



MINES PARIS

CENTRE ÉNERGÉTIQUE ET PROCÉDÉS

**RAPPORT D'AVANCEMENT DE THESE**

**(1ère année)**

**de**

**Benoît GSCHWIND**

<b>Titre de la thèse :</b>	<b>Intelligence artificielle dans un service web coopératif.</b>
<b>Directeur(s) de thèse :</b>	Robert MAHL, Professeur, HDR, EMP et Lucien WALD, Professeur, HDR, EMP.
<b>Maître de thèse : (co-encadrement)</b>	-
<b>Inscription 3<sup>ème</sup> cycle :</b>	<i>Etablissement</i> : Ecole des Mines de Paris <i>Formation Doctorale</i> : « Informatique temps réel, Automatique, Robotique » <i>Responsable de la Formation</i> : Yves ROUCHALEAU et Jean-Paul MARMORAT
<b>Début de la thèse :</b>	Octobre 2005
<b>Date du présent rapport :</b>	Avril 2006
<b>Financement du doctorant :</b>	Salarié EMP (Attaché de Recherche temporaire)
<b>Diplôme(s) antérieur(s) :</b>	

**RESUME DE L'ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DE THESE (1 page)**

**M./Mme/Mlle :** Gschwind Benoît..... **Directeur(s) de thèse :** L. Wald et R. Mahl.....  
**Formation doctorale et établissement :** Informatique temps réel, Automatique, Robotique à l'Ecole des Mines de Paris.....  
**Année d'inscription actuelle (1ère, 2ème, 3ème, ...)** : 1ère année (probatoire).....  
**Titre de la thèse :** Intelligence artificielle dans un service web coopératif.....

Pour la science, les données donnent la possibilité de progresser plus vite. Dans l'industrie elles représentent un avantage stratégique, contribuant sur de nombreux plans aux succès d'une entreprise. Aujourd'hui, toutes les entreprises utilisent des bases de données et des applications. De même dans le milieu scientifique, les laboratoires détiennent des données essentielles pour les recherches. Une approche récente consiste à utiliser les services web pour les partager.

Le partage des données mobilise les chercheurs depuis plus de 30 ans. Les solutions apportées par les services web créent aujourd'hui de nouveaux besoins et de nouveaux problèmes. Dans le cadre de ma thèse, on souhaite étudier l'intégration de services web dans des services web coopératifs qui donnent accès à un plus grand nombre de données homogènes et d'applications. Un service web coopératif consiste à combiner automatiquement à la demande un ensemble de services web, ces derniers étant hétérogènes, autonomes et répartis. La combinaison – ou composition – automatique à la demande de services web pose de nombreux problèmes que le Centre Énergétique et Procédés a pu expérimenter à travers le projet européen SoDa<sup>1</sup> [Gschwind et al. 2005].

L'objectif de la thèse est de proposer une solution pour la composition de services web dans le but de partager à la fois des données et des applications. Pour parvenir à cet objectif, je me fixe les trois sous-objectifs suivants :

- la définition d'une description de services web dans le but de les composer,
- la proposition d'une stratégie de planification qui soit capable de rattraper des erreurs et d'exploiter la représentation préétablie des services
- et enfin de proposer une solution pour l'évaluation de la qualité du résultat.

Le problème se situe donc entre deux mondes qui sont les bases de données et les services web. Je propose aujourd'hui une solution pour la description des sources qui est simple. Elle présente des avantages par rapport aux solutions que proposent [Kotsiopoulos et al. 2004 ; Medjahed et al. 2003 ; OWL-S]. La description utilise les graphes pour la représentation des services. Contrairement aux représentations utilisées dans OWL, je ne définis pas une méthode de description de concepts, les concepts étant contenus dans la topologie du graphe. Cette description présente le désavantage d'être dépendante du domaine et peu flexible, mais elle est d'autant plus simple à mettre en oeuvre, en particulier pour l'humain.

De plus grâce à la description de services que j'ai choisie, il sera possible de composer les services web. La méthode choisie pour composer les services consiste à créer un plan général représentant toutes les compositions possibles entre les services, ceci pour ne pas les recalculer lors de l'exécution. A partir de ce plan général, il sera possible d'établir un plan lors de l'exécution, ce dernier étant un sous-plan du plan général. L'utilisation d'un plan général permet d'améliorer la qualité du plan et d'exécuter rapidement le plan préétabli.

