



**HAL**  
open science

# Vers une interopérabilité fédérative des systèmes d'information du Product Lifecycle Management

Virginie Fortineau, Thomas Paviot, Samir Lamouri

► **To cite this version:**

Virginie Fortineau, Thomas Paviot, Samir Lamouri. Vers une interopérabilité fédérative des systèmes d'information du Product Lifecycle Management. JD-JN-MACS 2011, 2011, Marseille, France. hal-00709041

**HAL Id: hal-00709041**

**<https://hal.science/hal-00709041>**

Submitted on 17 Jun 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# JD-MACS 2011

## Vers une interopérabilité fédérative des systèmes d'information du Product Lifecycle Management

Virginie FORTINEAU<sup>1</sup>, Thomas PAVIOT<sup>1</sup>, Samir LAMOURI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LCPI/Arts et Métiers Paristech  
151, bd de l'Hôpital – 75013 Paris, France

virginie.fortineau@ensam.eu, thomas.paviot@ensam.eu, samir.lamouri@ensam.eu

*Résumé*— Dans le cadre du développement et du suivi des produits industriels, l'interopérabilité des systèmes d'informations (SI) qui sont utilisés tout au long du cycle de vie du produit est une condition de la mise en œuvre d'une démarche Product Lifecycle Management (PLM) réussie. Bien que de nombreux travaux relatifs à ce domaine aient permis des avancées significatives, force est de constater qu'il existe toujours des verrous scientifiques et technologiques qui freinent la libre circulation de l'information. Cet article identifie les problèmes liés aux approches unificatrices de modèles de données, s'appuyant sur des architectures de type médiateur d'information. Les voies de recherche qui seront explorées à court et moyen termes concernent la transition vers une approche fédérative, qui se base sur un méta-modèle ontologique multi-échelle ainsi que sur une architecture de SI distribuée.

*Mots-clés*— Interopérabilité, Ontologies, Standards, PLM, STEP, Intelligence Artificielle

### I. INTRODUCTION

Avec l'augmentation de la concurrence et la recherche accrue de la performance, le Product Lifecycle Management (PLM) s'est imposé comme un concept nécessaire aux entreprises de production pour accroître leur productivité (en terme de coût, qualité, délai) et garantir une capitalisation et une bonne circulation des connaissances [1]. L'ensemble constitué des inter-acteurs du produit peut alors être considéré comme un système complexe. Ainsi, parmi les définitions existantes du PLM, on retiendra celle d'un outil de maîtrise de la complexité inhérente au développement et au suivi du produit. Ainsi, le PLM vise entre autre à améliorer la collaboration et l'organisation dans l'entreprise [2]. Les systèmes d'information sont aujourd'hui au cœur des processus métier de l'entreprise. On peut par exemple citer les logiciels de CAO, indispensables en conception, ou encore les ERP, utilisés en achat, en production, en distribution et pour l'aspect commercial. Alors, s'inscrire dans une démarche PLM implique de garantir l'interopérabilité des systèmes d'information tout au long du cycle de vie du produit [3].

Malgré les nombreux travaux relatifs à ce sujet, il existe toujours des problèmes d'interopérabilité [3]. L'objet de cet article est d'identifier les verrous scientifiques liés à l'interopérabilité des systèmes d'information et de proposer des axes de recherche à court et moyen termes.

Dans la suite de cet article, la section II présente

l'état de l'art concernant l'interopérabilité des systèmes d'informations et identifie les défis actuels. La section III propose par conséquent des pistes pour lever les verrous scientifiques associés, cette partie étant structurée suivant les points de vue de l'interopérabilité technique/sémantique/organisationnelle. Les axes de recherche qui seront approfondis à terme sont présentés dans la section IV, complétée par l'exposé des contributions scientifiques attendues à l'issue de ce travail. Enfin, la section V conclut cet article.

### II. ÉTAT DE L'ART

#### A. Les systèmes d'information des entreprises de production

L'objet de ce paragraphe est de présenter uniquement les SI liés aux phases de conception et de fabrication du produit. Il s'agit donc d'une description partielle des SI du PLM puisque sont exclues beaucoup des phases du cycle de vie, telles que la maintenance ou le recyclage par exemple. Cependant, la simple étude de ces deux phases de conception et de fabrication permet d'appréhender entièrement les difficultés et les enjeux de l'interopérabilité des systèmes d'information.

- Les SI de la conception se divisent en trois catégories [4] :
- les outils d'authoring (assistance à la conception) ;
  - les outils de gestion des données techniques (information) ;
  - les outils de pilotage des activités de conception (connaissance).

