Une approche de conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances

Davy Monticolo, Alex Gabriel, Pedro Chavez Barrios

Laboratoire ERPI, Université de Lorraine, 8 rue Bastien Lepage
(davy.monticolo ; alex.gabriel ; pedro.chavez) @univ-lorraine.fr

RÉSUMÉ. *La gestion des connaissances est une opportunité d'amélioration des performances pour les organisations. Les connaissances sont dynamiques puisqu'elles évoluent continuellement et peuvent être diffusées sous forme d'informations de manière extrêmement variée et rapide à travers le réseau interne de l'organisation et de plus en plus à l'extérieur de l'organisation* via *l'immensité du Web. Pour que la gestion des connaissances soit effectivement un vecteur d'amélioration des performances d'une organisation, il faut au préalable une compréhension des mécanismes de création, de partage, de mise à jour et d'évolution des connaissances au sein de cette organisation. Ces processus sont très complexes lorsque l'on considère qu'ils sont différents au niveau d'un individu, d'un groupe et au niveau plus large du Web. Cet article propose une méthode de conception de système intelligent pour gérer les connaissances d'une organisation. L'approche est basée sur une démarche de modélisation des organisations afin d'identifier les connaissances issues des interactions entre les différents rôles ainsi que sur la spécification de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances à partir de modèles organisationnels.*

ABSTRACT. *Knowledge management is an opportunity to improve performance for organizations. Knowledge is dynamic since it evolves continuously and can be disseminated in the form of information in an extremely varied and rapid ways through the internal network of the organization and more and more outside the organization through the Web. In order to use knowledge management approaches to increase the organizational performance, we need to understand the mechanisms for creating, sharing, updating, and evolving knowledge. These processes are very complex when you consider that they are different at the individual, group or communities on the Web. This article proposes an intelligent system design method for managing knowledge of an organization. The approach is based on an organization modeling approach in order to identify the knowledge resulting from the interactions between the different roles. The second part of the article describe the specification of multi-agent systems dedicated to knowledge management based on organizational models.*

MOTS-CLÉS : *modèle organisationnel, système multi-agent, gestion des connaissances.*

KEYWORDS: *organizational model, multi agent system, knowledge management.*

DOI:10.3166/ISI.23.2.61-88 © 2018 Lavoisier

1. Introduction

Lors de ces vingt dernières années, la révolution des nouvelles technologies de l'information et de la communication a abouti à de nouveaux moyens d'interactions entre les acteurs métier à travers les réseaux sociaux et la communication relayée par les technologies mobiles (Smartphones, tablettes, objets connectés, etc.). On assiste à une évolution très rapide des moyens de création, partage et diffusion des connaissances au sein des organisations humaines. En effet, les habitudes de travail ont évolué dans les entreprises ainsi que les méthodes de partage et de diffusion de l'information. Aujourd'hui, les habitudes à l'intérieur des entreprises sont influencées par l'évolution des technologies de l'information et de la communication telles que les technologies mobiles et les technologies du Web (blogs, Wikis, flux RSS, plateformes de réseaux sociaux, podcasts, vidéos en ligne). De plus, les exigences des acteurs métiers ont évolué, ils souhaitent obtenir les informations et les connaissances dont ils ont besoin le plus facilement et rapidement possible, à n'importe quel moment et de n'importe où, que cela soit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise. Cela induit des changements tant du point de vue des organisations que de la gestion des connaissances dans ces organisations.

Pour répondre à ces exigences et à l'évolution des moyens d'interactions, les approches, les outils et les méthodes pour la gestion des connaissances ont beaucoup évolué. Les méthodes de capitalisation des connaissances basées sur les entretiens d'experts ne suffisent plus pour obtenir une vision globale des connaissances créées et partagées dans une organisation. Les évolutions technologiques et organisationnelles doivent être prises en compte pour concevoir et développer les nouveaux systèmes de gestion des connaissances qui intègrent à la fois l'importance de ces aspects sociaux et les nouvelles avancées technologiques influant sur les pratiques de communication (Sultan, 2013 ; Luo *et al.*, 2015 ; Pan *et al.*, 2015). Ces systèmes doivent être centrés sur l'organisation puisqu'ils doivent comprendre les habitudes de travail et les interactions des acteurs métier tout en étant en mesure d'exploiter les connaissances hétérogènes provenant de différentes sources d'information (logiciels métier, vidéos, maquettes numériques, wikis, etc.). La connaissance n'est donc plus issue de quelques experts, mais de tous les membres de l'organisation. Un réseau de confiance s'installe dans l'organisation et aujourd'hui la connaissance diffusée n'est pas vérifiée, mais fait l'objet d'un consensus au niveau de la communauté d'acteurs (Park *et al.*, 2014 ; Chai *et al.*, 2014). En plus d'étendre l'origine des connaissances, la réutilisation de celles-ci évolue. Les connaissances créées par les acteurs métier ne sont plus seulement destinées à créer un capital intellectuel autour d'un produit ou d'un service, mais servent également de base pour faire évoluer l'organisation entière à travers l'émergence de nouveaux modèles métier, rôles, comportements, compétences et moyens d'interactions (Damiani *et al.*, 2015 ; Azzini *et al.*, 2015). Il est donc important de modéliser au mieux les organisations humaines afin d'obtenir des modèles qui facilitent la compréhension des rôles joués par les acteurs métier, des compétences qu'ils utilisent pour réaliser leurs activités, des connaissances qu'ils créent à travers leurs

missions et leurs interactions. Pour autant, cette modélisation ne doit pas être figée, elle doit pouvoir évoluer avec l'organisation modélisée.

Du point de vue organisationnel, l'évolution des moyens d'interaction, et de création et de diffusion des connaissances définit de nouvelles frontières et de nouveaux fonctionnements. Les modèles proposés dans la littérature intégrant les métaphores sociales en prenant en compte la description des rôles, la notion de groupe, de communauté, de compétences, de collaboration, doivent évoluer pour faire face aux nouveaux modes de communication et habitudes décrites dans le paragraphe précédent. Pour autant, pour concevoir une organisation et expliciter les mécanismes entre les acteurs métier, il faut être capable de représenter et partager un ou plusieurs points de vue de cette organisation au travers d'un modèle. Il est entendu par le terme « organisations » des entités sociales conçues avec des structures et des systèmes de coordinations permettant d'accomplir des buts communs (Augier, 2013). Dans la littérature et les différents travaux de recherche, nous observons plusieurs propositions de métamodèles organisationnels, c'est-à-dire de modèles constituant un formalisme et un langage permettant de construire un modèle organisationnel. Ces langages permettent d'homogénéiser la définition de plusieurs modèles organisationnels inspirés par les approches MDE – *Model Driven Engineering* (Coutinho *et al.*, 2008). Pour autant, les modèles organisationnels diffèrent en fonction des domaines.

Les modèles organisationnels utilisés dans le domaine de la gestion des connaissances sont centrés sur les connaissances liées aux personnes, aux activités à travers les processus d'entreprises, et aux produits (Movahedian *et al.*, 2017 ; Mariel *et al.*, 2014 ; Monticolo *et al.*, 2015 ; Azzini *et al.*, 2015) développés dans l'entreprise. Le modèle organisationnel de Paul and Anantharam (2003) est centré sur l'identification des connaissances liées à la productivité des employés, la qualité du produit et les temps de développement du produit. Un autre point de vue est abordé avec le modèle de Jackson et Schuler (2009) qui prend en compte la confiance dans l'organisation, la qualité de vie au travail des employés et les facteurs de résolution de problème en groupe. Le modèle d'Amstrong (2009) est plus complet puisqu'il permet d'analyser le point de vue humain (compétences, motivation, engagement), le point de vue métier (productivité, qualité, satisfaction client) et le point de vue financier (profit, ventes et éléments du marché). Enfin le modèle « Stakeholder » (Tongo, 2012) permet d'analyser les connaissances issues de quatre axes ; les connaissances détenues par les acteurs de l'entreprise par rapport aux produits concurrents, par rapport aux marchés, aux technologies utilisées pour développer les produits et par rapport aux environnements extérieurs (partenaires, fournisseurs, clients). D'autres modèles organisationnels ont été proposés, mais cette fois dans le domaine des systèmes multi-agents. L'origine de ces modèles remonte aux années 1990 où certains travaux dans les systèmes multi-agents se sont inspirés de la théorie des organisations pour définir des organisations d'agents, c'est-à-dire des groupes d'agents. Dans ce domaine, les agents sont des entités informatiques qui interagissent les unes avec les autres et coordonnent leurs comportements pour

accomplir des objectifs collectifs (Ferber *et al.*, 2004). Les modèles organisationnels proposés lors de ces recherches fournissent un cadre conceptuel ou langage de modélisation (Guizzardi, 2007) pour spécifier les mécanismes de coordination, de répartition des tâches dans les sociétés d'agents, c'est-à-dire définir l'architecture du système. Ces modèles décrivent la structure organisationnelle, c'est-à-dire à quelle organisation l'agent appartient, quels sont ses objectifs et ses fonctions. Ces dimensions sont prises en compte dans les modèles AGR – *Agent Group Role* (Ferber *et al.*, 2004), RIO (Hilaire *et al.*, 2000) et TAEMS – *Task Analysis Environment Modeling and Simulation* (Lesser *et al.*, 2004)). D'autres modèles tels que MOISE+ *Model of Organization for multI-agent SystEms* (Hübner *et al.*, 2002), ISLANDER (Esteva *et al.*, 2002) et OperA – *Organizations per Agents* (Dignum, 2009) prennent en compte les aspects normatifs, c'est-à-dire la description des mécanismes d'interaction entre les différents agents dans l'organisation.

