

## Etude des mécanismes d'interopérabilité des systèmes d'information basés sur les services Web sémantiques

### Study of information systems interoperability mechanisms based on semantic Web services

Karima Mecheri<sup>1\*</sup>, Mahmoud Boufaïda<sup>2</sup>, Labiba Souici-Meslati<sup>1</sup> & Djamel Meslati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire LISCO, Université Badji Mokhtar, 23000, Annaba, Algérie.

<sup>2</sup> Laboratoire LIRE, Université Constantine 2- Abdelhamid Mehri, 25000, Constantine, Algérie.

Soumis le : 24/01/2016

Révisé le : 04/07/2017

Accepté le : 26/09/2017

#### ملخص

البنية الخدمية وخدمات الويب هامة وضرورية لإنشاء نظم المعلومات قابلة للتشغيل المتبادل. ومع ذلك، هذه التقنيات لديها نقص فيما يتعلق بالجانب الدلالي. في هذه المقالة نقدم أولاً تصنيف ومقارنة أهم الأعمال في مجال التشغيل المتبادل الدلالي عبر خدمات الويب، ثم نعرض هيكلتنا ونهجنا القائمين على الخدمات من أجل التشغيل المتبادل الدلالي لنظم المعلومات والتحقق يكون على دراسة حالة. تتمحور الهيكلية لدينا في طبقات. الأولى قائمة على الخدمات، في حين أن الثانية تتعلق بالهيكلية لالتقاط دلالات الخدمات التي تم الحصول عليها من الطبقة الأولى. و هي تقوم على فكرة التجميعات والسياق، وتشكل النموذج المرجعي لتعليم أوصاف خدمات الويب. توفر الطبقة الأخيرة هيكل للتشغيل المتبادل الدلالي للطبقتين السابقتين و جوهر الهيكلية هي بنية الوساطة. نهجنا يتميز ببساطته ومرورته، فهو يستعمل المعايير الموجودة لخدمات الويب ويمثل بشكل صريح عدم التجانس الدلالي، مما يسمح بحله ألياً.

**الكلمات المفتاحية:** التشغيل المتبادل - الهيكلية الخدمية (SOA) - خدمات الويب الدلالي - تركيب خدمات الويب - وساطة البيانات - وساطة العمليات.

#### Résumé

Aujourd'hui, les architectures orientées services et les services Web sont importants et nécessaires pour le développement des systèmes d'information interopérables. Cependant, ces technologies ne permettent pas de prendre en charge l'aspect sémantique. Dans cet article, nous présentons d'abord une classification et une comparaison des travaux les plus pertinents dans le domaine de l'interopérabilité sémantique via les services Web. Ensuite, nous proposons une architecture et une approche orientées services pour la mise en œuvre du mécanisme d'interopérabilité, suivie d'une validation à l'aide d'une étude de cas. L'architecture fournie est structurée en trois couches. La première est une architecture orientée services alors que la deuxième concerne l'architecture permettant de capturer la sémantique des services obtenus de la première couche. Elle est basée sur la notion d'ontologies et de contexte, et constitue le modèle de référence pour annoter les descriptions des services Web. La dernière couche offre une architecture pour l'interopérabilité sémantique exploitant les deux premières couches et dont le noyau est une infrastructure de médiation. L'approche proposée est caractérisée par sa simplicité et sa flexibilité, elle exploite les normes existantes des services Web en représentant explicitement leurs hétérogénéités sémantiques, ce qui permet de les résoudre automatiquement.

**Mots clés:** interopérabilité - Architecture orientée services - Services Web Sémantiques - Composition des Services Web - Médiation des données- Médiation des processus.

#### Abstract

Today, service-oriented architectures and Web services are important and necessary for the development of interoperable information systems. However, these technologies do not support the semantic aspect. In this paper, we first present a classification and a comparison of the most relevant work in the field of semantic interoperability via Web services. Then, we propose a service-oriented architecture and an approach for the implementation of the interoperability mechanism, followed by a validation using a case study. The provided architecture is structured on three layers. The first layer is a service-oriented architecture, while the second one contains the architecture for capturing the semantics of services obtained from the first layer. It is based on the notion of ontologies and context, and is the reference model for annotating Web service descriptions. The last layer offers an architecture for semantic interoperability exploiting the first two layers and whose the core is a mediation infrastructure. The proposed approach is characterized by its simplicity and flexibility, it exploits the existing standards of Web services with representing explicitly their semantic heterogeneities, which allows them to be solved automatically.

**Keywords:** interoperability - Service Oriented Architecture (SOA) - Semantic Web Services (SWS) - Web services composition - Data mediation - Process mediation.

\* Auteur Correspondant: mecherika@yahoo.fr

## 1. INTRODUCTION

Actuellement, la nouvelle orientation des entreprises est vers l'utilisation des architectures orientées services (plus connues par SOA, pour Service Oriented Architecture) pour développer des systèmes d'information (SI) interopérables [1]. Les services Web (SW) constituent un des moyens possibles pour réaliser une infrastructure SOA. Cependant, leur technologie présente des insuffisances relatives à la prise en compte de l'aspect sémantique [1]. En effet, les éventuelles hétérogénéités sémantiques freinent l'interopérabilité. Afin de surmonter ce problème, il est nécessaire d'intégrer et de faire inter opérer des SW par des mécanismes permettant leur publication, leur sélection et leur médiation au niveau sémantique [2].

Dans cet article, nous nous intéressons d'abord à la classification et à la comparaison des travaux relatifs à l'interopérabilité sémantique via les services Web. Notre étude est basée sur des critères et des aspects bien définis. Ensuite, nous proposons une architecture en couches exploitant les concepts des SW, d'ontologies et la notion de contexte pour faire inter opérer les SI (Systèmes d'Information). Ainsi, le problème d'hétérogénéité est pallié à l'aide d'une infrastructure de médiation à plusieurs niveaux en nous focalisant sur la médiation des données et des processus.

Cet article est structuré comme suit : La section 2 présente quelques outils permettant l'interopérabilité via les services Web sémantiques (SWS) alors que la section 3 est dédiée à une étude comparative de travaux dans ce domaine. La section 4 présente l'approche globale et l'architecture proposée. Les sections 5, 6 et 7 décrivent les différentes couches composant cette architecture en détaillant le modèle sémantique des données et des comportements ainsi que la médiation des processus. La section 8 fournit un bilan relatif au travail présenté et quelques perspectives.

