
Interopérabilité et partage de connaissances

Néjib Moalla¹, Hervé Panetto^{2,3}, Xavier Boucher⁴

1. Université Lumière Lyon 2, Laboratoire DISP

IUT Lyon 2

160, Boulevard de l'université, F-69676, Bron, cedex

Nejib.Moalla@univ-lyon2.fr

2. Université de Lorraine, CRAN UMR 7039

Campus Scientifique, Faculté des Sciences et Technologies

BP 70239, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy cedex

Herve.Panetto@univ-lorraine.fr

3. CNRS, CRAN, UMR 7039, France

4. École Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, FAYOL/PIESO

158 Cours Fauriel

F-42023 Saint-Etienne cedex

boucher@emse.fr

RÉSUMÉ. L'interopérabilité vise à accroître la capacité de systèmes et d'organisations hétérogènes à coordonner leurs activités de manière efficace. A travers six articles sélectionnés pour leur qualité mais aussi leur complémentarité, ce numéro spécial établit des liens multiples entre les problématiques d'interopérabilité et de partage de connaissances. Il constitue ainsi une invitation à l'interaction entre différentes communautés scientifiques dans un but d'enrichissement mutuel.

ABSTRACT. Interoperability aims at increasing the capability of heterogeneous systems or organizations to coordinate efficiently their activities. Based on 6 papers selected for their quality but also their complementarity, this special issue puts forth multiple links between interoperability and knowledge sharing research fields. It constitutes a catalyzer for a higher interaction among several distinct scientific communities, towards a mutual enrichment.

MOTS-CLÉS : systèmes d'information d'entreprises, interopérabilité des systèmes, gestion des connaissances, archivage à long terme.

KEYWORDS: enterprise information systems, systems interoperability, knowledge management, long term knowledge retention.

1. Introduction

Les problématiques d'interopérabilité émergent de la complexité croissante des produits et services mis sur le marché. L'ensemble des phases du cycle de vie de ces systèmes sont concernées : leur conception, avec l'implication de métiers et de systèmes d'information hétérogènes non nécessairement doués pour échanger des informations sans perte sémantique, leur production avec des moyens géographiquement dispersés, leur distribution à travers des réseaux logistiques de plus en plus complexes et contraints, tout comme leur mise en exploitation ou encore leur maintenance, impliquent la collaboration de multiples parties prenantes. De nouveaux modèles d'organisation (réseaux de PME, clusters, entreprises virtuelles, etc.) ont alors vu le jour et s'adaptent à cette complexité du cycle de vie et des processus collaboratifs. Il apparaît aujourd'hui que cette collaboration et ces modèles d'organisation reposent étroitement sur des capacités d'agilité et de flexibilité, liées toutes deux à la capacité à interopérer et donc à l'interopérabilité des systèmes d'information de chacun des acteurs. De nouvelles approches, de nouveaux concepts et de nouveaux outils pour développer ces capacités sont donc nécessaires, afin de mettre en place et de maintenir en conditions opérationnelles les infrastructures de collaboration requises.

L'interopérabilité, dès ses premières définitions, vise à accroître la capacité de systèmes et d'organisations hétérogènes à coordonner leurs activités de manière efficiente. L'interopérabilité a progressivement été structurée et conceptualisée en prenant en compte les différents niveaux d'abstraction proposés dans les modèles d'architectures d'entreprises (CIMOSA, TOGAF, AIF, etc.). Cette conceptualisation a donné naissance à plusieurs approches de standardisation (ISO 15258, CEN/ISO 19440, ISO 15745, ISO 16100, CEN/ISO 11354, etc.) qui favorisent un déploiement de l'interopérabilité en entreprise, de manière cohérente avec la structuration des méthodologies de modélisation d'entreprise. L'interopérabilité peut ainsi être analysée et déployée à différents niveaux de gestion des organisations : les métiers, les processus, les applications et services, les données, etc. Dès lors, on peut la définir de manière générale comme un potentiel à interopérer efficacement, potentiel qui peut être analysé à chacun de ces niveaux de modélisation de l'entreprise.