Nous distinguons donc deux types de modèles organisationnels, ceux utilisés dans le domaine de la gestion des connaissances qui permettent de décrire une organisation humaine en mettant en évidence les connaissances échangées et ceux utilisés pour la conception de systèmes multi agents qui permettent de spécifier les mécanismes de coordination, de distribution des tâches afin d'obtenir une architecture logicielle. Afin de concevoir un système intelligent pour la gestion des connaissances, nous proposons d'utiliser une approche organisationnelle hybride, c'est-à-dire inspirée des modèles organisationnels en gestion des connaissances pour en déduire les spécifications du système multi-agent. L'objectif de cet article consiste à proposer une démarche de spécification d'un système multi-agent de gestion des connaissances à partir d'un modèle organisationnel.

Dans la suite de cet article, nous allons dans un premier temps aborder l'intérêt des systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances et mettre en avant la difficulté de concevoir ce genre de système. Dans la section suivante, l'article va aborder notre proposition de démarche de conception de système multi-agents pour la gestion des connaissances. La description de cette démarche se fera en trois temps : présentation du métamodèle organisationnel utilisé, présentation de la méthode de modélisation d'une organisation, enfin la méthode de spécification du système de gestion des connaissances. Dans une troisième section, nous discuterons cette démarche pour conclure sur les perspectives dans une quatrième section.

2. Systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances

La gestion des connaissances peut être réalisée au niveau individuel ou au niveau collectif. Bien souvent, le niveau individuel s'illustre par l'appropriation d'information déjà collectée ou annotée par d'autres personnes ou par une communauté de personnes. Il est donc intéressant de prendre en compte la notion de groupe lors de la conception d'un système de gestion des connaissances. De plus, ce système doit s'adapter au changement de son environnement illustré par l'évolution des intérêts des utilisateurs, leurs besoins, leurs activités et processus métiers et leurs

implications (Cela *et al.*, 2017). Les systèmes multi-agents ont prouvé leur efficacité lors de l'adaptation au changement de l'environnement (Omcini *et al.*, 2004, So 2005). De ce fait, la conception d'un système de gestion des connaissances basé sur une architecture multi-agents permettra de doter ce dernier de propriétés telles que :

– La réactivité, en étant en mesure de répondre aux demandes des utilisateurs et à la dynamique de l'organisation humaine qui caractérise l'environnement du système.

– La proactivité pour anticiper les attentes des utilisateurs ou prévenir les difficultés par rapport aux objectifs fixés par l'organisation.

– La flexibilité pour permettre au système d'évoluer (ajout de nouveaux agents, de nouvelles tâches pour les agents, etc.) en fonction de l'évolution des connaissances et de l'organisation humaine (capitalisation et gestion de nouveaux types de connaissances, ajout de nouvelles personnes dans l'organisation, etc.)

Dans le domaine de l'intelligence artificielle, les agents sont définis comme des entités cognitives ayant des caractéristiques telles que des objectifs, des croyances, des intentions, des engagements, etc. et sont issus de recherches concernant de nombreux domaines (science cognitive, économie, sociologie, ingénierie, etc.). Un agent peut être vu comme une entité évoluant dans un environnement dans lequel il perçoit certaines informations et dans lequel il agit en fonction de ses intentions pour faire évoluer cet environnement (Wooldridge, 2002). Le fait que l'agent puisse percevoir des informations provenant de l'environnement dans lequel il évolue et qu'il puisse agir en conséquence démontre ses capacités de réactivité. De plus, l'agent peut réagir, mais également anticiper et décider d'agir par lui-même en adéquation avec ses intentions et objectifs ce qui démontre ses capacités de proactivité. Par ailleurs un agent évolue dans un environnement en communauté avec d'autres agents et interagit avec ces derniers. Ces actions peuvent également provenir d'événements déclenchés (messages ou actions spécifiques) par les autres agents possédant eux-mêmes leurs propres objectifs. Ils constituent ainsi un système multi-agent. Les caractéristiques sociales et cognitives des agents procurent aux systèmes multi-agents des habilités à simuler des interactions et comportements humains (Jaekoo *et al.*, 2013 ; Langevin *et al.*, 2015 ; Kountouriotis *et al.*, 2014 ; etc.). Par ailleurs, l'analyse des structures organisationnelles est un point fondamental dans une approche de gestion des connaissances. À ce jour, les activités et processus utilisés dans les entreprises sont, la plupart du temps, distribués dans différentes organisations (services, départements, groupes projets). De plus ces organisations sont dynamiques c'est-à-dire qu'elles évoluent en fonction du marché, des acteurs et des évolutions technologiques. De telles caractéristiques nécessitent de comprendre, d'analyser et de reconcevoir régulièrement le modèle organisationnel pour avoir conscience et accompagner au mieux les échanges de connaissances dans ces organisations. Plusieurs études sur les systèmes de gestion des connaissances (Chen *et al.*, 2015 ; Jemielniak et Kociatkiewicz, 2009 ; Murray, 2009 ; Leistner, 2010) ont montré que ces systèmes deviennent obsolètes rapidement du fait d'une prise en compte inadéquate du contexte organisationnel. Les systèmes à base de connaissances ont donc besoin de modèles adaptés facilitant la

compréhension des mécanismes de création, d'échange, de mise à jour et de réutilisation des connaissances tels que ceux utilisés dans le paradigme agent.

Depuis plusieurs années, une partie des recherches dans le domaine des systèmes multi-agents s'intéresse aux aspects organisationnels tels qu'ils ont été présentés dans la section 1 de cet article. Carley (2002) explique que l'analyse et l'étude des organisations humaines permettent de concevoir des modèles informatiques qui peuvent être utilisés pour améliorer trois perspectives dans ces organisations: la structure, le partage de l'information, et la coopération sociale. Le paradigme agent avec ses possibilités en termes de coordination, de stigmergie, d'adaptabilité et d'évolution fournit de nouveaux horizons pour améliorer la performance des organisations humaines. Sichman *et al.* (Sichman *et al.*, 2005) a même proposé un champ de recherche appelé « Agent Organization » décrit notamment par Dignum (2009). Ce champ de recherche se focalise sur la modélisation des organisations humaines, mais également sur leur dynamique (Barbosa *et al.*, 2015 ; Yeom, 2010). Ces travaux abordent également les problématiques des communautés auto-organisées (De Abreu Netto *et al.*, 2015 ; Verstaevel *et al.*, 2015 ; Bandini *et al.*, 2010) ou l'impact des différentes structures organisationnelles sur l'efficacité des organisations ou encore comment apporter les informations pertinentes pour qu'une organisation puisse s'adapter au changement. De plus, les langages de conception de SMA comme AML (*Agent langue Modeling*) (Cervenka *et al. ;* 2007), GRL (*Goal Oriented Requirement Language*) (Amyot *et al.*, 2010), CAMLE (*Caste-centric Agent Modeling Language*) (Shan *et al.*, 2004), ou plus récemment S-CLAIM (Baljak *et al.*, 2012) et AgentTest (Bagić Babac *et al.*, 2014) fournissent des cadres structurés pour le développement de modèles organisationnels.

Au fur et à mesure que les modèles organisationnels ont émergé, les techniques de conception d'agents ont permis de développer des agents intégrant des aspects sociaux, et coopératifs. Pour autant, la conception de système multi-agents sur la base d'un modèle organisationnel dans le but de gérer les connaissances et ainsi impacter les organisations n'a rien de systématique. Les syntaxes des modèles organisationnels basés sur les agents décrivent bien les échanges entre agents, mais, la plupart du temps, ils ne prennent pas en compte le cycle de vie de la connaissance, de sa création, à sa diffusion en passant par son partage, sa mise à jour et son évaluation. Par exemple, le modèle AALAADIN/AGR (Ferber *et al.*, 2004) utilise les concepts d'agents, de groupes et de rôles. Le modèle MOISE+ (Hubner *et al.*, 2002) utilise un modèle organisationnel construit sous trois aspects : structurel, fonctionnel et déontique. Le concept de déontique est complété dans le modèle OperA (Dignum 2004) avec les concepts de normes et d'institutions. On observe donc à travers ces différents modèles, une approche de conception en quatre niveaux (Coutinho *et al.*, 2009) : la spécification de la structure organisationnelle (propriété des agents), des fonctions organisationnelles (objectif des agents), des interactions organisationnelles (communication entre les agents) et ses normes organisationnelles (règles de régulations entre les trois niveaux précédents). Dans le cadre de cet article, nous proposons une approche (appelée DOCK))de conception de système

multi-agent dédié à la gestion des connaissances basé sur l'analyse et la modélisation des organisations humaines. Pour réaliser cette analyse, nous proposons un métamodèle organisationnel nommé KROM, accompagné d'une méthodologie basée sur trois points de vue (structure organisationnelle, gestion des compétences, gestion des connaissances). La représentation de ces différentes vues se fait grâce à quatre formalismes simples (modèle de la structure organisationnelle, modèle de processus, modèle d'activité, modèle de rôle) facilitant ainsi la création et la validation des modèles par les acteurs métier. L'intérêt de KROM est qu'il convient égalent à la modélisation des organisations d'agents en substituant l'acteur humain à l'agent informatique. Par contre, à la différence d'OperA et de MOISE+ qui détaillent explicitement les règles d'interactions, l'approche DOCK n'aborde pas la notion de normes. Nous considérons que les règles de passage entre les différents niveaux (structure organisationnelle, fonctionnelle et interaction) sont décrite manière implicite lors de la modélisation et la décomposition d'une organisation humaine à partir des différents points de vue. La retranscription implicite des normes organisationnelles est due à l'utilisation du même métamodèle pour décrire l'organisation humaine et des agents. Cela permet notamment la simplification du passage entre les rôles humains et ceux des agents cognitifs en charge de monitorer et accompagner les acteurs humains dans leurs activités.

La figure 1 présente la synthèse de l'approche. À partir de l'analyse des organisations humaines, le concepteur établit un modèle organisationnel utilisant KROM et spécifie les organisations d'agents nécessaires (agents cognitifs et agents réactifs). Le concepteur doit ensuite rédiger la description des interactions entre les agents et les humains ainsi que les mécanismes d'exploitation des connaissances. Les connaissances identifiées lors de la modélisation organisationnelle sont structurées sous forme d'une ontologie de domaine.