Les outils d'authoring créent les données techniques de la conception. On peut citer logiquement les outils de conception assistée par ordinateur (CAO), mais aussi les logiciels de simulation et de bureautique. Les outils de gestion de données techniques, ou systèmes Product Data Management (PDM) ont eux pour fonction d'organiser les données relatives à la conception et à la production du produit [5], entre autres la structure du produit et la gestion des processus. Enfin les outils de gestion de projet permettent le pilotage et le contrôle du travail collaboratif. On peut citer entre autres Microsoft Project ou PTC Windchill Project-Link.

Les SI de la production se divisent également en trois catégories :

- les Enterprise Resource Planning (ERP) ;
- les Manufacturing Execution Systems (MES) ;
- les Advanced Planning Systems (APS).

Selon Grabot [6], « les systèmes ERP constituent aujourd'hui l'arête dorsale des systèmes d'information de la plupart des grandes et moyennes entreprises ». Ils se composent d'une série de modules intégrés, dédiés à la fois à la gestion des clients, des fournisseurs, des ressources humaines et de la fabrication [7]. Les MES, eux, sont des outils de gestion et d'optimisation des processus de production [8]. Ils servent notamment à l'ordonnancement des opérations, la gestion des ressources, des spécifications et de la maintenance ou encore l'analyse de la performance. Enfin les APS sont les outils de gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management, SCM). Ils assurent l'optimisation des processus et l'aide à la décision. Selon Thomas et Lamouri [9], ces outils permettent d'aboutir à une planification optimale, en apportant une réponse aux faiblesses de synchronisation des outils classiques MRP 2.

Le PLM englobe tous ces outils divers de la conception et de la fabrication, mais aussi tous ceux des autres étapes du cycle de vie du produit. Il est donc indispensable pour faire coopérer ces acteurs dans une démarche PLM de garantir l'interopérabilité des différents systèmes d'information.

### B. Niveaux d'interopérabilité et flux sémantique

Wegner [10] définit l'interopérabilité comme « l'aptitude de deux systèmes (ou plus) à communiquer, coopérer et échanger des données et services, et ce, malgré les différences dans les langages, les implémentations et les environnements d'exécution ou les modèles d'abstraction ». Par extension, l'interopérabilité dans un système de systèmes sera définie comme étant la capacité du réseau à garantir de manière dynamique la pérennité du flux sémantique entre tous les acteurs du réseau.

D'après [11], il existe trois niveaux d'interopérabilité :

- le niveau technique ;
- le niveau sémantique ;
- le niveau organisationnel ;

un système n'étant alors par définition interopérable que lorsqu'il respecte simultanément ces trois niveaux d'interopérabilité. Cette décomposition en trois niveaux est utilisée dans la suite de l'article pour structurer l'état de l'art : elle permet d'aborder, dans un ordre qui n'est lié à aucun critère hiérarchique, les aspects relevant des modèles de données et leur mise en correspondance sémantique (sous-section II-C), de l'architecture du système d'information (sous-section II-D) ainsi que des processus qui sous-tendent une interopérabilité efficiente (sous-section II-E).

### C. Le niveau sémantique

La norme ISO-14258-1998 [12] définit trois façons d'aborder l'interopérabilité :

- l'intégration : un modèle de données standard commun ;
- l'unification : établissement de correspondances sémantiques entre les acteurs ;
- la fédération : association dynamique de modèles distincts.

Le système d'information interopérable doit permettre la conservation du flux sémantique entre les différents ac-

teurs. De nombreux travaux sur l'interopérabilité sémantique proposent à l'heure actuelle un modèle d'unification entre les systèmes [13], [14]. Ces modèles tendent à établir les liens sémantiques directement entre les informations de chaque pair du système (un pair étant dans ce contexte assimilé à un acteur du réseau, quelle que soit l'architecture de ce dernier). Pour établir ces liens, il est nécessaire de pouvoir traduire la sémantique d'un pair à un autre. Il faut alors trouver les correspondances (mapping) entre les sémantiques, comme un linguiste établirait un dictionnaire entre deux langues différentes.