<sup>1</sup> SoDa « Integration and Exploitation of Networked Solar Radiation Databases for Environment Monitoring » IST-1999-12245, 2000-2003

## Table des matières

Situation.....	4
Besoins.....	4
Problèmes.....	4
La découverte et l'indexation.....	4
La combinaison.....	5
Objectifs.....	6
Démarche.....	6
État de l'art.....	7
Les bases de données.....	7
Les services web.....	8
Conclusion.....	10
Planning.....	11
Références.....	12

## Situation

Pour la science, les données donnent la possibilité de progresser plus vite. Dans l'industrie elles représentent un avantage stratégique, contribuant sur de nombreux plans aux succès d'une entreprise. Aujourd'hui, toutes les entreprises utilisent des bases de données et des applications. De même dans le milieu scientifique, les laboratoires détiennent des données essentielles pour les recherches. Une approche récente consiste à utiliser les services web pour les partager. Un *service web* est un programme ou un périphérique qui peut être invoqué à distance par le biais d'Internet [Narayanan 2002].

## Besoins

Le partage des données mobilise les chercheurs depuis plus de 30 ans. Les solutions apportées par les services web créent aujourd'hui de nouveaux besoins et de nouveaux problèmes. Dans le cadre de ma thèse, on souhaite étudier l'intégration de services web dans des services web coopératifs qui donnent accès à un plus grand nombre de données homogènes et d'applications. Un service web coopératif consiste à combiner automatiquement à la demande un ensemble de services web, ces derniers étant hétérogènes, autonomes et répartis. La combinaison – ou composition – automatique à la demande de services web pose de nombreux problèmes que le Centre Énergétique et Procédés a pu expérimenter à travers le projet européen SoDa<sup>2</sup> [Gschwind et al. 2005].

## Problèmes

Avant de présenter l'état de l'art et la solution que je propose, je pense qu'il est important de comprendre comment se décompose le problème. Je vais donc présenter dans cette section les deux parties du problème qui vont être abordées lors de ma thèse. Je commence par décrire la découverte et l'indexation puis la combinaison.

### *La découverte et l'indexation*

La découverte et l'indexation consistent à créer une base de connaissance contenant les informations utiles pour partager les données et les applications. La base de connaissance est une base de données structurées et adaptées pour la représentation des connaissances.

La découverte et l'indexation consistent en :

1. *la découverte des sources* [Chicha et Gaëtano 2005] : l'utilisateur informe le service web coopératif de la localisation de la source (soumission) ou le service web coopératif cherche automatiquement de nouvelles sources. Pour ma thèse cette étape restera manuelle (méthode par soumission) pour garantir la qualité, l'origine et la fiabilité de la source.

---

<sup>2</sup> SoDa « Integration and Exploitation of Networked Solar Radiation Databases for Environment Monitoring » IST-1999-12245, 2000-2003

2. *l'indexation des sources* : l'ajout des sources à la base de connaissance. Cet ajout peut être traité de deux manières : la première est manuelle et la seconde automatique. Contrairement à la recherche des sources, je choisis la méthode automatique qui est moins génératrice d'erreurs et plus rapide.

Il est possible d'ajouter une nouvelle source au service web coopératif à tout moment. Une fois la base de connaissance établie, ce dernier est en mesure de combiner les sources pour répondre aux requêtes qui lui sont faites. La découverte et l'indexation ne représentent pas en elles-mêmes une difficulté majeure. En revanche elles ont des incidences directes sur les étapes de combinaison. Le challenge est donc de créer une base de connaissance efficace pour les étapes de la combinaison sans pour autant la rendre trop compliquée à créer manuellement.