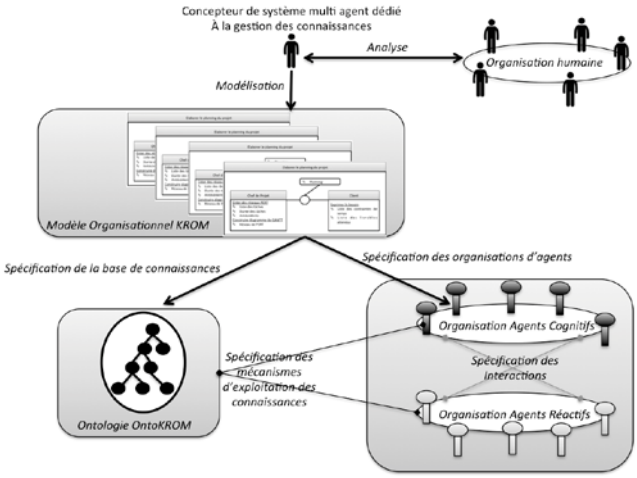

Figure 1. Synthèse de l'approche DOCK

3. Démarche de conception d'un système multi-agents à partir d'une représentation organisationnelle

D'un point de vue général l'approche que nous adoptons est de modéliser une organisation de telle manière à avoir les informations nécessaires pour en déduire les spécifications du système multi-agents qui viendra assister les activités de l'organisation. La conception du système se base sur une représentation formelle des connaissances qui caractérisent l'organisation à un instant donné. Cette connaissance doit être explicitée au travers d'une suite de formalismes et de modèles qui permettent de créer un lien et une cohérence entre les informations capitalisées concernant l'organisation. La pierre angulaire entre la représentation de l'organisation et la formalisation des agents censés supporter celle-ci est l'utilisation d'un référentiel commun : le métamodèle organisationnel. La figure 2 illustre la boucle itérative entre le modèle organisationnel d'une organisation et le modèle du système multi-agent ainsi que le métamodèle organisationnel comme référentiels communs.

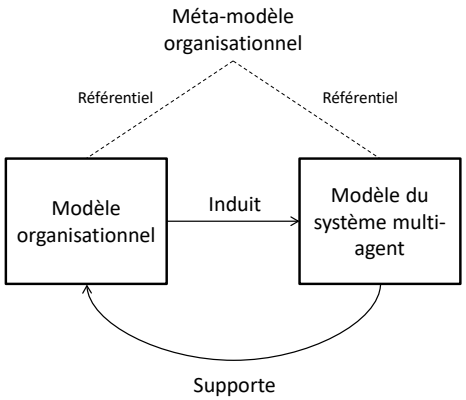

Figure 2. Représentation générale de la démarche de conception du système multi-agents

Le métamodèle organisationnel que nous proposons, appelé KROM, contribue à la clarification de plusieurs éléments en vue d'être utilisé par la suite comme support à la spécification de systèmes multi agents dédiés à la gestion des connaissances. Pour cela KROM a pour objectifs :

– De contribuer à une meilleure compréhension de l'ingénierie de l'organisation sur la base des connaissances et des compétences.

– D'apporter une définition claire des concepts utilisés par la modélisation d'organisations orientées connaissances et compétences.

– De mettre en évidence l'ensemble des concepts permettant de comprendre les mécanismes collaboratifs de création, de partage et d'utilisation des connaissances en fonction des rôles des acteurs métier dans l'entreprise.

Ce métamodèle présente des concepts et leurs liens nécessaires pour décrire une organisation en mettant en lumières les rôles, leurs interactions et les connaissances échangées. Afin de modéliser une organisation au travers de ces concepts, nous proposons une méthode mettant en œuvre différents formalismes pour expliciter les connaissances qui caractérise l'organisation. Cette méthode appelée DOCK permet également de déterminer les spécifications du système multi agent pour gérer les connaissances en utilisant le métamodèle KROM. Nous présentons dans la suite de cette section le métamodèle KROM et la méthodologie de modélisation.

3.1. Un métamodèle pour la modélisation des organisations

KROM est un métamodèle dédié à la modélisation des organisations sur la base des connaissances et des compétences. De ce fait, il s'appuie sur des éléments tels que l'activité et le processus ; mais il présente également des éléments plus spécifiquement orientés sur la définition du concept de rôle et des interactions, des connaissances et des compétences. Ce métamodèle définit treize concepts qui peuvent être ensuite déclinés et instanciés dans la modélisation organisationnelle d'une entité. Les treize concepts se répartissent sur trois grands domaines qui représentent trois grands points de vue pour considérer une organisation : le point de vue « Organisation », le point de vue « Connaissance » et le point de vue « Compétence ». La figure 3 représente le lien entre les treize concepts ainsi que leur répartition dans les différents points de vue.

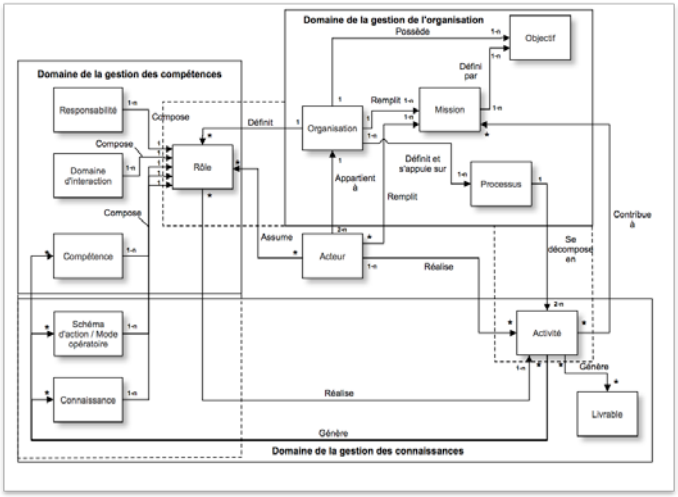

Figure 3. Les concepts du méta modèle KROM

La figure met en évidence le caractère central du concept d'Acteur. Par simplicité, les différents de point de vue vont être présentés avec les concepts inclus.

3.1.1. Le point de vue « Organisation »

Ce point de vue regroupe les éléments qui définissent l'organisation. On retrouve les concepts d'organisation, de mission, d'objectif, de rôle, de processus et par extension d'activité (tableau 1). Ce dernier item permet de faire le lien avec le deuxième domaine de notre modèle KROM.

Tableau 1. Définitions des concepts pour le point de vue « Organisations »

Organisation	L'organisation est une entité structurée qui se compose d'un ensemble d'acteurs partageant des objectifs communs et des moyens mis à disposition par l'organisation.
Mission	La mission est ce qui est accompli par l'organisation. C'est la raison d'être et le cœur d'activité de l'organisation. Chaque mission est définie par un ou plusieurs objectifs.
Objectif	Un objectif définit un but à atteindre pour l'organisation, c'est un engagement en termes d'actions à entreprendre. Un objectif est mesurable, réalisable, réaliste et a une durée déterminée.
Processus	Un processus est un ensemble d'activités (au moins deux) reliées entre elles par des flux d'informations qui se combinent pour fournir un produit matériel ou immatériel.
Activité	L'activité est une séquence d'opérations, réalisées par un acteur ou un ensemble d'acteurs.

3.1.2. Le point de vue « Connaissance »

Ce domaine regroupe les éléments qui contribuent à la mise en place d'actions de gestion des connaissances. On retrouve donc les concepts d'activité, de livrable, de connaissance et de schéma d'action (tableau 2). C'est deux derniers items, étant des constituants du concept de rôle, appartiennent aussi au dernier domaine du modèle.

3.1.3. Le point de vue « Compétence »

Ce domaine regroupe les éléments constituant les rôles. En effet, c'est à partir du rôle que des actions de gestion des compétences peuvent être mises en œuvre. On retrouve donc les concepts de connaissance, de schéma d'action, de compétence, de domaine d'interaction, de responsabilité et de rôle (tableau 3). Ce dernier concept, étant aussi présent dans le point de vue « Organisation ».

Tableau 2. Définitions des concepts pour le point de vue « Connaissance »

Livrable	Le livrable est la sortie matérielle (éléments physiques, données, résultats bruts) d'une activité. Il est spécifique et difficilement réutilisable en l'état dans un contexte différent de celui de l'activité de départ.
Connaissance	La connaissance est une information contextualisée et utilisée par l'acteur métier pour accomplir ses actions au sein de l'organisation. La connaissance peut donc être individuelle ou collective, mais aussi tacite ou explicite (Baumard, 1996). Elle est un ensemble d'informations agrégées, mises en contexte et véhiculant un sens précis.
Schéma d'action/mode opératoire	Le schéma d'action (ou mode opératoire) représente la combinaison de l'ensemble des éléments que les acteurs mobilisent pour réaliser l'activité (Bonjour *et al.*, 2002). Les acteurs formalisent un schéma d'action communément accepté et mis en œuvre au travers de procédures ou modes opératoires formels pour partager et réutiliser des expériences.

Tableau 3. Définitions des concepts pour le point de vue « Compétence »

Compétence	La compétence représente la capacité d'une personne à réaliser une activité de façon autonome dans un contexte donné. Elle est mobilisable et réutilisable sur différentes activités et peut être mise en pratique sur plusieurs contextes d'utilisation.
Rôle	Le rôle représente la position fonctionnelle d'un acteur au sein d'une organisation.
Acteur	L'acteur est la personne qui va assumer un rôle précis dans l'organisation. Un acteur peut assumer plusieurs rôles dans la même organisation.
Domaine d'interaction	Le domaine d'interaction englobe toutes les actions et situations qui peuvent conduire un acteur, à travers le rôle qu'il occupe, à interagir avec d'autres acteurs ayant le même rôle ou des rôles différents. Cet élément permet donc de consigner toutes les interfaces que possède un rôle dans l'exercice de ses fonctions.
Responsabilité	La responsabilité définit l'ensemble des règles organisationnelles, qu'elles soient tacites ou explicites, qui définit comment se déroulent les interactions entre les rôles à travers la réalisation des différentes activités. Pour décrire la hiérarchie entre les différents rôles acteurs d'une activité, nous utilisons la méthode RACI (Clet *et al.*, 2013) décrivant cinq niveaux : responsable, acteur, support, consulté, informé.