Le choix d'un modèle d'unification peut procéder de deux approches [15] :

- la définition d'un modèle *ad hoc* spécifique au besoin ;
- le choix d'un modèle standard, c'est-à-dire normalisé et ouvert ;

Lee et Jeong [16], comme Chen et Vernadat [17], soulignent l'importance des standards pour l'établissement d'un modèle d'unification des données, comme par exemple la norme STEP (Standard for the Exchange of Product model data) [18]. La norme STEP a pour but de permettre de traiter la représentation et l'échange de modèles de produit tout au long de leur cycle de vie [19]. Par conséquent, elle se doit d'être un standard multi-applications (tous les produits, tous les métiers) et multi-utilisations (échange de données, archivage, base de données). Elle est donc une réponse unificatrice aux problèmes d'interopérabilité du SI de l'entreprise. Si l'on reprend l'analogie avec la linguistique, l'utilisation de standards dans les méthodes unificatrices s'apparente à l'utilisation d'une langue universelle et commune pour la traduction de chaque langage. La norme STEP est alors en quelque sorte l'*esperanto* des sémantiques du PLM.

Cependant la mise en oeuvre d'un modèle d'unification fondé sur les standards est fastidieuse [15], car :

- elle nécessite de s'appropriier entièrement les modèles d'information de chaque système ;
- il faut établir manuellement les liens sémantiques entre les informations des différents systèmes.

### D. Le niveau technique

De la même manière que les réseaux pair-à-pair ou le web sémantique, qui sont des systèmes dits distribués, les systèmes d'information du PLM se composent d'un grand nombre variable d'acteurs hétérogènes qui doivent collaborer. De plus, chacun de ces pairs peut être amené à avoir une existence propre en dehors du réseau, qui sera ou non, mise en commun. Par cette analogie, on peut qualifier l'ensemble des acteurs du cycle de vie du produit de système distribué. Zimmermann [20] définit les réseaux pair-à-pair et le web sémantique de systèmes distribués ouverts, car le nombre et la nature de leurs pairs sont potentiellement infinis. Par comparaison, les systèmes d'information des entreprises de production sont qualifiés de systèmes distribués semi-ouverts, leurs pairs pouvant apparaître et disparaître à tout moment (cas des sous-traitants par exemple) ou se modifier (évolution du moyen ou du métier). Leur nature et leur nombre sont donc grands et variables, mais restent tout de même limités au contexte du produit.

Ces observations dirigent le choix de l'architecture système : elle doit être robuste, flexible et agile pour garantir

l'interopérabilité de tous les acteurs. Depuis les travaux de Wiederhold [21], l'architecture de type médiateur s'est imposée comme une solution pertinente pour traiter des problèmes d'interopérabilité, y compris au niveau industriel (par exemple le produit Share-A-Space de la société Eurostep<sup>1</sup>). La fonction de ce médiateur est à la fois de sélectionner des données mais aussi d'interpréter des informations issues de sources diverses. L'architecture médiateur est par ailleurs plus performante en terme d'agilité du système d'information (au sens de [22]) et de coût global de possession (CGP), par rapport à une architecture point-à-point [23].

Selon Booth et al [24], l'interopérabilité nécessite de plus une architecture orientée service (SOA). En effet ces architectures sont de plus en plus présentes dans les solutions logicielles PLM, car elles offrent un grand potentiel d'interaction entre différentes applications au travers d'un réseau [25]. Ainsi, un médiateur d'informations orienté services assure trois fonctions [26] :

- la conservation des données et leur mise à disposition auprès des utilisateurs du réseau ;
- la gestion des différentes applications du réseau ;
- l'organisation de la collaboration.

Comme le montre la figure 1, le médiateur fait le lien entre chaque sous-système du réseau. Ce lien est à la fois technique (double traits) et sémantique (double flèches). A la manière d'un commutateur en électricité, il répartit le flux sémantique entre les différents systèmes.

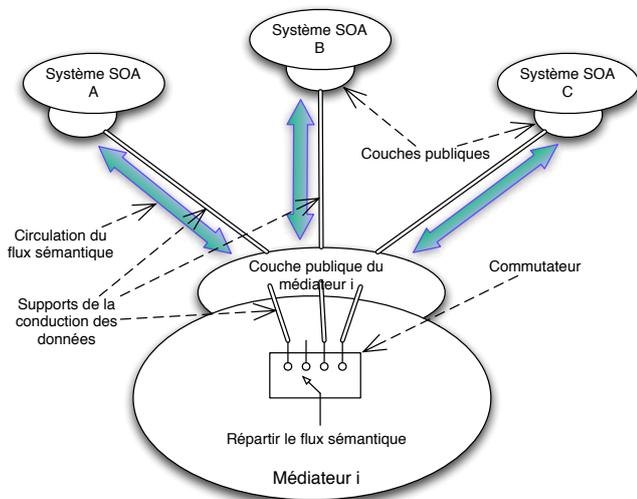


Fig. 1. Les fonctions du médiateur au sein d'une architecture SOA d'après [15]

Zimmermann [20] nuance cependant le choix d'une architecture de type médiateur :

- étant la clef de voûte du système (comme on peut le remarquer sur la figure 1), il devient un passage obligé pour toute information, ce qui peut en faire un goulet d'étranglement pour le flux sémantique ;
- étant le passage obligé de toutes les informations, une défaillance du médiateur entraîne un arrêt du réseau entier.