## 2. OUTILS CONCEPTUELS ET TECHNOLOGIQUES POUR L'INTEROPERABILITE SEMANTIQUE

Pour résoudre le problème d'hétérogénéités des SW, une description sémantique et une médiation de ces derniers sont nécessaires. Pour cela, nous consacrons les sous-sections suivantes aux approches de description sémantique et d'intégration des SW, et à celles relatives à la composition et à la médiation entre ces derniers.

### 2.1. Description sémantique des services Web

Pour atteindre l'interopérabilité sémantique les SW doivent être capables: (1) d'interpréter correctement la sémantique des données qu'ils envoient et reçoivent, (2) de décrire les fonctionnalités qu'ils fournissent en une sémantique explicite et compréhensible par les machines [2].

Nous distinguons principalement deux approches permettant de décrire sémantiquement les SW [2] : les approches exploitant les langages de description sémantique et les approches d'annotation des langages existants.

#### 2.1.1. Langages de description sémantique.

Les langages qui décrivent sémantiquement les SW sont issus du Web sémantique. Ils tentent de remplacer les langages existants des SW pour élever ces derniers au rang des SWS. C'est le cas des langages OWL-S, WSMO, DE et DSD:

- **Le langage Ontology Web Language for Web Services (OWL-S)** est un sous ensemble du langage OWL (Ontologie Web Language) [3] dédié à la description sémantique de SW [3]. Une description OWL-S se compose de trois éléments [4] :

- *Le 'service profile'* décrit les fonctionnalités des SW. Il est utile pour leur découverte et leur sélection.

- *Le 'process model'* exprime la sémantique des données échangées, au niveau des messages émis par les SW.

- *Le 'grounding'* spécifie l'encodage des données échangées, les protocoles de communication, ainsi que tous les détails concrets nécessaires à l'invocation du service.

OWL-S sépare les vues de haut et de bas niveau. La vue abstraite ou de haut niveau (service profile et process model), relie le SW à des descriptions conceptuelles en OWL, décrites dans des ontologies. La vue concrète ou de bas niveau (le grounding) décrit la représentation physique du SW.

- **Le langage Web Service Modeling Ontology (WSMO)** proposé par Arroyo et Stollberg [5], est une architecture conceptuelle dont le but est de décrire la sémantique des SW. Le méta-modèle du WSMO définit quatre éléments principaux : *les ontologies, les objectifs, les services Web et les médiateurs*. *Les ontologies* fournissent la fondation pour une description sémantique des données dans le but de réaliser l'interopérabilité sémantique. Elles sont utilisées par les autres éléments du WSMO. *Les objectifs* servent à décrire les souhaits des utilisateurs en termes de fonctionnalités requises. *Les services Web* dans lesquels une description est associée à chaque service, dans le but de décrire sa fonctionnalité, son interface, et ses détails. La description concerne aussi comment les services communiquent (chorégraphie) et comment ils sont composés (orchestration). *Les médiateurs* sont utilisés pour résoudre les incompatibilités inhérentes des hétérogénéités des systèmes pour assurer leur interopérabilité. Ce sont principalement les incompatibilités de données et de processus.

Une caractéristique principale du WSMO est que les médiateurs constituent des composants centraux qui lient les autres éléments (ontologies, objectifs et services Web). Il existe quatre sortes de médiateurs qui sont :

- *OO-médiateurs* : permettent de résoudre les conflits entre ontologies.
  - *GG-médiateurs* : permettent d'établir des correspondances entre objectifs.
  - *WW-médiateurs* : permettent de résoudre les conflits des données, des protocoles et des processus.
  - *WG-médiateurs* : permettent de résoudre les conflits entre les fonctionnalités offertes par les SW et les requêtes des utilisateurs.
- **Les langages DIANE Elements (DE) et DIANE Service Description (DSD)**. DE et DSD sont des langages orientés objets construits à partir d'une analyse des conditions requises pour la description des SWS, et des difficultés de OWL-S et WSMO à remplir ces conditions [6]. Ces langages utilisent les notions d'ensembles configurables et de logique floue pour améliorer la découverte sémantique de services.

### 2.1.2. Approches d'annotation des langages existants.

Les travaux de cette catégorie consistent à annoter les langages existants des SW en exploitant leurs éléments d'extensibilités ou en modifiant les fonctionnalités initiales des normes. Ces annotations peuvent concerner :

- Les processus métier comme le langage **SESMA** (SEmantic Service MAkup) [7], qui fournit un support pour la description de services composites, en annotant les processus métiers WS-BPEL.
- Les registres UDDI et ebXML, en utilisant des langages comme **DAML-S** [8,9] et **SAWSDL** [10], ce qui permet d'améliorer la publication et la découverte des SW.
- Le langage de description WSDL en exploitant les éléments d'extensibilité de ce dernier soit avec le **WSDL-S** [11,12], soit en utilisant le **SAWSDL** qui constitue une recommandation du W3C.

SAWSDL [10] définit des attributs d'extension qui peuvent être appliqués aux éléments du WSDL et du XML Schema pour annoter les interfaces, les opérations, et les messages d'entrée et de sortie du WSDL. Les extensions SAWSDL prennent deux formes: *modelreference* et *schemamappings*. Le model Reference est un attribut d'extension, *sawsdl:modelReference*, qui peut être appliqué à n'importe quel élément du WSDL ou du XML Schema dans le but de pointer vers un ou plusieurs concepts sémantiques. SAWSDL fournit deux attributs pour attacher les mappings de schema XML, *sawsdl:liftingSchemaMapping* et *sawsdl:loweringSchema Mapping*. Le premier attribut permet de transformer la donnée XML d'un message de SW vers un modèle sémantique, alors que le deuxième est dédié à la transformation d'une donnée d'un modèle sémantique vers un message XML.

### 2.2. Composition et médiation des services Web

La composition consiste à combiner les fonctionnalités de plusieurs SW dans un processus métier (SW complexe). Les langages de composition sont par exemple, BPEL4WS (WS-BPEL), BPML, ...etc. Il existe deux méthodes d'exécution de la composition : orchestration et chorégraphie [13].

Dans l'orchestration, un processus principal (SW) prend le contrôle de la progression de la composition et coordonne les différentes opérations des différents SW [13].

La chorégraphie ne repose pas sur un SW principal. Chacun des services intervenants dans la composition sait précisément ce qu'il doit faire, quand il doit le faire et avec qui [13].

La médiation est un aspect de la composition pour résoudre les conflits causés par les hétérogénéités qui peuvent apparaître entre les SW, et ceci pour assurer leur interopérabilité [13]. Il est possible de classer les tâches de médiation selon diverses perspectives. Par exemple, Cabral et al. [14], proposent trois niveaux de médiation : des données, des fonctionnalités et des processus métier.