### ***La combinaison***

La combinaison ou composition consiste à combiner automatiquement et à la demande un ensemble de services web, ces derniers étant hétérogènes, autonomes et répartis. Elle peut se décomposer de la manière suivante :

1. *collecte de la requête* : cette étape acquiert la requête de l'utilisateur et prépare les données nécessaires pour la planification. Il est nécessaire de traduire ou/et d'interpréter la requête [VanderMeer et al. 2003].
2. *planification* : cette étape établit un plan de base. Ce plan contient les informations concernant l'ordre d'invocation des sources et les descriptions des réponses attendues. Il prépare également les informations nécessaires pour l'exécution de chaque source [VanderMeer et al. 2003].
3. *exécution* : les sources sont invoquées suivant le plan préétabli. Lors de l'exécution, le service web coopératif est capable de détecter les erreurs et de les « intercepter » pour les corriger. Suivant l'erreur, la correction consiste à retourner à l'étape de planification avec les informations supplémentaires indiquant la source de l'erreur dans le plan et de proposer une nouvelle version du plan [VanderMeer et al. 2003].
4. *rassemblement* : les différents résultats des sources sont collectés et concaténés pour former la réponse à la requête. La méthode de rassemblement peut aussi être pré-définie dans le plan [VanderMeer et al. 2003].
5. *évaluation* : les résultats intermédiaires et le résultat final sont évalués suivant différents critères en particulier leur pertinence, leur précision et leur complétude. Le système compare la réponse avec la réponse attendue et peut soulever une erreur si la réponse d'une source n'est pas satisfaisante, par exemple s'il manque une donnée de sortie attendue (i.e. prévue par le plan pré-établi) [VanderMeer et al. 2003].
6. *présentation* : le résultat est présenté à l'utilisateur [VanderMeer et al. 2003], avec éventuellement un rapport d'évaluation de la qualité de la réponse finale. Le système peut être capable de fournir d'autres informations sur le déroulement de la phase de combinaison.

La décomposition de la phase de combinaison peut être discutée car certaines étapes sont optionnelles. De manière générale, les étapes de vérification sont oubliées [Medjahed et al. 2003] au profit des étapes de planification. Dans les systèmes de bases de données fédérées, l'étape de planification n'existe pas. Elle est remplacée par une étape de décomposition qui consiste à décomposer la requête en sous-requêtes vers les sources.

## Objectifs

L'objectif de la thèse est de proposer une solution pour la composition de services web dans le but de partager à la fois des données et des applications. Pour parvenir à cet objectif, je me fixe les trois sous-objectifs suivants :

- la définition d'une description de services web dans le but de les composer,
- la proposition d'une stratégie de planification qui soit capable de rattraper des erreurs et d'exploiter la représentation préétablie des services
- et enfin de proposer une solution pour l'évaluation de la qualité du résultat.

Les deux premiers sous-objectifs sont très liés, alors que le dernier peut être traité séparément après les deux premiers.

## Démarche

Comme je l'ai montré dans sa description, le problème se décompose en deux parties : la recherche et l'indexation; et la composition. Aujourd'hui des outils sont disponibles pour la description de services web tels que les fichiers WSDL. En revanche, il est toujours difficile de trouver une description de services web qui donne suffisamment d'informations pour la composition automatique des services web. Je commence donc par définir une description de services web en m'inspirant des formats de description existant comme [RDF] ou [OWL]. Ensuite, une fois la description définie, j'établirai une stratégie de planification qui permette de composer les services web. Là encore, je me fonde sur des méthodes existantes de planification en les adaptant aux besoins spécifiques des services web coopératifs et en les améliorant.

En parallèle, je vais développer un prototype. Ce dernier permettra de tester, de corriger et de valider la théorie. Le développement suivra le modèle en spirale [Boehm 1988]. Ce modèle consiste à développer le projet par itération, chaque itération prenant en compte les nouvelles remarques des clients et des utilisateurs pour s'adapter au mieux à leurs besoins réels.

L'évaluation du prototype se fera donc suivant deux types de critères :

- des critères théoriques qui devront montrer l'exactitude des algorithmes et des méthodes utilisées,
- et des critères subjectifs des utilisateurs/clients. On montrera comment le projet répond aux besoins exprimés.

Le prototype sera évalué en situation réelle avec des données et des applications en provenance du système existant SoDa et devra le surclasser. Les clients et utilisateurs du prototype seront moi-même, les membres du Centre Energétique et Procédés à Sophia Antipolis et les membres du Centre de Recherche en Informatique à Fontainebleau. Par la suite, il sera possible d'étendre le nombre d'utilisateurs en donnant accès au prototype directement sur le site <http://www.soda-is.com> à tous les internautes.