3.2. Méthodologie de modélisation d'une organisation avec KROM

Afin de simplifier l'utilisation du métamodèle KROM pour modéliser une organisation, nous proposons une succession de formalismes pour identifier et expliciter les instances de concepts selon chacun des points de vue du métamodèle. La figure 4 ci-dessous présente graphiquement les trois points de vue de modélisation ainsi que les différents formalismes de modélisation. Nous détaillons dans la suite de cette section ces formalismes pour chaque point de vue.

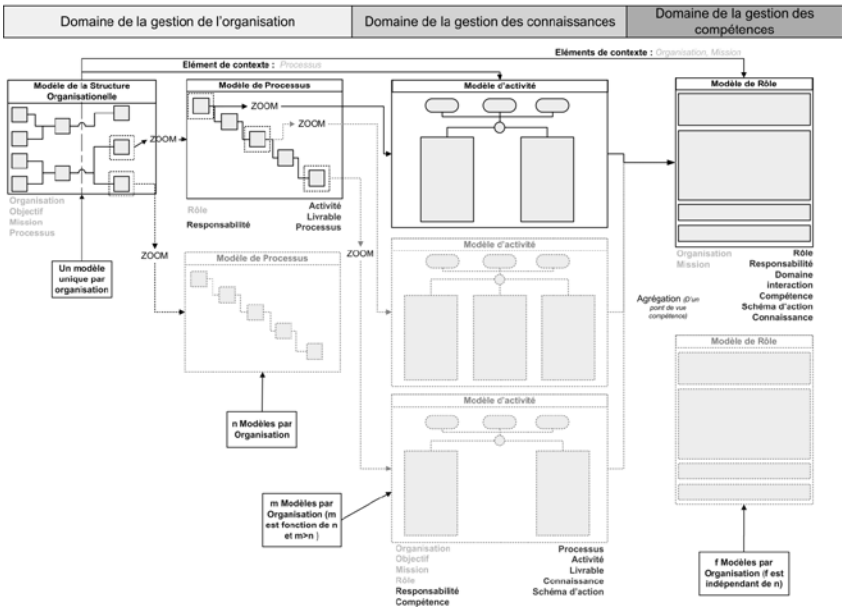

Figure 4. Les points de vue et formalismes de modélisation associés à KROM

3.2.1. Le point de vue organisationnel

Le point de vue organisationnel de KROM comprend deux modèles (figure 2) :

– Le modèle « structure organisationnelle », basé sur les concepts d'organisation, de mission, d'objectif et de processus.

– Le modèle « processus », permet d'identifier les processus mis en œuvre par l'organisation et de leur donner un contexte, en les liant à des missions précises.

Le modèle « structure organisationnelle » utilise un formalisme simple, composé des concepts d' « objectif », de « mission » et de « Processus ». Ce modèle présente les différents objectifs d'une organisation. Dans le cas de la figure 5, l'organisation « département des projets industriels », modélisée lors d'une étude en collaboration avec un de nos partenaires industriels, possède trois objectifs majeurs qui sont

d'augmenter les performances industrielles, *proposer de nouvelles technologies ou produits* et *valoriser les développements réalisés*. Chaque objectif est décomposé en une ou plusieurs missions. L'objectif concernant l'augmentation des performances industrielles nécessite deux missions : d'assurer la continuité du portefeuille dédié à la gestion de projet et de s'assurer de la qualité des projets en cours. Pour chaque mission des processus métier sont identifiés. Par exemple, la mission dédiée à s'assurer de la qualité des projets en cours est rattachée à quatre processus métier dont le processus de pilotage des projets.

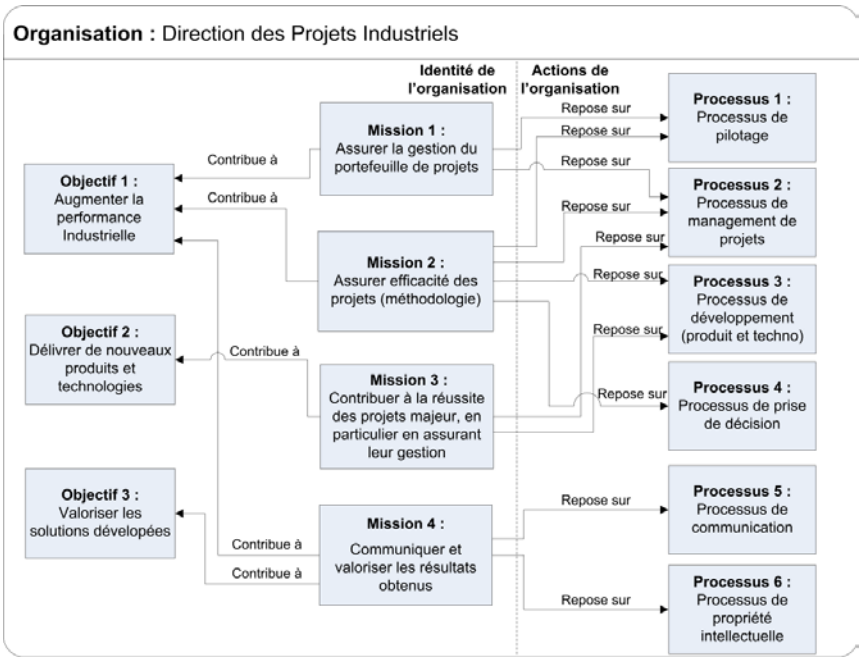

Figure 5. Exemple de modèle « structure organisationnelle » pour l'organisation « direction des projets industriels »

Le second modèle du point de vue organisationnel est le modèle de processus présenté à l'aide d'actigrammes SADT *(Structural Design and Model Design*) (Ang *et al.*, 1997). La figure 6 détaille le modèle de processus « pilotage de projet » correspondant au processus 2 identifié dans le modèle de structure organisationnel précédent. Ce processus est composé de six activités et fait intervenir cinq rôles. Le modèle de processus facilite l'identification des flux d'informations nécessaires à chaque activité. Dans le processus de pilotage de projet, les rôles ont besoin d'une série d'informations telles que les besoins clients, les directives stratégiques, les coûts estimés, etc. pour réaliser les activités et donc atteindre les objectifs globaux de l'organisation principale sous-jacente qui est, dans notre exemple, « le département des projets industriels ».

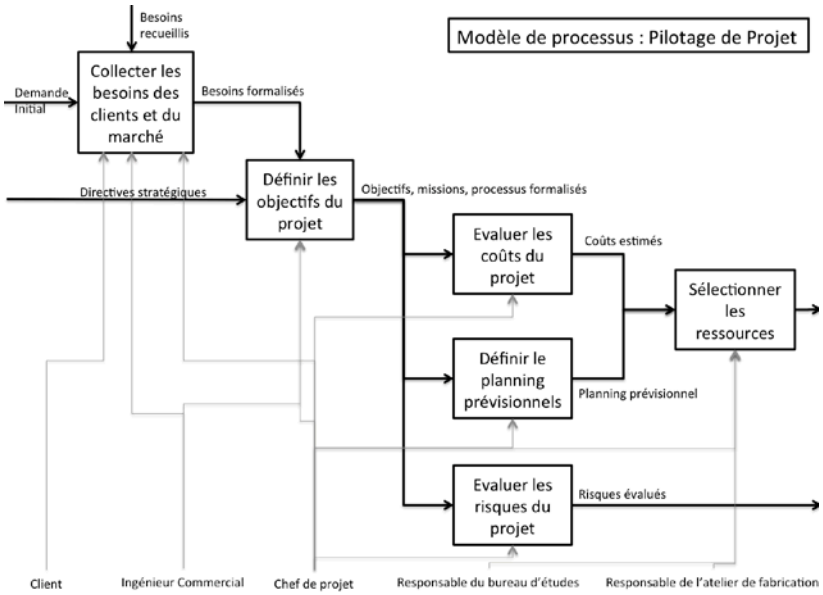

Figure 6. Exemple de modèle de processus pour le processus « Pilotage de projet »

3.2.2. Le point de vue management des connaissances

Le point de vue management des connaissances utilise un modèle appelé « modèle d'activité » qui décrit toutes les activités précédemment identifiées dans les modèles de processus. Il formalise les livrables et les connaissances générés à la suite d'interactions entre différents rôles impliqués mobilisant des compétences et des connaissances pour réaliser chacune des activités. Ce « modèle d'activité » se base sur l'évolution du formalisme RIOCK (*Role, Interaction, Organization, Competence and Knowledg*e) (Ben Milled *et al.*, 2009 ; Monticolo *et al.*, 2008). Ce modèle formalise le lien entre des compétences et des connaissances avec une activité précise impliquant des rôles différents. C'est cela qui permet d'identifier les mécanismes de création, de partage et de réutilisation de connaissances ainsi que de mise en œuvre et d'acquisition de compétences. La figure 7 présente le modèle d'activité « Définir le planning prévisionnel » énoncé dans la figure 4. Dans ce modèle nous observons deux rôles en interaction : le *chef de projet* et le *client*. Le chef de projet possède les compétences « créer des réseaux PERT » et « construire des diagrammes de Gantt ». Pour mettre en œuvre ses compétences, il possède une série de connaissances telles que la liste des tâches, la durée des taches, etc. Le résultat de l'interaction est modélisé par une connaissance nouvelle : le Planning.