### 2.3. Approches d'intégration des services Web

Mrissa [2] distingue les types d'approches suivants :

- **Approches à base d'adaptateurs** : Ces approches reposent sur l'utilisation d'une couche d'adaptateurs qui encapsulent les SW. Cette couche est intégrée à une architecture homogène qui supporte leur découverte, leur composition et leur administration. Les hétérogénéités sont résolues manuellement lors de l'intégration des services dans l'architecture par les fournisseurs, en établissant les correspondances entre leurs services et les adaptateurs [15].
- **Approches à base de communautés** : Ces approches regroupent plusieurs services fournissant une fonctionnalité équivalente derrière une interface unique. Ces services forment alors une communauté. Les correspondances entre l'interface de la communauté et les réalisations concrètes de la fonctionnalité sont établies par plusieurs médiateurs [16].
- **Approches à base de descriptions étendues** : Ces approches ajoutent de l'information supplémentaire dans les descriptions des SW. Ces informations concernent les propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles. Les solutions de médiations utilisent ces descriptions améliorées pour réconcilier les SW [2,17].
- **Approches à base de services Web** : Ces approches reposent sur les SW pour la publication, l'invocation, la médiation et l'exécution. Elles sont plus prometteuses par rapport aux premières, car elles bénéficient des avantages des SOA [2,18, 19, 20].

## 3. CLASSIFICATION ET COMPARAISON DE TRAVAUX SUR L'INTEROPERABILITE SEMANTIQUE

Dans cette section, nous proposons une classification et une comparaison des travaux relatifs à l'interopérabilité sémantique via les SW. Notre étude sera basée sur des critères et des aspects bien définis [22]. Nous distinguons deux principaux types de travaux, ceux basés sur les langages sémantiques, et ceux basés sur les annotations sémantiques des langages existants (Fig.1).

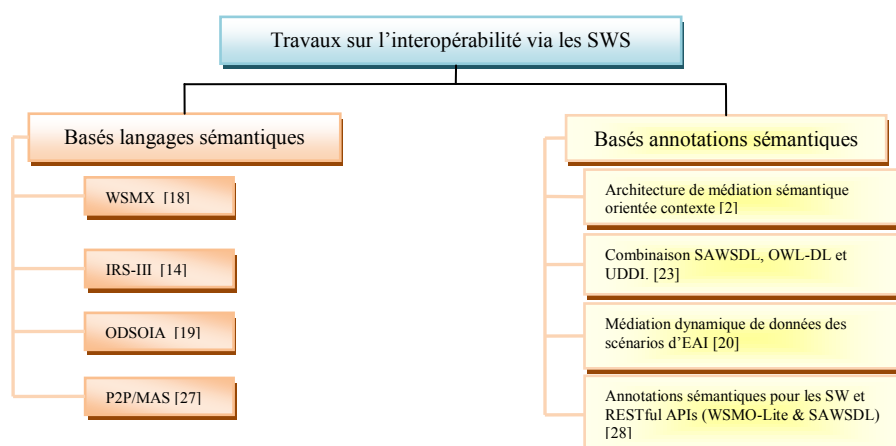


Figure.1. Classification basée sur les approches de description des services Web

### 3.1. Travaux basés sur les langages sémantiques

Les travaux que nous présentons ci-après sont basés sur les SW, et les décrivent en utilisant des langages empruntés au Web sémantique tels que WSMO et OWL-S.

L'architecture orientée services sémantiques WSMX de Haller et al. [18], est un environnement d'exécution des SW basée sur le Web Services Modelling Ontology (WSMO). Cette architecture permet la découverte dynamique, l'invocation et la composition des SWS. Elle est utilisée par les fournisseurs pour enregistrer et offrir leurs services, et par les clients pour découvrir dynamiquement et invoquer les services sélectionnés. L'architecture WSMX assure l'interopérabilité des systèmes B2B (Business to Business). La médiation des processus métier est réalisée grâce à un travail manuel effectué durant la phase de conception, par la définition de règles permettant d'identifier les équivalences entre les différentes chorégraphies. Ces règles sont stockées puis utilisées par le moteur de chorégraphie afin de réconcilier les gestions des séquences de messages. Le médiateur des données est constitué de deux composants. Le premier identifie les similarités entre les concepts des ontologies et génère des correspondances entre ces derniers. Le deuxième composant effectue la transformation des données durant l'exécution de la composition en utilisant les correspondances générées par le premier composant.

L'architecture IRS-III [14] est un framework permettant la publication, la configuration et l'exécution des SW hétérogènes. Elle est basée aussi sur le WSMO et comprend les composants Server, Publisher et Client qui communiquent à travers le protocole SOAP. IRS-III implémente la médiation des données, la médiation des objectifs et la médiation des processus. Un médiateur de processus est utilisé pour résoudre les conflits de communication en exploitant un ensemble de règles logiques. Ce médiateur utilise un interpréteur de chorégraphie, qui permet d'exécuter un SW en créant les messages requis par ce dernier sur la base de sa description. Il mémorise les appels exécutés par un composant appelé invocateur. Le médiateur de données génère des correspondances entre les termes des ontologies, et les stocke dans une ontologie temporaire qui est une fusion des ontologies de départ. Grâce à laquelle il est possible de convertir les données d'une ontologie à l'autre en passant par une représentation intermédiaire.

Izza S. [19] propose une architecture orientée services pour l'intégration des applications des systèmes d'information industriels appelée ODSOIA (Ontology Driven Service Oriented Architecture). C'est une solution intra-entreprise qui augmente le bus ESB de deux couches architecturales en plus de la couche orientée services : la couche sémantique et la couche d'intégration. L'architecture sémantique comprend un ensemble d'ontologies globales, de domaines et locales, des ontologies de services et de correspondances concernant les processus, les fonctions et les données, suivie d'une publication sémantique des descriptions des services en utilisant un service (dit de publication sémantique), en utilisant OWL-S. L'architecture d'intégration est composée de services d'intégration qui sont : le service broker, le service de description sémantique, le service de publication sémantique, le service de découverte, le service de médiation qui prend en charge la résolution des hétérogénéités sémantiques liées aux services fondamentaux, et le service d'exécution permettant la supervision de l'exécution des services fondamentaux. Pour la médiation, il existe trois catégories de services qui sont : le service de médiation de données, le service de médiation fonctionnelle et le service de médiation de processus. Dans ces différentes médiations, plusieurs types d'ontologies et de mappings sont utilisés.