Les démarches dites de « modélisation en entreprise » et « d'architectures d'entreprises » apportent un support à l'étude de l'interopérabilité. C'est typiquement le cas lorsque l'on traite le cas de l'interopérabilité de systèmes d'information. La séparation puis l'alignement entre la vision métier et la vision IT d'un système augmentent le besoin d'avoir des niveaux de formalisation à base de modèles. L'ingénierie basée sur les modèles marque cette évolution. Ainsi, les travaux de l'OMG depuis 2001 et la première normalisation en 2003 des concepts MDA (*Model-Driven Architecture*) ont favorisé la pérennité de l'approche à base de modèles (métier-applicatif et structurel-dynamique) pour la conception et le développement des nouveaux systèmes d'information. Plus récemment, il faut également noter que l'architecture des systèmes d'information a trouvé dans le concept de « service » un nouveau modèle d'implémentation qui favorise l'agilité

des systèmes, la réutilisation de leurs éléments et leur intégration avec leur environnement, et qui contribue ainsi à l'interopérabilité.

Cet usage poussé de la modélisation d'entreprises et de systèmes d'information dans un but de déploiement de l'interopérabilité induit un lien fort avec les problématiques de préservation et de partage de connaissances. Les modèles, utiles à l'analyse de l'interopérabilité deviennent également des réceptacles de connaissances sur les modes de fonctionnement des entreprises. Mais la gestion et la préservation de la sémantique contenue dans ces modèles restent problématiques, notamment dans un contexte de forte évolutivité des organisations et donc de leurs modèles.

L'interopérabilité sémantique peut ainsi être traitée au moment de la conception des systèmes d'information – dans le choix de l'architecture (éventuellement à base de services) ou bien au niveau des composants architecturaux (e.g. intégration de niveaux ontologiques) –, mais également *a posteriori* – par l'analyse de la structure des systèmes existants, pour identifier la sémantique définie dans leurs modèles de données (FOM (*Fact-Oriented Models*), ROM (*Relational-Oriented Models*), etc.). La sémantique ainsi ciblée nécessite d'être formalisée, et des connaissances additionnelles sont alors nécessaires pour son annotation. Les ontologies présentent les structures les plus flexibles pour organiser les connaissances identifiées afin de porter une interopérabilité riche entre des modèles. L'ingénierie des ontologies a permis de développer des concepts liés à la structuration des modèles, à leur consistance, leur complétude, la détection d'erreurs (sémantique ou syntaxique), ou encore leur fusion, etc.

Sur un dernier levier, la préservation à long terme des connaissances pour accroître leur réutilisation s'ouvre sur des perspectives de recherche intéressantes. Un premier objectif pourrait couvrir le processus de génération permettant d'identifier et de structurer la connaissance à archiver. Un deuxième objectif couvrirait la technologie utilisée pour le système d'archivage et sa capacité à évoluer en même temps que son contenu. Un troisième objectif s'intéresserait à la dynamique nécessaire pour mettre à jour la connaissance ainsi archivée (ou décider de son obsolescence), quand elle évolue dans les systèmes sources. Non seulement les modèles d'entreprises utilisés pour l'interopérabilité constituent des sources de connaissances à préserver sur le long terme, mais, de plus, les concepts d'interopérabilité doivent être pris en compte dans la conception même des systèmes d'archivages.

Ces concepts et ce lien entre interopérabilité et partage de connaissances sont détaillés à travers les travaux de recherche présentés dans ce numéro spécial dédié aux défis et aux solutions pour l'interopérabilité et le partage de connaissances en ingénierie des systèmes. Il fait suite à la journée nationale du GT Easy-DIM (Ingénierie d'Entreprise et de Systèmes d'Information Dirigée par les Modèles) du GDR MACS, qui s'est déroulée à Lyon le 7 avril 2011.

2. L'interopérabilité en ingénierie des systèmes

Depuis quelques années, l'interopérabilité des systèmes est devenue le leitmotiv des développeurs et concepteurs de systèmes. Cela a donné lieu à d'innombrables travaux de recherche avec pour chacun une définition particulière plus ou moins