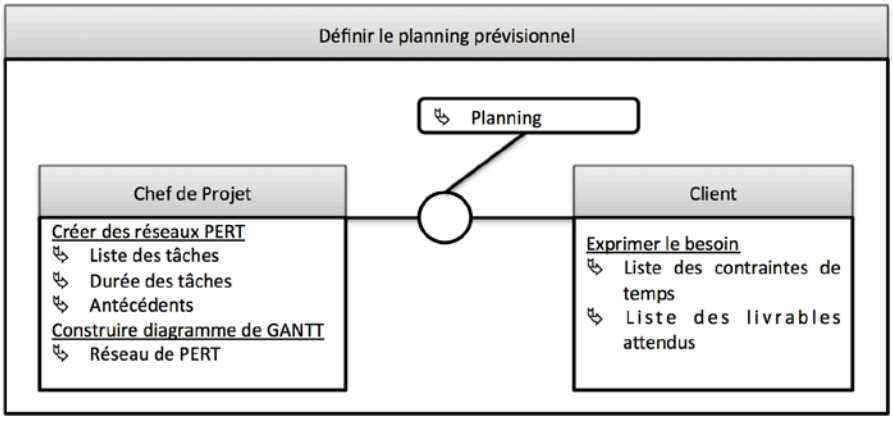

Figure 7. Modèle d'activité «Définir le planning prévisionnel »

3.2.3. Le point de vue « gestion des compétences »

La succession des « modèles d'activités » réalisés précédemment permet d'obtenir un maillage des rôles mobilisés à travers l'organisation. Le point de vue « gestion des compétences » utilise le « modèle de rôle » dont l'objectif est de pouvoir agréger l'ensemble des informations concernant un rôle donné ainsi que de spécifier les compétences et les connaissances dont il a besoin. Contrairement aux modèles précédents qui s'enchainent grâce à des zooms successifs, ce modèle rassemble un ensemble d'informations distribuées à travers les modèles précédents et les consolide en mettant en perspective des compétences mises en œuvre par le rôle. Cette agrégation d'attributs permet de définir de façon globale chaque rôle et son implication dans l'organisation. Un rôle est donc défini par l'organisation auquel il appartient, les missions qu'il remplit, les compétences et les connaissances qu'il mobilise, son domaine d'interaction et ses responsabilités.

La figure 8 présente le modèle de rôle et un exemple de modélisation du rôle « chef de projet industriel » où sont spécifiés l'organisation principale dans laquelle le chef de projet évolue (ici la direction des projets industriels), les principales missions de ce rôle (définir les enjeux, les coûts, etc.), les connaissances nécessaires au chef de projet (méthode et outil de gestion de projet, analyse économique, etc.), les compétences nécessaires pour ce rôle.

Role Name	
Organization	*Organization Name*
Main Missions	- Mission 1 : - Mission 2 : - Mission 3 :
Competences	C1 : Competence Name C2 : Competence Name C3 : Competence Name C4 : Competence Name C1 : Competence Name C2 : Competence Name C3 : Competence Name C4 : Competence Name
Knowledge	K1 : Knowledge Name K2 : Knowledge Name K3 : Knowledge Name K4 : Knowledge Name K5 : Knowledge Name K6 : Knowledge Name K7 : Knowledge Name K8 : Knowledge Name K9 : Knowledge Name
Interaction Fields	**Agents :** Agent A / Agent B / Agent D **Humans :** Role 1 / Role 2 / Role 3 **Interfaces :** Portal Alpha
Responsibilities	(P1; Act 1) : R (P1; Act 4) : R+A (P2; Act 1,2,3,4,5,9) : R (P2; Act 7,8) : I

Rôle	Chef de Projet Industriel			
Organisation	Direction des Projets Industriels			
Principales Missions	1. Définir les enjeux, les coûts et complexité du projet. 2. Valider et s'engager sur l'objectif du projet les différentes parties prenantes : ressources, budget, délai, périmètre. 3. Conduire le déroulement du projet. 4. Manager l'équipe projet, conduire le travail des différents intervenants et fédérer l'équipe. 5. Communiquer et contribuer à la valorisation des livrables des projets			
Domaines de Connaissances (Compétences Techniques)	**Domaine**	**Niv**	**Domaine**	**Niv**
	Méthodes et outils de Gestion de Projet	4	Propriété Intellectuelle et Juridique	2
	Méthodes et outils d'ingénierie	2	Conduite du Changement	3
	Analyses Economiques	3	Reporting et Communication	3
	Bagage Technique	2	Négociation	3
Compétences Comportementales	Orienté Résultats Décisions de Qualité Orientation Clients Courage Managérial		Agilité Stratégique Apprentissage personnel Développe ses collaborateurs Aisance Interpersonnelle	
Domaines d'interraction	Départements de l'ingénierie R&D Equipes IT Partenaires		Clients Top Management Achats Marketing	
Responsabilités	Management et réussite de ses projets Management et réussite du processus de prise de décisions de ses projets Valorisation des différents livrables de ses projets			

Figure 8. Modèle de rôle et exemple de modélisation du rôle « Chef de projet industriel»

3.3. Méthodologie de conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances

DOCK est une méthode de conception organisationnelle d'un système multi-agents ; la spécification du système se fait donc par une approche descendante, allant de la description de l'organisation générale des agents jusqu'à la spécification interne des agents.

Cette section présente une approche organisationnelle de conception de systèmes multi-agents dédiés à l'ingénierie des connaissances. Cette approche, appelée DOCK (*Design based on Organization, Competences and Knowledge*), se base sur le modèle KROM pour concevoir l'architecture fonctionnelle puis organique d'un SMA afin de constituer un système à base de connaissances. L'approche se construit autour de quatre étapes de conception qui sont représentées dans la figure 9. La première étape de l'approche consiste à modéliser l'organisation humaine qui sera supportée par le futur système à base de connaissances. Une fois cette modélisation réalisée, les concepteurs du futur système peuvent s'attaquer à modéliser l'organisation virtuelle à mettre en place pour supporter au mieux le cycle de vie des connaissances. Ces deux étapes constituent la phase de conception fonctionnelle de l'architecture du système. La seconde phase de DOCK consiste à réaliser la conception organique du système. Dans cette phase, le système est décrit en termes d'agents et d'interactions. Elle regroupe deux étapes. Tout d'abord elle propose une étape de description du modèle agent où le système va être décrit par les agents qui le composent et leur organisation générale. Ensuite vient une étape de description des interactions entre les agents, la base de connaissances (ontologie du domaine) et les acteurs humains sur l'ensemble des cas d'utilisation du système. Elle permet de

décrire le système de manière plus précise afin de pouvoir par la suite entrer dans sa conception technique. Ces quatre étapes de conception du système sont fortement liées entre elles. Elles impliquent donc de nombreuses itérations et raffinement des différents modèles. Il est donc crucial d'avoir un pilotage transverse entre ces quatre étapes de conception, que ce soit par un chef de projet, un ingénieur système, ou un coordinateur métier. Afin de les préciser, ces quatre étapes sont décrites une par une ci-dessous.

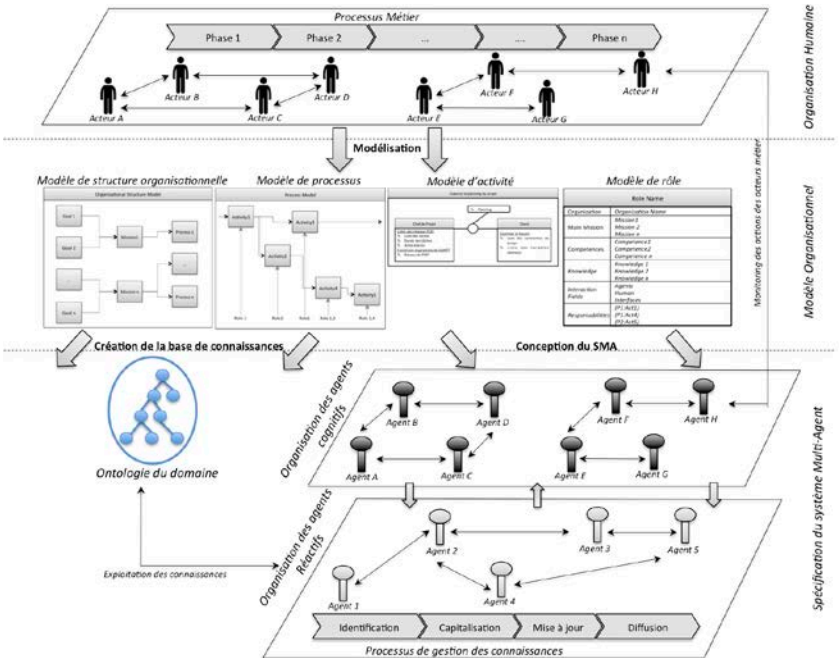

Figure 9. Méthode de conception du système multi-agent, DOCK

3.3.1. Étape 1 : Modélisation de l'organisation humaine

Pour décrire les éléments nécessaires et suffisants permettant la mise en œuvre d'un système de gestion des connaissances, la méthodologie DOCK utilise la méthodologie de modélisation organisationnelle issue de KROM. L'organisation humaine supporte un processus métier (figure 9) qui peut être un processus de développement logiciel, de conception de produit, d'industrialisation, etc. Cette étape de modélisation de l'organisation humaine (figure 9) est importante puisqu'elle va nous permettre de concevoir le système multi-agent. En effet les concepts de KROM permettant de construire les quatre modèles (structure organisationnelle, processus, activité et rôle) apportent l'ensemble des informations nécessaires pour que le système multi-agent puisse monitorer les actions des acteurs

métier en vue d'identifier, capitaliser et réutiliser les connaissances créées par les humains.

3.3.2. Étape 2 : La modélisation des organisations des agents

Une fois l'organisation humaine modélisée, il convient de faire la même chose avec l'organisation des agents qui va constituer l'architecture du système de gestion des connaissances. L'intérêt du paradigme agent pour réaliser ce système de gestion des connaissances est ses propriétés réactives, proactives et flexibles. Afin d'exploiter ces propriétés, DOCK repose sur l'hypothèse de conception suivante :

La proactivité et la réactivité du système global sont rendues efficaces par la dissociation de ces deux propriétés dans des organisations d'agents distinctes.