L'architecture P2P MAS [27] est une architecture générique Peer-to-Peer/Systèmes Multi-Agents (P2P/MAS) pour la découverte et la composition des SWS. Les auteurs montrent comment les réseaux P2P peuvent mettre en œuvre des architectures open-MAS pour construire un système distribué collaboratif. Pour la description sémantique des SW, ils utilisent OWL-S en présentant les comportements comme automates finis. Cependant, l'approche ne gère pas les conflits d'hétérogénéité.

### **3.2. Travaux basés sur les annotations sémantiques**

Les travaux suivants décrivent ces derniers en étendant les descriptions des SW par des annotations sémantiques grâce à des langages tels que WSDL-S et SAWSDL.

Mrissa [2] propose une architecture de médiation sémantique orientée contexte pour la composition des SW. C'est une architecture comprenant les couches suivantes : une couche fournisseur, une couche composition et une couche description. Il s'agit d'une médiation de données prise en charge par un SW médiateur inséré entre le SW émetteur et le SW récepteur lors de l'exécution de la composition. Ces services sont préalablement décrits sémantiquement en utilisant les éléments d'extensibilité du WSDL et une ontologie de domaine à laquelle sont associées des ontologies contextuelles. Mrissa définit l'objet sémantique grâce à la notion de contexte, lui-même défini comme un objet sémantique. Il obtient ainsi une définition récurrente de la notion de contexte qui constitue tout élément nécessaire

à l'interprétation correcte de la donnée. Kourtesis et al. [23] présentent l'implémentation du registre sémantique de FUSION, un registre de services augmenté sémantiquement qui est constitué des spécifications UDDI et augmente ses services de publication et de découverte. Les auteurs combinent l'utilisation du SAWSDL pour créer les annotations sémantiques des descriptions des interfaces de service et l'utilisation de OWL-DL pour modéliser les fonctionnalités du service et pour réaliser les matchmaking via un raisonnement basé sur la logique de description. Bouras T. et al. [20] proposent une approche d'enrichissement sémantique pour la médiation dynamique des données dans des scénarios EAI. Elle se focalise sur la résolution d'hétérogénéités au niveau messages entre des services collaboratifs d'entreprise, et facilite la médiation automatique des données durant l'exécution en fournissant des transformations formelles des messages d'entrée et de sortie vers un modèle de référence commun de données métier : l'ENterprise Interoperability Ontology (ENIO), qui constitue une ontologie multi-couches et multi-facettes fournissant une compréhension commune et partagée des données, des services et des processus dans les cas d'applications d'entreprises. Les auteurs utilisent un mécanisme d'annotation "model Reference" (SAWSDL attribute) pour pointer vers un concept ontologique de données. Le code de transformations XSLT crée est stocké dans un registre commun. La référence vers ce registre est ajoutée à la description sémantique du service. Roman D. et al. [28] exposent leur approche construite sur SAWSDL, et présentent WSMO-Lite, une ontologie pour capturer la sémantique des SW qui distingue quatre aspects: les propriétés fonctionnelles, les propriétés non fonctionnelles, les propriétés comportementales, et le modèle de l'information. Ces aspects forment une base pour l'automatisation sémantique. Avec l'ontologie WSMO-Lite, les descriptions SAWSDL permettent l'automatisation sémantique. Pour démontrer la faisabilité de cette approche, les auteurs présentent des algorithmes pour la découverte et la composition des SW adaptées à WSMO-Lite. Le tableau 1 résume un comparatif des travaux effectués sur l'interopérabilité sémantique

Tableau 1. Tableau comparatif des travaux sur l'interopérabilité sémantique

Critère / Référence	Approche de description sémantique	Langage de description sémantique	Approche d'intégration des services Web	Fonctions SW	Niveau de médiation	Méthode de Composition
A. Haller et al., 2005 (WSMX) [18]	Langage de description sémantique	WSMO	Basée SW	découverte invocation médiation	Processus Fonctions Données	chorégraphie
L. Cabral et al., 2005 (IRS_III) [14]	Langage de description sémantique	WSMO	Basée SW	Publication configuration médiation exécution	Processus Objectifs Données	chorégraphie orchestration
S. Izza et al., 2008 (ODSOIA) [19]	Langage de description sémantique	OWL_S+	Basée SW	publication découverte médiation exécution	Processus Fonctions Données	orchestration
M. Gharzouli and M. Derdour, 2014 [27]	Langage de description sémantique	OWL_S	Basée SW	publication découverte exécution	Processus	chorégraphie
M. Mrissa, 2007 [2]	Annotation des langages existants	WSDL_S & Context	Basée SW description étendue	médiation	Données	orchestration
D. Kourtesis et al., 2008 [23]	Annotation des langages existants	SAWSDL	Basée SW description étendue	Publication Découverte Matchmaking	Matchmaking (Catégorisation & données)	Non proposée
T. Bouras et al., 2010 [20]	Annotation des langages existants	SAWSDL	Basée SW description étendue	médiation	Données	Non proposée

D. Roman et al., 2015 [28]	Annotation des langages existants & Langage de description sémantique	SAWSDL WSMO-Lite	Basée SW description étendue	Découverte & composition	Processus Fonctions Données	chorégraphie orchestration
----------------------------	---	------------------	------------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------

### 3.3. Etude comparative de travaux sur l’interopérabilité sémantique

Dans le Tableau 1, nous présentons les critères que nous avons définis pour caractériser les travaux ci-dessus. Nous commençons par les différencier selon les approches et les langages de description sémantique, les mécanismes d’intégration, les fonctions prises en compte (publication, découverte, invocation, ...), le niveau de médiation et la méthode de composition (section 2). Après étude de plusieurs travaux de recherche, nous avons constaté que les approches orientées services et celles basées sur les descriptions étendues constituent actuellement les techniques d’intégration les plus prometteuses car elles bénéficient des avantages des SW en utilisant les langages et les normes existants. Nous distinguons pour la description des SW, la catégorie des approches basées sur les langages de description sémantique dérivés du Web sémantique. Ces langages tentent de remplacer les langages existants des SW pour les élever au rang des services Web sémantiques (cas des quatre premiers travaux dans le Tableau 1: [18, 14, 19, 27]). Nous distinguons également la catégorie des approches basées sur les annotations des descriptions des SW, qui exploitent les éléments d’extensibilité des langages existants (cas des quatre derniers travaux dans le Tableau 1: [2, 23, 20, 28]). Ces annotations présentent plus d’avantages que les langages de description du moment qu’elles exploitent les normes existantes des SW. En outre, elles sont relativement simples. Notons que, tous ces travaux supposent l’adaptation sémantique locale des services Web à la sémantique de l’ontologie partagée pour pouvoir effectuer la médiation, à l’exception de l’approche présentée par Mrissa [2].