Enfin pour appuyer la théorie et pour promouvoir le prototype, je rédigerai des articles sur les améliorations et l'expérience retirées du développement et de l'exploitation du prototype.

## État de l'art

Dans cette partie, je présente deux solutions pour le partage de données. La première touche le domaine des systèmes de gestion de bases de données, et la suivante traite des services web. Ces deux solutions présentent chacune des avantages et des inconvénients mais toutes deux ne répondent pas complètement aux besoins des entreprises et des laboratoires soucieux de pouvoir partager leurs données et leurs applications le plus simplement possible et surtout de manière flexible.

### *Les bases de données*

Les bases de données ont vu le jour dans les années 60 avec l'utilisation de fichiers. Une base de données est un ensemble de données modélisant les objets d'une partie du monde réel et servant de support à une application informatique [Gardarin 1993]. Elles ont été conçues à l'origine pour stocker des données de manière à pouvoir les consulter facilement et rapidement. Le fait qu'elles soient structurées et qu'elles disposent d'interfaces facilement utilisables permet également de partager ses données entre différents acteurs. Ce partage reste néanmoins très limité par le fait que chaque base de données propose une organisation de données spécifiques ; par exemple les données : nom de client, âge, ville peuvent être enregistrées ensemble ou être séparées et reliées entre elles. Les bases diffèrent souvent aussi par leurs structures de données. Aujourd'hui, les structures les plus courantes sont les structures de type objet [Gardarin 1993] – implémentées par exemple dans les systèmes ONTOS, OBJECTSORE, VERSANT, ORION et O2 – ou les structures de type relationnel [Gardarin 1993] – implémentées par exemple dans les systèmes ORACLE, SYBASE, INFORMIX, DB2 et RDB.

Dans ces conditions, les données sont partagées par un nombre restreint de privilégiés qui disposent des informations sur l'organisation et la structure des données. Les entreprises ont rapidement eu besoin de rassembler les données dans une structure « globale » rassemblant les différentes données dispersées dans un grand nombre de bases de données. Elles ont donc adopté les « entrepôts de données » (*Data Warehouse*) qui consistent à créer une base de données à partir d'un nombre prédéfini et connu de bases de données. Les entrepôts de données bien qu'ils répondent aux besoins exprimés ont de nombreux inconvénients car ils sont :

- *redondants* [Zhu et al. 2004] : ils recopient et restructurent les données déjà présentes dans d'autres bases de données,
- *centralisés* [Geer 2003] : ils rassemblent en un point un grand nombre d'informations.
- et *rigides* [Zhu et al. 2004 ; Geer 2003] : L'ajout de nouvelles bases de données dans un entrepôt de données n'est pas facile, voire impossible.

D'autres solutions ont vu le jour pour améliorer les entrepôts de données, comme les bases de données fédérées. Ce sont des bases de données qui rassemblent en une unique base de données **virtuelle** – i.e. elle n'existe pas physiquement – un ensemble de bases de données distribuées, autonomes et hétérogènes [Sheth et Larson 1990]. Deux approches sont connues pour intégrer ces bases de données à une base de données fédérées.

- La première approche, appelée Global as View (GAV), consiste à définir le schéma global en fonction des schémas des sources à intégrer : le schéma global

est défini comme des vues sur les schémas des sources. Une requête sur le schéma global se traduit en requêtes sur les schémas de sources en remplaçant les vues par leurs définitions (dépliage des requêtes). La requête dépliée est évaluée sur les sources [Calvanese et al. 2001]. Il peut y avoir des redondances. Dans cette approche, on fait l'hypothèse que les sources sont connues à l'avance.

- La seconde approche, appelée Local as View (LAV), consiste à définir les schémas locaux en fonction du schéma global : les relations des schémas locaux (sources) sont définies comme des vues (requêtes) sur le schéma global [Calvanese et al. 2001]. Une requête sur le schéma global doit être traduite en termes de schémas locaux (réécriture des requêtes). Contrairement à l'approche GAV l'écriture et l'optimisation des requêtes sont plus délicates dans cette approche. En revanche, il est plus simple d'y ajouter des sources.