Partant de cette hypothèse, un SMA conçu avec cette approche possède deux types d'agents :

– Des agents *cognitifs*, d'une part, qui sont issus de la modélisation des organisations humaines supportées. Ces agents sont toujours en contact avec les acteurs métiers pour pouvoir leur apporter une assistance proactive dans leurs activités.

– Des agents réactifs, d'autre part, qui assurent le fonctionnement du cycle de gestion des connaissances choisi, en répondant à des sollicitations extérieures (des agents cognitifs ou des acteurs métier). Ces derniers ne sont pas spécifiés à partir de la modélisation des organisations humaines.

L'étape de conception du système se fait donc sur deux organisations d'agents : celle des réactifs et celle des cognitifs. Là aussi, DOCK utilise la méthodologie de modélisation organisationnelle issue de KROM afin de décrire les organisations d'agents selon les trois domaines de modélisation :

– Le domaine de la gestion de l'organisation, avec la description des missions des agents et leurs objectifs au sein de leurs organisations, leurs processus (liste et ordonnancement des activités à accomplir), et la liste des résultats à fournir,

– Le domaine de gestion des connaissances traitées par les agents où sont décrites les connaissances utilisées par le système et par chaque agent en fonction de ses activités,

– Le domaine de gestion des compétences des agents avec la description de leurs savoir-faire et responsabilités.

La phase de conception fonctionnelle débute donc avec la modélisation des organisations humaines (étape 1) qui devient le référentiel de départ pour la modélisation de l'organisation des agents cognitifs et réactifs (étape 2). Finalement, ces différents points de vue permettent de mettre en corrélation la structure organisationnelle, la description des connaissances et la spécification des rôles des agents dont l'importance a été précisée par Guizzardi (2006). À partir de ce point, il reste à rentrer plus dans le détail de la spécification des agents, de la répartition des rôles identifiés précédemment ainsi que de l'organisation générale du système.

3.3.3. Étape 3 : Description du modèle agent (agentification)

Une fois les trois organisations modélisées (acteurs humains, agents cognitifs et agents réactifs) selon les trois points de vue issus de KROM, la suite de l'approche DOCK consiste à spécifier en détail les agents qui vont endosser les différents rôles identifiés par la modélisation, et ce, pour les deux organisations d'agents.

Le processus d'agentification se base sur la modélisation réalisée à l'étape 1. Les quatre modèles issus de KROM permettent de spécifier la structure de l'agent. Sur la figure 8, je mets en évidence les correspondances entre les modèles issus de KROM et les caractéristiques des agents. Un agent est constitué des mêmes concepts qu'un acteur humain selon KROM à part que son modèle possède en plus les concepts « Environnement » avec ses objets, ses propriétés et événements, ainsi que le concept d'objectif personnel. Ces concepts additionnels sont représentés par un encadré blanc sur la figure 10.

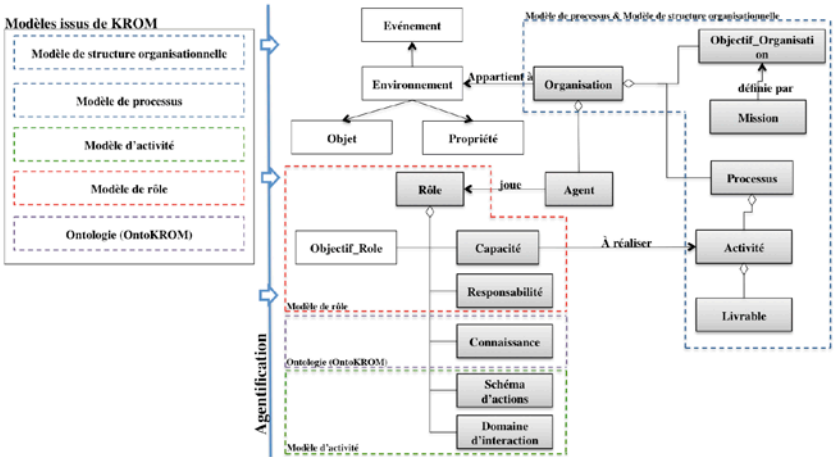

Figure 10. Processus d'agentification ; correspondance entre les modèles issus de KROM et la spécification des agents

L'environnement pour un système multi-agent est très important puisque c'est à partir de l'environnement que l'agent reçoit de l'information et agit en fonction. Dans l'approche DOCK, l'environnement et ses attributs ne proviennent pas de la modélisation organisationnelle préalable, ils doivent être spécifiés lors de l'étape d'agentification. Dans le cas d'un système multi-agent dédié à la gestion des connaissances, tel que le système OCEAN (Lahoud *et al.*, 2012), l'environnement est composé de sources d'information, telles que des bases de données, pages Web ou fichiers XML, créées par des logiciels. Le concept d'objet permet de décrire le type d'information. Les propriétés de l'environnement permettent d'élaborer un connecteur pour que les agents puissent extraire l'information. Les événements sont

les modifications reçues de l'environnement, c'est-à-dire envoyées par la source d'information.

3.3.3.1. Les agents cognitifs

Dans l'approche DOCK, les agents cognitifs sont inspirés des rôles des humains puisqu'ils monitorent les actions des acteurs métier. Le nombre d'agents et les rôles endossés sont liés au fonctionnement de l'organisation humaine. En effet, certaines missions peuvent être partagées par plusieurs rôles, et des actions réalisées par différents rôles humains peuvent être centralisées sur un seul agent. La spécification des agents cognitifs est donc entièrement liée à l'organisation humaine étudiée. L'objectif est donc de reprendre les différents rôles formalisés à travers les modèles de rôles de la modélisation organisationnelle et d'identifier les associations qui peuvent être faites pour définir le nombre d'agents le mieux adapté à la situation et aux activités à réaliser.

L'ensemble des concepts grisés définissant les caractéristiques de l'agent, représenté sur la figure 8, est spécifié à partir de la modélisation organisationnelle KROM. La spécification des agents cognitifs est construite à partir des modèles suivants :

– Le modèle de structure organisationnelle et le modèle de processus issus de KROM permettent de spécifier les propriétés des organisations d'agents cognitifs avec leurs objectifs, missions, processus, activités et livrables.

– Le modèle d'activité permet de détailler les schémas d'actions (liste des tâches réalisées par l'agent) et les domaines d'interactions c'est-à-dire la spécification des interactions entre agents ou entre humains et agents (interfaces, messages, etc.)

– Le modèle de rôle permet de spécifier le(s) rôle(s) de l'agent avec ses capacités (liste des fonctions) et ses responsabilités. Les responsabilités décrivent l'autorité de l'agent. Par exemple quand un agent « chef de projet » interagit avec un agent « client », l'agent chef de projet sera en charge de l'élaboration du livrable « cahier des charges » puisqu'il en est responsable. À cette étape il est nécessaire de définir les objectifs internes des agents. Ces objectifs permettent de hiérarchiser la liste des actions que doivent effectuer les agents. Lorsqu'un agent est dans une organisation, il contribue à atteindre les objectifs de l'organisation en premier puis il essaye d'atteindre ses objectifs s'il le peut.

3.3.3.2. Les agents réactifs

La conception des agents réactifs n'est pas basée sur la modélisation des organisations humaines. En effet les agents réactifs ont pour objectif de supporter le processus métier pour lequel le système est conçu c'est-à-dire le processus de gestion des connaissances. Pour ce faire, les rôles des agents sont déduits des fonctions que doivent accomplir les agents et qui représentent les phases du processus de gestion des connaissances de l'identification à la réutilisation des connaissances. La figure 11 présente l'agentification que nous avons choisie pour

développer le système multi-agent SNOTRA dans le projet Essilor (Girodon *et al.*, 2015). Chaque agent réactif de SNOTRA assure une ou deux étapes du processus de gestion connaissances, par exemple l'agent ACC (Agent Capitalisation des Connaissances) est en charge d'identifier et de sauvegarder les connaissances.

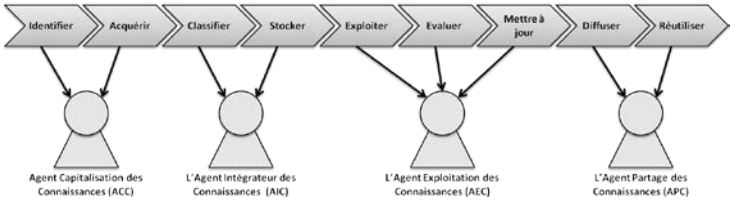

Figure 11. Les agents réactifs en fonction du processus de gestion des connaissances

3.3.4. Étape 4 : Description des interactions entre agents

Les agents interagissent directement par envoi de messages entre eux ou avec les acteurs humains ou indirectement en diffusant des informations dans l'environnement. Les interactions directes par envoi de messages expriment une intention de communication conformément à la théorie des actes de langage (Searle 1969). Ce type d'interaction est préconisée par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents – www.fipa.org), elle facilite l'échange de messages entre les agents quand ils le décident et quand ils en ont besoin. Les interactions indirectes nécessitent une écoute permanente de l'environnement afin que les agents puissent percevoir et capter les informations provenant de l'extérieur.