Dans nos travaux de recherche, l’architecture orientée services est organisée en couches. Nous avons opté pour les annotations des descriptions des SW à l’aide du langage SAWSDL [10] qui constitue une recommandation du W3C, et un modèle sémantique à base d’ontologies ainsi qu’à la notion de contexte. De ce fait, notre modèle conceptuel nous permet d’avoir une médiation sémantique dynamique car il présente les avantages suivants:

- Il n’y a pas une représentation unique de l’information (ontologie commune). Alors, les fournisseurs de services ne sont pas tenus d’adapter leur sémantique locale.
- Les hétérogénéités sémantiques sont explicitement représentées. Elles peuvent ainsi être automatiquement interprétées et résolues.

## 4. APPROCHE PROPOSEE ET DOMAINE D’APPLICATION

Nous consacrons cette section à la présentation du domaine d’application [23], de l’architecture et de l’approche proposées [25].

La SETA (Société d’Etudes Techniques d’Annaba) est une entreprise, dont le siège social est fixé à Annaba. L’activité de l’entreprise SETA se caractérise principalement par le contrôle et le suivi de chantiers, l’expertise et les études de conception géométrique et structurale des routes, d’aménagement routier, ferroviaire, ...etc. La figure 2 montre l’architecture applicative simplifiée du SI de la SETA et son articulation avec les SI des organisations tierces. Ce système d’information comprend, entre autres, les applications suivantes (Fig.2):

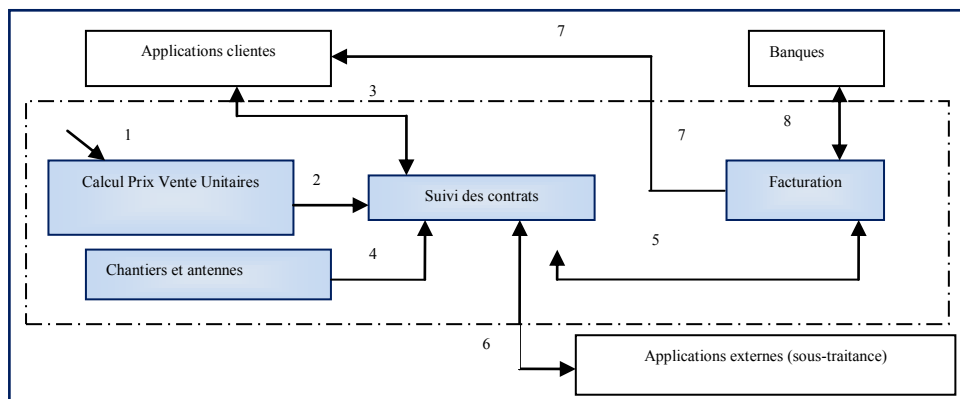


Figure.2. Articulation des systèmes d'information (SETA et autres organisations).

- **Calcul des prix de vente unitaires (Calcul-P)** : C'est une application relevant de la comptabilité des coûts qui, grâce à des informations relatives aux coûts de la main d'œuvre et des matériaux, à l'amortissement des matériels et aux montants de la sous-traitance ... (flux1), permet l'établissement du catalogue des prix de vente unitaires qui sera utilisé par l'application *Suivi-CTR* (flux2).
- **Suivi des contrats (Suivi-CTR)** : C'est une application qui prend en charge les informations sur les contrats (flux3), sur les situations évolutives (flux4) et la restitution des données d'évolution physique (flux5) qui seront utilisées par l'application *Facturation-recouvrement*. Elle utilise le catalogue des prix de vente unitaires émanant de l'application *Calcul-P* (flux2) pour établir les offres (flux3). Dans le cas d'un besoin d'analyses, une relation externe est établie avec des laboratoires spécialisés (flux6): il s'agit d'une sous-traitance.
- **Facturation-recouvrement (Fact-Recouv)** : application qui établit les factures (flux7) grâce aux informations d'évolution physique émanant de l'application *Suivi-CTR* (flux5), et produit périodiquement un état financier (flux5). Cette application développe aussi des relations avec les banques et autres partenaires (flux8).

Pour faire inter-opérer ces applications, nous allons suivre les étapes de notre approche [25] basée sur les SWS et résumée comme suit:

- Construction d'une architecture orientée services.
- Construction d'une architecture conceptuelle.
- Annotation des descriptions des SW à l'aide du SAWSDL [10].
- Construction de l'architecture pour l'interopérabilité sémantique des SW.

C'est une architecture en couches qui sont en étroite interaction (Fig.3). Dans les sections qui suivent, nous allons décrire les étapes de notre approche.

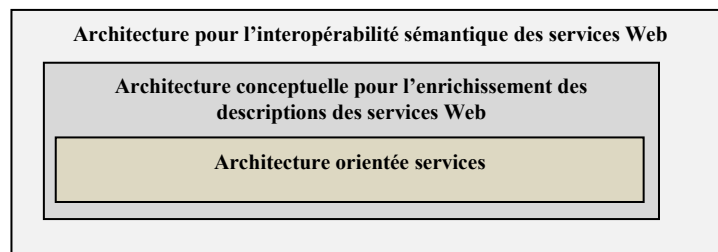


Figure.3. Couches imbriquées pour l'interopérabilité sémantique des systèmes d'information.

## 5. CONSTRUCTION DE L'ARCHITECTURE ORIENTEE SERVICES

A ce niveau, nous adoptons une méthodologie de migration des SI vers une architecture orientée services basée sur les architectures dirigées par les modèles (MDA) [26]. Un catalogue de différents types de services est dégagé y compris les services métiers. Ces derniers seront exposés aux organisations tierces à l'aide des principaux standards des SW. La démarche que nous adoptons (Fig.4) combine les deux approches de construction de logiciels : descendante et ascendante. La réutilisation introduite par l'approche ascendante consiste en la construction de services métiers (ou fonctionnels) à partir des services applicatifs issus de la construction de la SOA applicative. Cette phase nécessite l'intervention de la maîtrise d'ouvrage (MOA) et la maîtrise d'œuvre (MOE) du fournisseur (et parfois la maîtrise d'œuvre du client), pour décider de promouvoir des services fonctionnels en services métiers, ou des services applicatifs en services fonctionnels ou métiers.

