distribuées (dis) dans le contexte utilisateur 2. appelés a et reçus r par les agents au distribués aux utilisateurs 3. par les systèmes si avec lesquels ils travaillent (tr). Dans ce dernier cas, on distribue (dis) aux systèmes demandeurs des agents interface as , similaires à ceux utilisés par les systèmes qui déclarent et fournissent (d,f) ces services.

5. Le système permet la segmentation des cascades de production sur des critères administratifs. À partir des modules du *core*, des technologues *te* fabriquent (phase *c1*) des LKMS (autonomes ou liés au core) *s1*- incorporés dans la bibliothèque centrale, ou *s2*- placés dans le contexte des bénéficiaires externes. Utilisant les LKMS, les concepteurs *co* peuvent construire (*c2*) des LKMA, placés dans la bibliothèque centrale (*a2*), la bibliothèque du LKMS constructeur (*a1,a3*) ou séparément (*a4*). L'utilisation des LKMA par les apprenants *ap* modifie leur compétences et peut produire des LKMP, placés dans divers contextes (librairie LKMP centrale- *p4*, librairies de produits LKMS- *p2,p6*, librairies de produits LKMA- *p1,p3,p5,p7*, portfolios personnels- *p8*).

X.8. Conclusions et pistes de réflexion

La majorité des formules proposées dans l'architecture conceptuelle ont été testées au niveau des prototypes. L'équipe de développement TELOS évaluera leur réalisme, se confrontant au problème de la scalabilité. La complexité du problème imposera des simplifications, en continuelle reconsidération. D'autre part, même au niveau des principes, beaucoup d'ambiguïtés et de signes d'interrogation persistent. Des problèmes difficiles de synthèse interdisciplinaire (théorie des systèmes dynamiques, cognition distribuée, web sémantique, recherche opérationnelle, gestion des workflows, orchestration des agents) se posent, comme : "Comment organiser un repère sémantique évolutif qui soutienne une certaine physiologie de référencement-appropriée pour un certain projet d'instruction distribuée?" ou (voir figure 5b): "par quelles méthodes pouvons nous optimiser l'allocation (distribution en temps et en espace) des documents et des personnes de support soutenant l'ensemble d'utilisateurs d'un groupe de fonctions orchestrant des procédures qui doivent produire une certaine modification de la situation globale de compétences?"

Le traitement de telles questions requiert une vision globale du métabolisme unitaire des connaissances... représentées dans des structures de référence... incarnées dans des participants... dont les compétences évoluent... comme conséquence de l'exécution de procédures à effets instructifs... qui exploitent le potentiel d'accroissement des compétences des explications... incorporées dans des documents et fournies par des assistants.

Ce qui me détermine à continuer l'étude du processus explicatif.

Remerciements

Ce texte doit beaucoup à Val Rosca, qui a appuyé une longue exploration comportementale, en développant à côté de moi les prototypes ION- VAL- GEFO-TELOS1. Je remercie aussi aux collègues du symposium REF' 2005 pour leur soutien et leurs observations.

Bibliographie

- [BER 01] Berners-Lee, T., Hendler, J. Lassila, O., *The Semantic Web*, Scientific American, May 2001: 35-43, 2001
- [FIE 02] Fielding R, Taylor R., *Principled design of the modern web architecture*, ACM transactions on Internet Technology, Vol2, No2, May, pp 115-150, 2002
- [GAR 2002] Garcia-Cabrera, L, Rodriguez- Fortiz, M.J., Perets-Lorca, J. *Evolving hypermedia systems : a layered software architecture*. Journal of software maintenance and evolution : research and practice, 389-485, 2002
- [KOP 02] Koper R., *Modeling units of study from a pedagogical perspective - The pedagogical metamodel behind EML* , <http://www.eml.ou.nl/introduction/articles.htm>, 2002]
- [LEE 03] Lee Y, Chong Q., *Multi-agent systems support for Communities-Based Learning*, Interacting with computers 15 , 33-55, 2003, Elsevier Science
- [LEH 02] Lehmann, M.M, Kahen G., Ramil J. F., 2002. *Behavioural modelling of long-lived evolution process- some issues and an example*. Journal of software maintenance and evolution : research and practice 2002, 335-351. John Wiley & Sons ed.
- [LEM 90] Le Moigne, J. L.,(1990): *La modelisation des systemes complexes*, Dunod, Paris
- [MAR 04] Marino O., Paquette G., Rosca I., De la Teja I., Leonard M., Contamine J, Rogozan D., *Les langages de modélisation pédagogique : un pont entre l'ingénierie pédagogique et les systemes de diffusion de laformation en ligne*. 72e congres AGFAS, 2004
- [MAR 05] Marino O., de la Teja, I., Lundgren K., Paquette, G. *Transposing MISA Learning Scenarios into IMS Units of Learning* Jour. of Interactive Media in Education 2005(13).
- [MIZ 03] Mizoguchi, R. 1 *Introduction to Ontological Engineering*. 21, pp. 365–384, 2003
2. *Ontology development, tools and languages*. 22, pp. 61-96,2004
3. *Advanced course of ontological engineering*. 22(2) 2004. New Generation Computing,. Ohmsha Ltd
- [MOR 90] Morin E.(1990), *Introduction à la pensée complexe*, ESF Éditeur, Paris
- [OBE 05] Oberl D., Stab S, Volz R, 2005. *Supporting Application Development in the semantic Web*, ACM transactions on Internet technology, Vol5, No2, may 2005, pp 328-258
- [PAQ 04] Paquette G., Rosca I., *An Ontology-based Referencing of Actors, Operations and Resources in eLearning Systems* SW-EL, 2004
- [PAQ 03] Paquette G., Rosca I. *Modeling the delivery physiology of distributed learning systems*. Technology, Instruction, Cognition and Learning (TICL) ,v1, No2, 2003