3.3.4.1. Les interactions indirectes entre agents

Les interactions indirectes sont utilisées par les agents cognitifs dans les deux cas suivants :

– Lors du monitoring des actions des acteurs humains. Les interactions s'effectuent entre les agents cognitifs et l'environnement. Pour l'implémentation de nos systèmes de gestion des connaissances, l'environnement est constitué principalement des sources d'informations telles que des bases de données, des fichiers XML ou des fichiers avec des formats propriétaires. La communication entre les sources d'informations et les agents nécessite le développement de connecteurs spécifiques (Lahoud *et al.*, 2012). La figure 12 présente le fonctionnement des interactions indirectes utilisées par les agents. Les acteurs métier travaillent ensemble dans un projet pour atteindre des objectifs communs. Ils utilisent des outils logiciels pour réaliser leurs activités et ainsi créent de la connaissance. Les agents cognitifs utilisent leurs modèles organisationnels pour suivre et comprendre les actions des acteurs métier. C'est grâce aux modèles qu'ils savent qu'ils peuvent écouter l'environnement pour détecter quelle activité est en train de réaliser leur acteur humain et ainsi récupérer la connaissance déposée dans

le logiciel et la partager avec d'autres agents. Dans l'exemple de la figure 10, nous observons trois acteurs, l'acteur 1 ayant le rôle de chef de projet et réalisant une activité A1, l'acteur 2 ayant le rôle d'acheteur et réalisant également l'activité A1, A21 et l'acteur 3 ayant le rôle d'ingénieur d'études et réalisant l'activité A21. Le chef de projet dépose une connaissance A1 dans l'environnement logiciel qui sera consultée par l'acheteur. Il existe un agent cognitif pour un acteur humain. L'agent 1, ayant le rôle de chef de projet est attentif aux événements de l'environnement. Dès que le chef de projet dépose la connaissance 1 lors de son activité A1, son agent la récupère. Cette communication est donc une interaction indirecte. Grâce au modèle organisationnel, l'agent 1 sait qu'il doit partager la connaissance 1 à l'agent 2 ayant le rôle d'acheteur.

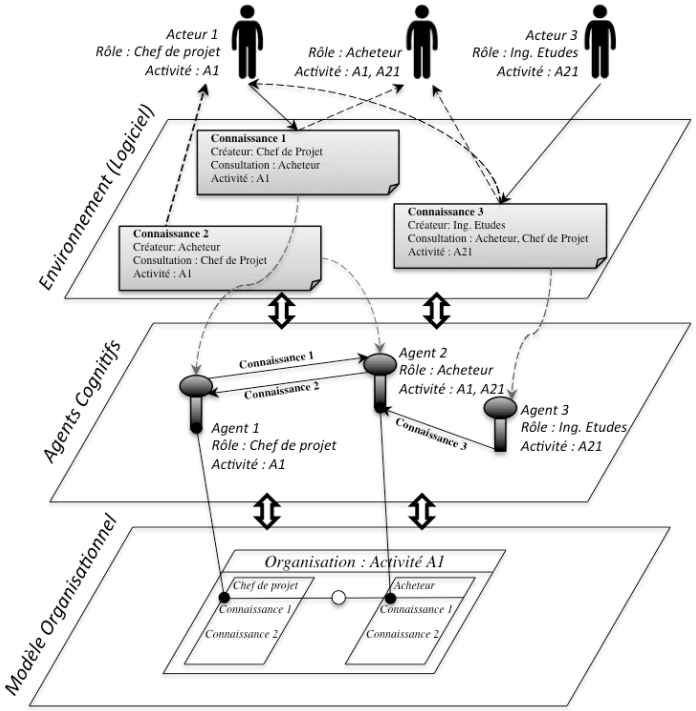

Figure 12. Interactions indirectes utilisées par les agents cognitifs

– Le second cas d'interaction indirect est utilisé lorsque les agents cognitifs diffusent ou assistent les acteurs métier à réutiliser leurs connaissances. Dans le cadre du SMA OCEAN (Lahoud *et al.*, 2012), l'environnement des agents cognitifs est un wiki sémantique. Les agents publient les connaissances capitalisées dans le wiki sémantique. Ils perçoivent également les modifications ou ajouts d'articles dans le wiki par les acteurs humains. Cette interaction indirecte entre agents et humains permet de mettre à jour la base de connaissances.

3.3.4.2. Les interactions directes entre agents

Par ailleurs, les agents utilisent également des interactions directes entre agents cognitifs, entre agents réactifs et entre les agents des deux différents types. Ainsi quatre types d'interaction directe ont été répertoriés :

– Agent cognitif → agent cognitif. Pour le partage des connaissances dans une organisation tel que le montre la figure 10 entre l'agent 1 et l'agent 2 ayant respectivement les rôles de chef de projet et d'acheteur.

– Agent réactif → agent réactif. Pour suivre le cycle de vie des connaissances l'agent ACC identifie et d'acquiert une connaissance et le transmet à l'agent AIC pour capitaliser.

– Agent cognitif → agent réactif. Pour accéder à des connaissances ou sauvegarder des connaissances, puisque les agents cognitifs n'ont pas un accès direct à la base de connaissance.

3.3.4.3. Protocole d'interaction entre les agents

Les agents que nous avons implémentés dans le cadre de la méthode DOCK interagissent et assurent le processus de gestion des connaissances en utilisant une structure de message de type ACL (FIPA 2002). Les messages sont structurés selon les paramètres suivants (tableau 4) :

Tableau 4. Structure des messages utilisée selon la norme FIPA ACL

Paramètre du message	**Signification du paramètre**
sender	Identifiant de l'agent émetteur
receiver	Adresse du ou des agents destinataires
reply-to	Identifiant de l'agent auquel doit être envoyée une réponse
performative	Description de l'acte de communication
language	Langage utilisé pour décrire le contenu
encoding	Encodage de caractères utilisé
Ontology	Ontologie utilisée pour définir les concepts de contenu
Conersation-id	Identifiant de la conversation
Protocol	Identifiant du protocole utilisé pour la conversation
Reply-with	Numéro du message dans la conversation
In reply to	Numéro de message auquel celui-ci répond
Reply by	Délai de réponse pour ce message

Afin de spécifier et documenter les interactions, nous utilisons le langage AML – *Agent Modeling Language* (Cervanka *et al.*, 2007). La figure 13 présente l'exemple

de l'archivage d'une connaissance et la communication entre les agents cognitifs et les agents réactifs.

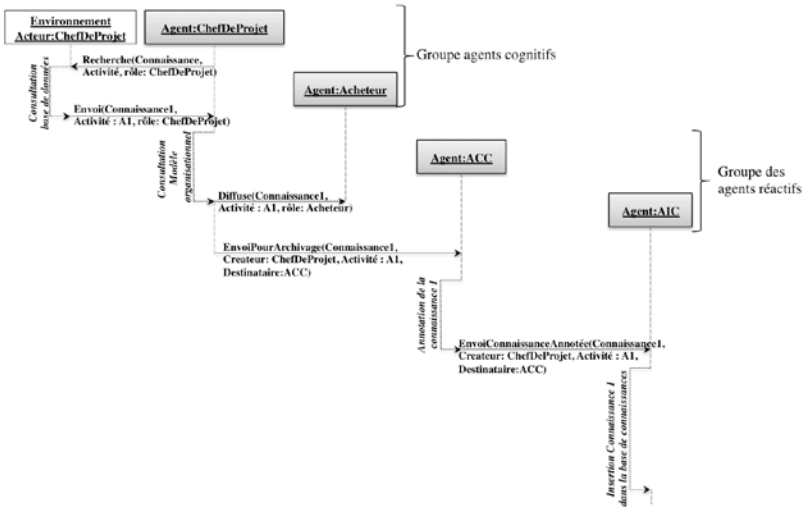

Figure 13. Protocole d'archivage d'une connaissance entre les agents cognitifs et réactifs

L'agent cognitif chef de projet détecte les connaissances déposées dans l'environnement de l'acteur métier (humain) chef de projet. Il consulte le modèle organisationnel pour savoir avec quel autre agent cognitif il doit partager cette connaissance. Dans l'exemple ci-dessus, il diffuse la connaissance à l'agent Acheteur. Ensuite les agents cognitifs envoient les connaissances collectées à l'agent réactif ACC (agent capitalisation des connaissances) afin que celui-ci annote la connaissance. Cette annotation décrit le contexte organisationnel dans lequel a été capturée la connaissance à savoir le créateur (chef de projet), l'activité dans laquelle la connaissance a été créée (A1) et le ou les rôles des acteurs qui ont eu accès à cette connaissance (acheteur). Lorsque l'agent ACC a terminé son annotation, il l'envoie à l'agent réactif AIC (agent intégrateur de connaissances) qui insère cette connaissance dans la base de connaissances.

4. Conclusion

Ces travaux de recherche sont à la frontière du domaine de l'ingénierie des connaissances et des systèmes multi-agents. Il existe de nombreuses méthodes pertinentes pour construire des systèmes multi-agents mais ces méthodes ne modélisent pas les connaissances d'une organisation humaine pour spécifier un système intelligent qui soit dédié à la gestion des connaissances à la différence de DOCK. L'architecture des agents spécifiés est basée sur deux niveaux, une couche

d'agent cognitif qui monitorent les actions des acteurs humains est une couche d'agents réactifs qui assure le traitement de l'information complexe. Ces derniers agents interagissent avec une base de connaissances formalisée sous forme d'ontologie.

Notre prochain objectif est donc de proposer une méthode de construction d'ontologie basée sur le modèle organisationnel KROM. Ce dernier permet d'identifier les informations et les connaissances utilisées par le système. Il est donc nécessaire de fournir un vocabulaire et une sémantique aux concepts/connaissances identifiés ainsi que de les structurer. L'ontologie permettra également d'aborder la dynamique des organisations lorsqu'un rôle évolue dans l'organisation ou lorsqu'un nouveau rôle apparaît. L'utilisation des ontologies permettra aux agents d'exploiter les informations créées par les acteurs métier et de leur proposer de manière pro active de réutiliser de nouvelles connaissances.

Bibliographie

Amyot D., Ghanavati S., Horkoff J., Mussbacher G., Peyton L., Yu E. (2010). Evaluating goal models within the goal-oriented requirement language. *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 25, n° 8, p. 841-877.

Ang C. L., Gay R. K., Khoo L. P. & Luo M. (1997). A knowledge-based Approach to the Generation of IDEF0 Models. *International Journal of Production Research*, 35, p. 1385-1412.

Armstrong M. (2009). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice* (11th ed.). London/Philadelphia: Kogan Page.

Augier M. (2013), The early evolution of the foundations for behavioral organization theory and strategy, in *European Management Journal*, 31, p. 72-81.

Azzini A., Ceravolo P., Damiani E., Zavatarelli F.: Knowledge Driven Behavioural Analysis in Process Intelligence. ATAED@Petri Nets/ACSD 2015, p. 97-111.