En appliquant cette approche hybride au SI simplifié de la SETA nous obtenons des services applicatifs, des services fonctionnels à exposition interne et des services métiers à exposition externe. Nous supposons que les partenaires de la SETA offrent, eux aussi, des services métiers.



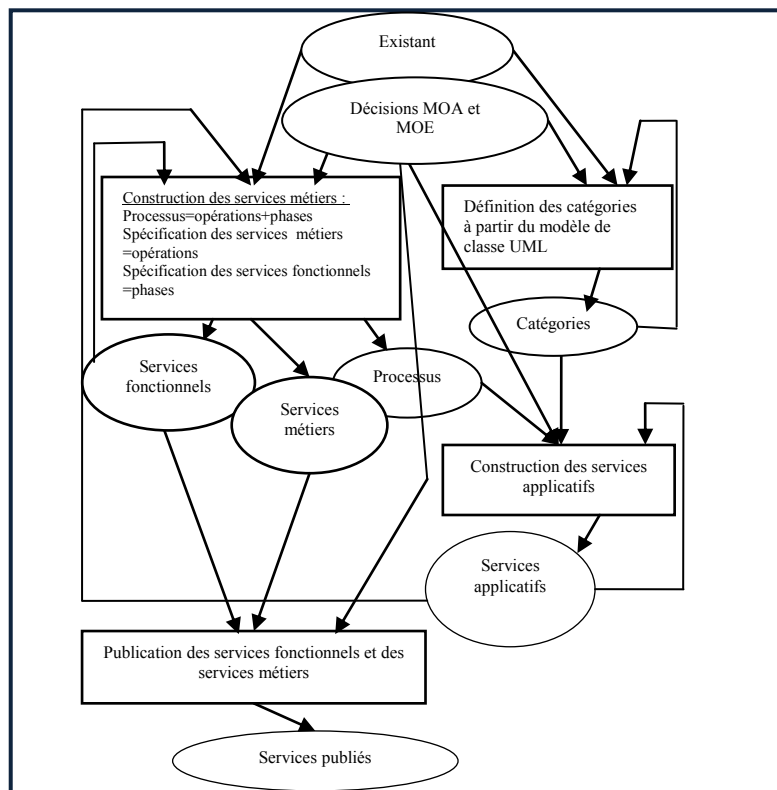


Figure.4. Approche de construction d’une SOA métier.

Nous résumons, dans le Tableau 2, quelques services métiers (SW) offerts par la SETA, un laboratoire Y et une banque X. Les services métiers assurent l’interopérabilité inter-entreprise.

Tableau 2. Services métiers de la SETA et ses partenaires.

Acteur	Service Métier	Entrées	Sorties
SETA	SW_SETA_Offres	Informations Commande	Offre
	SW_Calcul_P_Sous_Traitance (service fonctionnel)	Devis laboratoire d’analyses (sous-traitance)	Prix sous-traitance avec bénéfice
	SW_SETA_ConsultationFactures	Code de login Autres informations d’accès	Factures
LaboratoireY	SW_LABY_Devis	Demande d’analyses	Devis
	SW_LABY_Résultats	Demande résultats	Résultats
BanqueX	SW_BNQX_Avis_Crédit	Informations d’accès et Demande avis de crédit	Facture

L’interopérabilité des SW obtenus peut échouer à cause d’éventuelles hétérogénéités sémantiques. A titre d’exemple, nous prenons un SW du laboratoire Y communiquant avec un SW de la SETA :

- **SW\_LABY\_Devis** : ce service fournit les prix offerts par le laboratoire Y, lesquels seront des entrées pour le SW suivant de la SETA.

- **SW\_Calcul\_P\_Sous\_Traitance** : qui, grâce aux prix offerts par le SW précédent, calcule le montant de la sous-traitance en incluant le bénéfice.

Seulement, le laboratoire Y peut être étranger (Japonais) et son SW présente donc des données ou des séquences d'échange de messages non conformes à celles exigées par le SW de la SETA (exemple : format de date, devise, facteur multiplicateurs, unités de mesure ou bien message non attendu, combinaison de messages ...).

Pour avoir une représentation explicite de ces hétérogénéités et pour pouvoir les surmonter avec une médiation dynamique, on fait appel à la modélisation sémantique que nous présentons ci-après.

## 6. CONSTRUCTION DE L'ARCHITECTURE SEMANTIQUE

Notre modèle sémantique comprend quatre sous modèles : fonctionnel, non fonctionnel, comportemental et de données. Nous présentons les sous modèles sémantiques des données et des comportements. Ils seront utilisés dans la médiation sémantique des données et des processus.

### 6.1. Construction des sous modèles sémantiques des données et des comportements

Notre sous modèle sémantique de données (SMSD) comprend trois types d'ontologies OWL: des ontologies locales de données (OLD) (Fig.5), une ontologie de domaine de données (ODD) et des ontologies contextuelles de données (OCD) auxquelles sont associés les concepts de l'ontologie de domaine. Chaque ontologie contextuelle permet de décrire le contexte d'un concept de l'ontologie de domaine.

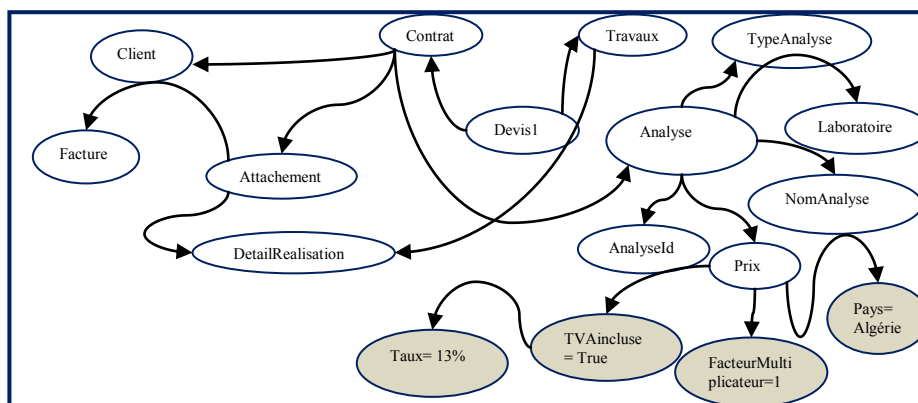


Figure.5. Extrait de l'ontologie locale de données (OLD) de la SETA  
(les concepts à l'intérieur des zones grisées représentent les informations contextuelles du concept 'Prix').