formelle de l'interopérabilité, dépendant du point de vue adopté pour traiter cette notion. Dans l'article de Ulmer *et al.* (article 1), l'interopérabilité est traitée à l'interface entre les processus métiers de l'entreprise et leurs systèmes d'informations. L'approche proposée par les auteurs vise le maintien en cohérence d'un alignement opérationnel entre les systèmes d'information et les processus métiers d'une entreprise. Elle s'appuie sur des mécanismes de mapping sémantiques entre différents types de modèles. Les auteurs préconisent ainsi l'utilisation d'une approche orientée pivot permettant une cohérence inter-modèles pour gérer l'hétérogénéité, ainsi qu'un couplage faible entre environnements d'analyse et d'implémentation. L'obtention systématique d'une synchronisation, d'une équivalence sémantique et finalement d'une cohérence inter-modèles permet de réduire l'écart existant entre les domaines métiers de l'entreprise concernée. Cette contribution est donc typique de l'interopérabilité sémantique qui peut alors être classifiée en trois grandes approches (Park, Ram, 2004) : l'interopérabilité par mapping, l'interopérabilité *via* intermédiaires et l'interopérabilité par échange de requêtes (Halevy, Madhavan, 2003). Une représentation explicite de la sémantique des données source pourrait aider à réaliser les mapping. Mais cette représentation pose le problème de la définition d'une sémantique, problème scientifique encore ouvert et pour lequel il n'existe pas encore de solutions viables à une échelle réelle. L'approche *via* intermédiaires se base sur l'utilisation de mécanismes intermédiaires (ex : médiateurs, agents, ontologies, etc.) dans le but de mettre en place l'interopérabilité (Halevy *et al.*, 2005). Ces intermédiaires doivent avoir une connaissance spécifique du domaine, ou des heuristiques précises pour coordonner différentes sources de données ou peuvent contenir eux-mêmes des règles de construction de mapping.

Outre l'interopérabilité par alignement entre processus métier et système d'information, de nombreux travaux se penchent également sur un niveau d'interopérabilité sous-jacent aux processus : l'interopérabilité des applications informatiques. De ce point de vue, par « interopérabilité » nous entendons « la capacité à communiquer, coopérer et échanger des modèles ou des données entre deux ou plusieurs applications (logicielles) malgré les différences dans les langages d'implémentation, les environnements d'exécution ou les modèles d'abstraction » (Kalfoglou, Schorlemmer, 2004). Cette problématique d'interopérabilité peut être considérée comme une propriété de performance dans le cadre de l'ingénierie de systèmes, et dont il faudra pouvoir en quantifier et en qualifier une mesure (Yahia, 2011). La seconde contribution de ce numéro spécial propose ainsi de quantifier, localement, une mesure d'interopérabilité entre systèmes d'informations (Yahia *et al.*). Les auteurs explicitent la sémantique au niveau de leur modèle conceptuel, pour en identifier des blocs sémantiques normés, spécifiant des frontières entre sous-systèmes. Le modèle agrégé qui en découle facilite l'étude de l'interopérabilité locale entre composants des systèmes mis en œuvre.

Par ailleurs les questions d'interopérabilité sont également traitées à un niveau plus technique d'échanges de données. L'article de Iraqi-Houssaini *et al.* (article 3) aborde cette problématique dans le contexte des processus de conception de produits. Les auteurs proposent une méthodologie pour la projection de données depuis un logiciel spécifique à un métier, vers un espace de collaboration pluri-métiers. Plus

généralement, l'interopérabilité au niveau des données est traitée par l'ajustement et l'adaptation des types et structures des paramètres d'appel lorsqu'une procédure doit en invoquer une autre. Ces approches se basent sur le paradigme d'appel de procédures ; elles traitent l'interopérabilité au moment de l'exécution ou de l'appel de procédure. Ce type d'interopérabilité est appelé l'interopérabilité orientée procédure. Dans ce cadre, il est admis que la procédure requise par le client et celle offerte par le serveur soient fonctionnellement identiques, autrement dit les fonctions réalisées par la procédure requise et celles réalisées par la procédure offerte sont les mêmes ou tout au moins compatibles. Bien que l'interopérabilité orientée procédure soit une bonne base pour l'interopérabilité entre composants ou applications hétérogènes en se basant sur l'unification des interfaces, les solutions offertes résolvent uniquement le côté syntaxique de l'interopérabilité (types des entrées, types des sorties). Le protocole d'interconnexion des interfaces ne traite ni la sémantique des fonctions réalisées par les procédures, ni la sémantique des données en entrée ou en sortie, problématiques que nous avons abordées précédemment.

3. La gestion des connaissances : liens à l'ingénierie de systèmes et à l'interopérabilité

Sous le thème gestion des connaissances une multitude de concepts ont vu le jour pour répondre à des objectifs de réutilisation de l'information contextualisée et de valorisation des savoir-métiers pour leur usage futur. L'analyse du cycle de vie de la connaissance nous permet d'identifier différents macro-processus (Teng, 2012) :

- identification,
- formalisation,
- préservation,
- archivage,
- dissémination pour la réutilisation.