Ces deux approches apportent une amélioration par rapport aux Data Warehouse car elles ne centralisent pas les données en un point et permettent de travailler sur des données à jour. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'être difficiles à mettre en oeuvre, de repousser le rapatriement des données au dernier moment – ce qui peut être handicapant suivant la bande passante disponible – et elles ne sont pas beaucoup plus flexibles que les Data Warehouse. En outre, toutes les solutions issues du domaine des bases de données ne proposent pas de solution pour le partage d'applications.

### ***Les services web***

Ces dernières années ont connu le développement des services web, car ils permettent à la fois de partager des données et des applications. La définition des services web est variable :

*« A web service is a software system designed to support interoperable machine-to-machine interaction over a network. It has an interface described in a machine-processable format (specifically WSDL). Other systems interact with the web service in a manner prescribed by its description using SOAP-messages, typically conveyed using HTTP with an XML serialization in conjunction with other web-related standards. »* selon le W3C [WS-GLOSS].

Cette définition est d'ailleurs très liée aux technologies portées par le W3C (*World Wide Web Consortium*) tel que SOAP, le WSDL et le XML. Des définitions plus générales telles que : *« web-accessible programs and devices »* [Narayanan 2002] et *« web services are self-contained, self-describing, modular applications that can be published, located and invoked across the web »* selon IBM<sup>3</sup> semblent plus raisonnables et moins orientées du point de vue technologique. Selon moi, un bon compromis est la définition suivante :

**un service web est un programme informatique inter-opérable qui peut être invoqué à distance par le biais d'Internet.** Cette définition, sans prendre le parti de telle ou telle technologie comme le fait le W3C, incorpore la notion d'inter-opération et d'accessibilité par le réseau internet. L'inter-opérabilité comprend tous les mécanismes pour l'utilisation par un tiers, tels que ceux cités par IBM ou le W3C.

Un service web peut prendre des informations en entrée. Il peut également délivrer des informations à l'issue de son exécution. Il est donc bien adapté au partage de données et d'applications. Plutôt que d'utiliser les services web un par un et manuellement pour récolter des données réparties et exécuter des applications distribuées, on a choisi de les rassembler dans des services web coopératifs. Un service web coopératif rassemble une

3 Définition d'*IBM web service tutorial* cité par [Fensel et Bussler 2002]



multitude de services web qu'il va pouvoir composer. La composition est l'action d'utiliser plusieurs services web, de les enchaîner ou de les invoquer en parallèle. La composition de services web est un axe majeur de recherche dans les technologies de l'Internet et l'un des objectifs recherchés est la composition **automatique** des services web, cette dernière étant l'un des objectifs de ma thèse.

La composition automatique passe d'abord par l'invocation automatique. Cette dernière consiste à permettre à un programme d'exécuter automatiquement des services web en lui donnant des informations sur les méthodes à utiliser. Ce type de problème peut être résolu par les fichiers WSDL (*Web Service Description Language*). Ces fichiers sont des descriptions de service [Cerami 2002], et des moyens à mettre en oeuvre pour leur exécution. On trouve entre autres dans ce fichier la description de [Cerami 2002] :

- la structure des messages utilisés par le service web,
- les opérations dont il dispose,
- les liens entre opération et URL,
- les liens entre opération et protocole.

Néanmoins cette description reste purement fonctionnelle et principalement définie pour les machines. A l'heure actuelle, des projets se développent dans le but de composer intelligemment les services web et ont montré que les fichiers WSDL étaient insuffisants [Medjahed et al. 2003]. Je m'intéresse donc particulièrement aux *services web sémantique* qui ont pour but de décrire des services web par des méta-données<sup>4</sup> pour leur donner un sens<sup>5</sup>, l'objectif étant de pouvoir composer les services web de façon automatique dans un but prédéfini. Aujourd'hui, ce domaine n'est pas mature, mais il gagne peu à peu du terrain. Mon projet est proche de ce domaine tout en étant plus spécifique au partage de données. Pour comprendre le rapport avec les objectifs de la thèse, voici les objectifs des services web sémantiques [OWL-S] :

- la composition automatique des services web,
- la découverte automatique des services web,
- l'invocation automatique des services web,
- et l'inter-opération des services web.

Les objectifs de mon projet sont similaires : on retrouve l'invocation, la composition et l'inter-opération des services web.