Le sous modèle sémantique comportementale (behavioriste : SMSB) comprend des ontologies contextuelles behavioristes (OCB) renfermant des informations sur les messages échangés.

### 6.2. Mécanismes d'annotation sémantique

Nous utilisons les mécanismes d'annotation apportés par le SAWSDL pour enrichir sémantiquement les données échangées (.XSD) par les SW (Fig.6). Pour la médiation des processus, nous annotons les opérations des descriptions WSDL à l'aide de l'attribut model Reference.

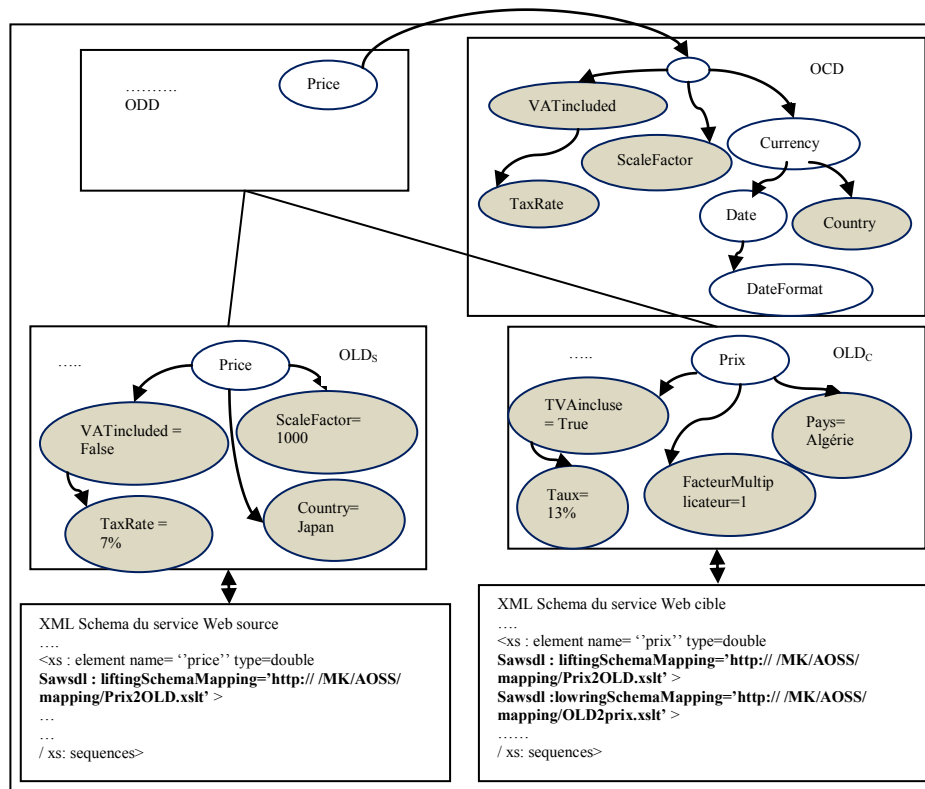


Figure.6 : Annotation des descriptions relatives aux services Web de l'exemple.

## 7. ARCHITECTURE POUR L'INTEROPERABILITE SEMANTIQUE DES SERVICES WEB

Notre architecture est basée d'une part, sur un ensemble de différents types de SW d'intégration (de publication, de découverte, de médiation et d'exécution) orchestrés par un SW broker, et d'autre part, sur la description étendue en annotant les SW en interaction pour les relier à leurs descriptions sémantiques. Le noyau de notre architecture est une infrastructure de médiation sémantique, prise en charge par un SW de médiation (de données ou de processus).

Notamment, la médiation sémantique des processus (Fig.7) est assurée par un SW (SWMP) implémenté par un algorithme de médiation de chorégraphie qui gère la conversation entre deux SW. Il utilise les descriptions annotées, le référentiel des ontologies, et fait appel à un moteur d'inférence et une base de règles. Il appelle aussi le service Web pour la médiation des données (SWMD). Lors de cette médiation plusieurs mappings syntaxiques et sémantiques sont exécutés.

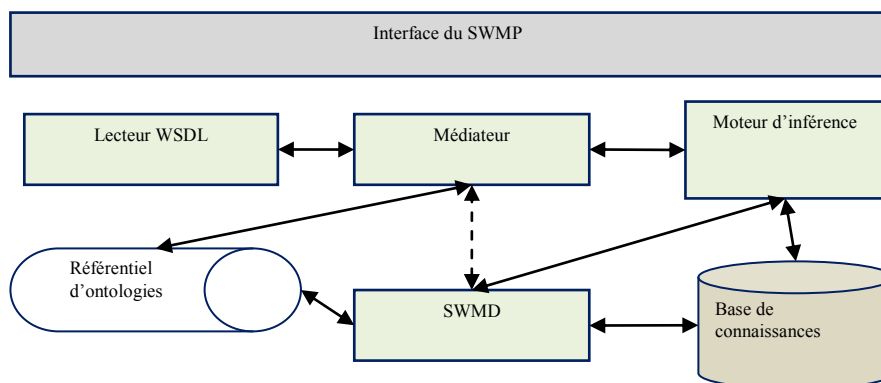


Figure.7 : Description du SWMP

## 8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons présenté une classification et une étude comparative des travaux dans le domaine de l'interopérabilité des systèmes d'information via les SWS. Cette comparaison est basée sur des critères et des aspects bien définis. Suite à cette étude, nous avons opté pour les approches basées SW et celles basées sur l'annotation des descriptions de ces derniers. pour proposer une architecture basée SWS pour la mise en œuvre des mécanismes d'interopérabilité des SI. Notre approche globale a conduit à une architecture en couches imbriquées : une architecture orientée services décrite sémantiquement par une architecture conceptuelle, et l'architecture pour l'interopérabilité sémantique des SW dont le noyau est une infrastructure de médiation. Nous avons présenté en particulier une approche de passage vers SOA, les modèles sémantiques de données et des processus et la médiation des SW à ces niveaux. Ces parties présentées ont été validées par une étude de cas.