Plusieurs initiatives de modélisation ont permis de définir des exemples de modèles de ces macro-processus. Par ailleurs, la structuration de ces macro-processus dans un système de gestion des connaissances reste une lourde tâche à accomplir. Nous présentons quelques éclairages ci-après, en mettant en évidence les liens entre ces enjeux de gestion de connaissances, et les méthodes formalisées et déployées dans un but d'interopérabilité.

3.1. Identification

L'identification des connaissances correspond aux choix d'éléments contextuels et métiers dont la réutilisation peut apporter une valeur ajoutée. Nous visons à ce niveau le périmètre de l'information qui porte une expertise, une expérience, un savoir-faire, etc. Plusieurs approches ont été définies à ce niveau : commonKADS, (Schreiber *et al.*, 1999), KAMET II, (Cairó, Alvarez, 2004) etc. Spécifique au

domaine de la gestion des connaissances, cette phase d'identification n'offre pas de liens concrets avec les problématiques d'interopérabilité.

3.2. Formalisation

La formalisation la plus intuitive d'une connaissance consiste en la définition d'un objet constitué de fichier (indépendamment de son format) avec une description textuelle sous forme de métadonnées. Les limitations de cette initiative en termes d'indexation et d'exploitation automatisées ont poussé de nouvelles initiatives de recherche à s'ouvrir sur les concepts de text-mining, pattern-mining, algorithmes NLP (*Natural Language Processing*) ou des ontologies pour améliorer la dimension sémantique des concepts modélisés (Steffen Staab, 2009 ; El-Hachem, Haarslev, 2012).

Le résultat de cette étape de formalisation permet alors de définir différents types de structures de connaissances, appelés : fragment de connaissance, artefact de connaissance, package de connaissance etc. Lorsque le périmètre de la gestion de connaissance reste au niveau de la formalisation, les modèles ainsi obtenus sont généralement structurés en référentiels.

Cette formalisation des connaissances peut bien entendu s'avérer utile dans le contexte de résolution de problématiques d'interopérabilité traitées à un niveau sémantique (cf. ci-avant). La formalisation des connaissances partage donc des méthodes et outils (par exemple les ontologies) avec l'interopérabilité.

Dans ce numéro spécial, un autre exemple illustrant cette complémentarité est fourni par la contribution de Lutz *et al.* (article 4) qui répond à un objectif de formalisation de connaissances. Afin d'établir des liens quantifiables entre l'activité industrielle d'une entreprise et l'utilisation des ressources informatiques matérielles, les auteurs combinent des analyses quantitatives (analyse de données) et qualitatives (implication des experts) des systèmes afin de générer de nouvelles connaissances concernant les interactions entre le système industriel et les technologies de l'information. Ces fragments de connaissances font l'objet de modèles quantifiés. Basé sur une étape descriptive préliminaire, ce modèle est contextualisé et interprété, en référence à la compréhension de l'activité industrielle de l'entreprise concernée. Les auteurs présentent ce processus de création de connaissances dans une démarche globale de gestion des connaissances utiles au pilotage de l'entreprise. L'intérêt de cet article est également de travailler sur la génération de connaissances favorisant l'interopérabilité de l'entreprise, notamment par alignement des capacités du système d'information sur les besoins de l'activité industrielle.

3.3. Préservation

La préservation est définie par l'ensemble des processus métiers, fonctionnels et applicatifs permettant de pérenniser la connaissance dans un système d'information pour une future utilisation. L'ensemble de ces processus doivent s'adapter avec la structure de la connaissance telle que formalisée précédemment. Le modèle de référence OAIS (CCSDS 650.0-B-1, 2002) représente le modèle le plus répandu

pour l'organisation de l'ensemble des processus de préservation. Plusieurs projets de recherche ont adressé cette problématique. Le tableau 1 présente une analyse comparative de quelques projets selon quelques dimensions.

Tableau 1. Analyse comparative de projets en préservation numérique

Propriétés Projet	Évolutivité	Méthodes & Modèles	Intégrité	Objets Complexes	Contexte	Automati- sation
PROTAGE						✓
SHAMAN		✓				
LiWA		✓	✓	✓	✓	✓
PrestoPRIME		✓		✓		
KEEP				✓		
SCAPE	✓	✓				
ARCOMEM		✓			✓	✓
TIMBUS		✓	✓			
ENSURE	✓	✓				
BlogForever	✓			✓		
Wf4Ever		✓	✓			
APARSEN		✓	✓			
LOTAR		✓		✓	✓	
CASPAR		✓		✓		

Il est à noter que d'autres initiatives ont adressé d'autres dimensions comme le coût, la sécurité, la durabilité, etc. La diversité et la richesse des modèles proposés (adaptation au domaine d'application, type de connaissance, etc.) ont suscité plusieurs travaux d'ingénierie sur l'implémentation de ces modèles dans les systèmes de préservation.