---

4 une méta-donnée est une donnée sur une autre données, par exemple : *x est un entier*; « *x* » est une donnée et « *un entier* » est une données sur la données « *x* » donc « *un entier* » est une méta-données par rapport à la donnée « *x* »

5 La notion de sens ici est très large, (l'ordinateur peut-il comprendre ?)

## Conclusion

Je présente les résultats dans un ordre chronologique. D'abord je suis parvenu à situer le problème et à clarifier les objectifs. J'ai décomposé le problème et je me concentre sur trois sous-problèmes, que j'ai attachés à différents domaines des sciences actuelles. Ainsi mon problème se situe entre deux mondes qui sont les bases de données et les services web.

Je propose aujourd'hui une solution pour la description des sources qui est simple. Elle présente des avantages par rapport aux solutions que proposent [Kotsiopoulos et al. 2004 ; Medjahed et al. 2003 ; OWL-S]. La description utilise les graphes pour la représentation des services. Contrairement aux représentations utilisées dans OWL<sup>6</sup>, je ne définis pas une méthode de description de concepts, les concepts étant contenus dans la topologie du graphe. Cette description présente le désavantage d'être dépendante du domaine et peu flexible, mais elle est d'autant plus simple à mettre en oeuvre, en particulier pour l'humain. Ce dernier valide la description et qui est souvent amené à l'écrire lui-même.

De plus grâce à la description de services que j'ai choisie, il sera possible de composer les services web. La méthode choisie pour composer les services consiste à créer un plan général représentant toutes les compositions possibles entre les services, ceci pour ne pas les recalculer lors de l'exécution. Ce plan sera mis à jour lors de l'ajout de nouveaux services. A partir de ce plan général, il sera possible d'établir un plan lors de l'exécution, ce dernier étant un sous-plan du plan général. L'utilisation d'un plan général permet d'améliorer la qualité du plan. En effet, la génération du plan général dispose de ressources matérielles et temporelles presque illimitées (par rapport aux ressources matérielles et de temps disponibles au moment de l'exécution de la requête), il est donc possible de pré-calculer un grand nombre d'informations. Par ailleurs, on peut encore améliorer le système en pré-créant des sous-plans avant l'exécution. Ensuite il est possible d'exécuter rapidement le plan préétabli, ce dernier comprenant toutes les alternatives.

---

6 OWL : Ontology Web Language, un langage de représentation de connaissance basé sur le [XML] et le [RDF].

## Planning

<i>Date</i>	<i>Tâche</i>
Mai 2006	Séminaire CEP, soutenance d'avancement.
Septembre 2006	Premier prototype.
Avril 2007	Second prototype.
Mai 2007	Séminaire CEP, soutenance d'avancement.
Septembre 2007	Troisième prototype, mise à disposition du prototype aux utilisateurs du service SoDa.
Mai 2008	Quatrième prototype, validation du prototype par les utilisateurs.
Septembre 2008	Soutenance de thèse.