- [PAQ 01] Paquette G., Rosca I., De la Teja I., Léonard M., Lundgren-Cayrol K., *Web-based Support for the Instructional Engineering of E-learning Systems*, Proceedings of WebNet'2001, Orlando FL, October 2001, W. Fowler, J. Hasebrook (eds.) pp. 981-987.
- [PAQ 00] Paquette, G. Construction de portails de télé-apprentissage Explor@ : Une diversité de modèles pédagogiques, *Science et Techniques Educatives*, vol. 7, no 1, p. 207-226 .
- [PAQ 99] Paquette, G., Aubin, C. Crevier F. MISA, *A Knowledge-based Method for the Engineering of Learning Systems*, *Journal of Courseware Engineering*, vol. 2, August, 1999
- [PER 05] Pernin J.P. *Mieux articuler connaissances, artefacts informatiques, dispositifs et situations d'apprentissage : vers un modèle d'ingénierie centré sur le concept fédérateur de scénario*. Symposium REF-2005, Montpellier
- [ROG 04] Rogozan D., Paquette G., Rosca I. *Évolution de l'ontologie utilisée comme référentiel sémantique dans un système de téléapprentissage; " Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Industrie"*. Compiègne, 243-249,
- [ROS 06] Rosca I., Paquette G., Mihaila S. Masmoudi A. *TELOS, a service-oriented framework to support learning and knowledge Management*. E-Learning Networked Environments and Architectures: a Knowledge Processing Perspective, S. Pierre (Ed), Springer-Verlag (2006- in press)
- [ROS 04a] Rosca, I., Paquette, G. *TELOS research progress*, LOR'04 Towards the educational semantic web, No4, Dec, http://www.lornet.org/eng/infolornet_vol1_no4.htm#a35
- [ROS 04b] Rosca, I., Rosca, V. *Pedagogical workflow management with functions*, LOR'04 congress, Montreal, <http://www.lornet.org/i2lor/pps/Rosca.pps>
- [ROS 03] Rosca, I., Paquette, G.: *System orientation principles*, TELOS Vision and Orientation <http://www.lornet.org/docs/telos.pdf>, pp26-28, 2003
- [ROS 02] Rosca I., Paquette G., *Organic Aggregation of Knowledge Objects in Educational Systems*, *Canadian Journal of Learning Technologies*, Volume 28-3, Fall 2002, (pp. 11-26)
- [ROS 01] Rosca I., Paquette G, *Le système Explora2*, Congrès TeleLearning, Vancouver 2001
- [ROS 99] Rosca, I., *Vers une vision systémique du processus de l'explication; Récit d'une recherche sur l'intégration de la pédagogie, de l'ingénierie et de la modélisation-* thèse de doctorat, Montreal, <http://www.ioanrosca.com/educatie/these>, 1999
- [SES 03] Sessions R. *Software Fortresses: Modeling Enterprise Architectures* Addison-Wesley Professional; 1st edition (February 24, 2003)
- [SPE 98] Spector J.: *The role of epistemology in instructional design*, *Instructional Science*, 26(3-4), 193-203
- [VAN 03] Vantroys T, Peter Y: *Cow, a flexible platform for the enactment of learning scenarios*, CRIWG Proceedings, Autrans, France, 2003, Springer Verlag
- [WEN 05] Wentland Forte, M. *Vivier de connaissances : du partage et de la réutilisation de matériels pédagogiques*. Symposium REF-2005, Montpellier
- [WIT 03] Witgenstein L. *Recherches philosophiques*, Humanitas, Bucarest, 2003