1. site web : <http://www.eurostep.com/global/solutions/share-a-space-product-suite.aspx>

### E. Le niveau organisationnel

La méthodologie *Model Driven Architecture* (MDA) [27] offre une démarche standardisée d'ingénierie dirigée par les modèles pour la conception d'architectures orientées service. Dans ce cadre, la modélisation des processus d'entreprise est une activité qui arrive au plus tôt. Un grand nombre de langages permettent de modéliser ces processus [28] en vue de leur implémentation sous forme de web services pour l'architecture médiateur ou de workflows dans les systèmes de type PDM ou ERP.

Bien que la méthodologie MDA propose une approche cohérente pour la modélisation des processus et des données, on observe toutefois des découplages de deux ordres :

- l'implémentation des processus et des données utilisent des langages de nature différente ;
- dans le domaine de la conception et la fabrication des produits industriels, les webservices standardisés (OMG PLM Services, OAGIS, PLCS Services [29]) sont d'un niveau de granularité bien plus grossière que ne le sont les données ;

Par conséquent la modélisation conjointe des données et des processus souffre de problèmes intrinsèques conduisant à des incohérences sémantiques. Par exemple, du point de vue des systèmes PDM, ces incohérences apparaissent dans l'architecture même du système : des moteurs de gestion des *workflows* cohabitent avec des bases de données qui stockent la représentation du produit. Le lien processus/données est donc des plus sommaires : la donnée est considérée simplement comme le résultat (le livrable) d'un processus métier. L'historique de l'évolution du produit, dans le système PDM, est alors une succession d'états quasi-statiques (les *révisions*) correspondant aux différents jalons du projet de développement.

Cette observation soulève donc une contradiction, dans la mesure où le système PLM a été précédemment décrit comme fortement dynamique. Ainsi, pour raisonner par analogie avec le domaine de la mécanique générale ou de la thermodynamique, la seule donnée des paramètres d'état d'un système dans une approximation quasi-statique ne permet ni d'expliquer des phénomènes inertiels ou chaotiques, ni de déterminer avec précision les états ultérieurs de ce système. C'est dans ce sens qu'est entendu dans cet article l'incohérence, ou incomplétude sémantique, entre données et processus.

## III. VERS UNE INTEROPÉRABILITÉ FÉDÉRATIVE

L'état de l'art révèle un certains nombres de verrous relatifs à l'interopérabilité, d'ordres à la fois technique, sémantique et organisationnel. L'enjeu consiste donc à proposer une approche globale de l'interopérabilité, qui lève ces verrous. Comme vu au II-C, l'interopérabilité peut s'effectuer sous forme d'intégration, d'unification ou de fédération. Le paragraphe III-A compare ces différentes méthodes d'interopérabilité afin de montrer que la fédération est la meilleure solution pour répondre à notre problématique de recherche. L'approche fédérative doit alors se traduire par la proposition d'une architecture spécifique (III-B) et d'une sémantique adaptée (III-C), qui nécessitent de se placer à un niveau de granularité supérieur et donc d'établir le lien entre données et processus (III-D).

### A. Comparaison des différentes approches de l'interopérabilité

Les trois approches de l'interopérabilité présentent des limites relevées par Hoffmann [30] :

- L'intégration, parce qu'elle recherche un consensus entre les différents acteurs du réseau, ne peut présenter qu'un niveau de compatibilité limité avec chacun des acteurs. D'ailleurs, selon Panetto [31], « l'intégration est souvent considérée comme allant plus loin que l'interopérabilité, en forçant une certaine dépendance fonctionnelles des applications » ;
- L'unification nécessite une connaissance *a priori* des ontologies de chaque pairs du réseau. De plus, il n'existe pas une unique ontologie de plus haut niveau pour le réseau, ce qui implique que celle qui est choisie doit être mise à jour régulièrement en fonction des modifications du réseau.
- La fédération semble plus appropriée pour les SI du PLM, de par le fait qu'elle permette l'échange entre des sources indépendantes, de manière indépendante. Seulement, les résultats actuels dans le domaine de l'interopérabilité fédérative restent encore décevants ;

Pour garantir l'interopérabilité des systèmes complexes, il faut produire une solution dynamique, agile, automatisée et robuste. Ces travaux de recherche s'orientent vers le choix d'une interopérabilité fédérative, plus à même de répondre à ces problématiques. Cela implique de définir une sémantique et une architecture système nouvelles.