3.4. Archivage

Il s'agit ici de développer des modèles pour l'archivage de la connaissance adaptés aux spécifications des modèles formalisés. Par exemple, pour gérer des connaissances sur des données géographiques, ou des données astronomiques, les modèles d'archivage doivent s'approcher des capacités des bases de données pour proposer des modèles fiables. Les concepts de : « Wavelets, Flexible Image Transport System (FITS), Nearest Neighbor Finding on Graphs, image to data in fast cluster analysis, etc. » sont développés pour adapter les modèles d'archivage. Les concepts de bases de données ontologiques apportent des éléments de structuration intéressants dans cette perspective (Singh *et al.*, 2010 ; Cali, 2010). Pour assurer la

fiabilité du système d'archivage, des modèles d'évaluation de la performance sont proposés pour assurer la viabilité du système dans le temps (mesure de la fiabilité (Alsultanny, 2010), reprise sur échecs (Graefe *et al.*, 2012), etc.).

3.5. Dissémination

La dissémination caractérise la capacité d'un système de gestion de connaissances à répondre à des requêtes d'utilisateurs. Dans leur conception, les modèles de préservation prennent en considération la dimension dissémination. Cependant, sur le long terme, de nouvelles capacités d'analyses « big data analysis » sont nécessaires pour exploiter les données archivées. Dans la continuité de l'exemple introduit précédemment (connaissances sur des données astronomiques), un exemple d'extension du modèle FITS permettrait d'assurer l'édition d'un objet de connaissances supérieur à 1 Go.

La problématique de dissémination est abordée selon un point de vue distinct dans les contributions de ce numéro spécial, notamment par l'article de (Penciu *et al.* (article 5). Les auteurs cherchent à améliorer l'interopérabilité entre les métiers (et acteurs) impliqués dans les projets de conception de systèmes complexes (notamment dans le domaine ferroviaire). Leur approche s'appuie sur la formalisation d'un référentiel de connaissances, support d'une bonne dissémination des connaissances entre les métiers. L'article fait ainsi le lien entre interopérabilité des métiers, partage de connaissances et ingénierie des systèmes.

3.6. Ingénierie des systèmes d'information dans la préservation de connaissances

Dans l'ensemble des étapes introduites précédemment, plusieurs niveaux de modélisation sont apparus pour structurer la connaissance tout au long de son cycle de vie. Nous pouvons identifier sommairement le modèle de structuration des connaissances, le modèle d'échange, le modèle de préservation et le modèle d'archivage. La gestion de ces modèles dans une approche intégrée (nouveau système d'information pour la gestion des connaissances) nécessite une ouverture sur les concepts d'ingénierie des systèmes d'information. En effet, au niveau de leur conception, ces modèles présentent des propriétés qui vont s'enrichir dans la phase d'implémentation.

Par ailleurs, la nécessité d'assurer l'interopérabilité entre le système de gestion de connaissances ainsi défini et les autres composantes des systèmes d'information existants impose une ouverture sur les concepts d'architecture d'entreprise pour structurer les flux de communication entre ces systèmes, en respectant les principes de gouvernance des entreprises concernées.

Dans le cadre de ce numéro spécial, Teng *et al.* (article 6) présentent un exemple d'approche basée sur les services. L'approche a pour objectif la préservation dynamique des connaissances. Elle vise à gérer la mise à jour continue des données numériques et des connaissances afin d'améliorer la traçabilité et la réutilisabilité de l'information numérique dans le futur. Les auteurs s'inspirent des architectures

d'entreprises pour spécifier fonctionnellement une architecture multicouche de préservation dynamique des connaissances.