## Références

- [Agarwal et al. 2005] Agarwal, V., Chafle, G., Dasgupta, K., Karnik, N., Kumar, A., Mittal, S., Srivastava, B., 2005, Synthly : A system for end to end composition of web services. *Journal of Web Semantics*, vol. 3, pp. 311-339  
doi : 10.1016/j.websem.2005.09.002.
- [Boehm 1988] Boehm, B., 1988, A spiral model of software development and enhancement. *IEEE Computer*, vol. 21, No. 5, pp. 61-72.
- [Cerami 2002] Cerami, E., 2002, *Web Service Essential. Distributed Applications with XML-RPC, SOAP, UDDI and WSDL*. O'Reilly & Associates, Inc., Sebastopol, CA, USA, 288 p.
- [Chicha et Gaëtano 2005] Chicha, Y., Gaëtano, M., 2005, Mathematical services composition. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 114, pp. 103-117, doi : 10.1016/j.entcs.2004.02.069.
- [Calvanese et al. 2001] Calvanese, D., De Giacomo, G., Lenzerini, M., Nardi, D., Rosati, R., 2001, Data integration in data warehousing. *International Journal of Cooperative Information Systems*, vol. 10, No. 3, pp. 237-271.
- [El-Khatib et al. 2004] El-Khatib, H. T., Williams, M. H., Marwick, D. H., MacKinnon, L. M., 2004, Web services-based integration of heterogeneous databases using a multi-agent system. In Proceedings of IADIS International Conference on Applied Computing, Lisbon, 23-26 March 2004, vol. 2, pp. 253-258.
- [Fensel et Bussler 2002] Fensel, D., Bussler, C., 2002, The Web Service Modeling Framework WSMF. *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 1, pp. 113-137, doi : 10.1016/S1567-4223(02)00015-7.
- [Gardarin 1993] Gardarin, G., 1993, *Maîtriser les Bases de Données. Modèles et Langages*. Edition Eyrolles, Paris, France 347 p.
- [Geer 2003] Geer, D., 2003, Federated approach expands database-access technology. *Computer*, pp. 18-20.
- [Gschwind et al. 2005] Gschwind, B., Ménard, L., Albuissou, M., Wald, L., 2005. Three years of experience with the SoDa web service delivering solar radiation information: lessons learned and perspectives. In Proceedings of the 19th International Conference on Informatics for Environmental Protection, J. Hrebicek, J. Racek Eds, Part 1, pp. 95-102. Published by the Masaryk University in Brno, Czech Republic.
- [Kotsiopoulos et al. 2004] Kotsiopoulos, I., Keane, J., Turner, M., Layzell, P.J., Zhu, F., 2004, IBHIS : integration broker for heterogeneous information sources. In Proceedings of the 27th Annual International Computer Software and Applications Conference, pp. 378-384, Published by the IEEE Computer Society, Washington, DC, USA.
- [Medjahed et al. 2003] Medjahed, B., Bouguettaya, A., Elmagarmid, A. K., 2003, Composing web services on the semantic web. *The VLDB Journal*, vol. 12, pp. 333-351, doi : 10.1007/s00778-003-0101-5.
- [OWL-S] Ontology Web Language - Semantics <http://www.daml.org/services/owl-s/1.0/owl-s.html>
- [Liang et al. 2005] Liang, W.-Y. , Huang, C.-C., Chuang Cu, H.-F., 2005, The design with object (DwO) approach to web services composition. *Computer Standards & Interfaces*, doi:10.1016/j.csi.2005.11.001.

- [Madhusudan et Uttamsinghn 2006] Madhusudan, T., Uttamsinghn, N., 2006, A declarative approach to composing web services in dynamic environments. *Decision Support Systems*, vol. 41, pp. 325-257, doi : 10.1016/j.dss.2004.07.003.
- [Narayanan et Mc. Ilraith 2002] Narayanan, S., Mc. Ilraith, S. A., 2002, Simulation, verification and automated composition of web services. In Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 77-88, Published by ACM Press, New York, NY, USA.
- [RDF] Resource Description Framework. <http://www.w3.org/RDF/>
- [Sheth et Larson 1990] Sheth, A. P., Larson, J. A., 1990, Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 22, pp. 183-234, Published by ACM Press, New York, NY, USA.
- [UDDI] Universal Description, Discovery and Integration. <http://www.uddi.org/>.
- [VanderMeer et al 2003] VanderMeer, D., Datta, A., Dutta, K., Thomas, H., Ramamritham, K., Navathe, S. B., 2003, FUSION: a system allowing dynamic web service composition and automatic execution. In Proceedings of the IEEE International Conference on E-Commercet, pp. 399-404, Published by the IEEE Computer Society, Washington, DC, USA.
- [Wald 2002] Wald, L., 2002, *Data Fusion. Definitions and Architectures. Fusion of Images of Different Spatial Resolutions*. Published by Les presses de l'Ecole des Mines, Paris, France, 198 p.
- [WSDL] Web Services Description Language. <http://www.w3.org/TR/wsdl/>.
- [WS-GLOSS] Web Services Glossary. <http://www.w3.org/TR/ws-gloss/>.
- [XML] Extensible Markup Language. <http://www.w3.org/XML/>.
- [Zhu et al. 2004] Zhu, F., Turner, M., Kotsiopoulos, I., Bennett, K., Russell, M., Budgen, D., Brereton, P., Keane, J., Layzell, P., Rigby, M., Xu, J., 2004, Dynamic data integration using web service. In Proceedings of IEEE International Conference on Web Services, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 262-269