Bagić Babac M., Jevtić D. (2014). AgentTest. *Neurocomputing*, vol.146(C), p. 230-248.

Baljak V. *et al*. (2012). S-CLAIM: An Agent-based Programming Language for AmI, A Smart-Room Case Study. *Procedia Computer Science*, 10, p. 30-37.

Bandini S., Bonomi A., Vizzari G., Acconci V. (2010). Self-organization models for adaptive environments: Envisioning and evaluation of alternative approaches, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 18, n° 10, November, p. 1483-1492.

Barbosa J., Leitão P., Adam E., Trentesaux D. (2015). Dynamic self-organization in holonic multi-agent manufacturing systems: The ADACOR evolution, *Computers in Industry*, vol. 66, January, p. 99-111.

Baumard P. (1996). Organizations in the Fog: An Investigation into the Dynamics of Knowledge. *Organizational Learning and Competitive Advantage*. B. Edmondson & A. Moingeon, eds. London, p. 74-91.

Ben Milled A., Monticolo D., Hilaire V., Koukam A. (2009). "An Approach for Building Holonic Organizational Models of Design Processes for Knowledge Management", *30th*

International Conference on Application and Theory of Petri Nets and Other Models of Concurrency, Paris, France, June.

Bonjour E., Geneste L., Bergmann R. (2014). Enhancing experience reuse and learning. *Knowl.-Based Syst.*, 68, p. 1-3.

Bonjour E., Dulmet M., Lhote F. (2002). An internal modeling of competency, based on a systemic approach, with socio-technical systems management in view, Systems, Man and Cybernetics, *2002 IEEE International Conference on*, 11/2002.

Carley K.M. (2002). Computational organization science: a new frontier. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 Suppl 3(1), p. 7257-7262.

Cela O., Front A., Rieu D. (2017). *CEFOP: A method for the continual evolution of organisational processes*, RCIS.

Cervenka, R. and Trencansky, I., (2007). AML: The Agent Modeling Language, *A comprehensive Approach to Modeling Multi-Agent Systems*, Berlin: Birkhäuser Verlag AG, Basel • Boston • Berlin.

Chai S., Kim M. (2014). An extended attribute based access control model with trust and privacy: Application to a collaborative crisis management system, *Future Generation Computer Systems*, vol. 31, February, p. 147-168.

Chen L., Fong P. S. W. (2015). Evaluation of knowledge management performance: An organic approach, *Information & Management*, vol. 52, n° 4, June, p. 431-453.

Clet E., Maders H. P., Leblanc J. et Goldfarb M. (2013). *Le métier de chef de projet*, Editions Eyrolles, 20 novembre.

Coutinho L., Brandão A., Sichman J., Boissier J. (2008). Model-driven integration of organizational models. Paper presented at the *Ninth International Workshop on Agent Oriented Software*, held at AAMAS 2008, Estoril, Portugal.

Coutinho L., Brandão A., Sichman J., Boissier J. (2009). Modelling Dimensions for Agent Organizations, in *Multi Agent Systems, Semantics and Dynamics of Organizational Models*, Information Science Reference, IGI Global.

Damiani E., Gianini G., Leida M. (2015). Toward behavioral business process analysis. CEC 2015, p. 2347-2353.

De Abreu Netto M., Dos Santos Neto B., De Lucena C. (2015). A Pattern-Based Framework for Building Self-Organizing Multi-Agent Systems, *Advances in Artificial Transportation Systems and Simulation*, p. 21-35.

Dignum V. (2009). Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models, *IGI Global 2009*, ISBN 978-1-60566-256-5.

Ferber J., Gutknecht O., Michel F. (2004). From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. *Agent Oriented Software Engineering IV*, In Giorgini P., Müller J. P. & Odell J (Eds.), LNCS 2935, p. 443-459. Berlin: Springer.

Girodon J., Monticolo D., Bonjour E., Perrier M. (2015). An organizational approach to designing an intelligent knowledge-based system: Application to the decision-making process in design projects, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, n° 3, August, p. 696-713.

Hilaire V., Koukam A., Gruer P., and Müller J.-P. (2000). Formal specification and

prototyping of multi-agent systems. *Engineering Societies in the Agents' World, number 1972 in Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Omicini A., Tolksdorf R., and Zambonelli F., editors,. Springer Verlag.

Jabrouni H., Kamsu-Foguem B., Geneste L., Vaysse C. (2011). Continuous improvement through knowledge-guided analysis in experience feedback. *Eng. Appl. of AI*, vol. 24, n° 8, p. 1419-1431.

Jemielniak D., Kociatkiewicz J. (2009). Handbook of Research on Knowledge-Intensive Organizations, *Information Science Reference* (an imprint of IGI Global).

Jaekoo J., Namhun K., Richard A. W., Ling R., Young-Jun S., Yeong-gwang O., Seungho L. (2013). Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 32, March, p. 99-115.

Kamsu-Foguem B., Coudert T., Béler C., Geneste L. (2008). Knowledge formalization in experience feedback processes: An ontology-based approach. *Computers in Industry*, vol. 59, n° 7, p. 694-710.

Kountouriotis V., Thomopoulos S., Papelis Y. (2014). An agent-based crowd behaviour model for real time crowd behaviour simulation, *Pattern Recognition Letters*, vol. 44, 15 July, p. 30-38.

Lahoud I., Monticolo D., Hilaire V., Gomes S., Bonjour E. (2012). A multisources knowledge management system, *14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'12)*, 23-25 May, Bucharest, Romania.

Lahoud I., Monticolo D., Hilaire V., Gomes S. (2012).A metamodeling and transformation approach for knowledge extraction. The *Fourth International Conference on Networked Digital Technologies (NDT'12)*, 24-26 April, Dubai, UAE.

Langevin J., Wen J., Gurian P. L. (2015). Simulating the human-building interaction: Development and validation of an agent-based model of office occupant behaviors, *Building and Environment*, vol. 88, June, p. 27-45.

Leistner F. (2010). *Mastering Organizational Knowledge Flow*, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Luo S., Du Y., Liu P., Xuan Z., Wang Y. (2015). A study on coevolutionary dynamics of knowledge diffusion and social network structure. *Expert Systems with Applications*, vol. 42, n° 7, 1 May, p. 3619-3633.

Mariel A. Ale, Carlos M. Toledo, Omar Chiotti, María R. Galli (2014). A conceptual model and technological support for organizational knowledge management, *Science of Computer Programming*, vol. 95, Part 1, 1 December, p. 73-92.

Movahediann F., Front A., Rieu D., Farastier A., Grandvallet C., Pourroy F., Prudhomme G. (2017). A participative method for knowledge elicitation in collaborative innovation projects, *RCIS*, p. 244-254.

Monticolo D., Hilaire V., Koukam A., Gomes S. (2007). OntoDesign; A domain ontology for building and exploiting project memories in product design projects, *International Conference in Knowledge Management in Organizations*, Lecce Italia, September.

Monticolo D., Hilaire V., Gomes S. and Koukam A. (2008). A Multi Agents Systems for Building Project Memories to Facilitate Design Process, *International Journal in Integrated Computer Aided Engineering*, vol. 15, Number 1/ p.s 3-20.

Monticolo D., Lahoud I., Bonjour E. (2012). SemKnow: A Multi-Agent Platform to manage distributed knowledge by using ontologies, *The 2012 IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'12)* Hong Kong, 14-16 March.

Monticolo D., Mihaita S. (2014). A multi Agent System to Manage Ideas during Collaborative Creativity Workshops, *International Journal of Future Computer and Communication (IJFCC),* vol. 3, n° 1, February, p. 66-71.

Monticolo D., Mihaita S., Darwich H., Hilaire V. (2014). An agent-based system to build project memories during engineering projects, *International Journal of Knowledge-Based Systems*, September 2014, vol. 68, p. 88-102.

Monticolo D., Badin J., Gomes S., Bonjour E. (2015). A meta-model for knowledge configuration management to support collaborative engineering, *Computers in Industry*, vol. 66, January, p. 11-20.

Murray E. J. (2009). *Knowledge Management, Organizational Memory and Transfer Behavior: Global Approaches and Advancements*, IGI Global edition.

Cela O., Front A., Rieu D. (2017). *CEFOP: A method for the continual evolution of organisational processes*, RCIS.

Pan Y., Xu Y., Wang X., Zhang C., Ling H., Lin J. (2015). Integrating social networking support for dyadic knowledge exchange: À study in a virtual community of practice, *Information & Management*, vol. 52, Issue 1, January, p. 61-70.

Park J. G., Lee J. (2014). Knowledge sharing in information systems development projects: Explicating the role of dependence and trust, *International Journal of Project Management*, vol. 32, n° 1, January, p. 153-165.

Paul A. K., Anantharam R. N. (2003). Impact of people management practices on organisational performance: analysis of a casual mode. *International Journal of Human Resource Management*, 14, p. 1246-1266.

Sichman J. S., Dignum V., Castelfranchi C. (2005). Agents' Organizations: A Cocise Overview. *Journal of the Brazilian Computer Society (JBCS) - Special Issue on Agents Organizations*, vol. 11, n° 1, p. 3-8.

Shan L., Zhu H. (2004). CAMLE : A Caste-Centric Agent Modelling Language and Environment. In *3rd International Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems, SELMAS'04*. Edinburg, United Kingdom, p. 1-13.

Tongo C. I. A. (2012). A Stakeholder Model for Managing Knowledge Assets in Organizations, in *New Research on Knowledge Management Models and Methods*, Ed by Huei-Tse Hou, ISBN 978-953-51-0190-1, published by InTech.

Verstaevel N., Régis C., Gleizes M. P., Robert F. (2015). Principles and Experimentations of Self-organizing Embedded Agents Allowing Learning from Demonstration in Ambient Robotic, *Procedia Computer Science*, vol. 52, p. 194-201.

Yeom K. (2010). Bio-inspired self-organization for supporting dynamic reconfiguration of modular agents, *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 52, n° 11-12, December, p. 2097-2117.