Nous envisageons de poursuivre ce travail avec comme perspectives, le parachèvement du modèle sémantique et de l'infrastructure de médiation et l'implémentation des différents composants de l'architecture proposée.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Da Silva C. F., Da Cunha P. R., Ghodous P. and Melo P. (2010). The Semantic Side of Service-Oriented Architectures. In [21] Chapter5, pp: 111–104.
- [2] Mrissa M. (2007). Médiation Sémantique Orientée Contexte pour la Composition de Services Web. Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard Lyon I.
- [3] Mc Guinness D. L. and Van Harmelen F. (2004). OWL Web Ontology Language Overview. W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>. (Last visited Février 2017)
- [4] Martin D. L., Paolucci M., McIlraith S. A., Burstein M. H., McDermott D. V., McGuinness D. L., Parsia B., Payne T. R., Sabou M., Solanki M., Srinivasan N. and Sycara K. P. (2004). Bringing Semantics to Web Services : The OWL-S Approach. In Cardoso J. and Sheth A. P. (editors), SWSWPC, volume 3387 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 26–42. Springer.
- [5] Arroyo S. and Stollberg M. (2004). WSMO Primer. WSMO Deliverable D3.1, DERI Working Draft. Technical report, WSMO, 2004. <http://www.wsmo.org/2004/d3/d3.1/>. (dernière date de consultation Février 2017)
- [6] Klein M., König-Ries B. and Müssig M. (2005). What is needed for semantic service descriptions - a proposal for suitable language constructs. International Journal on Web and Grid Services (IJWGS), vol. 1(3/4) pp.:328–364.
- [7] Peer J. (2005). Semantic Service Markup with SESMA. In Web Service Semantics Workshop (WSS'05) at the Fourteenth International World Wide Web Conference (WWW'05).
- [8] Paolucci M., Kawamura T., Payne T. and Sycara K. (2002). Importing the Semantic Web in UDDI. In Proceedings of E-Services and the Semantic Web Workshop. pp 225-236.
- [9] Dogac A., Kabak Y. and Laleci G. (2004). Enriching ebxml registries with owl ontologies for efficient service discovery. In RIDE, pp. 69–76. IEEE Computer Society.
- [10] Hausberger T. (2009). Semantic Annotations for WSDL. Department of Computer Science Leopold Franzens University Innsbruck. Semantic Web Services PS. 5 May 2009.
- [11] Sheth P. A., Gomadam K. and Ranabahu A. (2008). Semantics Enhanced Services: METEOR-S, SAWSDL and SA-REST. Services Research Lab, kno.e.sis center, Wright state University, Dayton, OH. Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering.
- [12] Miller J., Verma K., Rajasekaran P., Sheth A., Aggarwal R. and Sivashanmugam K. (2004). WSDL-S : Adding Semantics to WSDL. White Paper. Technical report, Large Scale Distributed Information Systems. <http://lstdis.cs.uga.edu/library/download/wSDL-s.pdf>. (Last visited 24/06/2017)
- [13] Rempacek S. (2006). Sémantique, interactions et langages de description des services Web complexes. Thèse de doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne.
- [14] Cabral L. and Domingue J. (2005). Mediation of semantic Web services in irs-iii. In First International Workshop on Mediation in Semantic Web Services (MEDIATE 2005) held in conjunction with the 3rd International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC 2005), Amsterdam, The Netherlands., December 12th 2005. <http://oro.open.ac.uk/id/eprint/23142>. (Last visited 24/06/2017).
- [15] Medjahed B., Benatallah B., Bouguettaya A. and Elmagarmid A. K. (2004). Webbis : An infrastructure for agile integration of Web services. Int. J. Cooperative Inf. Syst., vol. 13(2) pp .121–158.

- [16] Taher Y., Benslimane D., Fauvet M.C. and Maamar Z. (2006). Towards an approach for Web services substitution. In P. Ghodous, R. Dieng-Kuntz and G. Loureiro, editors, IDEAS, pp. 166–173. IOS Press.
- [17] Dumas M. and Spork M. (2006). Adapt or perish : Algebra and visual notation for service interface adaptation. In Dustdar S., Fiadeiro J. L. and Sheth A. P. (editors), Business Process Management, volume 4102 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 65–80. Springer.
- [18] Haller A., Cimpian E., Mocan A., Oren E. and Bussler C. (2005). Wsmx - a semantic service-oriented architecture''. In I. C. Society, editor, ICWS, pp 321–328. IEEE Computer Society.
- [19] Izza S., Vincent L. and Burlat P. (2008). Exploiting semantic web services in achieving flexible application integration in the microelectronics field. In Computers in Industry 59 (2008) pp 722-740. Elsevier BV.
- [20] Bouras T., Gouvas P. and Mentzas G. (2010). Dynamic Data Mediation in Enterprise Application Integration Scenarios. In [21] Chapter 2, pp: 19–35, 25/03/2010.
- [21] Mentzas G. and Friesen A. (2010). Semantic Enterprise Application Integration for Business Processes: Service-Oriented Frameworks'. Business science reference. Hershey, New York. 25/03/2010.
- [22] Mecheri K. and Souici-Meslati L. (2010). Semantic interoperability of Web services: A survey. Proceedings of the First International Conference on Machine and Web Intelligence (IEEE ICMWI'10), Algiers, Algeria, pp 55-60.
- [23] Mecheri K., Boufaïda M. and Souici-Meslati L. (2010). Une architecture orientée services Web sémantique pour l'interopérabilité dans la SETA. Proceedings of the Second Workshop on Web Services (WWS'10), CERIST, Algiers, Algeria, pp. 37- 48.
- [24] Kourtessis D. and Paraskakis I. (2008). Combining SAWSDL, OWL-DL and UDDI for Semantically Enhanced Web Service Discovery. European Semantic Web Conference ESWC 2008: The Semantic Web: Research and Applications pp 614-628
- [25] Mecheri K., Boufaïda M. and Souici-Meslati L. (2012). Data mediation towards semantic Web service interoperability. Int. J. Web Science, Vol. 1, No. 3, pp. 163-176. Inderscience.
- [26] Bonnet P. (2005). Cadre de référence Architecture SOA. Meilleures Pratiques. Montreuil, 23 Février 2005. [http://pie.bonnet.ifrance.com/ON-guideSOA-2005-02-23%20\(part1\).pdf](http://pie.bonnet.ifrance.com/ON-guideSOA-2005-02-23%20(part1).pdf). (dernière consultation janvier 2016)
- [27] Gharzouli M. and Derdour M. (2014). To implement an open-MAS architecture for semantic web services discovery, what kind of P2P protocol do we need?. International Journal of Agent Technologies and Systems (IJATS), Vol 6 N° 3, pp. 57-72.
- [28] Romana D., Kopecký J., Vitvar T., Domingue J. and Fensel D. (2015). WSMO-Lite and hRESTS: Lightweight semantic annotations for Web services and RESTful APIs. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 31, pp. 39–58,