### B. Une architecture robuste pour l'interopérabilité fédérative

Pour les systèmes complexes, les solutions techniques actuelles convergent vers une architecture de type médiateur. Seulement, cette solution se trouve vite limitée quand la complexité du système et la quantité d'informations échangées augmentent. Pour s'affranchir des problèmes liés à l'utilisation de médiateurs, Zimmermann [20] propose la méthode ExSI2D (Expansion Structurante-Interpretation-Image du Document). Cette méthode contourne l'utilisation d'un médiateur d'un point de vue technique sans pour autant changer la structure sémantique du réseau. Organisée autour de trois modules (l'initiateur, le fournisseur et la focalisation) et fondée sur l'alignement d'ontologies, elle permet de transmettre (en fait de traduire) l'information entre deux pairs du réseau directement, sans l'utilisation d'un système tiers unique et sans modification de la structure (ontologie) de chaque pair. Elle se situe donc à la frontière entre un système médiateur et un système pair-à-pair. Utilisée dans le cadre de recherche de documents dans les systèmes distribués, son application aux systèmes d'information PLM peut être intéressante. Cependant, elle n'a à l'heure actuelle pas pu être testée sur des systèmes complexes réels, mais uniquement sur des systèmes homogènes ou peu hétérogènes. Ce type de solution technique est particulièrement bien adaptée à l'interopérabilité fédérative, car il permet de s'affranchir totalement des limites des méthodes médiateur existantes puisqu'il en supprime l'usage, tout en garantissant l'emploi d'une sémantique fédérative.

### C. Interopérabilité sémantique : vers un meta-modèle de fédération

Les méthodes actuelles d'unification des données créent un lien direct entre les données de chaque pair du système. Calquées sur les méthodes de gestion des bases de données, elles créent des *mapping* entre les données statiques des bases et les utilisateurs. Avec l'augmentation de la quantité des données et de la diversité des bases, de nouvelles sémantiques ont vu le jour, fondées sur l'utilisation d'ontologies et d'alignement d'ontologies. Une ontologie, selon Gruber [32], est « une spécification explicite d'une conceptualisation ». Elle doit répondre aux cinq critères que sont la clarté, la cohérence, l'extensibilité, une déformation d'encodage minimale et un engagement ontologique minimale. En d'autres termes, l'ontologie est l'expression explicite, minimale et idéalement neutre d'une sémantique. L'alignement d'ontologie est le processus qui permet d'établir les correspondances entre différentes ontologies. Les utilités principales des modèles fondés sur les ontologies sont [33] :

- permettre le transfert de données entre les hommes et/ou les machines ;
- permettre la réutilisation des informations du système ;
- séparer les informations de chaque opérateur du système tout en les transmettant ;
- fonder le savoir du système sur l'analyse formelle de ces informations.

Dans le cas des bases de données, les méthodes utilisent par exemple les opérateurs de composition [34], et plus récemment la théorie des institutions [35], [36]. Cependant ces méthodes ne sont pas directement applicables aux problématiques des systèmes distribués, qui sont fondamentalement différents [37]. En effet, comme l'expliquent Madhavan [38] et Zimmermann [39] la gestion des bases de données a pour but de *répondre à une requête*, tandis que les systèmes distribués doivent eux *raisonner*. On se situe par conséquent à un niveau de granularité supérieur aux méthodes existantes d'unification. Comme l'illustre la figure 2, au lieu d'établir directement les correspondances (*mapping*) entre les systèmes dans une approche d'unification, le but est de créer le lien entre les données des systèmes via l'utilisation d'un méta-modèle qui rapproche les ontologies de chaque système. Si l'on compare à nouveau avec la linguistique, la méthode d'unification revient à effectuer la traduction littérale des termes de chaque langue, à la manière d'un dictionnaire, alors que la méthode fédérative s'appuie sur le sens des mots. Ainsi, peu importe que le mot « metro » se dise « tube » en anglais ou « U-bahn » en allemand. L'important est que pour chaque utilisateur, quelle que soit sa langue, cela représente « un moyen souterrain de transport des passagers ». De plus, si un espagnol entre dans la conversation, il n'est pas nécessaire de faire une nouvelle traduction, il comprendra directement le sens. Le méta-modèle essaye donc de prendre en compte le sens des données pour pouvoir s'affranchir de l'étape de traduction et transmettre automatiquement le flux sémantique d'un système à l'autre.

L'utilisation d'un serveur d'alignement d'ontologies pour le meta-modèle est une piste possible, mais toute autre so-

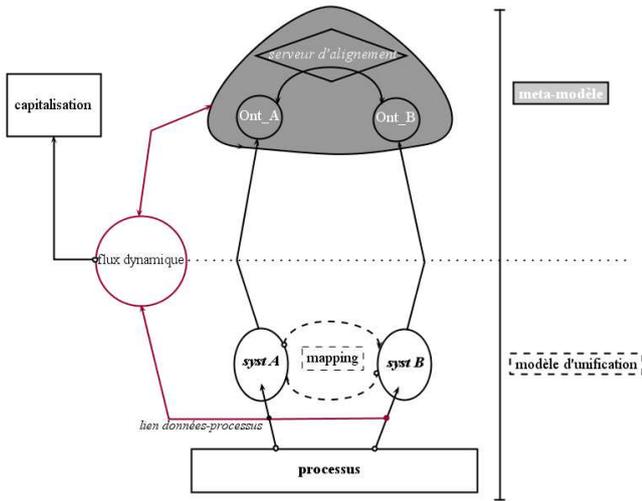


Fig. 2. Un meta-modèle ontologique pour l'interopérabilité fédérative

lution de meta-modèle d'interopérabilité qui réponde au critère peut être envisagée.

Ce schéma évoque également la prise en compte, dans une vision globale de l'interopérabilité, du lien entre données et processus. Considérant que ce lien ajoute de la connaissance aux données, il permet de transformer l'information en un flux dynamique et multi-échelles, qui doit être pris en compte par le meta-modèle. Ce lien doit également servir de base à la capitalisation du savoir-faire de l'entreprise, qui repose certes sur les produits, mais surtout sur les métiers, donc la correspondance avec les processus.

#### D. Un lien entre données et processus

Une approche globale de l'interopérabilité nécessite d'établir le chaînon manquant entre données et processus. Ce lien est capital, car c'est par ce biais que l'information peut devenir une connaissance [40]. L'ensemble de ces connaissances forme le savoir-faire de l'entreprise qui doit être capitalisé et transmis.

La prérogative principale à l'élaboration du lien entre données et processus est la capacité à délimiter exactement le processus. En effet, il existe plusieurs types de processus, et plusieurs façons de les modéliser. L'enjeu est de savoir lequel apporte de la connaissance à l'information, et doit donc y être lié. Nous considérons qu'une intégration plus forte des données et des processus permettrait d'étendre la sémantique portée par les informations. Nous suggérons d'aborder cette intégration au regard d'une analyse multi-échelle consécutive à l'observation d'auto-similarités dans les systèmes PDM. Les critères suivants seront retenus :

- un critère de granularité des données : les échelles de granularité des données (par exemple pour une automobile vis, boîte de vitesses, transmission, véhicule) doivent être mises en regard des échelles temporelles des processus métier (par exemple en production contrat de phase, gamme de fabrication, processus d'industrialisation) ;
- un critère temporel : le cycle de vie du produit est caractérisé par des phases « longues » (phase de conception, de production, d'utilisation etc.) pouvant être découpées en phase plus courtes (pour la phase de

conception, les 4 niveaux établis par Pahl and Breiz) ;

- un critère d'architecture des systèmes d'information suivant le niveau auquel on se situe (niveau local, service, site, entreprise etc.). De ce point de vue, la pertinence des architectures usuelles de type client/serveur devront être mises en concurrence avec des architectures distribuées de type pair-à-pair dans un environnement tendant à se déplacer, d'un point de vue fonctionnel, vers le cloud computing [41].
- un critère qualitatif : certains paramètres peuvent être liés à des décisions jugées critiques par le concepteur ou le producteur. Par exemple, une variation de quelques degrés dans la température de stockage de matières peut dans certains cas être sans conséquence, et dans d'autres cas entraîner une forte dégradation du produit. Ce critère est donc très subjectif et intimement lié au processus métier ;

Le critère granulaire a lui seul montre bien les difficultés de délimitation des processus. Les SI d'information du PLM sont en effet multi-échelles, et soutendent des problèmes d'interopérabilité également multi-échelles. Ils sont par exemple qualifiés d'intra-phase, quand ils se situent entre deux systèmes de la même phase (CAO - PDM) ou inter-phase, quand ils se situent entre deux systèmes de différentes phases (CAO - ERP) [15]. Fort de cela, il paraît alors important que la solution envisagée se fonde également sur une ontologie multi-échelles.

## IV. PERSPECTIVES

Les perspectives de recherche ont pour objectif de creuser chacune des pistes présentées dans la section précédente.

### A. Démarche envisagée

La progression de nos recherches sera déclinée suivant 5 axes donnant lieu à la réalisation d'un ou plusieurs livrables :

- Axe 1 - Modélisation sémantique : définir une ontologie produit/process multi-échelle à même d'harmoniser des modèles de données hétérogènes ;
- Axe 2 - Modélisation logique : définir une sémantique robuste pour l'interopérabilité fédérative
- Axe 3 - Architecture technique : concevoir une architecture distribuée et orientée services permettant de réaliser la fonction d'interopérabilité fédérative ;
- Axe 4 - Scenarios industriels : proposer un ou plusieurs cas d'études modélisant une situation industrielle qui nécessite l'utilisation de SI hétérogènes ;
- Axe 5 - Validation : instancier les modèles et méthodologies associés pour le cas des scenarios industriels précédents.

### B. Apport scientifique

Nous avons choisi de situer notre recherche au carrefour des derniers développements dans les domaines de l'informatique, de l'intelligence artificielle, des sciences de la conception et de la production. Nous avons l'ambition que l'ensemble des livrables définis, accompagnés du travail qui aura été nécessaire à leur réalisation, contribuent à réaliser une interopérabilité fédérative efficace qui tende vers l'automatisation partielle des processus liés à l'amélioration de l'interopérabilité des SI.

## V. CONCLUSION

Dans cet article, les verrous scientifiques liés à la médiation dans le domaine de l'interopérabilité des systèmes d'information ont été identifiés. Une approche fondée sur l'unification des modèles de données et une architecture de type médiateur montre ses limites : une démarche de type fédérative serait plus pertinente pour satisfaire aux objectifs d'agilité, de robustesse et de flexibilité du système d'information. Dans cette optique, nos travaux de thèse visent à proposer une démarche cohérente qui s'appuie conjointement sur :

- la fédération de modèles *via* une description multi-échelle produit/process ;
- un raisonnement permettant d'inférer dynamiquement des modèles de mapping ;
- une architecture distribuée se substituant au médiateur.

Au terme de cette recherche, nous avons l'ambition de proposer un démonstrateur permettant de valider la démarche et les résultats attendus pour un ensemble de scénarios industriels relevant du domaine du Product Lifecycle Management.

## RÉFÉRENCES

- [1] H. BLOOM : Software and computer integrated manufacturing. *Technical report NISTIR 4468*. NIST - National Institute of Standards and Technology, 1990.
- [2] CIMDATA : PLM Market Growth in 2008. 2009.
- [3] F. NOËL et L. ROUCOULES : The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pages 139–145, 2008.
- [4] G. PAHL, W. BEITZ et K. WALLACE : Engineering design : a systematic approach. *Springer Verlag*, 1966.
- [5] B. EYNARD, T. GALLET, P. NOWAK et L. ROUCOULES : UML based specifications of PDM product structure and workflow. *Computers in Industry*, pages 301–316, 2004.
- [6] B. GRABOT, A. MAYÈRE et I. BAZET : ERP systems and organizational change : a socio-technical insight. *Springer Verlag*, 2008.
- [7] J. TARN, D. YEN et M. BEAUMONT : Exploring the rationales for ERP and SCM integration. *Industrial Management and Data Systems*, pages 26–34, 2002.
- [8] E. BARKMEYER, P. DENNO, S. FENG, A. JONES et E. WALLACE : NIST response to MES request for information. *NIST Response to RFI-3 MES Models*, pages 2–4, 1999.
- [9] A. THOMAS et S. LAMOURI : Flux poussé : MRP et DRP. *Techniques de l'ingénieur AG5100*, 2000.
- [10] P. WEGNER : Interoperability. *ACM Computing Survey*, pages 258–287, 1996.
- [11] EIF : European interoperability framework - White paper. pages 1–40, 2004.
- [12] ISO-14258-1998 : Systèmes d'automatisation industrielle - concepts et règles pour modèles d'entreprise. *International Standard Organization*, 1998.
- [13] A. TURSI, H. PANETTO, G. MOREL et M. DASSISTI : Ontological approach for product-centrics information system interoperability in networked manufacturing enterprises. *Annual Reviews in Control*, pages 238–245, 2009.
- [14] T. GALETA, M. KLAJIN et M. KARAKASIC : Product model suited for the ERP system. *9th International Design Conference-Design*, 2006.
- [15] T. PAVIOT : *Méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité dans le domaine du Product Lifecycle Management*. Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 2010.
- [16] S. LEE et Y. JEONG : A system integration framework through development of ISO 10303-based product model for steel bridges. *Automation in construction*, pages 212–228, 2006.
- [17] D. CHEN et F. VERNADAT : Standard on enterprise integration and engineering-state of the art. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pages 235–253, 2004.
- [18] M. PRATT, B. ANDERSON et T. RANGER : Towards the standardized exchange of parameterized feature-based CAD models. *Computer-Aided Design*, 37(12):1251–1265, 2005.
- [19] F. CHAMBOLE : *Un modèle produit piloté par les processus d'élaboration : Application au secteur automobile dans l'environnement STEP*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, 1999.
- [20] A. ZIMMERMANN : *Sémantique des réseaux de connaissances : gestion de l'hétérogénéité fondée sur le principe de médiation*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.
- [21] G. WIEDERHOLD : Mediators in the architecture of future information systems. *IEEE Computer*, pages 38–49, 1992.
- [22] R. ISKANUS : *An agile supply chain for a project-oriented steel product network*. Thèse de doctorat, 2006.
- [23] E. GUYOT, G. DUCELLIER, B. EYNARD, P. GIRARD et T. GALLET : Product data and digital mock-up exchange based on PLM. *Proceedings of the PLM07 conference*, 2007.
- [24] D. BOOTH, H. HAAS, F. MCCABE, E. NEWCOMER, M. CHAMPION, C. FERRIS et D. ORHCARD : Web services architecture. *WSC working group note*, 2004.
- [25] K. GOTTSCHALK : Web services architecture overview. *IBM white paper, IBM developer Works*, 1er septembre 2000.
- [26] F. BÉNABEN, J. TOUZI, V. RAJSIRI et H. PINGAUD : Collaborative information system design. *AIM Conference*, 2006.
- [27] OMG : <http://www.omg.org/mda>, 2010.
- [28] W.M.P. van der AALST et K.M. van HEE : Workflow management : Models, methods, and systems. *MIT press, Cambridge, MA*, 2002.
- [29] X. FIORENTINI et S. RACHURI : STEP-OAGIS harmonization joint working group. *National Institute of Standards and Technology*, 2009.
- [30] P. HOFFMANN : *Similarité sémantique inter-ontologies basée sur le contexte*. Thèse de doctorat, Université Claude-Bernard - Lyon 1, 2008.
- [31] H. PANETTO : Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production. 2006. Habilitation à Diriger des Recherches. Université Henri Poincaré - Nancy 1.
- [32] T. GRUBER : Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human Computer Studies*, pages 907–928, 1995.
- [33] Aristeidis MATSOKIS et Dimitris KIRITSIS : An ontology-based approach for product lifecycle management. *Computers in industry*, pages 787–797, 2010.
- [34] A.Y. BERNSTEIN, P.A. HAVELY et R.A. POTTINGER : A vision for management of complex models. *SIGMOD Record*, pages 55–63, 2000.
- [35] J.A. GOGUEN : Data, schema and ontology integration. *CombLog workshop*, 2004.
- [36] J.A. GOGUEN et R.M. BURSTALL : Institutions : abstract model theory for specification and programming. *Journal of the ACM*, pages 95–146, 1992.
- [37] Y. KALFOGLOU et M. SCHORLEMMER : The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *Semantic Interoperability and Integration, Dagstuhl Seminar Proceedings*, 2005.
- [38] P.A. MADHAVAN, J. BERNSTEIN, P. DOMINGOS et A.Y. HALEVY : Representing and reasoning about mappings between domain models. *Poc. 18th AAAI'02*, pages 80–86, 2002.
- [39] A. ZIMMERMANN et J. EUZENAT : Three semantics for distributed systems and their relations with alignment composition. *ISWC 2006, LNCS 4273*, pages 16–29, 2006.
- [40] S. TSUCHIYA : Improving knowledge creation ability through organizational learning. *Proceedings of International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge, IS-MICK, Compiègne*, 1993.
- [41] P. MELL et T. GRANCE : The NIST definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*, 2009. <http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/>.