4. Conclusions

Ce numéro a choisi de traiter la notion d'interopérabilité en recherchant une ouverture sur d'autres problématiques de recherche connexes. La gestion et le partage des connaissances en entreprises émergent naturellement en lien à l'interopérabilité, pour différentes raisons :

- parce qu'à un niveau organisationnel, l'interopérabilité est traitée au niveau de la collaboration entre acteurs et entre métiers avec des besoins clairs de partage de connaissances (Penciuc *et al.* ; Iraqi-Houssaini *et al.*) ;

- parce que les méthodes d'interopérabilité emploient fréquemment des méthodes dirigées par les modèles, modèles qui se transforment en réceptacles structurés de connaissances sur l'entreprise (Ulmer *et al.* ; Teng *et al.*) ;

- parce que les problématiques d'interopérabilité de systèmes d'information requièrent des approches sémantiques (Yahia *et al.*) ;

- parce qu'assurer l'interopérabilité entre différents niveaux de pilotage de l'entreprise (par exemple, pilotage industriel *versus* gestion de la capacité du système d'information) peut requérir des techniques avancées de création, validation et mise en usage de connaissances très spécialisées (Lutz *et al.*).

Au-delà de ces liens avec la gestion des connaissances, ce numéro spécial a mis en exergue les relations fortes entre les problématiques d'interopérabilité, d'ingénierie des systèmes, d'approches dirigées par les modèles ou encore d'architectures d'entreprises. Ces interrelations scientifiques méritent d'être correctement analysées et prises en compte dans un but d'enrichissement mutuel des différentes communautés scientifiques.

Bibliographie

- Baïna S., Panetto H., et Benali K. (2006). Apport de l'approche MDA pour une interopérabilité sémantique : Interopérabilité des systèmes d'information d'entreprise. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, Hermès-Lavoisier, 11, n° 3, p. 11-29
- Cairó O., César Alvarez J. (2004). The KAMET II Approach for Knowledge-Based System Construction. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3213/2004, p. 1227-1234, DOI: 10.1007/978-3-540-30132-5_166
- Cali A., Gottlob G., Pieris A. (2010). Advanced processing for ontological queries. *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 3, n° 1-2, September, p. 554-565.
- CCSDS 650.0-B-1 (2002). Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS).
- El-Hachem J., Haarslev V. (2012). A User and NLP-Assisted Strategic Workflow for a Social Semantic OWL 2-Based Knowledge Platform. *Proceedings of the 13th Conference of the*

European Chapter of the Association for Computational Linguistics, p. 37-45, Avignon, France, April 23-27.

Halevy G., Ives D., Suciu D., Tatarinov I. (2005). Schema mediation for large-scale semantic data sharing. *The VLDB Journal - The International Journal on Very Large Data Bases*, vol. 14, n° 1, March.

Halevy A., Madhavan J. (2003). Composing mappings among data sources. *Proceedings of the conference on very large databases*, Berlin, Germany, 9-12 September, p. 572-583.

Kalfoglou Y., Schorlemmer M. (2004). Formal Support for Representing and Automating Semantic Interoperability. *Proceedings of 1st European Semantic Web Symposium (ESWS'04)*, Heraklion, Crete, Greece, p. 45-61.

Kalfoglou Y., Schorlemmer M. (2003). Ontology Mapping: The State of The Art. *The Knowledge Engineering Review*, vol. 18, p. 1-31. Cambridge University Press.

Park J., Ram S. (2004). Information System Interoperability: What Lies Beneath? *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 22, n° 4, October.

Schreiber G., Akkermans H., Anjewierden A., De Hoog R., XShadbolt N. R., Van de Velde W., Wielinga B.J. (1999). *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*. MIT Press, Cambridge.

Singh A., Juneja D., Sharma A.K. (2010). General Design Structure of Ontological Databases in Semantic Web. *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, n° 5, p. 1227-1232.

Staab S., Studer R. (2009). *Handbook on Ontologies*. Springer, (2nd ed).

Teng F. (2012). *Méthodologie et Architecture de Préservation des Connaissances à Long Terme - Approche de préservation dynamique et architecture multi-couches*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2.

Yahia E. (2011). *Contribution à l'évaluation de l'interopérabilité sémantique entre systèmes d'information d'entreprise : application aux systèmes d'information de pilotage de la production*. Thèse de doctorat, Septembre. Université Henri Poincaré, France.

COMITÉ DE LECTURE

Jean Pierre Bourey – École Centrale de Lille

Corine Cauvet – Université Aix Marseille II

Aline Cauvin – Université Aix Marseille II

Vincent Chapurlat – École des Mines d'Alès

André Flory – INSA, Lyon

Virginie Goepp – INSA, Strasbourg

Mohand-Said Hacid – Université de Lyon 1

Pierre Alain Millet – INSA, Lyon

Dominique Rieu – IMAG, Grenoble

Camille Salinesi – Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne