

# Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise: Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES)

Omar Sakka

#### ▶ To cite this version:

Omar Sakka. Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise: Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES). Gestion et management. INSA de Lyon, 2012. Français. NNT: 2012ISAL0020. tel-00743553

## HAL Id: tel-00743553 https://theses.hal.science/tel-00743553

Submitted on 19 Oct 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.

#### Thèse

# Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise - Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES)

Présentée devant L'institut national des sciences appliquées de Lyon

Pour obtenir Le grade de docteur

École doctorale Ecole Doctorale Informatique et Mathématiques

Par Omar Sakka (Ingénieur)

Soutenue le 21 mars 2012 devant la Commission d'examen

#### Jury MM.

Khalid Benali	Maître de conférences HDR, Université de Lorraine	Examinateur
Valérie Botta-Genoulaz	Professeur, INSA de Lyon	Directeur
Xavier Boucher	Professeur, Ecole des mines de St-Etienne	Examinateur
Virginie Goepp-Thiebaud	Maître de conférences, INSA de Strasbourg	Invitée
Alain Guinet	Professeur, INSA de Lyon	Examinateur
Pierre Maret	Professeur, Université Jean Monnet St-Etienne	Rapporteur
Pierre-Alain Millet	Maître de conférences, INSA de Lyon	Co-directeur
Hervé Panetto	Professeur, Université de Lorraine	Rapporteur
Hervé Verjus	Maître de conférences, Université de Savoie	Examinateur

Laboratoire de recherche : DISP, Décision et Information pour les Systèmes de Production.

# Alignement sémantique de référentiels d'entreprise - Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES)

#### Résumé

L'interopérabilité entre applications d'entreprise est une problématique à multiples facettes. Pour y répondre, nous avons investigué l'alignement sémantique des connaissances sur les processus et objets métier supportés par les différentes applications d'entreprise. Ces connaissances sont souvent hétérogènes selon les métiers et implémentées de manières diverses, engendrant ainsi des conflits sémantiques dues aux différentes interprétations des acteurs. Nous étudions l'identification de correspondances et/ou de conflits sémantiques entre ces connaissances, plus particulièrement dans le domaine des applications de gestion d'atelier (MES – Manufacturing Execution System). Nous proposons une démarche de formalisation de ces connaissances sous la forme d'un référentiel standardisé conforme à la norme ISO 62264 : "le référentiel MES", ainsi qu'une démarche d'enrichissement de ce référentiel par alignements successifs avec d'autres normes et/ou référentiels. Nous définissons ainsi formellement un méta-modèle qui décrit les relations sémantiques entre les éléments des référentiels à aligner, et des règles de contrôle sémantique pour garder la cohérence du référentiel MES et sa conformité au standard. Enfin, nous présentons une démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES pour aider à la mise en œuvre des applications d'entreprise. Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre d'un projet de Recherche et Développement soutenu par le cluster économique EDIT de la région Rhône-Alpes, et sur ses résultats ont été utilisés dans une nouvelle offre de « MES à la carte ».

**Mots-Clés** : Alignement sémantique, Interopérabilité, Référentiel, Modélisation de processus, MES

# Semantic alignment between Enterprise Repositories - Application to manufacturing execution systems (MES)

#### **Abstract**

Interoperability between enterprise applications is a multifaceted problem. In response, we have investigated the semantic alignment of business process and object knowledge supported by enterprise applications. This knowledge is heterogeneous across business and is implemented in different ways, generating semantic conflicts due to different interpretations of the actors. We study the identification of correspondences and/or conflicts between semantic knowledge, especially in the field of Manufacturing Execution System (MES). We propose an approach to formalize knowledge as a standardized repository ISO 62264 compliant: the "MES repository", and an approach to enhance the MES repository by successive alignments with other standards and/or repositories. Thus, we formally define a meta-model that describes the semantic relationships between elements of the aligned repositories, and semantic control rules to keep MES repository consistency and its ISO compliance. Finally, we present an approach to align customer needs with the MES repository, in order to assist the implementation of enterprise applications. This PhD thesis was conducted as part of a research and development project supported by the economic Cluster Edit (Rhône-Alpes, France), and its results have been used in the new proposal "on demand MES".

Keywords: Semantic alignment, Interoperability, Repository, Process modeling, MES

A ma famille, qui est et restera le moteur de ma vie. Je vous aime.

### Remerciement

Ces quelques lignes désignent la clôture de cette thèse ainsi que l'achévement de trois années de travail, de recherche et de collaboration réalisés au sein du laboratoire DISP (Décision et Information pour les Systèmes de Production).

Je tiens à remercier très sincèrement mes directeurs de thèse : Mme *Valérie Botta-Genoulaz*, professeur des universités et directrice du DISP, et M. *Pierre-Alain Millet*, maître de conférence à l'INSA de Lyon, qui ont encadré, accompagné, soutenu et contrôlé mon travail de recherche. Avoir été formé sous leur direction, a été une expérience extrêmement riche, nos nombreux échanges m'ont été d'un appui considérable.

Je remercie mes rapporteurs M. Hervé Panetto et M. Pierre Maret pour l'attention qu'ils ont donné à ma thèse. Je remercie également les membres du jury : Mme Virginie Goepp, M. Khalid Benali, M. Xavier Boucher, M. Alain Guinet et M. Hervé Verjus qui ont accepté d'examiner et de discuter de mon travail.

J'aimerais également adresser mes remerciements à toute l'équipe du *projet MES*. Nos réunions ont toujours été fructueuses et agréables. L'aboutissement au produit *MESTRIA* est la preuve de trois ans de collaborations riches et productives.

Je tiens aussi à remercier M. *Jean Vieille* pour nos longues journées de travail. Son expertise et sa pertinence m'ont poussé à donner de mon mieux.

Mes remerciements s'adressent à toutes les personnes que j'ai côtoyées au DISP durant ces trois ans avec qui j'ai partagé des moments agréables. J'ai une pensée particulère à : Rym, Nadira, Anastasie, Selma, Tasseda et Khaled.

Mes profonds remerciements iront à mes chers paents *Chedly* et *Amel*, ma sœur *Hlima* et mon frère *Mustapha* pour leur amour, leur confiance et leur soutien pendant ces longues années d'études et d'absence.

Enfin, j'aimerais remercier tout particulièrement ma fiancée *Rim,* pour sa présence et son affectation. Tu as réussi à me supporter pendant cette pahse finale de la réalisation de ma thèse. Je t'en serai reconnaissant.

# Table des matières

Chapitr	e I. Contexte et problématique	11
1.1	Contexte industriel	12
1.2	Problématique scientifique de la thèse	1
Chapitr	e II. Etat de l'art	2:
2.1.	Définitions et concepts	2
2.2.	Modélisation d'entreprise	3
2.3.	Référentiels et normes métier pour l'entreprise	3
2.4.	De l'interopérabilité à l'alignement	4
2.5.	Conclusion	5!
-	e III. "Référentiel MES" orienté ISO/IEC 62264 pour l'alignement : Démai truction et Utilisations	
3.1.	Cadre de modélisation et méta-modèle	
3.2.	Construction du référentiel MES orienté ISO/IEC 62264	6
3.3. référe	Démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement avec d'autres entiels	7:
3.4.	Démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES	8
3.5.	Conclusion	9
Chapitr	e IV. Applications dans le cadre du « projet MES »	<b>9</b> :
4.1.	Plateforme de modélisation	10
4.2.	Référentiel MES orienté ISO/IEC 62264 (ISA-95)	10
4.3.	Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES avec le modèle SCOR	11
	Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES par les éléments de la couche onnelle	
4.5.	Contribution aux scénarios « MESTRIA »	11
4.6.	Conclusion	12
Chapitr	e V. Conclusions et perspectives	
Annexe	I. Liste des modèles d'objets définis dans la norme ISO/IEC 62264	12
	II. Liste des modèles d'activités définis dans la norme ISO/IEC 62264 : tion au domaine de la "production"	13

Annexe III.	Les fonctions du processus MAKE du modèle SCOR (V 9.0)	141
Annexe IV.	Extraits de la cartographie des opérations de service web	149
Annexe V.	Extraits du contenu du référentiel MES	153
Annexe VI.	Liste des figures	183
Annexe VII.	Liste des tableaux	187
Annexe VIII.	Bibliographie	189

# Chapitre I. Contexte et problématique

1.1 Co	ontexte industriel	12
1.1 1.	Présentation du projet R&D "MES"	12
1.1 2.	Attentes du projet	13
1.1 3.	Notre positionnement dans le projet	14
1.2 Pr	oblématique scientifique de la thèse	15
1.2.1.	Introduction à la problématique	15
1.2.2.	Objectifs de la thèse	16
123	Organisation du document	19

### 1.1 Contexte industriel

## 1.1 1. Présentation du projet R&D "MES"

Mené en Rhône-Alpes au sein du Cluster Edit<sup>1</sup> et piloté par Thésame<sup>2</sup>, le projet de **R**echerche et **D**éveloppement "MES" a démarré en novembre 2008 pour une durée de trois ans. Ce projet, reconnu pour sa démarche originale et son caractère technique innovant, a bénéficié du soutien financier du Conseil Régional Rhône Alpes<sup>3</sup>, de l'Europe<sup>4</sup> et de la Direccte<sup>5</sup> (Directions Régionales des Entreprises, de la Concurrences, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi).

Ce projet a regroupé sept éditeurs de solutions logicielles de la région Rhône Alpes et deux laboratoires de recherche. Il avait pour but d'intégrer des solutions logicielles dans le domaine du MES (**M**anufacturing **E**xecuting **S**ystem), et devait permettre aux éditeurs participants :

- d'intégrer dans leurs produits, les normes et référentiels métier qui supportent des bonnes pratiques et des échanges,
- d'intégrer dans leurs produits, les technologies permettant l'interopérabilité,
- de permettre à leurs produits de s'intégrer dans une architecture de système d'information piloté par les processus,
- de fournir des outils d'industrialisation du déploiement de leurs solutions.

Chacun des acteurs du projet participait, avec une ou plusieurs briques de sa solution logicielle et avait ses propres attentes :

- Alpha 3i : http://www.alpha3i.com :
  - o Participation : Acquisition de données et gestion de production ordonnancement, collecte de données et analyse des performances.
  - O Attentes:
    - Intégrer de nouvelles technologies d'intégration dans un système d'information,
    - Intégrer les normes d'échange en vigueur dans leurs produits.
- Carl Software :http://www.carl-software.fr
  - o Participation : GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur).
  - Attentes:
    - Ouverture de nouvelles perspectives technologiques,
    - Anticiper l'évolution du marché industriel vers une intégration informatique accrue.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> http://www.cluster-edit.org/fr/

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> http://www.thesame-innovation.com/

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> http://www.rhonealpes.fr/

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> http://www.europe-en-rhonealpes.eu/

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>http://direccte.gouv.fr/La-Direccte-un-interlocuteur-unique-pour-les.html

- Cincom: <a href="http://www.cincom.com">http://www.cincom.com</a>
  - Participation: ECM (Gestion de Contenu d'Entreprise).
  - Attentes:
    - Un partenariat accru avec les partenaires du projet,
    - Bénéficier de la richesse des échanges techniques.
- Courbon: http://www.courbon.fr
  - Participation: MES (Manufacturing Execution System), le pilotage, la traçabilité et la performance des processus industriels.
  - Attentes:
    - Permettre à leurs logiciels d'être ouverts et communicants,
    - Intégration des logiciels MES dans une architecture globale du système d'information;
    - Mettre en œuvre cette architecture.
- Quasar: http://www.guasar-solutions.fr
  - Participation : Contrôle et gestion de la qualité.
  - O Attentes:
    - Apporter un savoir-faire pour les solutions de contrôle de la qualité,
    - Construire à partir d'expériences solides les briques d'un outil global de pilotage des activités de fabrication.
- JAM France : http://www.jamfrance.com
  - Participation: Traçabilité et d'acquisition de données automatique.
  - O Attentes:
    - Proposer, à partir de partenariats avec les éditeurs du projet, une solution complète, communicante et modulable.
- M1i: http://www.m1i.fr
  - Participation : Agilium, logiciel de modélisation et pilotage des processus métier.
  - O Attentes:
    - Intégrer de nouvelles normes d'échange,
    - Ouvertures de nouvelles perspectives commerciales et technologiques,
    - S'inscrire dans une dynamique de réseau d'éditeurs permettant de proposer une offre globale et modulaire à partir de briques spécialisées.

La participation des deux laboratoires à travers deux thèses portait sur les verrous technologiques et scientifiques liés à la mise en œuvre d'une solution "MES à la carte". Cela concernait la dimension de l'interopérabilité technologique pour le LISTIC et de l'interopérabilité sémantique pour le DISP.

## 1.1 2. Attentes du projet

L'objectif global du « projet MES » était la mise sur le marché d'un produit « MES On Demand » réunissant les offres complémentaires des différents éditeurs, partenaires du

#### **Omar SAKKA**

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

projet. L'intérêt pour les entreprises utilisatrices d'un tel produit réside dans le fait que, quelle que soit leur taille, elles pourront configurer leur propre solution MES en choisissant les fonctionnalités qui répondent à leurs besoins.

Le projet avait donc pour ambition de développer une solution MES souple et à la carte à partir des solutions des éditeurs. Le consortium avait fixé quatre objectifs prioritaires :

- Favoriser le développement économique de chaque éditeur par rapport à la concurrence nationale et internationale, en étant plus pertinent dans l'intégration d'offres complémentaires et concurrentes;
- Encourager la « R&D » collective autour d'une méthodologie et d'un outil logiciel innovant d'intégration d'applications ;
- Créer un nouveau marché lié au « MES multi-applications » inexistant à ce jour en France et en Europe.

La recherche représentée par le travail des deux thèses a permis au consortium d'utiliser et de développer de nouvelles approches, méthodes et démarches afin d'assurer l'interopérabilité entre les différentes solutions des éditeurs, contribuant ainsi à la construction d'une « solution MES multi applications pilotée par les processus métier ». Cette solution repose sur une architecture orientée services (SOA) et est conforme au standard ISA-95 (norme ISO/IEC 62264).

L'architecture globale du projet MES cible est représentée dans la Figure 1. 1 :

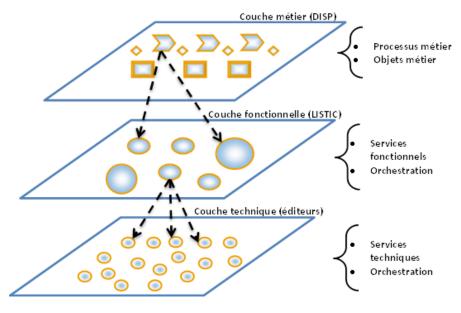


Figure 1. 1. Architecture globale du "projet MES"

## 1.1 3. Notre positionnement dans le projet

Le contexte de ce projet R&D est caractérisé par une double hétérogénéité. On peut définir d'une part, l'hétérogénéité au niveau technique constatée par les différentes solutions des

éditeurs et d'autre part, l'hétérogénéité au niveau des connaissances métier. Cette dernière engendre des conflits « sémantiques<sup>6</sup> » métier dues aux différentes interprétations des acteurs et/ou au "codage" des différentes applications.

Le « projet MES » s'articulait donc autour de deux principaux axes de travail complémentaires et fortement liés (l'interopérabilité métier et l'interopérabilité technique) qui étaient portés chacun par une thèse de doctorat, un encadrement de laboratoire, et les partenaires éditeurs du projet.

Notre positionnement dans le « *projet MES* » répondait à la nécessité d'étudier l'interopérabilité au niveau des connaissances métier entre les différentes applications des éditeurs. Ceci nécessitait de formaliser la représentation de ces connaissances pour permettre leur partage et leur utilisation dans le projet.

Les actions que nous avions identifiées pour notre partie métier étaient :

- Fournir un état des lieux des principales normes et référentiels métier,
- Formaliser les connaissances métier sur les processus et les objets métier, supportés par les applications des éditeurs et leurs interactions, conformément à la norme ISO/IEC 62264 (ANSI ISA-95) et dans l'objectif d'assurer la cohérence sémantique de référentiels ou normes hétérogènes,
- Assurer la cohérence entre les propositions d'intégration technique proposée par le LISTIC et nos propositions,
- Confronter nos propositions aux pratiques des éditeurs en décrivant un ou des cas de projet client.

## 1.2 Problématique scientifique de la thèse

# 1.2.1. Introduction à la problématique

De nos jours, les exigences du marché qui ne cessent d'évoluer poussent les entreprises à chercher de nouvelles solutions et techniques pour bâtir des systèmes d'information (S.I.) bien alignés avec leurs besoins et stratégies. Ceci est dû à leurs rôles primordiaux dans l'entreprise, puisqu'ils sont devenus un des principaux axes de développement pour l'entreprise et un des facteurs clés de sa performance. Ce challenge industriel se traduit par le besoin des entreprises en « intégration ». Ce concept peut être vu comme étant le processus qui « consiste à faire inter-opérer fortement les personnes, les machines et les applications afin d'accroître la synergie au sein de l'entreprise » [106]. En ce qui concerne le S.I., l'intégration concerne essentiellement les briques applicatives qui le constituent. Ces dernières doivent absolument communiquer entre elles en échangeant la bonne information au bon moment pour permettre à l'utilisateur de pendre la bonne décision. Dans certains cas, cette intégration est "faible", les systèmes constituants sont faiblement couplés pour préserver leur hétérogénéité et leur autonomie. Il s'agit de l'« interopérabilité » des applications. Cette interopérabilité est alors considérée comme

**Omar SAKKA** 

-

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> A l'origine, le terme "sémantique" vient du grec "semantikos" ("qui signifie")

une forme fondamentalement plus souple que l'intégration dans la mesure où les systèmes composants sont censés préserver leur identité. Dans ce sens, l'interopérabilité des applications constitue un des moyens qui peut faciliter l'intégration.

De nombreux projets et travaux de recherche ont été menés pour développer et concevoir de nouvelles approches et architectures d'entreprises pour assurer l'interopérabilité aux niveaux technique et sémantique des systèmes. L'apparition de l'approche service, qui devient de plus en plus mûre à travers l'utilisation des standards Web, semble apporter de solides réponses aux problématiques de l'interopérabilité technique. Toutefois, l'interopérabilité au niveau sémantique demeure toujours l'enjeu majeur pour l'interopérabilité des systèmes. En effet, il est primordial que les applications d'entreprise arrivent à interpréter de la même façon les données échangées et les fonctions réutilisées. Des conflits sémantiques peuvent surgir lors de l'échange entre deux applications. Ces conflits peuvent concerner les données [27] mais aussi la logique métier des applications [11]. Il devient vital que l'identification des conflits qui en résultent, puis leur résolution se fassent le plutôt possible, de préférence dès les phases amont d'un projet d'intégration. La résolution de ces hétérogénéités sémantiques nécessite la mise en place de mécanismes permettant la découverte des zones de correspondance et/ou de conflit sémantique entre applications. On parle de l'« alignement sémantique » entre applications.

Actuellement, les efforts dans le domaine de l'alignement sémantique se basent principalement sur l'utilisation des « *ontologies* ». La plupart de ces initiatives en cours de développement affirment qu'un « alignement automatique » ne peut être que très partiel. Par conséquent, l'alignement sémantique entre applications constitue une problématique toujours ouverte dans le contexte de l'intégration et de l'interopérabilité des systèmes qui nécessite un processus/démarche d'alignement. En particulier, l'alignement sémantique apparaît comme un réel besoin dans le contexte spécifique du « *projet MES* ».

# 1.2.2. Objectifs de la thèse

Dans ce travail de recherche, nous cherchons à fournir des solutions pour la problématique d'alignement sémantique entre les connaissances métier des différents partenaires du « projet MES ». Pour cela, nous cherchons à formaliser les connaissances sur les processus et objets métier qui sont supportés par les applications des éditeurs et leurs interactions conformément à des normes/standards métier. Ces connaissances sont hétérogènes selon les métiers et les acteurs et sont implantées de manières diverses dans chaque application. La consistance et la cohérence de leur implantation par les éditeurs sont donc des enjeux cruciaux. Ceci nécessite une représentation formalisée et unique permettant leur partage et leur utilisation dans le « projet MES ». Dans ce sens, l'idée de créer un "référentiel" unique pour le projet qui regroupe et formalise l'ensemble des connaissances métier est intéressante. En effet, ce référentiel sera une base métier riche qui peut contribuer à la gestion de projet pour identifier les fonctions et les objets métier. Il permet aussi d'assurer une certaine "agilité" métier puisqu'il offre la possibilité de réutiliser, modifier et créer de nouveaux processus métier à partir de sa base de connaissances métier. Il permet aussi,

indépendamment des plateformes techniques de chaque application, de proposer une définition sémantique d'un projet client comme un ensemble de processus et objets métier.

Dans ce contexte, marqué par le choix d'une architecture orientée services d'une part, et pilotée par les processus métier d'autre part, nous allons étudier deux problématiques d'alignement sémantique au niveau métier et la faisabilité du rapprochement entre les connaissances métier et les fonctionnalités exposées des applications formalisées dans un seul référentiel. Les verrous scientifiques de la thèse se traduisent ainsi par trois alignements qui correspondent aux trois étapes suivantes :

- 1. La construction d'un référentiel, à partir de normes et standards métier, sous forme d'objets et processus métier que nous appelons le "référentiel MES". Ce référentiel doit contenir l'ensemble des connaissances métier issues des différentes applications et expertises des éditeurs. Il doit être aussi réutilisable dans une solution adaptée à une architecture orientée service. Nous étudions ainsi l'alignement des opérations de services web fournies par les éditeurs du « projet MES » vers les éléments du référentiel MES.
- 2. L'enrichissement du référentiel MES par d'autres normes/référentiels métier tout en gardant sa conformité à la norme choisie. Il s'agit d'aligner sémantiquement les connaissances sémantiques d'un référentiel "A" vers celles du référentiel MES. Nous identifions et résolvons alors les hétérogénéités sémantiques entre ces deux référentiels.
- 3. L'utilisation du référentiel MES dans la gestion des projets client. Ce dernier formalise ses besoins sous forme d'objets et processus métier en se basant sur le contenu du référentiel MES. Nous étudions donc l'alignement sémantique des besoins client sur notre référentiel.

La Figure 1. 2 expose l'ensemble de ces trois alignements dans l'ordre cité ci-dessus.

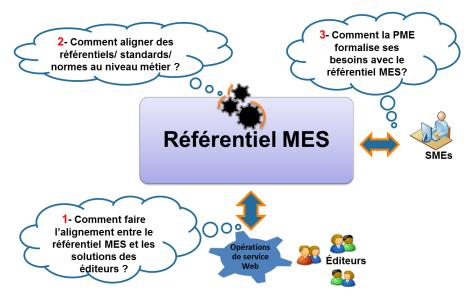


Figure 1. 2.Les verrous scientifiques de la thèse

# 1.2.3. Organisation du document

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Le Chapitre II porte sur l'état de l'art en matière de techniques et démarches pour l'interopérabilité des systèmes. Nous commençons ce chapitre par une étude des méthodologies et des normes et cadres de modélisation d'entreprise. Nous introduisons par la suite la notion de l'interopérabilité entre systèmes. Nous accordons un intérêt plus particulier à la problématique d'interopérabilité sémantique entre systèmes et nous présentons la notion d'alignement sémantique comme une éventuelle solution. Enfin, nous présentons une étude sur les problématiques de l'hétérogénéité sémantique et quelques techniques d'alignement sémantique basées sur les ontologies.

Le Chapitre III est consacré à la présentation de nos contributions scientifiques. Il comporte quatre principales sections. La première section présente la phase d'outillage qui consiste à la définition de notre cadre de modélisation et notre méta-modèle. Sur cette base, nous présentons dans la deuxième section notre démarche de construction du référentiel MES conforme à la norme ISO/IEC 62264, répondant ainsi au premier verrou scientifique. La section trois répond à la deuxième problématique scientifique en détaillant notre démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement sémantique avec d'autres référentiels métier. Quant à la quatrième section elle répond à la dernière problématique en montrant notre deuxième démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES.

Le Chapitre IV porte sur l'implémentation et l'expérimentation de nos démarches sur la plateforme ARIS SOA Architect et nos contributions dans le cadre du « *projet MES* ».

Enfin, ce mémoire est clos par le Chapitre V qui propose une synthèse et un bilan du travail effectué durant cette thèse et un ensemble de perspectives liées notamment à la poursuite de ce travail ainsi qu'aux nouveaux thèmes de recherche qui nous paraissent les plus pertinents.

La Figure 1. 3 résume les différents chapitres présentés ainsi que les relations entre eux.

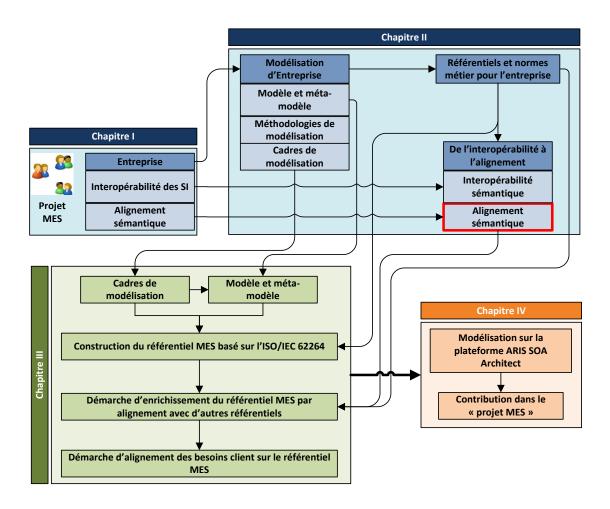


Figure 1. 3. Organisation et relations des différents chapitres de la thèse

# Chapitre II. Etat de l'art

2.1. De	rinitions et concepts	22
2.1 1.	Entreprise	22
2.1 2.	Système d'information	
2.1 3.	Architectures d'entreprise et S.I.	
2.1 4.	L'architecture orientée service	
2.1 5.	Les systèmes d'information de fabrication	26
2.1.5.	1. Hiérarchie fonctionnelle	27
2.1.5.	Caractéristiques des applications de l'entreprise	29
2.1.5.	3. Besoin en intégration	29
2.1 6.	Interopérabilité des systèmes	
2.2. M	odélisation d'entreprise	32
2.2 1.	Modèle et méta-modèle	33
2.2 2.	Méthodes de modélisation d'entreprise	33
2.2.2.	1. Méthodes opérationnelles	34
2.2.2.	2. Méthodes orientées architectures de référence	34
2.2 3.	Cadres de modélisation	35
2.2.3.	Aperçu sur quelques cadres de modélisation	35
2.2.3.	2. La norme CEN/ISO 19439	36
2.3. Ré	férentiels et normes métier pour l'entreprise	38
2.3 1.	IEC/ISO 62264 : norme orientée « Intégration »	39
2.3 2.	Le modèle SCOR : un référentiel orienté « chaîne logistique »	43
2.3 3.	STEP : norme orientée « produit »	45
2.3 4.	ISO 9001 : norme orientée « qualité »	46
2.3 5.	NF EN 13306 X 60-319 : norme orientée « maintenance »	46
2.4. De	l'interopérabilité à l'alignement	47
2.4 1.	L'interopérabilité	47
2.4.1.	1. L'interopérabilité et SOA	47
2.4.1.	2. Les projets ATHENA & UEML	48
2.4 2.	L'alignement	50
2.4.2.	1. Notion d'alignement	50
2.4.2.	2. Alignement sémantique	51
2.5. Co	nclusion	55

Dans ce chapitre, nous commençons par présenter les concepts de base nécessaires pour aborder notre problématique (section 2.1). Nous enchaînons ensuite par une étude sur la modélisation d'entreprise (section 2.2) car il est primordial de connaître les éléments qui constituent notre objet d'étude : l'entreprise. Nous poursuivons en section 2.3 par une étude sur quelques normes et référentiels métier du domaine étudié pour introduire par la suite la notion de l'interopérabilité des systèmes (section 2.4). Nous accordons un intérêt plus particulier à la problématique d'interopérabilité sémantique entre systèmes et nous présentons la notion d'alignement sémantique comme une éventuelle solution à cette problématique.

# 2.1. Définitions et concepts 2.1 1. Entreprise

Une entreprise peut être considérée comme une organisation, une structure juridique, une réalité sociale, économique.... Dans la littérature, l'entreprise est définie de diverses manières et selon certains points de vue. Dans le cadre de nos travaux, nous ne nous intéressons pas aux aspects liés aux considérations sociales ou sociétales, au marché économique, à la performance de l'entreprise et sa stratégie... mais plutôt à l'aspect fonctionnel de l'entreprise, qui représente les différentes tâches existantes d'une entreprise, et à l'aspect comportemental de l'entreprise à partir des processus décrivant son fonctionnement interne, que nous appelons processus métier. Dans ce sens, l'entreprise est vue comme un « un système sociotechnique motivé par un ou plusieurs buts et objectifs. Elle possède une complexité apparente à la fois structurelle et organisationnelle. Ce système est ouvert, car il possède des relations avec des entités extérieures et est dynamique, sa structure et son organisation n'étant pas figées dans le temps. » [104].

Selon Izza [50], une entreprise est le « siège d'activités les plus diverses visant à créer de la valeur et dans laquelle l'information est considérée comme une essence et une ressource vitale pour son fonctionnement ».

D'après ces deux définitions, l'entreprise est perçue comme un « système sociotechnique » dont l'information joue un rôle primordial, ce qui rejoint l'approche de Le Moigne [64] qui décrit l'entreprise comme un système de systèmes : le système opérant, le système de pilotage et le système d'information (S.I.) qui relie les deux systèmes précédents en assurant la collecte, le traitement, le stockage et la diffusion des informations (voir Figure 2. 1).

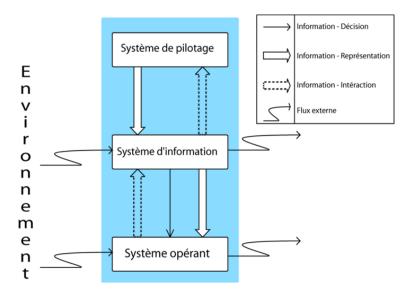


Figure 2. 1. L'entreprise : un système de systèmes [64]

## 2.1 2. Système d'information

La définition du système d'information (S.I.) a évolué au fil des années. Elle était très rattachée à l'aspect « informatique » qui collecte, traite et transforme les données en informations pour enfin les redistribuer aux différents niveaux de l'entreprise [1, 64]. Cette vision restrictive du S.I. a été étendue à partir des années 2000. Reix [87] considère le S.I. comme « un ensemble organisé de ressources : matériel, logiciel, personnel, données, procédures permettant d'acquérir, traiter, stocker, communiquer des informations (sous forme de données, textes, images, sons, etc.) dans l'organisation », augmentant ainsi le rôle du S.I. dans l'entreprise. Une distinction claire entre le S.I. et le système informatique a été donnée par Morley et al. [80] qui définissent le S.I. comme « la partie réelle constituée d'informations organisées et d'acteurs qui agissent sur ces informations ou à partir de ces informations, selon des processus visant une finalité de gestion et utilisant des technologies de l'information. ».

Un S.I. peut contenir une ou plusieurs applications pour répondre à un ou plusieurs besoins de l'entreprise. Selon Le Roux [65], une application est caractérisée par :

- Le ou les champs d'application définis soit structurellement (un poste de travail, un département, etc.) soit fonctionnellement (une fonction de gestion telle que la gestion des commandes, etc.);
- Les fonctionnalités (ensemble de tâches) prises en charge par l'application. Les composants applicatifs qui représentent des sous-ensembles cohérents (modules logiciels) de l'application;
- Les données manipulées par l'application (utilisées et produites) ;
- Les différentes ressources utilisées par l'application (humaines, logicielles, et matérielles).

Nous entendons par « application » une application informatique qui est un ensemble de programmes articulés entre eux dans le but d'assister et traiter l'information dans un domaine particulier dans l'entreprise.

# 2.1 3. Architectures d'entreprise et S.I.

Selon les recommandations de l'ANSI/IEEE Std 1471-2000 [38], une architecture d'un système est définie par : « the fundamental organization of a system, embodied in its components, their relationships to each other and the environment, and the principles governing its design and evolution. ». Nous retrouvons dans cette définition les notions d'organisation, de composants, de relations et d'évolution d'un système.

En ce qui concerne le domaine d'entreprise, nous identifions plusieurs définitions de l'architecture d'entreprise dans la littérature. Schekkerman [95] défini l'architecture d'entreprise comme « l'ensemble des processus métier, des applications, des technologies et des données qui supportent la stratégie métier de l'entreprise ». Une définition plus détaillée et a été proposée par Minoli [79] : « An enterprise architecture is a plan of record, a blueprint of the permitted structure, arrangement, configuration, functional groupings/partitioning, interfaces, data, protocols, logical functionality, integration, technology, of IT resources needed to support a corporate or organizational business function or mission. ». Cette définition regroupe plusieurs éléments et ressources de l'entreprise pour supporter son organisation.

Au sens système d'information, Morley et al [80] définissent une architecture de S.I. comme « une représentation abstraite des différentes parties du système d'information qui permet des décisions globales et de s'assurer de la pertinence de l'assemblage, notamment la cohérence et l'efficience technique... ». L'architecture vise alors à structurer un S.I. en termes de constituants et organiser ces constituants en tenant compte des multiples niveaux de conception, des aspects de modélisation, du degré de généricité du système...

Les notions d'architecture d'entreprise et d'architecture de S.I. sont fortement liées. En effet, une entreprise peut évoluer au cours du temps en fonction de ses objectifs et contraintes métiers. Ceci engendre nécessairement l'évolution de son architecture. Cette évolution passe nécessairement par la définition d'une architecture flexible de son S.I. pour supporter l'ensemble de ces évolutions [102].

# 2.1 4. L'architecture orientée service

Il existe plusieurs façons de définir et de percevoir une architecture orientée service (Service Oriented Architecture : SOA). Certaines définitions se concentrent sur les aspects techniques de l'architecture orientée service et d'autres sur les aspects métier.

Krafzig et al. [61] mettent l'accent sur l'aspect technique d'une architecture orientée service, ils la définissent ainsi : « A Service-Oriented Architecture (SOA) is a software architecture that is based on the key concepts of service, service repository, and service bus. A service consists of a contract, one or more interfaces, and an implementation. ». Par

conséquent, une architecture orientée service consiste en une architecture applicative qui utilise un ou plusieurs services. Ces services sont publiés dans des registres de services et la communication entre ces services est assurée par un bus de service ou par une orchestration de services.

D'un point de vue métier, Marks and Bell [70] présentent l'architecture orientée service comme suit : « SOA is a conceptual business architecture where business functionality, or application logic, is made available to SOA users, or consumers, as shared, reusable services on an IT network. "Services" in an SOA are modules of business or application functionality with exposed interfaces, and are invoked by messages. ». Dans cette définition, nous remarquons une grande attention à l'orientation métier dans l'architecture orientée service. L'auteur affirme que l'architecture orientée service est un concept purement métier et que le niveau technique ne sert que pour le maintien des réseaux et la communication entre les services.

Chaari [14] propose une définition qui porte sur les deux visions métier et technique : « La SOA est un style d'architecture qui permet la réorganisation du Système d'Information. Elle permet l'encapsulation des fonctionnalités d'un système d'information en un ensemble de services faiblement couplés appartenant à la fois au niveau métier et au niveau technique de l'entreprise. Les services, munis d'un contrat d'utilisation et d'une interface de description, seront publiés dans des registres de services afin qu'ils puissent être invoqués par d'autres services. ».

Dans ce même courant d'idées, Izza [50] décompose une architecture SOA en deux sousarchitectures faiblement couplées qui sont : la SOA métier et la SOA IT (voir Figure 2. 2). Cette dichotomie repose sur quatre niveaux d'architecture : le métier, le fonctionnel, l'applicatif et le technique. Le but principal étant de rendre le S.I. plus flexible, plus adaptable aux changements que l'entreprise souhaite s'imposer elle-même (création de nouveaux produits, de nouveaux services,...) ou qui lui sont imposés par son environnement (fusion, concurrence, ...).

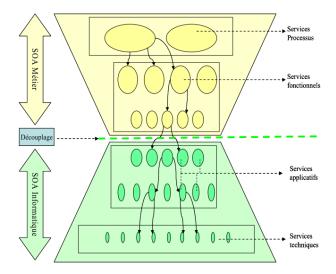


Figure 2. 2. Dichotomie SOA métier - SOA IT [50]

En pratique, il existe différentes architectures qui peuvent être « qualifiées » de SOA. Le point commun de ces approches est de mettre le « service » au cœur de l'architecture du S.I. de l'entreprise, puis les « processus métier » qui vont les orchestrer. Les applications sont alors construites par composition de processus puis de services.

# 2.1 5. Les systèmes d'information de fabrication

Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous nous intéressons aux problématiques sémantiques liées à la mise en place des applications, en particulier de type MES, au sein des entreprises de production de biens.

Le concept "MES" (Manufacturing Execution System) a été inventé par le MESA<sup>7</sup> (Manufacturing Enterprise Solutions Association) en 1997. Pour délimiter plus clairement le champ d'action du MES, cet organisme a également défini onze fonctionnalités pour un MES. Celles-ci sont les suivantes : gestion des ressources, ordonnancement, cheminement des produits et des lots, gestion des documents, collecte et acquisition de données, gestion du personnel, gestion de la qualité, gestion du procédé, gestion de la maintenance, traçabilité produit et généalogie et analyse des performances.

Une définition du MES a été donnée aussi par l'APICS<sup>8</sup> [2]: " MES: Programs and systems that participate in shop floor control, including programmed logic, controllers and process control computers for direct and supervisory control of manufacturing equipment, process information systems that gather historical performance information, then generate reports, graphical displays to present information as a visual summary; and alarms to inform operations personnel about current and historical plant activities. Quality control information is also gathered and a laboratory information management system can be part of this configuration to tie process conditions to the quality data generated so that cause-and-effect relationships can be postulated. At times, quality data affect the control parameters used to meet product specifications either dynamically or off-line."

Historiquement bien implantés dans les industries de process, agroalimentaire et pharmaceutique en particulier (principalement pour des exigences de traçabilité), ces systèmes gagnent peu à peu d'autres secteurs d'activités, notamment les entreprises manufacturières. En permettant d'assurer le lien entre les deux systèmes informatisés existants dans l'entreprise, à savoir les systèmes comprenant les fonctions de gestion (GPAO, ERP, Comptabilité...) et les systèmes de contrôle/commande assurant le pilotage en temps réel des ateliers de fabrication, les systèmes MES doivent idéalement contribuer à améliorer les activités de fabrication depuis l'ordre de fabrication jusqu'aux produits finis.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://services.mesa.org/ResourceLibrary/ShowResource/2cedfe75-daed-4b9c-b187-f421cf90fdd2

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> http://www.apics.org/resources/APICSDictionary.htm

#### 2.1.5.1. Hiérarchie fonctionnelle

En se basant sur les travaux de Williams [112], nous pouvons représenter dans la Figure 2. 3 la hiérarchie fonctionnelle d'une entreprise de fabrication. Cette figure montre les niveaux hiérarchiques auxquels les décisions sont prises.

Les Niveaux 2, 1, et 0 présentent les fonctions de supervision de ligne ou de cellule de production, les fonctions d'exploitation et les fonctions de contrôle de processus de fabrication :

- Le niveau 0 désigne le niveau processus, normalement le processus de fabrication.
- Le niveau 1 désigne la détection manuelle, les capteurs, et les actionneurs utilisés pour contrôler et agir sur le processus.
- Le niveau 2 désigne les activités de contrôle, manuelles ou automatisées, qui maintiennent le processus dans un état stable ou sous contrôle.

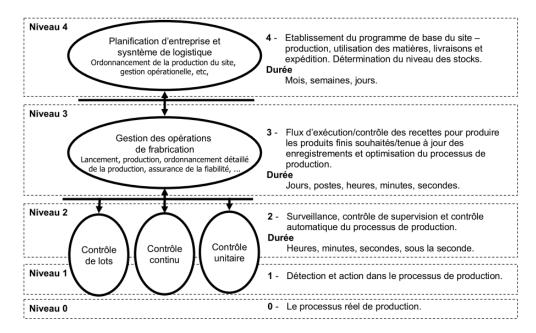


Figure 2. 3. Hiérarchie fonctionnelle

Les applications associées aux niveaux 2, 1 et 0 sont appelées des systèmes de contrôle (control system), comme par exemple les systèmes PLC (programmable logic controller), DSC (Distributed control system) et OCS (Optimizing Control System).

Le niveau 3 assure typiquement les activités suivantes :

- La collecte et la conservation des données concernant la production, les stocks, l'utilisation de la main d'œuvre, des matières premières, des pièces de rechange et de l'énergie, et d'autre part ;
- L'exécution de la collecte des données et des analyses hors-ligne selon les exigences des fonctions d'ingénierie. Ceci peut inclure l'analyse statistique de la qualité et les fonctions de contrôle s'y rapportant;

- L'exécution des fonctions nécessaires relatives au personnel telles que : les statistiques de période de travail (par exemple temps, tâche), les calendriers de main-d'œuvre, la qualification du personnel...;
- L'établissement du programme de production immédiat détaillé incluant la maintenance, le transport et les autres besoins relatifs à la production ;
- L'optimisation locale des coûts tout en mettant en œuvre le plan de production établi par les fonctions du Niveau 4 ;
- La modification des programmes de fabrication pour compenser les interruptions de production de l'usine qui peuvent se produire.

Les systèmes qui assurent ces tâches sont les systèmes MES (Manufacturing Execution System), SCE (Supply Chain Execution), LIMS (Laboratory Information Management System)... ces systèmes permettent la remontée des données quantitatives au niveau 4 qui intervient principalement sur les activités suivantes :

- La collecte et la conservation de l'utilisation des matières premières et des pièces de rechange et des stocks disponibles, et la fourniture des informations pour l'achat des matières premières et des pièces de rechange;
- La collecte et la conservation de la consommation globale d'énergie et des stocks disponibles et la fourniture des informations pour les achats d'énergie ;
- La collecte et la conservation des fichiers généraux des en-cours et du stock de production;
- La collecte et la conservation des fichiers de contrôle qualité en relation avec les exigences client ;
- La collecte et la conservation des fichiers d'utilisation et d'historique de la vie des machineries et des équipements pour la planification préventive et prédictive de la maintenance;
- La collecte et la conservation des données d'utilisation de la main-d'œuvre pour les transmettre à la gestion du personnel et à la comptabilité ;
- L'établissement du plan de production de base de l'usine ;
- La modification du plan de production de base de l'usine en fonction des commandes reçues, en se basant sur des changements de disponibilité des ressources, les sources d'énergie disponibles, les niveaux de puissance demandés et les besoins de maintenance;
- Le développement des programmes optimaux de maintenance préventive et de rénovation des équipements en coordination avec le plan de production de base de l'usine;
- La détermination des niveaux optimaux des stocks de matières premières, des sources d'énergie, des pièces de rechange et des marchandises en cours de fabrication à chaque point de stockage.
- La planification des besoins en matières (MRP) et les achats des pièces de rechange;
- La modification du plan de production de base de l'usine en fonction des besoins lorsque des interruptions majeures de production se produisent ;

La planification capacitaire, basée sur toutes les activités ci-dessus.

Les systèmes à ce niveau sont les ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management), SCM (Supply Chain Management)...

#### 2.1.5.2. Caractéristiques des applications de l'entreprise

Selon Hasselbring [33] et Bussler [11], les principales caractéristiques des applications d'une entreprise sont l'autonomie, la distribution et l'hétérogénéité :

- L'autonomie des applications est leur capacité de s'exécuter indépendamment les unes des autres.
- La distribution est due à la répartition physique des applications sur le réseau de l'entreprise. Cette répartition physique est assurée grâce à plusieurs techniques et technologies comme CORBA et JAVA/RMI<sup>9</sup>.
- L'hétérogénéité est due à la différence des méthodologies et des approches de développement et de déploiement des applications de l'entreprise. D'après Hasselbring [33] et Bussler [11], cette caractéristique représente la véritable difficulté dans les domaines d'interopérabilité et/ou d'intégration.

Wiederhold [110] identifie trois niveaux d'hétérogénéité:

- L'hétérogénéité technique qui correspond aux différences présentes dans les matériels (ordinateurs, réseaux utilisés...) et logiciels (systèmes d'exploitation, systèmes de gestion de bases de données, plateformes d'exécution...).
- L'hétérogénéité syntaxique qui correspond aux différences présentes dans les formats de stockage des données (XML, relationnel, objet, etc.), dans les langages d'interrogation (XQuery, SQL, OQL, etc.), dans les protocoles d'accès (HTTP, etc.), dans les interfaces...
- L'hétérogénéité sémantique qui correspond aux différences liées à l'interprétation du sens des données et des fonctions des applications. En effet, un même concept peut être interprété de façon différente suivant les applications considérées.

Dans le cadre de nos travaux, nous nous intéressons principalement aux problématiques d'hétérogénéité des applications de l'entreprise, en particulier au niveau sémantique, qui constitue l'un des problèmes majeurs dans toute démarche d'interopérabilité et/ou d'intégration.

#### 2.1.5.3. Besoin en intégration

Le problème d'intégration n'est pas nouveau. Il constitue un domaine complexe auquel s'intéressent de nombreuses communautés, notamment celle liée aux systèmes d'information.

#### **Omar SAKKA**

.

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

<sup>9</sup> http://www.omg.org/library/wpjava.html

L'intégration a été définie par Weston [109] par le fait de combiner des composants pour former un nouvel ensemble dans le but de créer de la synergie.

Dans le domaine de l'entreprise, Vernadat [106] défini l'intégration d'entreprise comme étant un processus qui fait inter-opérer fortement les personnes, les machines et les applications de l'entreprise, afin d'augmenter la synergie. Panetto [83] explique l'intégration d'entreprise par l'intégration de l'ensemble de ses systèmes (matériels, logiciels, fonctions). Cela revient à considérer cet ensemble comme un tout cohérent.

Concernant le contexte du S.I., les différentes applications doivent impérativement communiquer et coopérer pour échanger les bonnes informations au bon moment et permettre à l'utilisateur de pendre la bonne décision. Cela oblige que la sémantique portée par les données échangées soit interprétée de la même façon par toutes les applications de l'entreprise afin d'assurer la cohérence nécessaire entre ces applications.

L'intégration n'est pas un objectif en soi. C'est un moyen d'assurer la cohérence et la synergie fonctionnelle et informationnelle de l'entreprise [83]. L'interopérabilité des applications, telle que nous allons la définir par la suite, constitue un des moyens qui peut faciliter l'intégration.

# 2.1 6. Interopérabilité des systèmes

Le problème d'interopérabilité a été traité dans de nombreux travaux de recherche et groupes de travail sur l'intégration [106]. Nous avons choisi la définition qui a été proposé par Bourey *et al.* [6] dans le cadre du groupe de travail TG2 d'INTEROP (Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software) :

« L'interopérabilité est le fait que plusieurs systèmes, qu'ils soient identiques ou radicalement différents, puissent communiquer sans ambiguïté et opérer ensemble. Compte tenu du fait que ces éléments sont produits par des constructeurs divers, avec des méthodes variées, et qu'ils répondent à des besoins spécifiques, l'idée la plus simple consiste à définir une base explicite, une norme ou un ensemble de normes, que chaque élément va 'implanter' dans son propre fonctionnement ».

Entre le concept d'intégration et celui de l'interopérabilité figure une certaine ambiguïté. A ce titre, Meinadier [72] a essayé de différencier ces deux concepts en précisant que le vocable de « l'interopérabilité des systèmes » est utilisé lorsque les systèmes concernés sont capables d'échanger des informations et d'agir ensemble, tout en préservant leur hétérogénéité et autonomie. Cependant, nous utilisons le vocable de « l'intégration des systèmes » si les systèmes concernés sont capables de coopérer au sein d'un seul système homogène. Nous constatons ainsi, que l'interopérabilité est une condition nécessaire pour assurer l'intégration des systèmes d'entreprise. Nous rejoignons ainsi les travaux de Panetto [84] qui a confirmé qu'un système intégré doit être composé d'applications interopérables, par contre, des applications interopérables ne réalisent pas forcément un système intégré. C'est dans ce sens que nous présentons dans cette section le concept de l'interopérabilité des systèmes d'entreprise.

Euzenat [24] distingue entre plusieurs niveaux de l'interopérabilité :

- Encodage : être capable de segmenter la représentation en caractères ;
- Lexicale: être capable de segmenter la représentation en mots (ou symboles);
- Syntaxique : être capable de structurer la représentation dans phrases structurées (ou des formules ou des affirmations) ;
- Sémantique : être capable de construire le sens de la représentation ;
- Sémiotique : être capable de construire le sens pragmatique de la représentation (ou de sa signification dans le contexte).

Chaque niveau ne peut être atteint que si les niveaux précédents ont été résolus. Les niveaux encodage, lexicale et syntaxique sont les solutions les plus efficaces et rapides, mais non suffisantes pour parvenir à une interopérabilité concrète et aboutie entre les systèmes d'entreprise utilisant des technologies existantes telles que XML<sup>10</sup> (eXtensible Mark-up Language) et ses applications connexes WSDL<sup>11</sup> (Web Services Description Language), SOAP<sup>12</sup> (Simple Object Access Protocol). Dans ce sens, certaines initiatives de standardisation ont essayé à faire face à ce problème en définissant des construits génériques (voir la section 2.2.3.2).

L'interopérabilité entre deux applications est un problème à multiples facettes. Selon l'European Interoperability Framework [20], il y a trois aspects de l'interopérabilité :

- L'interopérabilité organisationnelle. Cet aspect de l'interopérabilité se base sur la définition des objectifs métier, la modélisation des processus métier...
   L'interopérabilité organisationnelle vise à répondre aux exigences des utilisateurs en rendant les services disponibles, facilement identifiables, accessibles et axés sur l'utilisateur.
- L'interopérabilité technique. Cet aspect de l'interopérabilité couvre les aspects techniques de la liaison des systèmes informatiques et des services. Il comprend des aspects clés tels que les services d'interconnexion, d'intégration de données, la présentation et l'échange des données...
- L'interopérabilité sémantique. Cet aspect de l'interopérabilité vise à assurer la compréhension de la signification de l'information échangée par toute autre application qui n'a pas été initialement développée à cet effet. L'interopérabilité sémantique des systèmes permet de combiner les informations reçues avec d'autres informations et de les traiter d'une manière significative. Elle forme un niveau plus complexe que les niveaux syntaxique et technique [55]. Elle constitue aussi un aspect fondamental de l'interopérabilité des systèmes d'entreprise.

#### **Omar SAKKA**

<sup>10</sup> http://www.omg.org/spec/XML/

<sup>11</sup> http://www.omg.org/spec/WSDL2C

<sup>12</sup> http://www.w3.org/TR/soap/

Les différents niveaux et aspects de l'interopérabilité soulignent que l'hétérogénéité des S.I. au niveau des données (différence de sémantique, présentation...), des applications (développées dans des environnements hétérogènes) ou des processus (différences de formalisme, d'organisation...) ne peuvent que compliquer la mise en œuvre de l'interopérabilité entre des S.I. Nous identifions dans la littérature une diversité de classifications d'hétérogénéité [24, 32, 56, 58].

Selon KnowledgeWeb [58], nous pouvons distinguer quatre niveaux d'hétérogénéité. Cette classification vient compléter celle faite par [110] (voir page 29) sur les aspects sémantiques :

- Niveau syntaxique: ce niveau est lié aux caractéristiques des langages utilisés pour représenter les différentes applications. Ces langages peuvent différer dans leur syntaxe, mais plus important encore dans les concepts et aussi dans les contraintes utilisés dans les deux langages: certains concepts et/ou contraintes d'un langage ne sont pas disponibles dans un autre langage.
- Niveau terminologique: ce niveau concerne toutes les différences liées au processus de nomination des entités (classes, propriétés, etc.). il peut être décomposé en:
  - Synonymie : où plusieurs mots qui désignent la même entité ;
  - Polysémie: où un même mot est utilisé pour dénommer différentes entités;
  - Multilinguisme : où des mots de différents langages sont utilisés pour nommer des entités ;
  - Et des variations syntaxiques d'un même mot (abréviations, etc.)
- Niveau conceptuel : Ce niveau peut être décomposé en :
  - Couverture : les applications couvrent différentes portions de l'univers du discours.
  - Granularité : les applications décrivent les objets de l'univers du discours à des degrés de détail différents.
  - o Perspective : Les applications couvrent des points de vue différents.
- Niveau pragmatique: ce niveau concerne les hétérogénéités d'interprétation d'une application. Il survient quand des communautés différentes l'interprètent différentent.

Cette complexité a fait naitre de nouvelles stratégies, méthodes et architectures pour la conception des S.I. pour qu'ils soient qualifiés d'interopérables.

## 2.2. Modélisation d'entreprise

La modélisation d'entreprise peut être définie comme un moyen qui permet de capitaliser et appréhender la connaissance d'une entreprise sous ses différents aspects : fonctionnel, informationnel, structurel, comportemental, organisationnel ou autre [106]. Elle a pour objectif la construction du modèle de tout ou partie de l'entreprise. L'entreprise est alors perçue comme un système et le rôle de la modélisation dans ce cas est d'en expliquer la structure, l'organisation et le fonctionnement. La modélisation d'entreprise est considérée

aussi comme un « art d'externaliser le savoir-faire de l'entreprise » [102] pour devenir un indispensable dans une démarche d'intégration d'entreprise. La modélisation d'entreprise se base sur la représentation d'un ou plusieurs points de vue pour montrer le fonctionnement de l'entreprise selon une certaine vision. Ce point de vue est une perception particulière de l'entreprise qui vise à représenter et observer, à travers un modèle, certains aspects de l'entreprise. A titre d'exemple, la norme ISO 19440 [48] définie quatre points de vue : la vue informationnelle, la vue fonctionnelle, la vue des ressources et la vue organisationnelle.

# 2.2 1. Modèle et méta-modèle

Un *modèle* d'entreprise est toujours associé à une finalité. Il doit être capable d'appréhender le point de vue particulier d'un acteur. Selon Touzi, [102], le but d'un modèle est non seulement son utilisation pour une meilleure intégration des entreprises, mais aussi pour apporter une description plus fine de l'entreprise. Plus particulièrement, un modèle assure la représentation et la compréhension de la manière avec laquelle l'entreprise fonctionne. Ce modèle est construit conformément à un langage de modélisation qui peut être plus ou moins formel. Comme tout langage, un langage de modélisation nécessite une définition des termes utilisés et des relations entre ces termes. Autrement dit, il nécessite un *méta-modèle* qui définit et détaille un ensemble de construits, permettant ainsi à tous les acteurs de partager la même lecture du modèle, c.à.d. partager une sémantique commune du langage.

Terrasse *et al.* [101] définissent un *méta-modèle* d'un modèle par un modèle qui décrit ce modèle. Il existe donc une relation bien précise entre les concepts de modèles et les construits du méta-modèle. Chaque élément du modèle est une instance d'un construit du méta-modèle. La relation d'instanciation implique que :

- Toute information contenue dans une instance soit décrite dans l'élément correspondant du méta-modèle ;
- Toute caractéristique décrite dans l'élément d'un méta-modèle peut être instanciée par les éléments correspondants du modèle.

Compte tenu de cette complexité et diversité, le recours à des méthodes, démarches et outils de modélisation est nécessaire. Nous identifions dans la littérature un grand nombre de travaux menés dans le cadre de la modélisation d'entreprise. Ces travaux diffèrent selon les points de vue et les objectifs ciblés. Dans la suite, nous donnons un panorama sur les principales méthodologies de modélisation d'entreprise.

# 2.2 2. Méthodes de modélisation d'entreprise

Un modèle d'entreprise ne tient pas compte, dans la majorité des cas, de tous les aspects de l'entreprise. Il est conçu pour un type de problème particulier ce qui engendre une variété de méthodes de modélisation. A titre d'exemple, il est possible de se concentrer sur une modélisation orientée S.I. et processus. Ulmer [104] propose une classification de ces

méthodes de modélisation en distinguant les méthodologies opérationnelles et les méthodologies reposant sur des architectures de référence.

#### 2.2.2.1. Méthodes opérationnelles

Sans être exhaustif, nous pouvons citer la méthode **GIM** (GRAI Integrated Methodology) [19] comme une méthodologie de modélisation et d'analyse des systèmes de décision des entreprises de production. La méthode **SADT** [69] est une méthode qui décompose un système complexe en plusieurs systèmes simples. Nous pouvons identifier aussi les méthodes orientées S.I. telles que **MERISE** [100], les méthodes qui se basent sur des langages de modélisation (par exemple **UML**<sup>13</sup>, et **BPMN**<sup>14</sup>) telle que **USDP** (Unified Software Development Process) [51] et enfin celles orientées S.I. et processus telle que **OLYMPIOS** [8]

#### 2.2.2. Méthodes orientées architectures de référence

Il existe plusieurs méthodologies qui proposent des architectures d'entreprise. Ces architectures servent à l'intégration des entreprises industrielles. La méthode **CIM-OSA** (Computed Integrated Manufacturing, Open System Architecture) comprend un cadre de modélisation, une infrastructure d'intégration et un langage de modélisation [59, 115]. Le modèle d'entreprise **PERA** (Purdue<sup>15</sup> Enterprise Reference Architecture) [112] fournit un ensemble de lignes directrices pour l'intégration des applications à travers la représentation de trois types d'architectures ainsi que leurs relations : une architecture des installations de production, une architecture d'organisation/personnes et une architecture de contrôle et de S.I. Ces architectures d'entreprises peuvent aussi guider les entreprises depuis la phase de conception initiale jusqu'à la mise en œuvre et l'utilisation de leur S.I. tel est le cas de la méthode **GERAM** (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology) [39].

Nous pouvons citer aussi l'architecture de systèmes d'information intégré **ARIS** (ARchitecture for integrated Information Systems) [93]. Ce concept d'architecture vise, d'une part, à permettre l'évaluation des méthodes et leur hiérarchisation (par exemple les méthodes MER: Modèle Entité-Relation, ABSG: Analyse des Besoins pour Systèmes de Gestion, OMT: Object Modeling Technique). D'autre part, il sert de méthode pour des projets de développement complexes, puisqu'il intègre implicitement des modèles permettant de développer des systèmes d'information intégrés [94].

La conception d'une architecture conforme à la "méthode" ARIS est dictée par une vision globale des processus de l'entreprise. Elle se base tout d'abord sur un modèle développé pour les processus d'entreprise et contenant toutes les caractéristiques principales nécessaires à la description des processus d'entreprise. Il en résulte un modèle complexe qui sera décomposé en plusieurs vues. Cette décomposition par vues permet de procéder à la description du contenu de ces vues sans qu'il soit nécessaire de tenir compte des relations que ces vues peuvent entretenir entre elles. Ensuite, les relations entre les vues sont prises

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> http://www.omg.org/gettingstarted/what is uml.htm

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> http://www.omg.org/spec/BPMN/1.2/

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Purdue University: http://www.purdue.edu/

en compte et regroupées sans redondances pour une vue générale des chaînes de processus.

#### ARIS dispose de cinq vues :

- La vue organisationnelle modélise les utilisateurs et les unités organisationnelles ainsi que leurs relations.
- La vue des données décrit les objets, leurs attributs et leurs relations. Elle contient aussi les évènements déclencheurs de processus.
- La vue fonctionnelle regroupe les fonctions, la liste des différentes sous-fonctions à exécuter et appartenant aux processus, ainsi que les relations hiérarchiques entre les fonctions.
- La vue de gestion décrit les relations entre les vues. La prise en compte de ces relations dans une vue propre permet de saisir toutes les relations systématiquement et sans redondance.
- La vue prestations/produits permet la création de rapport entre les prestations/produits. Une prestation/produit peut être soit une prestation en nature, soit une prestation de service.

## 2.2 3. Cadres de modélisation

Un cadre de modélisation d'entreprise (*Framework*) définit et spécifie les concepts génériques nécessaires à la création de modèles d'entreprise et propose une aide à l'utilisation de ces concepts par ces entreprises.

D'une manière plus générale, un cadre de modélisation d'entreprise identifie les types d'information et leurs relations pour modéliser une entreprise et en les organisant en structures logiques [26]. Cette classification d'information facilite la conception de l'architecture d'entreprise et l'échange des données. Le cadre de modélisation permet également d'identifier les modèles requis pour décrire l'architecture de l'entreprise d'une part, et les liaisons entre les différents types d'information circulant au sein de l'entreprise (comme les processus métier, les données...) d'autre part. A noter qu'un cadre de modélisation ne représente pas un modèle d'entreprise en lui-même, mais montre comment construire les processus d'entreprise [31].

Une confusion entre un cadre de modélisation d'entreprise et une architecture d'entreprise peut alors exister. En effet, l'architecture d'entreprise vise à définir son fonctionnement et son organisation, tandis que le cadre de modélisation porte plutôt sur la définition et la mise en place des processus métier et du S.I. de l'entreprise.

#### 2.2.3.1. Aperçu sur quelques cadres de modélisation

La norme **ENV 12204** [13] a proposé une première spécification des éléments nécessaires à la modélisation des « construits » (*constructs*)- dont les principaux sont les suivants : « *Enterprise Activity* », « *Business Process* », « *Event* », « *Resource* », « *Enterprise Object* », « *Object View* », « *Object State* ». Des exigences pour construire une architecture de

#### **Omar SAKKA**

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

référence d'entreprise ont été proposées aussi par la norme ISO 15704 [42]. Ces exigences ont été reprises par la suite dans la norme CEN/ISO 19439 [49] en proposant un cadre de modélisation avec trois dimensions : cycle de vie des modèles, vue des modèles et généricité. Une des principales caractéristiques de cette norme est qu'elle sert de base pour de futures normes destinées au développement de modèles d'entreprise. A titre d'exemple, nous pouvons citer la norme CEN/ISO 19440 [48] qui a repris les construits de modélisation définis dans la norme ENV 12204 et qui est conforme aux trois dimensions définies dans la norme ISO 19439.

#### 2.2.3.2.La norme CEN/ISO 19439

La norme ISO 19439 (Enterprise integration — Framework for enterprise modelling) est présentée sous forme d'un cube dans la Figure 2. 4.

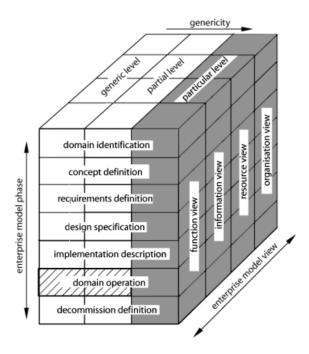


Figure 2. 4. Cadre de modélisation ISO 19439 [49]

Cette norme identifie sept phases dans le cycle de vie des modèles :

- La définition du domaine étudié (Domain Identification),
- La définition des concepts nécessaires (Concept Definition),
- La définition des besoins de l'entreprise (Requirements Definition),
- La conception du modèle (Design Specification),
- La mise en œuvre du modèle (Implementation description),
- L'usage du modèle dans les opérations (domain Operation),
- Le retrait ou l'arrêt des opérations (Decommission definition).

Elle propose quatre vues de modélisation pour ces modèles :

- La vue « organisation » (organization view) : la vue de l'organisation décrit les responsabilités et les autorités dans le domaine de l'entreprise. Cette vue doit permettre la collecte et la structuration des différentes responsabilités (pour des processus, la matière, l'information, les ressources et le contrôle) dans l'entreprise, et notamment la cartographie de ces responsabilités sur les entités organisationnelles et/ou les groupements d'organisation telles que les départements, les divisions et les sections.
- La vue « information » (information view) : elle décrit les informations concernant les objets l'entreprise (les objets matériels et informationnels), qui sont produites et utilisées dans le cadre des opérations de l'entreprise. Les objets d'entreprise dans cette vue doivent être décrits en utilisant les construits du langage de modélisation définis dans le niveau générique (voir le niveau générique cidessous).
- La vue « fonctions » (function view) : elle présente les processus métier du domaine de l'entreprise, leurs fonctionnalités, leurs comportements, leurs entrées et leurs sorties. La vue fonctionnelle décrit l'ensemble des processus comme étant un ensemble d'activités reflétant leurs connexions logiques et leurs interdépendances. Cette vue met l'accent sur la représentation du comportement du système, les dépendances mutuelles et l'influence des éléments pendant l'exécution de la fonction dans l'entreprise.
- La vue « ressource » (resource view) : elle décrit les actifs et les ressources de l'entreprise (les humains, les composants technologiques...) qui sont utilisés dans les opérations de l'entreprise.

Enfin, la dimension de généricité contient trois niveaux de généricité :

- Le niveau générique (generic level) des construits réutilisables dans tout contexte : Ce niveau est constitué d'un ensemble de construits d'un langage de modélisation qui peuvent être utilisés pour construire des modèles partiels et des modèles particuliers pour des entreprises particulières. Les construits du langage de modélisation utilisés à ce niveau ont la plus large application dans la représentation des domaines de l'entreprise.
- Le niveau partiel (partial level) des prototypes adaptés à des typologies d'entreprises : Ce niveau contient un ensemble de modèles partiels, chacun étant applicable à un type de secteur d'activité spécifique ou de l'activité industrielle spécifique. Un modèle partiel est un nouveau modèle de référence utile qui permet à l'utilisateur de saisir et réutiliser des concepts communs à de nombreuses entreprises, et ainsi d'augmenter l'efficacité de la modélisation. Ces modèles doivent s'adapter aux exigences de l'entreprise spécifique.

• Le niveau particulier (particular level) concerne seulement un seul domaine de l'entreprise : Ce niveau inclut toutes les connaissances nécessaires pour l'identification, la spécification, la mise en œuvre et l'exploitation d'une opération particulière de l'entreprise.

La norme ISO 19439 a déjà servi comme un cadre de modélisation pour certains travaux académiques [71] [73] [96] et [75].

En résumé, la modélisation d'entreprise présente un outil incontournable pour la compréhension, l'identification et la représentation des éléments de l'entreprise. Souvent, ces méthodes reposent sur des cadres de modélisation d'entreprise. Ces derniers sont le résultat d'un effort de normalisation/standardisation mené par de multiples travaux de recherche qui ont porté en général sur la modélisation et les modèles d'entreprise, notamment les travaux sur PERA [66] aux USA, et CIMOSA en Europe.

## 2.3. Référentiels et normes métier pour l'entreprise

D'après le dictionnaire Larousse<sup>16</sup>, un référentiel est « un ensemble auquel doivent appartenir les éléments, les solutions d'un problème posé ». C'est aussi un « ouvrage que l'on consulte pour trouver une information précise, en particulier dans le domaine de la langue (dictionnaire, grammaire) ou dans un domaine technique, scientifique. ». De nos jours, le nombre de référentiels métier ne cesse d'augmenter. Nous identifions des référentiels en médecine d'urgence<sup>17</sup>, 18, des référentiels de compétences entrepreneuriales<sup>19</sup>, des référentiels de compétences professionnelles<sup>20</sup>... Le but de ces référentiels est de donner, à un moment déterminé, des points de repère précis et des connaissances partagées et consensuelles. Ce sont des documents évolutifs, transparents et partagés par les personnes concernées du métier.

Nous avons vu dans la section 2.2 que la modélisation d'entreprise joue un rôle important dans la classification et la description des éléments de l'entreprise, permettant ainsi, grâce aux outils et méthodologies de modélisation, de modéliser et maîtriser les processus métier de l'entreprise. Dans ce contexte, un cadre de modélisation, tel que la norme ISO 19439, doit permettre d'organiser et de décrire les différents types d'information pour aider à la construction des modèles d'entreprise, notamment des modèles d'entreprise conformément à des normes et standards métier, comme par exemple la norme ISO 62264. En d'autres termes, ces cadres de modélisation d'entreprise doivent offrir la possibilité d'utiliser des référentiels et des normes métier pour modéliser les ou une partie de l'entreprise.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> http://www.larousse.fr

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> http://www.santetunisie.rns.tn/msp/referenciel\_urgence/Convulsions.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> http://www.sfmu.org/fr/ressources/referentiels

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup>http://web.hec.ca/airepme/images/File/2006/094\_Lescompetencesentrepreneurales.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup>http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php\_main/php\_2001/2001\_33.html

En général, les normes et standards métier sont classés par domaine. Nous identifions par exemple des normes pour le domaine de la qualité, de la maintenance, de la production... qui peuvent aider à identifier les principaux flux d'information et fonctions du S.I., ainsi que des référentiels qui proposent des modèles et des bonnes pratiques à suivre pour la modélisation et la conception des S.I.

Dans cette section, nous présentons les principaux normes/standards et référentiels métier relatifs au domaine de la fabrication et en particulier ceux qui peuvent être utilisés par les systèmes MES.

# 2.3 1. IEC/ISO 62264 : norme orientée « Intégration »

La norme internationale IEC/ISO 62264, avec ses trois parties [44, 45, 47], a été établie par le sous-comité 65A: Aspects systèmes, du comité technique 65 de la IEC (International Electrotechnical Commission): Mesure et commande dans les processus industriels, et du SC5 de l'ISO<sup>21</sup> (International Organization for Standardization), JWG 15: Intégration des systèmes Entreprise-Contrôle. Elle se base sur le standard américain ANSI/ISA-95: « Intégration des systèmes de contrôle d'entreprise » établi par l'ISA<sup>22</sup> « Instrumentation, Systems and AutomationSociety ».

Le but de la norme est de décrire le contenu de l'interface entre les fonctions de contrôle de fabrication et les autres fonctions de l'entreprise. Les interfaces considérées sont les interfaces entre les niveaux 3 et 4 du modèle hiérarchique (voir Figure 2. 3) défini par cette norme. Le but est de réduire le risque, le coût et les erreurs associés à la mise en place de ces interfaces. L'IEC/ISO 62264 peut être utilisé pour réduire l'effort associé à la mise en œuvre de nouveaux produits. Le but est d'obtenir un système d'entreprise et un système de contrôle qui interagissent et s'intègrent facilement.

Le contenu de la norme IEC/ISO 62264 se présente sur trois parties qui sont les publications internationales des trois premières parties du standard ANSI/ISA-95. Cette norme peut être vue comme un prolongement, centré sur le MES (Manufacturing Execution System), des travaux menés par l'ISA autour de la norme ISA-88. Concrètement, il s'agit d'une part, de formaliser les échanges de données entre les systèmes de gestion (ERP) et les systèmes d'exécution de la production (MES/Contrôle-Commande), qu'ils soient de type continu, discret ou hybride, et d'autre part d'offrir un cadre pour la spécification fonctionnelle des systèmes MES. Les parties 1 et 2, définissent les modèles, la terminologie et les structures de données utilisées pour l'échange d'informations entre MES et ERP. La partie 3 définit les modèles d'activités fonctionnelles pour la gestion des opérations de production.

Le modèle de référence PERA pour le CIM (Computer Integrated Manufacturing), dans sa forme hiérarchique, est le concept fondamental de la IEC/ISO 62264. Il permet la décomposition des fonctions de l'entreprise et les fonctions de contrôle en sous-processus et en activités. Les activités utilisent des entrées et produisent des objets d'informations.

#### Omar SAKKA

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> http://www.iso.org/iso/home.htm

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> http://www.isa.org/

Les informations échangées ou les flux d'informations entre fonctions sont représentés par le contenu de leurs interfaces.

Le contenu d'une interface, un deuxième concept de base de la norme, est défini par neuf modèles d'objets et leurs attributs (voir Annexe I) représentés dans le format neutre de diagrammes UML. Ces neuf modèles d'objets sont :

- Information du personnel (Personnel information),
- Information de l'équipement (Equipment information),
- Information du matériel (Material information),
- Information des actifs physiques (Physical asset information),
- Information du processus segment (Process segment information),
- Information de l'opération de définition (Operations definition information),
- Information de l'opération de planification (Operations schedule information),
- Information de performance (Operations performance information),
- Information de capacité (Operations capability information).

La Figure 2. 5 montre le diagramme de classes UML de l'objet « Equipment » et le Tableau 2. 1 montre les attributs définis pour la classe « Equipment Property ».

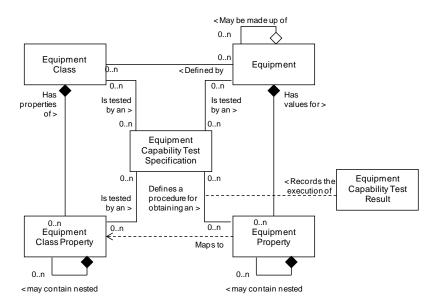


Figure 2. 5. Modèle d'équipement [45]

Tableau 2. 1. Les attributs de la classe "Equipment Property" [45]

Attribute name	Description	Examples
ID	An identification of the specific property.	Equipment name
		Run rate
		Template size
Description	Additional information about the equipment property.	"Local name for the widget machine."
		"Widget making average run rate"
		"Widget jig template size."
Value	The value, set of values, or range of the property.	Big Bertha
	The value(s) is assumed to be within the range or set of	59
	defined values for the related equipment property.	300
Value unit of measure	The unit of measure of the associated property value, if	[not applicable]
	applicable.	Widgets/h
		cm

En plus de la modélisation des ressources pour la production, la norme définit aussi les concepts de la capacité (*capacity*), de l'aptitude (*capability*) de la production et du segment processus (*process segment*) pour donner une vue d'un ensemble de ressources nécessaires pour un segment de production indépendant de tout produit particulier. Un autre concept concerne la fourniture de modèles de référence sous forme de modèles d'activités qui peuvent être adaptés et personnalisés selon les besoins de l'entreprise. Un modèle générique (voir Figure 2. 6) a été spécifié comme un canevas pour définir quatre catégories dans le domaine de fabrication : des modèles de gestion des opérations de production, de gestion des opérations de maintenance, de gestion des opérations qualité et de gestion des opérations de stock. Lorsque le modèle générique est instancié pour une catégorie, les activités dans la catégorie doivent incorporer les huit activités suivantes (voir Annexe II) :

- La gestion des ressources (Resource Management),
- La gestion des définitions (Definition Management),
- Le lancement (*Dispatching*),
- Le suivi (Tracking),
- Le recueil des données (Data Collection),
- L'analyse (Analysis),
- L'ordonnancement détaillé (Detailed Scheduling)
- La gestion de l'exécution (*Execution Management*).



Figure 2. 6. Modèle générique d'activité pour la gestion des opérations de fabrication [47]

De nombreux travaux sont réalisés ou en cours dans divers comités ou consortiums de normalisation dans le domaine d'intégration de la fabrication ou les domaines en rapport avec ce sujet. La norme IEC 62264 se base sur de nombreuses normes telles que :

- Pour le domaine de production de l'entreprise : IEC 61512-1 [37],
- Pour les structures de données et les directives pour les langues : ISO/IEC 19501-1 [46], UML et ISO 10303-1/11 [40],
- Pour les standards sur les architectures et les normes : ISO 15531-1 [43], ISO 15704 [41], CEN 40003 [21], CEN 12204 [22].

A titre d'exemple, l'IEC/ISO 62264 peut être considérée, par rapport à l'ISO 19439 (ou ENV 40003), comme un modèle de référence situé au niveau partiel du cadre pour la modélisation. A l'intérieur de ce cadre, l'IEC/ISO 62264 fournit non seulement la fonction et l'information mais également les descriptions des ressources pour la planification de la production et du système de contrôle.

D'autres travaux ont porté sur la formalisation des modèles de données de la norme sous forme d'une implémentation XML: B2MML (Business To Manufacturing Markup Language). Il s'agit d'un ensemble de fichiers XML développés par le WBF<sup>23</sup> (World Batch Forum) en utilisant le langage de description de format de document XML (XSD). Ces fichiers ont été conçus pour formaliser les interactions et les échanges d'informations entre les MES et les ERP d'une manière standardisée. Ils reprennent les modèles d'objet et proposent un grand nombre d'attributs sous forme de fichiers XSD. Ces attributs ne sont pas tous nécessairement utilisés par tous les systèmes. En effet, B2MML sert comme une base pour une interface commune entre différents systèmes (particulièrement les MES et les ERP) pour assurer une interopérabilité au niveau d'échange d'informations.

<sup>23</sup> http://wbf.org/

# 2.3 2. Le modèle SCOR: un référentiel orienté « chaîne logistique »

Le modèle SCOR (Supply Chain Operation Refernce Model) propose une vision et une approche qui s'intéressent aux processus métier de l'entreprise au sein de la chaîne logistique. Il propose une démarche, des processus, des indicateurs et des meilleures pratiques pour représenter, évaluer et diagnostiquer une entreprise dans une chaîne logistique. Cette démarche met à disposition des acteurs de la chaîne logistique un langage commun et standardisé (notation, processus, indicateurs) qui répond à un besoin de définition unique, afin d'accélérer l'intégration interne et externe des entreprises. Grâce à sa généricité, le modèle SCOR s'adapte à la plupart des problématiques issues des changements stratégiques tels que les fusions/acquisitions d'entreprises, analyses précédant la mise en place de nouveaux S.I. Dans sa version 9.0 [91], le modèle SCOR contient 27 principaux processus détaillé en 171 éléments de processus, 274 informations définies comme des entrées/sorties pour les éléments de processus, 489 bonnes pratiques et 498 métriques.

Le modèle SCOR s'articule autour de 4 niveaux. Le niveau 1 (stratégique) définit la portée et le contenu du modèle. Ce niveau, qui est le plus agrégé, définit la chaîne logistique selon 5 macro-processus : plan (planification), source (approvisionnement), make (fabrication), deliver (livraison) et return (gestion des retours).

Le niveau 2 (tactique) définit les *catégories de processus*. Il permet, en accord avec la stratégie de l'entreprise, de reconfigurer la chaîne logistique à partir de la spécialisation des cinq macro-processus par type de production : dans la mesure où l'on distingue 3 types de fabrication (fabrication sur stock, fabrication à la commande et conception à la commande), les processus d'approvisionnement et de livraison correspondants sont eux-mêmes distingués. La codification étant normalisée, il devient possible de représenter très simplement les enchaînements de processus de niveau 2 au travers de leur codification (par exemple : M2 = fabrication à la commande).

Le niveau 3 (opérationnel) du référentiel est le *niveau processus* : les entreprises peuvent préciser les activités des sous processus, les bonnes pratiques, les flux, les fonctionnalités des progiciels et des outils existants. Par exemple, le processus P3 « planifier production » débute par le sous-processus P3.1 qui consiste à « identifier, hiérarchiser et agréger les besoins de fabrication ». Ce niveau met en évidence les interfaces entre processus, les indicateurs de performance, les meilleures pratiques et les capacités requises pour les mettre en œuvre.

Enfin, le niveau 4 n'est pas formalisé dans le modèle SCOR. Il convient à chaque entreprise de détailler les tâches de chaque processus.

Afin de connaître la « nature » des informations échangées dans le modèle SCOR, un travail de classification de ces informations a été mené par Millet [75]. L'auteur a défini les dix classes d'information suivantes ([75], pp163-164) :

**Actor :** Les caractéristiques, identification ou localisation d'une entité organisationnelle, d'une ressource vue comme acteur dans une relation (rôles, tiers, entité légale, sites). Le partage d'information sur les acteurs représente une « transparence » de l'entité sur son organisation interne ou son réseau de partenaire, marque d'une collaboration forte.

**Rules**: Les règles et conditions du pilotage de l'activité. Elles traduisent les choix stratégiques et tactiques: règles de pilotage, système d'approvisionnement, modes de valorisation. Les règles sont rarement échangées dans une relation. Leur partage est significatif d'une collaboration portant sur le pilotage de la chaîne.

**Plan**: Prévisions, planning et programmes qui déterminent un cadre de décision (PDP, prévisions de demande, ...). Données généralement réparties dans un calendrier par période ou date. L'échange de données de ce type est caractéristique d'une collaboration plus étendue que la simple relation commerciale.

**Object :** Définition et caractérisation des produits, ressources, moyens, procédés et services conçus, réalisés et livrés. Données « techniques » considérées souvent comme statiques. Documents décrivant ces objets, plans, guides, instructions. Le partage d'informations sur les objets, au-delà des informations échangées sur les objets dans les flux, relève d'une collaboration dans la conception des produits ou le pilotage des ressources.

**Ressource**: Point de vue « capacitaire » des objets définis (stock, capacité, localisation, disponibilité...). Donnée en général variable dans le temps et dont on gère un profil temporel. Le partage d'information sur les ressources est associé à des pratiques collaboratives (GPA, Stock déporté...) et encadré par ces pratiques.

**Condition**: Les règles et conditions du pilotage des relations (tarifs, conditions, règles...). Elles peuvent être légales: règles de pilotage, tarifs, conditions de livraisons, de facturation, contraintes légales,... Les conditions sont le plus souvent échangées dans une relation, mais le jeu commercial conduit souvent à en masquer une partie.

**Decision**: Information caractérisant une décision proposée, confirmée ou en cours de réalisation et impliquant des flux physiques ou financiers. Cela inclus les demandes, propositions, ordres, contrats, factures... les décisions sont les données principales échangées entre acteurs, les normes EDI représentent une bonne vue des informations associées.

**Flow**: Flux et évènements liés aux relations (flux physiques, temps passés, anomalies, réceptions, livraisons...). Données dynamiques associées à la date de l'évènement et faisant souvent l'objet de moyens d'acquisition. Elles font partie des données échangées de manière classique dans toute relation.

**Journal**: Données historiques, traces, listes d'évènements datés et qui ne sont plus modifiées. Le partage d'information de ce type n'a de pertinence que dans la recherche d'une base de connaissance partagée, donc d'une collaboration forte.

**Metric**: Données représentatives de l'activité, bilans financiers, indicateurs d'aide à la décision opérationnels (volumes, charge, ratios...), tactiques (indicateurs de performance, niveau de service...), ou stratégiques (fidélité client, rentabilité...). Données parfois réglementées, dépendantes des flux, historisées et souvent détaillées en tableau multidimensionnel.

Nous remarquons aussi une forte présence du modèle SCOR dans le domaine industriel et académique. Nous avons effectué dans le cadre du « *projet MES* » un état des lieux sur ce modèle [89] et nous avons identifié que le modèle SCOR sert de référence à de multiples secteurs industriels et de services dans le monde (aéronautique, chimie, agroalimentaire, électronique, grande distribution, prestations logistiques...).

Nous avons identifié également plusieurs travaux de recherche qui se sont basés sur le modèle SCOR pour développer des méthodes, des bases de connaissances [114] et des outils pour l'intégration [98], la configuration [35], l'évaluation [36], l'analyse [85], l'alignement [76]... des chaînes logistiques.

En ce qui concerne les systèmes MES, ils sont bien présents dans le modèle SCOR par le biais de certaines fonctionnalités : la production, la maintenance et l'inventaire. Des travaux du projet Copilotes<sup>24</sup> ont identifié les applications supports des fonctionnalités définies par le modèle SCOR, dont le MES [78]. Ils ont étudié les processus du modèle SCOR supportés par le MES qui sont principalement les processus M1 (Make-to-Stock), M2 (Make-to-Order), M3 (Engineer-to-Order), EM (Enable Make) du processus « MAKE ».

## 2.3 3. STEP : norme orientée « produit »

La norme STEP (Standards for the Exchange of Product data - Norme pour l'échange de données de produit) ou norme ISO 10303, fournit un mécanisme qui est capable de décrire les données de produit sur l'ensemble du cycle de vie, indépendamment du système employé. De par sa nature, cette description est adaptée non seulement à l'échange de fichiers neutres (fichiers standardisés destinés à faciliter les échanges entre logiciels), mais également comme base pour appliquer et partager des bases de données de produits et pour l'archivage. La première version de la norme a été publiée en 1994 [40].

STEP couvre une large variété de types de produits (mécanique, électrique ...) et différents stades de cycle de vie du produit (conception, fabrication, utilisation, entretien et élimination). Cette variété est en expansion continue dans de nouvelles parties de la norme. Ces parties de la norme sont référées par la notation ISO 10303-xxx, où xxx est le numéro de chaque partie, qui présente en soi une norme entière, tout en restant une composante d'un ensemble plus vaste, mais complètement indépendante des autres parties. Les échanges de données se basant sur ISO 10303 emploient souvent l'approche bien connue de fichiers neutres, dans lequel le transfert entre deux systèmes est un processus en deux étapes. A l'étape 1, les données natives du système d'origine sont converties au format neutre ISO

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> http://www.copilotes.eu

10303. L'étape 2 consiste à la traduction du format neutre au format natif du système de réception.

L'utilisation de la norme STEP pour définir les échanges de données de produit entre applications permet d'assurer leur communication et à faire progresser leur interopérabilité. Bien que cette norme soit déjà utilisée dans des organisations de pointe comme l'aérospatiale, l'industrie automobile, la construction navale et le secteur de la défense, son utilisation s'avère complexe au regard de son volume titanesque de pages la décrivant (plus de 700 pages).

# 2.3 4. ISO 9001 : norme orientée « qualité »

La norme ISO 9001 (Systèmes de management de la qualité - Principes essentiels et vocabulaire) [103] décrit les exigences relatives à un système de gestion de la qualité pour une utilisation soit interne, soit à des fins contractuelles ou de certification. Il s'agit ainsi d'un ensemble de recommandations que l'entreprise doit suivre.

La norme ISO 9001 encourage l'adoption d'une approche processus lors du développement, de la mise en œuvre et de l'amélioration de l'efficacité d'un système de gestion de la qualité, afin d'accroître la satisfaction des clients par le respect de leurs exigences [103].

La version en vigueur de la norme ISO 9001 est la version datée de 2008. Les exigences y sont relatives à quatre grands domaines :

- Responsabilité de la direction : exigences d'actes de la part de la direction en tant que premier acteur et permanent de la démarche.
- Système qualité : exigences administratives permettant la sauvegarde des acquis. Exigence de prise en compte de la notion de système.
- Processus: exigences relatives à l'identification et à la gestion des processus contribuant à la satisfaction des parties intéressées.
- Amélioration continue : exigences de mesure et enregistrement de la performance à tous les niveaux utiles ainsi que d'engagement d'actions de progrès efficaces.

La notion de la qualité constitue un des quatre domaines fonctionnels définis par la norme ISO/IEC 62264 et aussi l'un des champs concernés par le « projet MES » à travers la solution de l'éditeur Quasar (voir section 1.1 1). Elle demeure, selon Nguyen [81], un élément-clé de la stratégie d'une entreprise et représente un atout qui lui permet de faire face à une concurrence de plus en plus vive.

#### 2.3 5. NF EN 13306 X « maintenance » 60-319 : norme orientée

Une première définition normative de la maintenance a été proposée par l'AFNOR<sup>25</sup> en 1994 (norme NFX 60-010) comme: « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> http://www.afnor.org/

rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». En 2001, cette définition a été remplacée par une nouvelle (NF EN 13306 X 60-319) comme étant : « l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. ».

La norme définie la typologie de la maintenance des machines comme suit :

- La maintenance préventive : maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.
- Maintenance conditionnelle : maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.
- Maintenance prévisionnelle : maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.
- Maintenance corrective : maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

La gestion de la maintenance représente, d'une part, l'un des quatre domaines fonctionnels du MES cités dans la norme ISO/IEC 62264, et d'autre part, l'un des champs concernés par le « projet MES » à travers la solution de l'éditeur CARL (voir section 1.1 1). Elle occupe, de plus, un rôle de plus en plus important dans l'entreprise surtout avec les méthodes de gestion assistée par ordinateur (GMAO) qui deviennent indispensables pour maintenir des moyens et des méthodes d'anticipation et de réduction des dégradations et donc des pannes des moyens industriels.

## 2.4. De l'interopérabilité à l'alignement

Sur la base des définitions établies précédemment (voir la section 2.1), nous abordons dans cette section le contenu sémantique de l'interopérabilité, à la fois dans l'approche SOA et dans le projet Athena, ce qui nous conduit à introduire la notion d'alignement.

## 2.4 1. L'interopérabilité

#### 2.4.1.1. L'interopérabilité et SOA

L'un des principaux objectifs de l'adoption d'une SOA est de favoriser l'interopérabilité entre S.I. En effet, l'interopérabilité, comme définie par Vernadat [106] représente la capacité des systèmes à communiquer et à collaborer avec d'autres systèmes et à accéder à leurs fonctionnalités sans un effort particulier de la part des utilisateurs. Dans ce sens, l'orientation service favorise l'interopérabilité entre les S.I. en créant des accords d'interopérabilité. Ces accords qui harmonisent les modes de communication entre les systèmes en se basant sur des formats de données standardisés (par exemple XML) sont

annoncés comme un vrai support d'interopérabilité au niveau technologique [52]. De plus, une SOA favorise l'interopérabilité à un niveau sémantique. En effet, elle minimise les exigences d'une compréhension partagée entre le fournisseur et le consommateur de service. Cette compréhension se base uniquement sur une description de service et d'un protocole de collaboration et de négociation pour aboutir à une compréhension partagée [14].

#### 2.4.1.2. Les projets ATHENA & UEML

Le projet ATHENA [88] « Advanced Technology for interoperability of Heterogeneous Enterprise networks and their Applications » est une initiative dans le cadre du 6<sup>ème</sup> plan de recherche européen dans le but de proposer un cadre d'interopérabilité entre entreprises que suscitent leurs collaborations croissantes.

Le projet ATHENA<sup>26</sup>, auquel ont participé de nombreuses entreprises industrielles, éditeurs de logiciels et prestataires de services européens, a produit « une *roadmap* » des recherches sur l'interopérabilité identifiant les pistes prometteuses pour sortir de la dispersion des initiatives, normes et modèles. Concrètement, il s'agit de regrouper l'ensemble des prototypes, des spécifications techniques, des lignes directrices et des bonnes pratiques, fournis dans le cadre du consortium IDEAS<sup>27,28</sup> (Interoperability Development for Enterprise Application and Software), pour construire dans un référentiel commun de connaissances européen [88].

Le projet ATHENA suggère que l'interopérabilité doit être appliquée à toutes les couches de l'entreprise [15]. Cela inclut l'environnement métier et les processus métier au niveau de la couche métier, les rôles organisationnels et les compétences des employés au niveau de la couche des connaissances, et les applications, les données et les composants de communication au niveau de la couche des TIC (Technologie de l'Information et de la Communication). Afin d'assurer une interprétation unique des concepts échangés entre les différentes couches, une description sémantique peut être associée à chaque concept utilisé. Cette dimension sémantique est présente au niveau des trois couches de l'entreprise (voir Figure 2. 7).

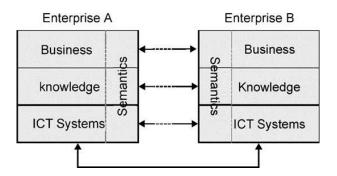


Figure 2. 7. Interopérabilité au niveau des trois couches de l'entreprise [15]

http://www.athena-ip.org/

www.ideas-roadmap.net

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/so/business-govt/zwegers.pdf

Ces travaux ont conduit à une tentative de normalisation des échanges entre modèles représentés dans des méthodes différentes. C'est l'objet du projet UEML<sup>29</sup> (Unified Enterprise Modelling Language) qui a été lancé suite à la conférence ICEIMT (International Conference on Enterprise Integration and Modelling Technique) en 1997 [60] avec le but de fournir un langage de modélisation avec une syntaxe et une sémantique assez claires pour l'utilisateur.

UEML propose une approche pour décrire les langages de modélisation, leurs types de diagrammes et leurs construits. L'objectif de cette approche est d'incorporer les langages existants et leurs construits dans ce qui est nommé « web de langages », qui se définit comme un ensemble de langages sélectionnés d'une façon standardisée, intégrante et évolutive.

Généralement, la description d'un langage en informatique, exige la définition de trois concepts : sa syntaxe concrète, sa syntaxe abstraite et sa sémantique. Avec l'approche UEML, l'intégration d'un construit d'un langage de modélisation dans le « web de langages » doit passer par la définition de sa présentation (sa syntaxe concrète), sa représentation (sa syntaxe abstraite) et l'alignement de cette dernière avec l'ontologie UEML (sa sémantique). En comparant les alignements des représentations des construits, nous pouvons identifier les relations sémantiques entre ces construits. Tous les construits incorporés dans ce « web de langages » sont par conséquent inter-reliés au niveau le plus détaillé via l'ontologie UEML.

Le projet UEML contribue alors, selon Vallespir et al., [105], à :

- Une définition claire de la sémantique commune des formalismes et une meilleure délimitation du domaine de la modélisation et de l'ingénierie d'entreprise ;
- Une meilleure *interopérabilité* et capacité de communication entre acteurs de la modélisation en environnement hétérogène ;
- Une meilleure définition du corpus scientifique de la modélisation et de l'ingénierie d'entreprise et donc une augmentation de la visibilité de ces dernières dans le cadre de la communauté scientifique;
- Un *vocabulaire* accepté et utilisé par les organismes de normalisation à tous les niveaux (national, européen et international) travaillant dans le domaine.

Le projet UEML étant un des projets pilotes sur les aspects de l'interopérabilité et de la sémantique, en définissant une ontologie pour la description de la sémantique des construits de modélisation, il a constitué une base pour de nouveaux travaux et langages de modélisation. Nous citons par exemple les travaux de Wohed [113] qui ont tenté de montrer les relations possibles du UEML avec respectivement le standard ISO 19440, les langages IEM (Integrated Enterprise Model) [74] et EEML (Extended Entreprise Modelling Language) [25]. Nous notons aussi l'utilisation de la notion d'alignement entre ces nouveaux langages et l'ontologie UEML.

#### **Omar SAKKA**

\_

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> http://www.ueml.org/

## 2.4 2. L'alignement

Afin de favoriser l'interopérabilité des systèmes, les travaux du projet UEML ont proposé de travailler avec une ontologie "unique" qui définit la sémantique des construits de plusieurs langages de modélisation. L'ajout (et/ou la communication avec) de nouveaux construits doit passer par une phase d'"alignement" pour identifier les relations sémantiques entre ces construits. Dans ce sens, nous présentons dans cette sous-section la notion d'alignement comme une éventuelle solution pour la problématique de l'interopérabilité de systèmes.

#### 2.4.2.1. Notion d'alignement

Il n'existe toujours pas dans la littérature scientifique une définition précise des caractéristiques de l'alignement. Un nombre important de termes ont été utilisé pour définir les relations de correspondance entre deux entités : "correspondance" par Knoll and Jarvenpaa [57], "fitness relationship" par Pottes [86], "harmonie" par Luftman [68], "pont" par Ciborra [16], "fusion" par Smaczny [97], "matching" par Wegmann et al. [108]...

Généralement, les recherches dans le domaine de l'alignement mettent en jeu deux entités. Ces entités sont très variées et diffèrent d'une approche d'alignement à une autre. Elles peuvent concerner les stratégies d'entreprise, les stratégies relatives aux technologies de l'information (T.I.), l'architecture, le code, l'environnement de l'entreprise, les processus d'entreprise ou l'organisation, les modèles... Elles traitent de la construction, de l'évaluation, de l'évolution ou du maintien des relations d'alignement en situation de changement. Une étude détaillée des principaux travaux sur l'alignement a été présenté par Etien [23]. L'auteur a identifié dans la littérature scientifique l'alignement entre :

- Le S.I. et les exigences d'entreprise [62, 63],
- le S.I. et les processus d'entreprise [5],
- le S.I. et les stratégies d'entreprise [4],
- les stratégies d'entreprise et les stratégies des T.I. [68],
- le S.I., les processus et l'environnement d'entreprise [108],
- les processus d'entreprise, le S.I., l'environnement, le logiciel et le code [111].

Le Tableau 2. 2 représente une évaluation de sept approches différentes d'alignement. Il a été représenté par Etien [23] pour étudier plusieurs aspects de l'alignement. Ce tableau montre pour chacune des sept approches le nombre et la nature des entités à aligner, le type de la relation d'alignement, le but, les méthodes d'évaluation, de construction et d'évolution et les outils d'alignement.

Tableau 2. 2. Résumé de l'évaluation des sept approches [23]

	Luftman [68]	Landtshee r [63]	Wegmann [108]	Wieringa [111]	Bleistein [4]	Bodhuin [5]	Krishna [62]
Nombre d'entités	2	2	3	5	2	2	2
Nature des entités	stratégie d'entrepris e, stratégie des TI	S.I., exigence	processus d'entreprise, S.I., environneme nt	processus d'entreprise, code, S.I., logiciel, environneme nt	stratégie d'entrepris e, S.I.	processus d'entrepris e, S.I.	S.I., exigence
Relation entre entités	pas défini	règles	liens	règles	liens	liens	liens
But	évaluer, évoluer	construire	construire	construire	construire	évaluer, évoluer	construire, évoluer
Méthode d'évaluatio n	qualitative	-	-	-	-	qualitative	-
Méthode de constructio n	-	Top-down	Top-down	Mixte	Top-down	-	Top-down
Méthode d'évolution	correction	-	-	-	-	correction	double dépendanc e
Outil	cadre	règles de dérivation	règles de dérivation, langage unique	règles de dérivation	règles de dérivation, langage unique	métriques, règles de dérivation	règles de dérivation

#### 2.4.2.2. Alignement sémantique

Une nouvelle entité pour l'alignement a été introduite par Gudas et Brundzaite [30]. Il s'agit de la gestion des connaissances. Les auteurs ont étendu le modèle stratégique d'alignement (SAM : Strategic Alignment Model) qui a été proposé par Henderson et Venkatraman [34] en rajoutant un niveau pour la gestion de connaissances (voir Figure 2. 8). Ce modèle fournit à la base des directives structurant quatre domaines à aligner (Stratégie métier, Stratégie T.I., Infrastructure métier et processus organisationnels, et Infrastructure T.I. et processus) ainsi que différentes séquences d'alignement sous la forme de quatre perspectives d'alignement.

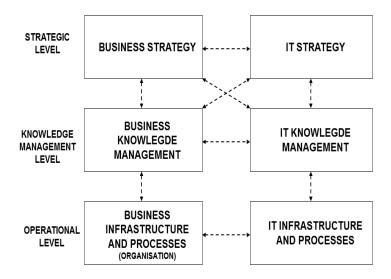


Figure 2. 8. Le modèle SAM [34] étendu par le niveau de gestion de connaissances [30]

Au sein d'un S.I., ces connaissances sont représentées de différentes manières et sous plusieurs formats. Elles peuvent être stockées dans des bases de données, des emails, des documents papiers ou XML... de plus, les flux de données entre applications sont en constante augmentation ce qui crée un environnement hétérogène entre les applications qui doivent absolument communiquer et interpréter les informations échangées d'une façon cohérente et sans aucune ambiguïté. Cet environnement hétérogène fait apparaitre des conflits sémantiques [77] dont la résolution est de grande importance pour l'entreprise pour assurer une interopérabilité sémantique au sein de son S.I. et même avec d'autres S.I. Il s'agit de l' « alignement sémantique » entre les différentes connaissances de l'entreprise.

Dans le contexte des S.I., la sémantique renvoie au sens des différents éléments d'un S.I. qui peuvent être des données, des fonctions, des activités, des processus métier et techniques...

La représentation de cette sémantique nécessite la transformation du sens en une représentation formelle manipulable par la machine, en utilisant des techniques, des approches et des outils. La notion de l'alignement sémantique, est ainsi fortement liée, dans la littérature scientifique, à la notion de l'alignement des ontologies.

Historiquement, le terme « ontologie » vient du grec « *ontologia* » qui signifie « science de l'être » (*onto* : être et *logia* : science). Nous identifions une multitude de définitions pour la notion d'ontologie. Cependant, la définition de Gruber [29] nous semble la plus citée: « *une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation* ». Le terme « conceptualisation » renvoie à un modèle abstrait d'une certaine réalité et permet d'identifier les concepts pertinents de ce phénomène. Le terme « explicite » signifie que le type des concepts utilisés est défini d'une manière claire et précise. Dès lors, plusieurs définitions plus « simples » sont proposées. Nous citons à titre d'exemple la définition proposée par Swartout *et al.* [99] : « *Une ontologie est un ensemble de termes structurés de façon hiérarchique, conçu afin de décrire un domaine et qui peut servir de charpente à une base de connaissances ».* 

Une ontologie est constituée principalement par des *concepts* (*termes* ou *classes*) qui sont les objets de base correspondant aux abstractions pertinentes de la réalité, des *relations* qui traduisent les interactions entre les concepts, des *fonctions* qui représentent des cas particuliers de relations, des *axiomes* qui permettent de définir des règles d'inférences à partir des concepts, relation et fonctions et enfin des *instances* (ou *individus*) qui représentent des éléments singuliers véhiculant les connaissances qui proviennent de la réalité [29].

Leur représentation et leur construction nécessitent l'utilisation d'outils spécifiques afin de pouvoir bénéficier de certaines fonctionnalités, telles que l'édition, la recherche... nous assistons aujourd'hui à l'émergence d'un grand nombre d'outils pour non seulement la représentation et la construction d'ontologies, mais aussi pour assurer la fusion, l'alignement... d'ontologies tels que Protégé<sup>30</sup>, Ontolingua<sup>31</sup>, WebOnto<sup>32</sup>, OILEd<sup>33</sup> et DUET<sup>34</sup>. Gomez-Perez [28] propose dans ses travaux une liste plus détaillée.

La construction d'ontologies requiert l'utilisation de langages spécifiques qui supportent la représentation de la sémantique. Les premiers langages sont apparus au début des années 90 et se basent sur la logique du premier ordre Avec l'apparition d'internet, de nouveaux langages qui se basent sur XML sont apparus tels que XOL<sup>35</sup> (Ontology Exchange Language), RDF<sup>36</sup> (Resource Description Framework), OWL<sup>37</sup> (Web Ontology Language)...

L'alignement des ontologies est un processus de découverte des correspondances entre deux ontologies sources. Comme le précise Klein [56], le processus d'alignement ne peut pas être totalement automatique. En effet, l'alignement de concepts est une tâche qui nécessite la compréhension de la sémantique (signification) de ces concepts. Ainsi, le processus d'alignement exige les connaissances et les décisions de l'expert de domaine. Par conséquent, les outils d'alignement et de mapping qui existent, comme par exemple pour les ontologies, ne peuvent que suggérer des alignements ou des mapping basés sur des algorithmes heuristiques. Ces outils pourront aider l'utilisateur en proposant les concepts qui pourront être des candidats pour l'alignement. Toutefois, la validation de l'alignement reste une tâche humaine. Une phase d'alignement manuel s'avère donc nécessaire pour chercher les zones sémantiquement proches et pour résoudre les problèmes d'hétérogénéité qui existent.

En ce qui concerne l'utilisation des ontologies, l'alignement d'ontologies est l'une des techniques qui permet le partage et la réutilisation des données entre les bases de

#### **Omar SAKKA**

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

<sup>30</sup> http://protege.stanford.edu/

<sup>31</sup> http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/

<sup>32</sup> http://projects.kmi.open.ac.uk/webonto/

<sup>33</sup> http://www.xml.com/pub/r/861

<sup>34</sup> http://www.daml.org/tools/#DUET

<sup>35</sup> http://www.ai.sri.com/pkarp/xol/

<sup>36</sup> http://www.w3.org/RDF/

<sup>37</sup> http://www.w3.org/TR/owl-features/

connaissances. Brujin *et al.* [10] proposent une classification de ces techniques qui distingue principalement la fusion, le mapping et l'alignement d'ontologies.

Plusieurs approches d'alignement d'ontologies ont été proposées telles que les algorithmes *Anchor-PROMPT*<sup>38</sup>, proposé par Noy and Musen [82], et *ASMOV*<sup>39</sup> proposé par Jean-Mary [53], l'outil *RiMOM*<sup>40</sup> proposé par Li *et al.* [67] et le système *GLUE*<sup>41</sup> proposé par Doan et al. [18].

Ces approches s'accordent sur certaines propriétés comme l'utilisation des heuristiques, les probabilités ou la logique propositionnelle. Elles reposent aussi sur l'utilisation des calculs de similarités afin d'identifier les correspondances entre concepts. Des campagnes internationales d'évaluation des méthodologies et systèmes d'alignements d'ontologies ont été lancées par l'OAEI<sup>42</sup> (Ontology Alignment Evaluation Initiative) chaque année depuis 2004. Ces campagnes ont pour objectifs d'évaluer les forces et les faiblesses des systèmes d'alignement/matching, de comparer leur performance, favoriser la communication et l'échange entre les différents développeurs d'algorithmes d'alignement et améliorer les techniques d'évaluation. A la fin de chaque campagne, les résultats des évaluations sont publiés sur le web<sup>43</sup>. Ces évaluations sont toutes appliquées sur des ontologies bien particulières :

- Alignement entre ontologies dédiées pour le domaine de la bibliographie,
- Alignement entre ontologies issues du monde de l'anatomie: alignement entre l'ontologie de l'anatomie d'une souris adulte (2744 classes) et le thésaurus du NCI<sup>44</sup> (3304 classes) décrivant l'anatomie humaine,
- Alignement d'ontologies décrivant le domaine d'organisation de conférences,
- Alignement de répertoires de deux sites web.

Il ressort de toutes les campagnes d'évaluation de l'OAEI que l'algorithme ASMOV (The Automated Semantic Mapping of Ontologies with Validation) est le plus performant : C'est l'un des rares qui contiennent un sous-processus de "raisonnement logique" (ou de "validation/vérification sémantique") pour détecter quelques inconsistances dans les relations d'alignement telles que les correspondances multiples et les correspondances entrecroisées. Toutefois, ses concepteurs [54] affirment que ASMOV doit être encore amélioré pour supporter de plus grandes et diverses ontologies et sur sa capacité à inférer les assertions afin de les utiliser pour la mesure de similarité et la vérification sémantique. En effet, deux concepts peuvent avoir la même syntaxe mais une sémantique différente car

<sup>38</sup> http://protege.stanford.edu/plugins/prompt/prompt.html

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> http://support.infotechsoft.com/integration/ASMOV/index.html

<sup>40</sup> http://keg.cs.tsinghua.edu.cn/project/RiMOM/

<sup>41</sup> http://swa.cefriel.it/Glue

<sup>42</sup> http://oaei.ontologymatching.org/

<sup>43</sup> http://www.ontologymatching.org/evaluation.html

<sup>44</sup> http://cgap.nci.nih.gov/

placée dans des contextes différents, comme ils peuvent avoir la même sémantique alors qu'ils sont décrits par différentes syntaxes.

## 2.5. Conclusion

Il ressort de ce chapitre une réelle complexité pour traiter de l'interopérabilité sémantique entre les différentes applications du S.I. La mise en œuvre d'une telle interopérabilité est freinée par l'hétérogénéité qui se manifeste sur plusieurs niveaux (syntaxique, terminologique, conceptuel et pragmatique). Cette étude a montré aussi une confusion particulière entre les champs d'application des systèmes MES et ERP. En effet, certaines fonctionnalités du MES sont de nature opératoire (ordonnancement, contrôle qualité, maintenance, etc.), tandis que d'autres sont à vocation plus transversale ou administrative (gestion des ressources, traçabilité, analyse des performances, etc.).

Un premier pas vers l'interopérabilité sémantique d'applications d'entreprise commence par la modélisation d'entreprise.

La modélisation d'entreprise est une nécessité pour la compréhension, l'identification et la classification des informations de l'entreprise, permettant ainsi, grâce aux outils et méthodologies de modélisation, de représenter et cartographier les processus métier de l'entreprise et les différentes informations échangées entre les applications du système d'information. Ces outils et méthodologies sont souvent accompagnés/renforcés par des référentiels et normes métier afin de standardiser la modélisation et la classification des éléments de l'entreprise et les échanges entre applications. Ceci constitue un point de départ vers l'interopérabilité (avec ses différents niveaux organisationnel, sémantique et technique) des systèmes d'information et/ou applications d'entreprise. Notre étude nous conduit à choisir la norme ISO 19439 pour définir et construire un cadre de modélisation et pour définir un méta-modèle unique afin d'assurer une lecture cohérente par tous les partenaires du projet. Ce cadre nous permet d'adresser, en tenant compte des spécificités d'une architecture orientée service, le premier alignement sémantique entre les éléments de la couche métier et la couche fonctionnelle, et le troisième alignement entre les besoins client et le référentiel MES, en se plaçant dans son axe de généricité.

De l'état de lieux sur les principales normes et référentiels métier en rapport avec le MES, nous choisissons la norme ISO/IEC 62264 pour définir et construire la structure du référentiel MES, car elle a été conçue spécialement pour délimiter le champ d'application du MES et pour favoriser l'interopérabilité entre le MES et l'ERP.

Nous retenons de la dernière partie de ce chapitre que l'alignement sémantique favorise l'interopérabilité sémantique des applications. Les travaux menés dans le cadre du projet UEML ont traité l'alignement entre construits de modélisation. Ces travaux sont limités à la description de la sémantique des construits de modélisation et non pas à la sémantique contenue dans les modèles, supports d'applications. La littérature scientifique sur ce sujet montre que l'utilisation des ontologies pour la représentation et la manipulation de la sémantique contenue dans les applications peut faciliter l'alignement sémantique entre applications. Le nombre de travaux sur les méthodologies et les approches d'alignement

d'ontologies ne cessent d'augmenter. Jusqu'à aujourd'hui, les outils et techniques proposés reposent sur l'utilisation de notions de similarités afin d'identifier les correspondances entre concepts. Des initiatives qui prennent en considération les aspects sémantiques sont en train de se développer. Toutefois, ces approches sont appliquées et évaluées sur des domaines particuliers tels que l'anatomie et la bibliographie. Ces approches existantes n'apportent donc pas de réponse opérationnelle à notre problématique industrielle. Cependant, nous utiliserons les ontologies pour montrer, d'une part, la structure et le contenu du référentiel MES, et d'autre part pour mieux illustrer nos approches d'alignement sémantique. Cela permet une représentation indépendante des plateformes de modélisation et à un niveau d'abstraction élevé qui nous permet de prendre compte des classifications faites sur les niveaux d'hétérogénéité qui est au cœur du deuxième alignement entre différents référentiels.

3.1.	Ca	are de modelisation et meta-modele	58
	1.		
3.1	2.	Un méta modèle pour le cadre de modélisation	59
3.2.	Co	nstruction du référentiel MES orienté ISO/IEC 62264	64
3.2	1.	Modélisation de l'IEC/ISO 62264	64
3.2	2.		
3.2	3.	Enrichissement du référentiel métier par des éléments de la couche fonctionnelle	69
3.3.	Dé	marche d'enrichissement du référentiel MES par alignement avec d'autres	
référ	entie	ls	72
3.3		Démarche d'alignement entre référentiels métier	
3.3	3.2.	Comparaison entre référentiels	74
3.3	3.3.	Extraction et modélisation du contenu à aligner	78
3.3	3.4.	Processus d'alignement sémantique	80
3.3	5.5.	Cycle de validation par les experts	86
3.3	.6.	Synthèse	8
3.4.	Dé	marche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES	89
3.4	.1.	Projet client	90
3.4	.2.	Alignement sémantique des besoins client sur le référentiel MES	9:
3.4	.3.	Synthèse	96
3.5.	Co	nclusion	97

Après avoir identifié les principaux éléments de la littérature en relation avec notre problématique scientifique, nous détaillons dans ce chapitre l'ensemble de nos contributions et nos solutions pour l'alignement sémantique entre référentiels. Nous présentons dans un premier temps notre démarche de construction d'un référentiel MES conforme ISO/IEC 62264, selon une architecture orientée service. Nous proposons ensuite sur la base de ce référentiel deux démarches d'alignement sémantique. L'application de l'ensemble de nos contributions dans le cadre du « projet MES » sera représenté dans le Chapitre IV.

# 3.1. Cadre de modélisation et méta-modèle 3.1 1. Cadre de modélisation basé sur l'ISO 19439

La modélisation du référentiel MES, c.à.d. la modélisation des processus, objets et activités métier n'est pas une tâche triviale. D'une part, elle nécessite la définition de ses vues de modélisation, de ses concepts et termes utilisés, et d'autre part, elle doit assurer sa continuité et son maintien. Pour répondre à de telles finalités, nous avons défini un cadre de modélisation général pour la construction du référentiel. Ce cadre, qui se base sur la norme internationale ISO 19439 (Enterprise integration — Framework for enterprise modelling) [49], permet une lecture et une interprétation uniques du contenu du référentiel métier puisqu'il définit les différents niveaux de généricité et les points de vue de modélisation.

Nous rappelons que la norme ISO 19439 définit trois niveaux de généricité, quatre points de vue des modèles et sept phases dans le cycle de vie des modèles (voir \$2.2.3.2). Dans le contexte du projet MES et en se basant sur les spécificités définies dans la norme, nous utilisons deux niveaux de généricité (référentiel et projet) et deux points de vue (la vue informationnelle et la vue des fonctions). Cette version simplifiée permet de couvrir nos besoins dans le « projet MES » tout en respectant les conditions de conformité définies par la norme et qui portent sur la dimensionnalité (Dimensionality) : la dimension de généricité, la dimension des vues des modèles et la dimension des phases des modèles [49]. Nous utilisons la dimension des phases des modèles dans la section 3.4.

#### 3.1.1.1. Le niveau référentiel

Nous avons défini le niveau référentiel (repository) pour contenir la modélisation du référentiel MES. Ce dernier contient deux types de construits : ceux issus de la norme ISO/IEC 62264 et qui sont réutilisables dans tout contexte de projet, et ceux issus d'autres connaissances et qui sont spécifiques aux exigences d'une entreprise particulière. Le premier type de construit correspond au niveau générique défini par l'ISO 19439 et le deuxième type de construits correspond au niveau partiel. C'est dans ce sens que nous avons agrégé ces deux niveaux définis par la norme à un seul niveau « Référentiel ». Ce choix est conçu pour le contexte du « projet MES ».

#### 3.1.1.2. Le niveau projet

Le niveau projet (*project*) correspond au niveau « particulier » défini par la norme ISO 19439. Il est conçu pour la définition d'un projet « particulier » pour un client « particulier ». Dans notre cas, il correspond à un projet de mise en œuvre d'une solution MES à la carte pour une entreprise donnée. Le niveau projet est conçu à partir des construits et des modèles partiels existants du niveau référentiel, c.à.d. soit en utilisant directement les construits du niveau référentiel, soit, dans certains cas, en les spécialisant pour les enrichir de caractères propres au projet. Ce niveau inclut toutes les connaissances nécessaires pour l'identification, la spécification, la mise en œuvre et l'exploitation des opérations de l'entreprise.

Chacun de ces deux niveaux (référentiel et projet) contient deux vues : la vue informationnelle et la vue des fonctions (voir Figure 3. 1).

#### 3.1.1.3. La vue informationnelle

La vue informationnelle (*information view*) décrit les informations concernant les objets de l'entreprise (les objets matériels et informationnels), qui sont produits et utilisées dans le cadre des opérations de l'entreprise. Les objets d'entreprise (au niveau projet) dans cette vue peuvent être créés à partir de relations de spécialisation avec les objets informationnels au niveau référentiel.

#### 3.1.1.4. La vue fonctionnelle

La vue fonctionnelle (functional view) présente les processus métier de l'entreprise, leurs fonctionnalités, leurs comportements... Cette vue décrit l'ensemble des processus métier comme étant un ensemble de sous-processus et d'activités reflétant leurs connexions logiques et leurs interdépendances. Cette vue met l'accent sur la représentation du comportement du système, les dépendances mutuelles et l'influence des éléments pendant l'exécution des fonctions dans l'entreprise.



Figure 3. 1. Cadre de modélisation

## 3.1 2. Un méta modèle pour le cadre de modélisation

Afin d'assurer une lecture cohérente de ces différents modèles par les utilisateurs, nous avons défini, dans une deuxième étape, un méta-modèle cohérent avec le cadre de modélisation. En effet, le rôle d'un méta-modèle est d'assurer une construction rigoureuse des modèles [3]. Les différents modèles qui seront utilisés - modèles propres au référentiel

#### **Omar SAKKA**

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

métier et les modèles propres au projet - devront être conformes à ce méta-modèle. Un méta-modèle est exprimé en utilisant des construits. Ces derniers sont des éléments à caractère générique qui permettent de représenter les éléments d'un modèle que ce soit d'une manière graphique ou textuelle [17].

Le méta-modèle que nous proposons doit respecter les contraintes suivantes :

- Il doit permettre la conformité du projet à la norme ISO/IEC 62264.
- Il doit offrir la possibilité d'aligner plusieurs référentiels métier dans le cadre issu de l'ISO 19439.
- Il doit prendre en compte les interactions avec les différents éléments de la couche fonctionnelle.

#### 3.1.2.1. Méta modèle de la couche métier

La Figure 3. 2 représente le méta-modèle de la couche métier en utilisant le diagramme de classes UML, conforme au cadre de modélisation défini précédemment. Cette conformité se traduit par les deux niveaux de généricité (référentiel et projet) et par les types des construits (informationnel et fonctionnel).

Dans la suite, nous allons définir chacun de ses construits et les relations qui existent entre eux. Les noms des construits des niveaux référentiel et projet commencent respectivement par « Repository » et « Client ».

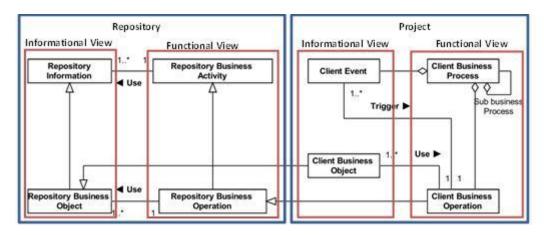


Figure 3. 2. Méta-modèle de la couche métier

#### 3.1.2.1.1. Repository Information (information de référence)

Le construit *information de référence* est retenu de la norme ISO/IEC 62264. Cette dernière définie la notion d'« information » contenue dans les modèles d'objets de la norme. Le construit *Repository Information* appartient à la vue informationnelle du niveau référentiel, il est consommé par une activité métier *Repository Business Activity* et en relation de spécialisation avec le construit *Repository Business Object*. Une *information de référence* peut décrire :

• Les modèles d'objets communs : personnel, équipement, actifs physiques, matériel et segment processus.

**Omar SAKKA** 

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

 Les quatre catégories d'information des opérations de fabrication (le planning, la performance, la définition et la capacité) qui correspondent aux quatre catégories d'activités de la norme ISO/IEC 62264 (production, maintenance, qualité et inventaire).

#### 3.1.2.1.2. Repository Business Object (objet métier de référence)

Nous considérons un *objet métier de référence* comme une représentation de la nature et du comportement de tout objet ou de tout concept de manière à ce qu'il possède une description significative d'un point de vue « métier ». Le construit *Repository Business Object* est une spécialisation, en terme d'UML, du construit *Repository Information*, il appartient à la vue informationnelle du niveau référentiel. Les *objets métier de référence* englobent les entités, les ressources et les acteurs qui peuvent exister au sein d'une entreprise et qui concourent à la satisfaction des besoins métier. Ils sont manipulés par les *activités métier de référence* à travers le construit *information de référence*.

Un objet métier de référence peut être :

- Une ressource matérielle ou informationnelle.
- Un acteur humain ou un automate (machine de production) qui permet de réaliser les actions demandées par une activité.

Comme exemples d'objets métier nous pouvons considérer : l'objet commande, l'objet client, les individus qui travaillent dans une entreprise ainsi que leurs rôles (magasinier, agent financier, etc.) ou les lieux (entrepôts, magasin, etc.).

#### 3.1.2.1.3. Repository Business Activity (activité métier de référence)

Le construit activité métier de référence est retenu de la norme ISO/IEC 62264 qui utilise la notion d'activité dans des modèles d'activités pour échanger les informations qui proviennent des neuf modèles d'objets (*Repository Information*). La norme défini 32 activités (huit activités pour chacune des quatre catégories : production, maintenance, qualité et inventaire). Nous proposons de spécialiser l'activité métier de référence par des opérations métier de référence (*Repository Business Operations*) qui pourront être adaptés aux typologies et contextes métier particuliers. Le construit *Repository Business Activity* appartient à la vue des fonctions du niveau référentiel.

## 3.1.2.1.4. Repository Business Operation (opération métier de référence)

Une opération métier de référence correspond à un périmètre fonctionnel qu'une entreprise souhaite exposer à d'autres systèmes de manière indépendante de son architecture informatique. Autrement dit, elles représentent les actions que peut supporter une activité métier de référence. Le construit **Repository Business Operation** est une spécialisation du construit **Repository Business Activity** et appartient à la vue des fonctions du niveau référentiel.

#### 3.1.2.1.5. Client Event (événement client)

Un événement client correspond à un changement significatif d'état du système. Un processus métier est toujours déclenché par un événement dit "déclencheur" par le biais du construit *Client Event*. Lorsqu'un processus métier se termine, il déclenche un ou plusieurs événements dit "terminaux", susceptibles de déclencher un autre processus métier. Le construit *Client Event* appartient à la vue informationnelle du niveau projet.

#### 3.1.2.1.6. Client Business Object (objet métier client)

Le construit *Client Business Object* est une spécialisation du construit *Repository Business Object* et est « utilisé » par le construit *Client Business Operation*.

#### 3.1.2.1.7. Client Business Operation (opération métier client)

Une opération métier client est une activité ou une tâche spécialisée exécutée sur un objet métier client pour réaliser un ou plusieurs objectifs de l'entreprise. Une opération métier client est déclenchée par un événement client, elle est en relation de spécialisation avec le construit **Repository Business Operation** et consomme un ou plusieurs Client Business Object.

#### 3.1.2.1.8. Client Business Process (processus métier client)

Un *Client Business Process* correspond à une séquence organisée d'opérations métier client et d'événements client. Les processus métier client remplissent les exigences d'un client interne à l'entreprise (comme un processus de planification ou d'affectation de ressources) ou externe à l'entreprise (comme un processus d'externalisation ou relance fournisseur). Ce construit appartient à la vue des fonctions du niveau projet. Un processus peut communiquer avec d'autres processus et peut être décomposé en plusieurs sous-processus (sub-business process).

## 3.1.2.2. Un « faible couplage » entre le méta-modèle métier et fonctionnel

Nous avons défini dans la section précédente les construits de la couche métier. Cette définition est indépendante de toute informatisation. Dans la suite, nous allons définir les construits de la couche fonctionnelle et leurs relations avec ceux de la couche métier, conformément à l'architecture générale du « projet MES » qui s'inscrit dans le cadre d'une architecture orientée service (voir Figure 1. 1). Nous nous sommes inspirés des travaux de lzza [50] (voir section 2.1 4) qui a décomposé une architecture SOA en deux sous-architectures faiblement couplées : une SOA métier et une SOA I.T. Nous considérons les construits de la couche métier fonctionnelle, qui sont indépendants de la plateforme cible, sur laquelle sera développée la solution MES, comme une couche intermédiaire entre les services applicatifs et l'expression des besoins métiers dans une approche processus. Nous insistons alors sur le mapping entre ces deux couches métier et fonctionnelle en l'analysant entre les construits appartenant à la vue informationnelle et/ou la vue des fonctions.

Nous signalons que nous ne cherchons pas à produire un méta-modèle global, au contraire, le contexte du « projet MES » nous conduit à rechercher un faible couplage entre les

niveaux métier et fonctionnelle de l'architecture SOA. Nous ne définissons donc que les supports de l'articulation entre ces deux couches.

Ainsi, dans la « vue informationnelle » au niveau référentiel, nous définissons le construit **Repository Data** (donnée de référence) dans la couche fonctionnelle afin d'établir une liaison avec le construit **Repository Business Object**. Un objet métier de référence est formé d'une ou plusieurs données de référence. Ces données présentent les entrées/sorties des services applicatifs de référence (**Repository Service**). Au niveau « vue des fonctions », un service applicatif de référence est composé par des opérations de service de référence (**Repository Operation**). Une opération métier de référence peut utiliser une ou plusieurs opérations de service de référence.

Au niveau projet, un « **Client Orchestration model** » est composé par des *opérations de service de référence* et peut utiliser une ou plusieurs *opérations métier client*.

La Figure 3. 3 présente le méta-modèle étendu par les relations avec les construits visibles de la couche fonctionnelle. Nous avons défini dans le méta-modèle du référentiel MES les construits nécessaires et suffisants pour répondre à nos besoins et aux exigences du « *projet MES* ». Nous allons montrer dans la suite, sur la base de ce méta-modèle, comment :

- Modéliser et construire un référentiel MES « orienté ISO/IEC 62264 » et qui contient des connaissances issues des applications des éditeurs, sous formes d'opérations de service web.
- Enrichir ce référentiel avec de nouvelles connaissances, issues d'autres normes ou référentiels métier, en les alignant sur le référentiel MES.
- Utiliser le référentiel MES dans la gestion des projets client en alignant les besoins client sur le référentiel MES.

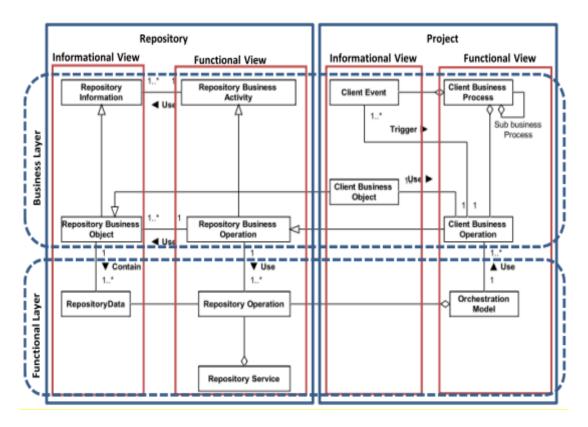


Figure 3. 3. Méta-modèle du référentiel MES

### 3.2. Construction du référentiel MES orienté ISO/IEC 62264

### 3.2 1. Modélisation de l'IEC/ISO 62264

Construire un référentiel métier revient à créer et définir formellement des objets, des fonctions et des processus métier représentant les connaissances métier. Ce référentiel doit être par la suite exploité et utilisé d'une manière assez simple et flexible. Le maintien, la gestion, la mise à jour du référentiel doivent aussi être des tâches simples pour les utilisateurs. Le choix d'une plateforme adéquate de modélisation s'avère nécessaire. Cette plateforme sera, d'une part un outil ergonomique pour la modélisation des processus et d'autre part un cadre pour garantir la cohérence et la synergie entre les projets d'entreprise.

Dans cette section, nous choisissons de représenter la structure du référentiel sous forme de classes OWL afin de montrer, d'une part, la structure des connaissances du référentiel MES à un niveau d'abstraction assez élevé et d'une manière indépendante de toute plateforme de modélisation et d'autre part, la conformité au méta-modèle et non pas son implémentation sur une plateforme de modélisation particulière. Cette structure en classes et sous-classes OWL se veut conforme à celle des construits de notre méta-modèle et de notre cadre de modélisation. En effet, chaque construit du méta-modèle est représenté par une classe OWL qui est classée par type de généricité (*Repository* ou *Project*) et par vue de modélisation (*Information view* ou *Functional view*). Par conséquent, cette structure permet de capturer les connaissances concernant le regroupement des objets du référentiel MES conformément au méta-modèle. Nous avons rajouté le suffixe « construct » à chaque nom de classe pour assurer une lecture cohérente du graphe d'ontologie. Par exemple, une

lecture du graphe de la Figure 3. 4 est : « Repository\_Information\_Construct » est un « Information\_View\_Construct ». La création de l'ontologie du référentiel MES est détaillée dans la section 4.1 5.

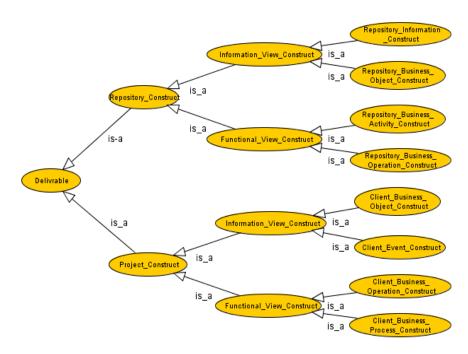


Figure 3. 4. Modélisation de la structure du référentiel MES

L'un des objectifs de la thèse est de proposer et de construire un référentiel MES « standardisé » ISO/IEC 62264. Nous nous sommes servis de l'aspect générique de cette norme, que ce soit au niveau de la définition des entrées/sorties de chaque fonction ou que ce soit au niveau des activités métier, pour formaliser le contenu des construits du niveau référentiel (repository) du méta-modèle. Nous avons déjà présenté dans la section 2.3 1 les huit activités génériques et les neuf modèles d'objets. Ces modèles d'objets sont de deux types : des modèles qui décrivent des objets communs et des modèles qui décrivent les informations sur la gestion des opérations manufacturières. Nous avons créé ainsi, dans le référentiel MES, un niveau de généricité « orienté ISO/IEC 62264 ». Ce niveau de généricité se traduit dans le méta-modèle :

- Les construits *Repository Information* et *Repository Business Activity* sont considérés comme des construits à caractère générique. Ils reprennent la structure et le contenu de la norme ISO/IEC 62264 :
  - Le construit *Repository Information* représente les neufs modèles d'objets définis dans la norme. La Figure 3. 5 montre une représentation ontologique des modèles d'objets de la norme ISO/IEC 62264 sur la plateforme Protégé.
  - Le construit *Repository Business Activity* représente les huit activités génériques définies dans la norme.

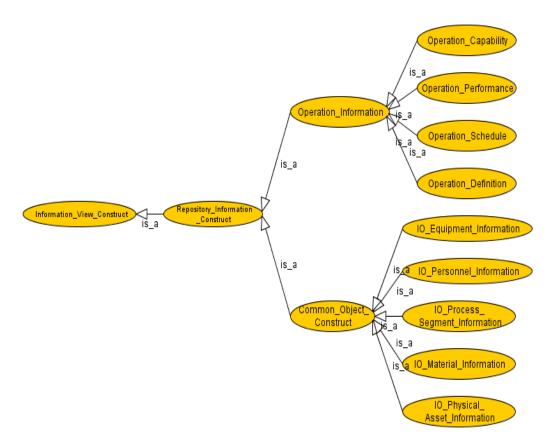


Figure 3. 5. Modélisation des modèles d'objets

- Les construits Repository Business Object et Repository Business Operation sont respectivement des spécialisations des construits Repository Information et Repository Business Activity. Chaque nouvel élément rajouté au référentiel MES est une instanciation de l'un de ces deux construits et doit être aligné à un élément de la norme ISO/IEC 62264 :
  - Le construit Repository Business Object est dédié aux éléments appartenant à la vue informationnelle. Chacun de ces éléments est une variante de l'un des neufs modèles d'objets de la norme ISO/IEC 62264. Ainsi, chaque nouvel élément est une variante d'un objet de la norme ISO/IEC 62264. Ce type de liaison entre objets du référentiel permet d'être conforme aux relations définies dans le méta-modèle.
  - Le construit Repository Business Operation est dédié aux éléments appartenant à la vue des fonctions. Nous utilisons la notion de variante entre les nouveaux objets rajoutés et les objets définis à partir de la norme ISO/IEC 62264.

La norme ISO/IEC 62264 était une base métier parfaitement adaptée au contexte de notre projet R&D pour définir la structure de notre référentiel MES. En effet, nous avons modélisé le contenu métier de la norme, dans une première étape, pour construire la première « version » du référentiel MES « orienté ISO/IEC 62264 ». Cependant, nous ne pouvons pas nous limiter uniquement à l'ISO/IEC 62264 pour la construction du référentiel MES. En effet, son expressivité en terme de contenu métier pour le référentiel reste insuffisante pour

couvrir les besoins des projets clients souhaités par les acteurs du « projet MES ». Ce manque est dû à l'aspect générique de la norme surtout au niveau des détails des activités métier définies et par rapport au nombre d'objets métier définis. La Figure 3. 6 donne une synthèse quantitative du référentiel après la modélisation de la norme : 9 modèles d'objets comme instanciations du construit « Repository Information » et 8 activités comme instanciations du construit « Repository Business Activity ». A cette étape de construction du référentiel, les autres construits restent sans instanciation. Dans la suite, nous montrons une première phase d'enrichissement du référentiel avec des connaissances issues des experts métier du domaine.

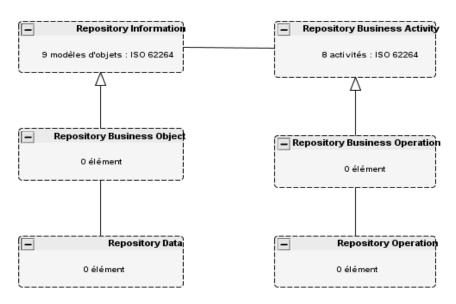


Figure 3. 6.Contenu du référentiel MES à l'issue de la modélisation de la norme ISO/IEC 62264

# 3.2 2. Enrichissement du référentiel métier par l'expertise métier

L'expert métier est une personne qui a multiplié les expériences et les projets dans son domaine de compétence. Il connaît les pièges à éviter et les bonnes pratiques à suivre. L'expertise métier reste indispensable dans tout projet d'entreprise.

Nous avons eu recours à des experts métier avec diverses compétences : un expert en production industrielle, un expert en architecture du contrôle industriel et de l'interface entre les systèmes ERP et MES et les différents experts partenaires du « *projet MES* ». Ces experts sont intervenus durant la phase de construction du référentiel MES en apportant de nouvelles connaissances et en ajoutant de nouveaux éléments dans le référentiel.

Toutefois, ces connaissances métier sont implicites. La capture de ces connaissances afin de les rendre explicites et utilisables dans notre référentiel a nécessité un effort de formalisation et de modélisation. Nous avons, à travers les réunions de travail avec les partenaires du « *projet MES* », repéré et transformé les connaissances, les données et les interviews d'experts en des éléments exploitables dans notre référentiel métier.

En termes de méthodologie de travail, nous nous sommes basés sur la description de plusieurs scénarios métier faite par les experts. Ces scénarios présentent différents cas métier réels dans l'entreprise et appartiennent à plusieurs domaines industriels. Ainsi, pour alimenter le référentiel MES par de nouveaux éléments, nous avons modélisé plusieurs scénarios métier de typologies différentes et qui traitent essentiellement les quatre domaines définies dans la norme ISO/IEC 62264 (la production, la qualité, la maintenance et l'inventaire). Nous avons modélisé ces scénarios au niveau projet (du cadre de modélisation) et en utilisant les construits définis dans notre méta-modèle. Nous avons créé donc des instanciations pour les construits du niveau projet : *Client Business Object, Client Business Operation, Client Event* et *Client Business Process*. La Figure 3. 7 est une représentation ontologique au niveau projet. Elle montre principalement la modélisation de quelques scénarios métier en processus métier client.

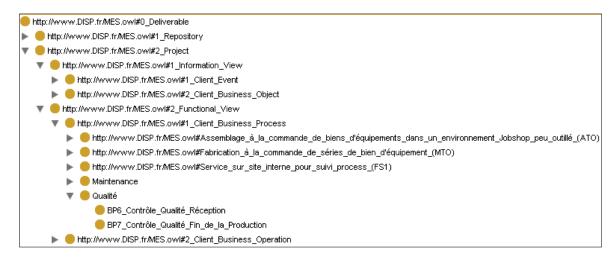


Figure 3. 7. Modélisation des scénarios métiers

L'ajout de ces nouveaux éléments dans le référentiel a été conforme aux règles définies précédemment. Nous avons défini :

- 84 objets métier de type *Repository Business Object*. Par exemple nous définissons l'objet métier « Active Component », fourni par l'expert métier, comme une variante du modèle d'objet « Material Information » de l'ISO/IEC 62264.
- 91 fonctions métier de type Repository Business Operation. Par exemple nous définissons la fonction « Collect SPC Information », fournie par l'expert métier, comme une variante de la fonction « Operation Data Collection » de l'ISO/IEC 62264.

Les interventions des experts métier ont contribué à l'enrichissement du référentiel métier par l'apport de nouveaux éléments pertinents en liaison avec la norme ISO/IEC 62264. Ils ont apporté également de la qualité, de la cohérence et de l'homogénéité avec la norme ISO/IEC 62264. La Figure 3. 8 montre le contenu du référentiel à l'issu de ces interventions.

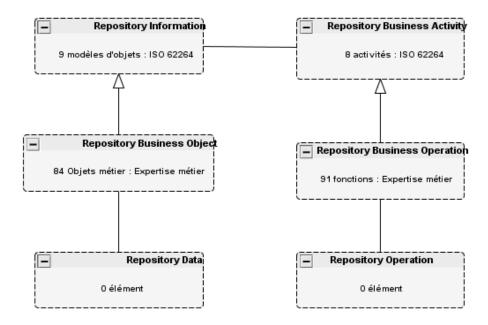


Figure 3. 8. Contenu du référentiel MES à l'issu de l'intervention des experts métier

# 3.2 3. Enrichissement du référentiel métier par des éléments de la couche fonctionnelle

Une cartographie d'opérations de services web a été identifiée dans le cadre du « projet MES » à partir des solutions existantes des partenaires industriels du projet. Il s'agit d'une liste d'opérations de services web regroupées par domaine (production, maintenance, qualité et inventaire) et possédant chacune un ensemble d'entrées/sorties. Ces opérations de services web se situent au niveau de la couche fonctionnelle pour former les services applicatifs de la solution MES cible du « projet MES ».

Afin que notre référentiel métier soit exploitable dans le « projet MES » et pour rester conforme à une démarche SOA, nous avons inséré les éléments de la cartographie dans la couche fonctionnelle du référentiel MES. Il s'agit de faire la liaison d'une part entre le construit **Repository Data** et le construit **Repository Business Object** et d'autre part, entre le construit **Repository Operation** et le construit **Repository Business Operation**.

D'un point de vue méthodologique, l'alignement métier/fonctionnel ne doit pas altérer la structure du référentiel MES, mais au contraire, il d oit étendre son utilisation pour qu'il devienne visible aux « spécialistes fonctionnels ». En effet, la solution finale du « *projet MES* » s'inscrit dans le cadre d'une démarche SOA complète de bout en bout, en partant des éléments de la couche métier, notamment les processus métier, puis l'alignement métier/fonctionnel et enfin fonctionnel/technique.

Le référentiel MES qui permet de donner une vision claire sur la couche métier du « *projet MES* », en proposant un ensemble d'objets et de fonctions métier avec une orientation ISO/IEC 62264, doit s'aligner avec les opérations de service web ainsi que leurs entrées/sorties. Lors de cet alignement, nous étions face aux enjeux suivant :

- La granularité des éléments des deux couches (métier et fonctionnelle) est considérablement différente : importante au niveau de la couche métier et plus fine au niveau de la couche fonctionnelle.
- La standardisation ISO/IEC 62264 du référentiel MES doit s'étaler aussi au niveau de la couche fonctionnelle.
- Les éléments de la cartographie doivent s'aligner avec les éléments apportés par les experts.

Pour y répondre, nous avons utilisé un format *pivot* entre les deux niveaux métier et fonctionnel : les schémas B2MML. L'utilisation classique de B2MML est comme suit (voir Figure 3. 9) :

- 1. L'utilisateur spécifie sa propre interface, indépendamment des systèmes, en interprétant le langage métier dans B2MML et en l'adaptant à ses propres besoins réels, soit en ajoutant de nouveaux attributs, soit en utilisant l'objet « propriété ». Il crée ainsi ses propres structures de données basées sur B2MML.
- 2. La deuxième étape est de réaliser des mappings entre cette spécification B2MML réalisée par l'utilisateur et les différentes structures existantes de chaque système indépendamment.
- 3. Enfin l'utilisateur itère ce mapping jusqu'à obtenir la solution complète.

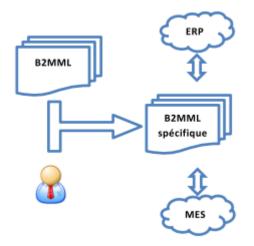


Figure 3. 9. Processus classique d'utilisation de B2MML

Nous nous sommes inspirés de ce processus pour réaliser l'alignement métier/fonctionnel. La Figure 3. 10 montre les étapes suivies lors du processus d'alignement métier/fonctionnel d'un point de vue informationnel. La relation entre le construit *Repository Information* et les fichiers B2MML (« étape 0 ») n'est autre que la représentation numérique des neuf modèles d'objets de la norme en fichiers B2MML.

La relation entre les construits *Repository Business Object* et *Repository Information* (« étape 1 ») correspond à l'alignement des nouveaux éléments rajoutés au référentiels (les connaissances de l'expert métier par exemple) avec les neuf modèles d'objets de la norme.

Pour les éléments de la couche fonctionnelle, ils proviennent des différentes solutions logicielles des éditeurs. Ces solutions ne sont pas conformes à la norme ISO/IEC 62264, nous avons donc aligné les entrées/sorties des opérations de service web sur les structures B2MML (« étape 2 »). Nous avons fait en sorte de garder au maximum l'orientation ISO/IEC 62264 en évitant de rajouter de nouvelles extensions aux structures des fichiers B2MML et en essayant de trouver la correspondance avec les attributs B2MML déjà définis. Parmi les 1962 entrées/sorties mappées avec B2MML, seulement 127 entrées/sorties forment de nouvelles extensions, ce qui donne un pourcentage de 6,47% d'extensions. Le résultat de cet alignement est la création de nouveaux fichiers « B2MML étendus » spécifiques pour le « projet MES ».

Cette étape est une classification « haut niveau » des 1962 entrées/sorties, puisqu'elles sont classées en seulement neuf classes (les neuf modèles d'objets). Ces neufs classes ne sont autre que les neuf informations définies par la norme ISO/IEC 62264 et qui correspondent au construit *Repository Information* du méta-modèle. Par conséquent, nous avons créé implicitement une nouvelle relation entre ces informations (*Repository Information*) et les entrées/sorties (*Repository Data*) de la couche fonctionnelle à travers B2MML, facilitant ainsi l'alignement entre les objets métier du référentiel, qui correspondent au construit *Repository Business Object*, et les entrées/sorties de la couche fonctionnelle (*Repository Data*) (« étape 3 »). En effet, il suffit de prendre chaque information à part et d'aligner les objets métier et les entrées/sorties qui y sont rattachés.

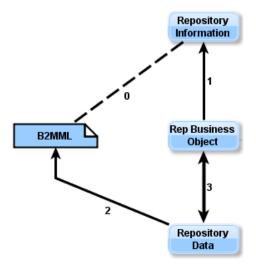


Figure 3. 10. Processus d'alignement métier/fonctionnel en utilisant B2MML

Concernant les opérations de services web, nous les avons classées, dans un premier temps, selon les quatre domaines définis par la norme ISO/IEC 62264 (production, maintenance, qualité et inventaire). Cette première classification permet de séparer les domaines d'intervention des partenaires du « projet MES ». Ensuite nous avons aligné les opérations de services web de chaque domaine sur les huit activités génériques (*Repository Business Activity*) définies dans la norme pour créer, comme dans la vue informationnelle, un premier alignement de « haut niveau » facilitant, par la suite, l'alignement des opérations de services web (*Repository Operation*) sur les opérations métier du référentiel métier (*Repository Business Operation*).

#### **Omar SAKKA**

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

Le détail des résultats de l'alignement des éléments de la couche fonctionnelle sur les éléments du référentiel métier est présenté dans le chapitre 4. La Figure 3. 11 montre le contenu du référentiel MES après la phase d'enrichissement par les éléments de la couche fonctionnelle.

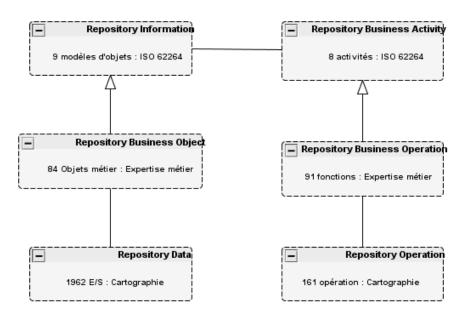


Figure 3. 11. Contenu du référentiel MES après l'enrichissement par les éléments de la couche fonctionnelle

# 3.3. Démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement avec d'autres référentiels

Dans cette section, nous répondons à la deuxième question d'alignement sémantique (voir Figure 1. 2, page 17) qui s'inscrit dans le cadre d'enrichissement du référentiel MES par les éléments d'un autre référentiel ou norme/standard métier. Nous choisissons le modèle SCOR pour illustrer cette problématique et pour appliquer son alignement sur la norme ISO/IEC 62264. Nous utilisons le terme "référentiel métier" d'une façon générique pour exprimer la norme ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR.

Chaque modèle défini dans l'un des deux référentiels métier décrit une partie des activités du domaine du MES avec un niveau de détail et de spécificité qui lui est propre et selon des points de vue différents. De plus, il peut décrire aussi des activités qui ne seront pas utilisées et ignorer certaines fonctionnalités qui doivent exister. « Essentially, all models are wrong, but some are useful » [7]. Cette citation précise qu'un modèle ne peut présenter que partiellement la réalité d'un domaine. Dans le cadre de nos travaux de recherche, ce postulat reste toujours vrai. En effet, la norme ISO/IEC 62264 couvre une grande partie du domaine du MES, mais sans détailler, par exemple, les échanges entre les fonctions. De même pour le modèle SCOR, nous avons identifié seulement quelques parties qui présentent le domaine MES. De plus, les deux référentiels peuvent se recouvrir pour un certain nombre de fonctionnalités (voir Figure 3. 12).



Figure 3. 12. Le champ de couverture des référentiels

## 3.3.1. Démarche d'alignement entre référentiels métier

Etant donné deux structures (modèles, standards...), aligner une structure avec une autre signifie que pour chaque entité (par exemple les concepts et les relations) dans la première structure, on essaie de trouver une entité correspondante qui a le même sens dans la deuxième structure [56]. En se basant sur cette définition, aligner deux référentiels métier (la norme ISO/IEC 62264 avec le modèle SCOR) nécessite la connaissance de leurs structures et leurs concepts.

A l'encontre des démarches d'alignement classiques qui cherchent à trouver un « accord mutuel » entre les deux structures à aligner, en procédant à l'élimination des entités non pertinentes et en rajoutant des éléments manquants [9], la démarche que nous proposons ne cherche ni à modifier la structure des référentiels, ni à les fusionner. Nous avons fait de sorte, dans une première étape, que la structure et la classification de ce référentiel MES soit orientée ISO/IEC 62264 (voir § 3.2). La deuxième étape est d'enrichir le référentiel MES avec une autre norme ou référentiel métier, c.à.d. comme présenté dans les démarches d'alignement d'ontologies (voir § 2.4 2), de créer de nouvelles relations (sémantiques) entre les nouveaux éléments provenant de la nouvelle norme ou référentiel vers les éléments de base, provenant de la norme ISO/IEC 62264. Nous construisons ainsi un référentiel MES « orienté ISO/IEC 62264 » de taille plus importante. Cette dernière étape peut être itérée plusieurs fois selon les besoins des utilisateurs du référentiel. La Figure 3. 13 illustre la démarche globale d'enrichissement par alignement d'un référentiel externe vers le référentiel MES « orienté ISO/IEC 62264 ».

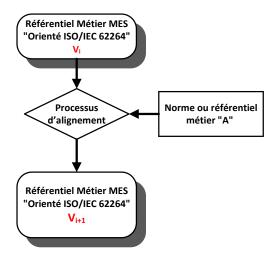


Figure 3. 13. Démarche globale d'enrichissement du référentiel par alignement

Nous proposons alors une démarche qui consiste à aboutir à un référentiel MES standardisé, multi-vues (fonctionnelle, informationnelle) et extensible (la possibilité de l'enrichir avec de nouveaux référentiels métier). Cependant, le vrai challenge est de garantir la cohérence de son contenu. Cela revient à résoudre les problèmes d'hétérogénéité entre les différents référentiels métier qui sont évidemment développés suivant plusieurs points de vue et différentes finalités.

Le processus d'alignement sémantique d'un référentiel métier "A" vers le référentiel MES que nous proposons est basé sur les phases suivantes :

- Une phase de comparaison entre les deux référentiels métier
- Une phase d'extraction et de modélisation du contenu à aligner.
- Une phase d'alignement
- Un cycle de validation

Dans la suite, nous allons détailler chacune de ces phases en illustrant, lorsque c'est possible, avec des exemples graphiques sous forme d'extraits d'ontologies (ISO/IEC 62264 et modèle SCOR). Nous avons fait ce choix pour « concilier » les différents formats de données des deux référentiels à aligner. Cette représentation sous forme d'ontologie permet de décrire les entités les plus pertinentes des deux référentiels (les concepts, les relations...) avec un niveau d'abstraction assez élevé et indépendant de toute plateforme de modélisation. Cependant, dans notre démarche d'alignement sémantique, nous ne cherchons pas à utiliser les techniques de « matching » et de « mapping » des ontologies. Nous cherchons essentiellement à proposer des solutions, assistées par un méta-modèle et par des règles de contrôle sémantique, aux experts confrontés aux problèmes d'hétérogénéité sémantique, cela pourrait faciliter l'utilisation des techniques d'alignement d'ontologies dans un deuxième temps.

## 3.3.2. Comparaison entre référentiels

Cette phase doit permettre d'évaluer le degré de similarité et d'hétérogénéité entre les différents modèles des deux référentiels métier. Dans cette première étape, notre

**Omar SAKKA** 

comparaison porte sur les quatre niveaux d'hétérogénéité (syntaxique, terminologique, conceptuel et pragmatique).

### 3.3.2.1. Niveau syntaxique

Le niveau syntaxique est lié aux langages de description des connaissances utilisés pour représenter les différents modèles des deux référentiels. Les langages peuvent différer dans leur syntaxe, mais plus important encore dans les concepts et aussi dans les contraintes utilisées : certains concepts et/ou contraintes d'un langage ne sont pas disponibles dans un autre langage. Dans notre cas, la norme ISO/IEC 62264 existe sous deux formes : une forme textuelle qui décrit les différents concepts, modèles d'objets..., et une forme numérique représentée par des fichiers XML : le B2MML (Business To Manufacturing Markup Language [107]) pour décrire les échanges entre le MES et les systèmes ERP. De même pour le modèle SCOR. Il existe sous deux formes : une forme textuelle proposée par le Supply Chain Council [92] qui décrit le contenu des différents processus et une forme numérique représentée par des modèles utilisant le langage ARIS<sup>45</sup>. En comparant les deux versions textuelles des deux référentiels, nous constatons une nette différence dans le lexique utilisé. Cette différence est due à la diversité des comités créateurs de ces deux référentiels (L'ISO/IEC 62264 est créé par l'IEC et l'ISO et le modèle SCOR est créé par le SCC : Supply Chain Council) et de la variété de leurs champs d'application. Concernant la comparaison entre les deux formats numériques, il est clair que les concepts sont bien différents, puisque la norme ISO/IEC 62264 décrit les flux d'informations échangés et le modèle SCOR s'intéresse aux processus de la chaîne logistique.

### 3.3.2.2. Niveau terminologique

Le second type d'hétérogénéité concerne toutes les différences liées au processus de nomination des entités. Dans notre cas, il s'agit de l'identification des fonctions, des objets métier et des processus. A ce titre, il est possible d'identifier les conflits typiques suivants :

- Synonymie: où plusieurs mots désignent la même entité. Par exemple, « Equipment Information » et « Equipment and Facilities » sont définies respectivement dans la norme ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR pour désigner une information.
- Polysémie: où un même mot est utilisé pour dénommer différentes entités. Par exemple, le « Detailed Production Scheduling » défini dans la partie production de la norme ISO/IEC 62264 peut être vu comme une information échangée entre des activités de la norme ou comme une activité proprement dit.
- Des variations syntaxiques d'un même mot (abréviations, etc.). Par exemple, dans le sous-processus « Engineer-to-order » du processus « MAKE » du modèle SCOR, la fonction « Schedule Production Activities » « correspond à » la fonction « Operations Scheduling » définie dans la norme ISO/IEC 62264.

### **Omar SAKKA**

٠

<sup>45</sup> http://supply-chain.org/scor/software/aris

Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise. Application aux systèmes d'exécution de la fabrication (MES).

### 3.3.2.3. Niveau conceptuel

Les hétérogénéités conceptuelles concernent les différences de couverture de l'univers du discours (dans notre cas, c'est le domaine des MES), le degré de granularité et le point de vue des deux référentiels (voir Figure 3. 14:

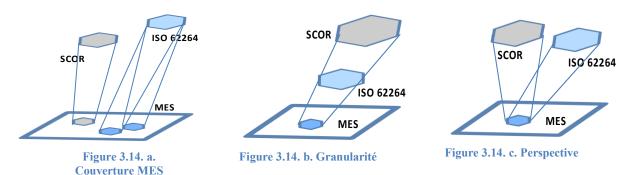


Figure 3. 14. Hétérogénéités conceptuelles

- Couverture: qui désigne le fait que les deux référentiels métier couvrent différentes parties du domaine du MES. La norme ISO/IEC 62264 couvre le domaine de la production, la maintenance, la qualité et l'inventaire, tandis que le modèle SCOR est conçu et maintenu pour soutenir les chaînes logistiques de diverses complexités et à travers de multiples industries. Nous nous sommes appuyés sur les travaux de [76] qui ont identifié les processus du modèle SCOR supportés par le MES (voir § Figure 3.14. a) à travers les processus de production (MAKE).
- Granularité: qui signifie que les entités des deux référentiels métier peuvent décrire les objets de la réalité à des degrés de détail différents (voir Figure 3.14. b).
   C'est le cas des opérations de planification qui sont décrites à un niveau de détail assez faible (quatre informations en entrées et une en sortie) dans la norme ISO/IEC 62264, mais par contre, dans le modèle SCOR nous identifions un nombre important d'entrées/sorties et de fonctions.
- Perspective: qui signifie que les deux référentiels métier couvrent des points de vue différents (voir Figure 3.14. c). Par exemple la norme ISO/IEC 62264 s'intéresse aux échanges entre le MES et l'ERP d'un point de vue informationnel et fonctionnel, tandis que le modèle SCOR traite les aspects processus (transverse).

### 3.3.2.4. Niveau pragmatique

Le niveau pragmatique concerne les hétérogénéités d'interprétation des référentiels métier. Ces problèmes peuvent survenir lorsque des experts ou des communautés différentes interprètent différemment les référentiels selon différents contextes. En effet, nous avons constaté tout au long de la phase d'alignement du modèle SCOR sur l'ISO/IEC 62264 que ce niveau est assez complexe, puisque le résultat de l'alignement peut changer en fonction des acteurs qui interprètent les deux référentiels. Nous étions face à de nombreux cas de figures :

Un expert métier ISO/IEC 62264 qui interprète les connaissances du modèle SCOR.

- Un expert métier SCOR qui interprète les connaissances de l'ISO/IEC 62264.
- Un expert métier dans le domaine MES qui ne connaît pas les deux référentiels et qui essaie de les interpréter.
- Un expert métier connaissant les deux référentiels.
- Un expert métier ISO/IEC 62264 face à un expert métier SCOR.

Cette phase de comparaison entre les référentiels métier constitue notre point de départ pour le processus d'alignement.

Tableau 3. 1. Résultats de la phase de comparaison

		ISO/IEC 62264	Le modèle SCOR		
au cique	Langage de description	<ul><li>Textuel</li><li>Numérique (B2MML)</li></ul>	<ul><li>Textuel</li><li>Numérique (modèles ARIS)</li></ul>		
Niveau Syntaxique	Concepts	Informations, Activités	Processus et éléments de processus, Entrées/Sorties, Métriques, Bonnes pratiques		
u gique	Présence de Synonymie	Oui			
Niveau Terminologique	Présence de Polysémie	Oui			
Teri	Présence de Variation Syntaxique	Oui			
Niveau Conceptuel	Couverture	MES:  Production Maintenance Qualité Inventaire	Opérations de la chaine logistique Diverses briques applicatives, dont le MES		
ivea	Granularité	Faible	Diffère selon les niveaux		
Z	Perspective	Informationnel, Fonctionnel	Processus, Gestion de performance de la chaîne logistique		
Niveau Pragmatique	Diffère selon l'interprétation de la sémantique des deux référentiels				

Le Tableau 3. 1 montre une étude comparative entre les deux référentiels ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR, appliquée sur le domaine MES et classée selon les quatre niveaux d'hétérogénéité. A l'issu de cette comparaison nous sommes capables de :

- Connaître les points de ressemblance entre les deux référentiels et éventuellement valider le choix du référentiel à aligner avec le référentiel MES (le modèle SCOR dans notre cas).
- Identifier les principaux points d'hétérogénéités entre les deux référentiels.
- Choisir les parties du modèle SCOR qui peuvent être, éventuellement, alignées sur le référentiel MES.

### **Omar SAKKA**

### 3.3.3. Extraction et modélisation du contenu à aligner

### 3.3.3.1. Extraction du contenu à aligner

Cette phase découle des résultats de la comparaison entre les deux référentiels. La première étape consiste à choisir le contenu métier à aligner sur le référentiel MES et à éliminer le reste. Ce choix est fait généralement par les experts métier pour répondre à certains besoins de l'entreprise. Dans le cadre de nos recherches et pour répondre aux besoins du projet MES, nous nous limitons au domaine du MES tel que défini par la norme ISO/IEC 62264. Comme nous l'avons mentionné à la section § 2.3 2, le modèle SCOR est assez riche. Dans sa version 9.0, il contient 27 processus principaux détaillé en 171 éléments de processus, 274 informations définies comme des entrées/sorties pour les éléments de processus, 489 bonnes pratiques et 498 métriques. Comme les systèmes MES sont bien présents dans le modèle SCOR à travers le processus MAKE (voir section 2.3 2, page 43), nous avons ainsi identifié 28 éléments de processus et 107 informations susceptibles d'être mappés avec notre référentiel MES (voir Figure 3. 15). Par contre, nous n'avons pas considéré les bonnes pratiques et les métriques car, d'une part, ces aspects ne sont pas traités dans le cadre du « *projet MES* » et d'autre part ils n'appartiennent à aucune des vues définies aujourd'hui dans notre cadre de modélisation

Le principal but de cette étape d'extraction est de réduire les problèmes de couverture identifiés dans la phase de comparaison, en choisissant juste le contenu le plus proche, d'un point de vue métier, de notre domaine.

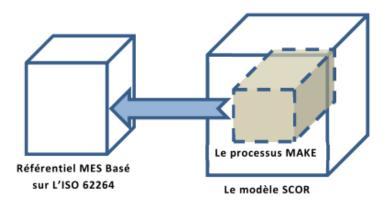


Figure 3. 15. Extraction du contenu à aligner

#### 3.3.3.2. Modélisation du contenu à aligner

La deuxième étape est la modélisation du contenu métier choisi conformément à notre méta-modèle. Cette étape de modélisation permet d'assurer une seule lecture des modèles des deux référentiels puisqu'ils sont alors présentés en utilisant les mêmes construits. De plus, l'utilisation d'un même langage de modélisation permet d'assurer une certaine interopérabilité syntaxique entre les deux référentiels.

Après avoir identifié les différents niveaux d'hétérogénéité entre les deux référentiels métier dans la première phase du processus d'alignement, nous avons pu proposer, dans

l'étape d'extraction et de modélisation, certaines solutions pour les problèmes d'hétérogénéités, notamment celles liées à la différence de couverture et de syntaxe. En effet, pour la différence de couverture, nous avons procédé par l'élimination des parties hors domaine du deuxième référentiel (dans notre cas, nous avons gardé que le processus MAKE du modèle SCOR). Pour les problématiques de syntaxe, nous avons choisi de représenter les deux référentiels en utilisant les ontologies pour assurer une représentation à un niveau d'abstraction assez élevé et pour rester indépendant de toute plateforme de modélisation. Dans la Figure 3. 16, nous montrons un exemple de modélisation de la fonction « Schedule Production Activities (m-t-s) » représentée initialement avec le langage ARIS (haut de la Figure 3. 16) sous forme d'un extrait d'ontologie (bas de la

Figure 3. 16). La fonction « Schedule Production Activities (m-t-s) » appartient à l'élément de processus « Make-to-stock » du processus « MAKE ». Nous avons gardé les entrées/sorties, qui correspondent au construit « Repository Business Object », et la fonction qui correspond au construit « Repository Business Operation ». Les entrées/sorties, fonctions et relations qui sont représentées en ontologie sont initialisées, respectivement, par « IO » pour « Input/Output », « Func » pour « function », « is\_the\_input\_for » pour « est l'entrée de » et « has the output » pour « a la sortie ».

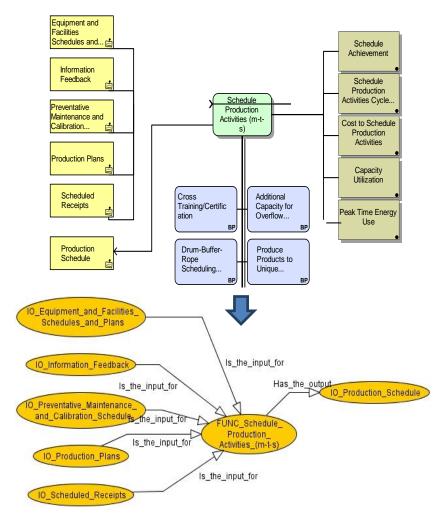


Figure 3. 16. Exemple de modélisation d'une fonction SCOR en ontologie

### **Omar SAKKA**

## 3.3.4. Processus d'alignement sémantique

Le processus d'alignement sémantique que nous proposons, consiste à définir des relations de correspondance sémantique entre deux référentiels métier. Plus précisément, nous cherchons à effectuer un alignement unidirectionnel, (voir Figure 3. 13): depuis les éléments d'un référentiel métier donné (A) vers ceux du référentiel MES. Ainsi, notre référentiel MES qui est construit au départ en reprenant la structure et le contenu de la norme ISO/IEC 62264, s'enrichit, sans modifier sa structure ni son orientation ISO/IEC 62264, au fur et à mesure avec l'alignement de nouveaux référentiels.

Avec ses trois sous-niveaux (couverture, granularité et perspective), l'hétérogénéité conceptuelle est la plus complexe. Les problèmes de couverture sont réduits grâce à la deuxième phase de choix du contenu à aligner avec le référentiel MES. En ce qui concerne la granularité, il est difficile de trouver la granularité idéale pour réaliser l'alignement des deux référentiels. D'une part, un alignement « haut niveau » (top-down) peut ne pas fournir assez d'informations sur les différences et les similitudes. D'autre part, débuter directement par un alignement de « très bas niveau » (bottom-up) n'est pas une tâche aisée vu le nombre important de connexions entre les deux référentiels. Le choix du niveau de granularité pour entamer l'alignement des deux référentiels reste un choix stratégique pour les experts. Ce choix dépend de leurs besoins. Il faut trouver donc un compromis entre les deux niveaux (très haut niveau et très bas niveau). Pour cela, nous proposons d'analyser le niveau de granularité dans chacun des deux référentiels en examinant les éléments de chaque vue définie dans le cadre de modélisation séparément. Cela revient à créer des relations sémantiques entre les éléments de chacune des vues. Le fait de raisonner d'une manière indépendante dans chaque vue est sans doute un facteur de simplification qui permet de réduire le nombre d'éléments et par conséquent le nombre de liaisons. Cependant, cette indépendance peut engendrer des incohérences sémantiques au niveau des relations entre les deux vues. Nous traitons ce point dans la section 3.3.5 dans laquelle nous proposons des solutions basées sur des règles de contrôle sémantique.

Dans la Figure 3. 17, nous montrons un exemple de relation (une relation de spécialisation) entre les deux construits du méta-modèle : « *Repository Business Activity* » et « *Repository Business Operation* ». Cette relation se traduit dans la phase d'alignement par une ou plusieurs relations sémantiques entre les entités, ayant le même type (fonctionnel dans cet exemple), dans les deux référentiels. Ainsi cet exemple contient deux types de relations sémantiques : « **Equivalent à** » (*corresponds\_to*) et « **Appartient à** » (*Is\_a sub\_state*) entre une fonction de la norme ISO/IEC 62264 « Operations Tracking » et trois fonctions du modèle SCOR.

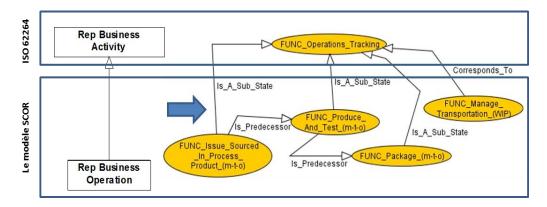


Figure 3. 17. Exemple d'alignement au niveau de la vue fonctionnelle

Concernant la différence de perspective (fonctionnel VS processus), elle contribue à l'enrichissement du référentiel MES par la création de nouvelles relations sémantiques. Dans l'exemple précédent, nous avons rajouté une nouvelle relation « est prédécesseur de » (Is\_predecessor) entre les fonctions du modèle SCOR appartenant à un même élément de processus.

Dans la suite, nous proposons une démarche d'alignement sémantique « hybride » dans le sens où elle est à la fois descendante (top-down) et ascendante (bottom-up) : nous rapprochons, dans un premier temps, les deux niveaux de granularité des deux référentiels, c.à.d. nous créons une classification « orientée ISO/IEC 62264 » des éléments du nouveau référentiel afin de le rendre plus agrégé. Cette classification permet, d'une part, de faciliter la lecture du référentiel assez riche, et d'autre part, de réaliser un premier niveau de mapping. Ce dernier peut être renforcé dans une deuxième étape en partant du niveau le plus bas des éléments du référentiel, par l'assistance d'un expert métier par exemple.

### 3.3.4.1. La vue informationnelle

La norme ISO/IEC 62264 défini seulement neuf modèles d'objets (voir Annexe I). Cependant, chaque modèle d'objet est représenté sous forme d'un diagramme de classes UML avec un ensemble d'attributs. Les attributs définis par la norme sont le minimum d'informations, indépendamment de l'industrie, pour définir le contenu de l'interface entre les systèmes de gestion et les systèmes de contrôle. Il se peut, toutefois, que les valeurs relatives à tous les attributs puissent ne pas être requises selon l'utilisation réelle des modèles.

Nous pouvons classer les neuf modèles d'objets définis dans la norme, d'une façon plus générique en deux classes principales : les modèles des objets communs (« *Common Object Models* ») : personnel, équipement, immobilisation, matériel et segment processus qui décrivent les différents types de ressources et les modèles des objets pour l'information de gestion des opérations de fabrication (« *Operations Management Information* ») : opération de définition du produit, opération de planification, opération de capacité et opération de rapport. Le but de cette classification est, d'une part, de réduire le risque, le coût et les erreurs associés à la mise en application de ces interfaces, et d'autre part, de fournir un niveau de sémantique permettant à d'autres normes ou référentiels de s'y adapter.

### **Omar SAKKA**

En ce qui concerne la vue informationnelle du modèle SCOR, nous identifions dans la partie « MAKE » 140 objets définis comme des entrées/sorties pour les éléments de processus. Contrairement à la norme ISO/IEC 62264, le modèle SCOR ne s'intéresse pas à la structure de données des objets mais à la richesse de son contenu. Nous identifions pour chaque entrée/sortie du modèle SCOR une définition textuelle et l'ensemble des processus qui utilisent ou produisent cette entrée/sortie. Ces entrées/sorties sont utilisées dans plusieurs processus. La Figure 3. 18 montre l'exemple de l'entrée/sortie « Business plan » qui est utilisées dans les sous-processus EM1, EM2, EP1 et EP10.

Input/Output	Definition	Process
Business Plan	A document resulting from a process of linking the long-range strategy with projections of revenue, activity, cost and profit. This process develops objectives usually accompanied by budgets, projected balance sheet, and a cash flow statement.	EP.10: Align Supply Chain Unit Plan with Financial Plan EM.1: Manage Production Rules EP.1: Manage Business Rules for Plan Processes EM.2: Manage Production Performance

Figure 3. 18. Exemple de définition des E/S dans le modèle SCOR

Afin de pouvoir aligner ces éléments informationnels avec ceux de la norme ISO/IEC 62264, nous devons à priori connaître leur « nature » pour aboutir à une classification facilitant ainsi l'alignement. Nous nous appuyons dans un premier temps sur la classification des informations du modèle SCOR proposée dans les travaux de Millet [75], où l'auteur a défini dix classes d'information (voir § 2.3 2).

Certaines de ces classes sont hors notre champ d'application et concernent plutôt des échanges avec les acteurs de la chaîne logistique. Nous proposons alors de raffiner cette classification pour la rapprocher le plus possible de celle de la norme ISO/IEC 62264. Celle-ci s'intéresse en priorité aux informations échangées entre le niveau 3 et 4 (voir la partie 1 et 2 de la norme).

Nous proposons ainsi une deuxième classification en éliminant certaines de ces classes et en fusionnant d'autres. Nous commençons par éliminer les classes « metric », « rules », « decision », « condition » ainsi que les informations correspondantes. Nous fusionnons les classes « Actor » et « Ressource » en une seule classe agrégée « Ressources ». Ce choix est justifié par le fait que la norme ISO/IEC 62264 utilise la notion de ressources pour indiquer une personne, un équipement, les actifs physiques et un segment processus. Nous gardons la classe « Object » en la rapprochant de l'objet « operation definition » de la norme ISO/IEC 62264. En ce qui concerne les classes restantes (« plan », « flow » et « journal »), nous les gardons tout en faisant attention à leurs contenus respectifs. En effet, nous nous intéressons principalement aux informations en rapport avec la fabrication (ordonnancement, approvisionnement...).

Cette classification des informations du modèle SCOR permet de réaliser un premier niveau d'alignement en suivant une démarche « top-down ». A l'issu de cette classification, nous cherchons à fournir un nombre de classes assez proche et raisonnable par rapport au nombre d'informations de la norme ISO/IEC 62264. Nous ne cherchons pas à avoir

exactement le même nombre d'information mais à faciliter l'opération d'alignement. D'ailleurs, la classification faite sur les entrées/sorties du modèle SCOR fait apparaître seulement cinq nouvelles classes et ne permet pas de trouver directement les informations de la norme ISO/IEC 62264. Cela est tout à fait raisonnable puisque le classement des éléments dépend de leur nature et de leur description. Par exemple, la classification des entrées/sorties dans le modèle SCOR ne permet pas de différencier les « objets communs » (common object) des « capacités de l'opération » (operation capability). Le Tableau 3. 2 montre les correspondances entre les cinq classes d'informations du modèle SCOR et les neuf informations de la norme ISO/IEC 62264. A cette étape, l'alignement se fait à un niveau d'abstraction assez élevé.

Tableau 3. 2. Alignement haut niveau entre l'ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR

Classes d'Informations SCOR	Informations ISO/IEC 62264
Ressources	Common Object, Operation Capability
Object	Operation Definition
Plan	Operation Schedule, Operation Capability
Flow	Operation Schedule, Operation Capability, Operation Performance
Journal	Operation Schedule, Operation Capability, Operation Performance

La deuxième phase dans notre démarche globale d'alignement sémantique est de partir du plus « bas niveau », c.à.d. directement des entrées/sorties du processus « MAKE » du modèle SCOR. Nous sommes face à un alignement de 140 informations sur 9 modèles d'objets. Le premier alignement peut faciliter cette tâche grâce à la classification des informations du modèle SCOR. Nous alignons donc les éléments de chaque classe d'informations de SCOR avec les informations ISO/IEC 62264 correspondantes. Par exemple, nous alignons les éléments de la classe « Ressources » avec les informations « Common Object » et « Operation Capability ». Les résultats de cet alignement unidirectionnel sont les suivants :

- Certaines informations restent toujours hors domaine malgré la phase d'extraction des données. Nous avons identifié 32 informations du modèle SCOR sans relation avec les modèles d'objets de la norme ISO/IEC 62264. Ces informations traitent les aspects de performance de la chaîne logistique, des historiques sur les salaires, des contraintes de budget.
- Pour le reste des informations, nous identifions deux types de relations entre les éléments de l'ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR :
  - O Une liaison de type 1..1: une information du modèle SCOR ne peut correspondre qu'à un seul objet du référentiel MES (objet ISO/IEC 62264). Dans ce cas, les deux objets ont potentiellement le même niveau de granularité et ils sont « équivalents » d'un point de vue sémantique. Par exemple l'information « Capacity Constraints » du modèle SCOR « est équivalente » à l'objet « Operations Capability ».

### **Omar SAKKA**

O Une liaison de type 1..N: une information du modèle SCOR correspond à un ou plusieurs objets du référentiel MES. Il ne s'agit plus du même niveau de granularité. Dans ce cas, l'information du modèle SCOR est une information composite. Par exemple, l'information « Production Orders Planned & Actual Reports » est composée des deux objets « Operations Capability » et « Operations Performance ». Nous créons ainsi le type de relation « est composé de » Cet exemple se traduit par la représentation sous forme d'ontologie dans la Figure 3. 19.

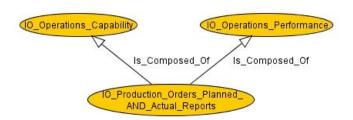


Figure 3. 19. Exemple d'alignement du modèle SCOR sur l'ISO/IEC 62264 issu de la vue informationnelle

### 3.3.4.2. La vue des fonctions

La norme ISO/IEC 62264 défini, dans la partie 3, des modèles de gestion des opérations de fabrication permettant l'intégration des systèmes de commande d'entreprise. Chaque modèle est un ensemble d'activités qui agissent entre les fonctions de planification (niveau 4) et les fonctions de contrôle de processus (niveau 2). Ces activités sont cohérentes avec les définitions des modèles d'objets définis dans la partie 1 de la norme.

Un modèle générique (voir Figure 2. 6) a été défini comme un canevas pour définir quatre catégories dans le domaine de fabrication : des modèles de gestion des opérations de production, de gestion des opérations de maintenance, de gestion des opérations qualité et de gestion des opérations de stock. Lorsque le modèle générique est instancié pour une catégorie, les activités dans la catégorie doivent incorporer les huit activités suivantes : définitions de la gestion des ressources (*Resource Management*), la gestion des définitions (*Definition Management*), le lancement (*Dispatching*), le suivi (*Tracking*), le recueil des données (*Data Collection*), l'analyse (*Analysis*), l'ordonnancement détaillé (*Detailed Scheduling*) et la gestion de l'exécution (*Execution Management*).

Concernant les fonctions définies dans le processus MAKE du modèle SCOR, nous identifions 28 fonctions (voir Annexe III). Nous gardons la même démarche d'alignement que celle suivie dans la vue informationnelle, c.à.d. nous partons, dans un premier temps, d'un niveau d'abstraction assez élevé pour faciliter l'alignement. Nous utilisons ainsi la classification des fonctions offerte par le modèle SCOR et qui consiste à définir quatre variantes de processus pour le processus MAKE, correspondantes à différentes typologies d'entreprise : *Make-to-Stock* (MTS), *Make-to-Order* (MTO), *Engineer-to-Order* (ETO) et *Enable-Make* (EM). Chacune de ces variantes de processus contient une « chaine de fonctions » formant ainsi le « sous-processus ». Le Tableau 3. 3 montre un premier niveau d'alignement unidirectionnel entre les fonctions du modèle SCOR et les activités de la norme.

Tableau 3. 3. Alignement haut niveau entre les sous-processus MAKE et les activités ISO/IEC 62264

	RM	DM	D	Т	DC	Α	DS	EM
MTS	×		×	×			×	×
МТО	×		×	×			×	×
ETO	×	×	×	×			×	×
EM	×	×	×	×	×		×	×

RM: Resource Management, DM: Definition Management, D: Dispatching, T: Tracking, DC: Data Collection, A: Analysis, DS: Detailed Scheduling, EM: Execution Management

Dans cette phase d'alignement qui traite la dimension de la granularité de l'hétérogénéité conceptuelle, nous soulignons la forte apparition de la dimension perspective entre les deux référentiels. En effet, nous essayons d'aligner quatre sous-processus avec les huit activités. Dans le tableau ci-dessus, les cases sont remplies en se basant sur la description textuelle de chacun des sous-processus. Cette phase nécessite l'intervention de l'expert pour interpréter la sémantique et imaginer les activités potentielles de la norme qui peuvent avoir une relation avec chaque sous-processus.

Dans la deuxième phase de l'alignement des éléments de la vue fonctionnelle, nous partons du plus bas niveau du processus MAKE, c.à.d. les fonctions des sous-processus. Ainsi, nous alignons 28 fonctions sur 8 activités de l'ISO/IEC 62264. Les résultats de cet alignement sont les suivants :

- Nous avons identifié deux fonctions hors domaine. Il s'agit de la gestion du risque et la gestion de la règlementation de l'environnement.
- Des relations de types 1..1: dans ce type de relation sémantique, les deux éléments mappés sont équivalents. Par exemple la fonction « Schedule Production Activities » du modèle SCOR « est équivalente » à l'activité « Operation Scheduling » de la norme ISO/IEC 62264. Dans ce cas, le niveau de la granularité et de la perspective sont les mêmes, nous créons ainsi le type de relation « Equivalent à ».
- Des relations de types 1..N: ce type de relation est justifié par le fait que les fonctions du modèles SCOR ont, d'une part, un niveau de granularité plus important que celui des activités de la norme, et d'autre part, elles présentent toutes des éléments de processus. Dans ce cas, nous définissons un nouveau type de relation: « est maître ». Pour certaines fonctions du modèle SCOR, nous identifions la présence d'une partie de leurs fonctionnalités dans des activités de la norme. L'autre partie des fonctionnalités est hors domaine. Par exemple, en se basant sur la définition de la fonction « Manage Production Performance » du modèle SCOR, nous retrouvons une correspondance avec à l'activité « Operations Definition Management » de la norme ainsi qu'à avec d'autres activités hors domaine telles que « development and implementation of a course of action to achieve targeted performance ».

Nous proposons dans le Tableau 3. 4 une définition formelle de l'alignement du processus MAKE du modèle SCOR sur la norme ISO/IEC 62264. Ce tableau précise les différentes

### **Omar SAKKA**

situations d'alignement possibles que les experts peuvent rencontrer dans le processus d'alignement et les noms des relations correspondantes.

Tableau 3. 4. Modélisation de l'alignement sémantique du processus MAKE du modèle SCOR sur l'ISO/IEC 62264

	Vue du méta- modèle	Niveau de granularité	Modélisation de l'Alignement : création de relations sémantique
Granularité	Vue informationnelle	ISO/IEC 62264 = SCOR	Variante
		SCOR > ISO/IEC 62264	« est composé de »
	Vue Fonctionnelle	ISO/IEC 62264 = SCOR	« équivalent à »
		ISO/IEC 62264 > SCOR	« appartient à »
		ISO/IEC 62264 < SCOR	« est maître »
Perspective	Vue Fonctionnelle		« est prédécesseur »

# 3.3.5. Cycle de validation par les experts

L'intervention humaine dans notre processus d'alignement est inévitable. Cependant, nous avons fait en sorte de la faciliter et de la structurer en procédant par une première classification des éléments du référentiel le plus riche en termes de contenu métier. Le but étant de mettre les deux référentiels à aligner à un niveau de granularité proche l'un de l'autre. Cette phase (top-down) réduit d'une façon assez importante le nombre de mapping entre les éléments. Toutefois, dans la deuxième phase d'alignement (bottom-up), nous nous apercevons que le résultat peut changer puisque nous pouvons gagner de la sémantique, en explorant l'approche processus par exemple du modèle SCOR (absente dans la norme ISO/IEC 62264), et dans certains cas perdre de la sémantique par l'élimination de certaines informations hors domaine du modèle SCOR (comme la gestion des risques). Ce qui peut limiter son utilisation.

Dans ce contexte assez complexe, une phase de validation du contenu et de la cohérence du résultat de l'alignement (ou du référentiel MES) est nécessaire. Dans cette phase, nous confrontons le référentiel à plusieurs expertises métier, notamment des experts de la norme ISO/IEC 62264 et du modèle SCOR. C'est dans cette phase que nous essayons de résoudre les problèmes reliés à l'hétérogénéité pragmatique. En effet, avant l'utilisation du référentiel dans des projets client, nous proposons un cycle de raffinement assisté par les experts afin de résoudre les conflits sémantiques dues à la manière d'interpréter de la sémantique des modèles, des objets et des processus métier, qui varie d'un expert à un autre.

Nous avons repéré, dans le cadre de nos travaux avec les experts métier pour la validation du référentiel MES, une nette différence dans l'interprétation de la sémantique contenue dans les modèles des deux normes, produisant ainsi différents résultats d'alignement de référentiels métier. Par exemple, l'entrée/sortie « Source Execution Data » du modèle SCOR

a été interprétée différemment par les experts. En effet, cet élément a été aligné sur les objets « Operation Capability » et « Operation Performance » de la norme ISO/IEC 62264. Ce conflit est raffiné après plusieurs réunions grâce au savoir-faire des experts métier et leur capacité d'apporter des solutions aux problèmes d'hétérogénéité. Comme nous l'avons évoqué dans la section 3.3.2.4, nous étions face à de diverses situations au niveau de l'hétérogénéité pragmatique, où l'interprétation de la sémantique des deux référentiels passe par divers experts. Nous constatons par ailleurs, que l'utilisation du méta-modèle et le choix d'un alignement unidirectionnel (vers la norme ISO/IEC 62264) garantissent la convergence des alignements effectués par les experts vers un « accord » sur un seul alignement. En effet, l'orientation ISO/IEC 62264 oblige l'expert, dans le processus d'alignement, à se rapporter toujours à la norme, en respectant les construits et les relations définis dans le méta-modèle. C'est dans ce sens que nous avons développé des règles de contrôle sémantique pour vérifier et détecter des incohérences sémantiques des nouveaux éléments rajoutés. Un exemple de situation est le suivant (voir Figure 3. 20) : soient une information A et deux activités B et C issues de la norme ISO/IEC 62264 tel que « A est l'entrée de B et non pas de C», et soient l'information A1 et la fonction C1 deux variantes, du modèle SCOR, respectives de l'information A et de l'activité C tel que « A1 est l'entrée de C1 ». Le contrôle sémantique détecte une incohérence au niveau de la relation de A1 et de C1 pourtant cette relation a été bien définie dans SCOR. Le rôle de l'expert métier est de prendre une décision concernant cette relation :

- L'alignement des deux entités A1 et C1 du modèle SCOR sur, respectivement, A et
   C est faux. Dans ce cas il faut les aligner sur d'autres entités de la norme ISO/IEC
   62264. Le cas échéant, il faut les éliminer.
- L'alignement est correct. Il pourrait soit altérer l'orientation ISO/IEC 62264 du référentiel MES, soit l'enrichir...
- La règle de contrôle sémantique définie ne s'applique pas dans certains cas.

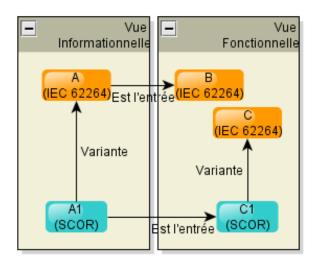


Figure 3. 20. Exemple d'incohérence sémantique

Nous avons fourni ainsi, à partir de l'expérience de validation par les experts, un outil d'aide à la décision pour l'alignement sémantique.

### Omar SAKKA

### 3.3.6. Synthèse

Dans cette section, nous avons proposé une démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement sémantique avec le modèle SCOR. Nous avons proposé une démarche d'alignement sémantique unidirectionnel en quatre étapes (voir Figure 3. 21). La première étape consiste à faire une étude comparative entre les deux référentiels métier afin d'identifier les différents points de similitude et d'hétérogénéité. Nous cherchons dans la deuxième phase à réduire certains de ces problèmes d'hétérogénéité en éliminant, du deuxième référentiel, les parties hors notre champ d'application et en modélisant les deux référentiels métier avec un même langage de modélisation. L'étape suivante est l'alignement proprement dit des deux référentiels métier. Nous procédons par une approche top-down en classifiant les éléments du référentiel possédant le niveau de granularité le plus fin afin d'avoir un nouveau niveau plus agrégé. Cette étape permet le rapprochement, en termes de granularité, des deux référentiels métier. Nous alignons ensuite ces nouvelles classes avec les éléments du second référentiel. Ce premier niveau d'alignement peut être complété, selon les besoins de l'entreprise, par une approche bottom-up en alignant directement les éléments des deux référentiels. Enfin, nous soulignons le rôle primordial de l'intervention de l'expert métier pour le raffinement et l'entretien du référentiel MES. Toutes ces étapes sont soumises aux règles définies dans le méta-modèle et l'orientation ISO/IEC 62264.

Les résultats de l'alignement sémantique varient selon les types des construits et leurs niveaux d'hétérogénéité. Nous avons formalisé ces résultats d'alignement en proposant des relations sémantiques entre les différents éléments des deux référentiels métier. Nous avons donné aussi des extraits de représentations d'ontologies pour illustrer ces relations d'alignement et pour montrer leur indépendance de toute plateforme de modélisation.

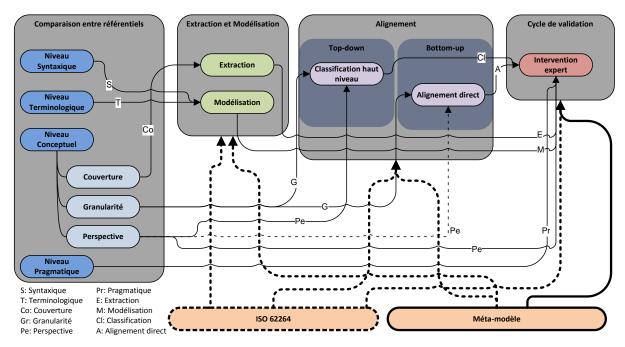


Figure 3. 21. Processus d'alignement sémantique entre référentiels métier

**Omar SAKKA** 

La Figure 3. 22 représente le méta-modèle, sous forme d'ontologie, pour l'alignement sémantique du modèle SCOR sur l'ISO/IEC 62264. Nous avons repris les construits du méta-modèle défini précédemment et rajouté les relations sémantiques qui peuvent exister entre les éléments du référentiel MES basé sur la norme ISO/IEC 62264, qui sont une instanciation des construits « *Repository Information* » et « *Repository Business Activity* », et les éléments du deuxième référentiel métier, qui sont également des instanciations des construits « *Repository Business Object* » et « *Repository Business Operation* ».

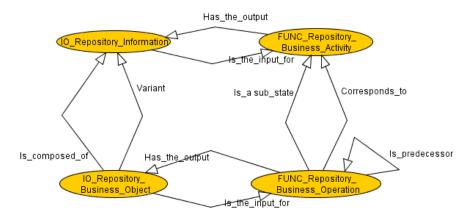


Figure 3. 22. Méta modèle pour l'alignement sémantique de référentiels métier

# 3.4. Démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES

La première démarche d'alignement proposée s'inscrit dans le cadre de l'enrichissement du référentiel MES par d'autres normes ou référentiels métier. Nous rappelons que cet alignement est unidirectionnel et se situe au niveau de la couche métier de l'architecture orientée service du « projet MES ». Le but étant d'utiliser le référentiel MES dans des projets client en proposant des définitions sémantiques d'un projet comme un ensemble de processus et objets métier. C'est dans ce sens que nous présentons dans cette section une démarche d'alignement sémantique des besoins clients sur les modèles métier de notre référentiel MES.

Nous nous situons toujours dans la couche métier de l'architecture SOA. Notre vision consiste à apporter de la valeur ajoutée dans des projets clients, en proposant un référentiel métier, comme un ensemble d'objets et activités métier. Ce référentiel, faisant parti du domaine MES dans notre cas, permet une meilleur structure et maitrise de la couche métier. Dans notre démarche d'alignement sémantique des besoins clients sur le référentiel MES, nous ne cherchons pas à exclure le rôle de l'expert métier dans la construction et la gestion des projets client, mais à faciliter son travail en proposant un cadre de travail et une démarche structurée. Dans ce qui suit, nous exposons les différents scénarios possibles pour entamer un projet client en utilisant notre référentiel MES.

### 3.4.1. Projet client

Réaliser un projet client afin de mettre en place un S.I. ou rajouter de nouvelles briques applicatives par exemple, revient à définir l'ensemble des actions à accomplir pour réaliser un but défini, dans le cadre d'une mission précise, et pour laquelle un début et une fin ont été défini. Nous identifions dans la littérature plusieurs méthodologies et démarches de conduite de projet. D'une façon générique, elles recouvrent l'ensemble des activités d'analyse des besoins, de conception et de développement du cycle de vie du système. La Figure 3. 23 Illustre, à titre d'exemple, un cycle de vie typique d'un projet de développement d'un système.



Figure 3. 23. Exemple de cycle de vie du projet de développement d'un système unique

Dans le cadre de nos travaux, nous ne traitons pas les aspects développement et intégration. Nous focalisons notre intérêt aux premières phases du projet en définissant la cible métier en termes d'objets et de processus métier, dans le but de se mettre d'accord sur le sens des mots, ce qui présente un premier bénéfice, indépendamment de toute implémentation technique. Ceci revient à construire le modèle métier sémantique du projet en mettant l'accent ainsi, sur la description des activités et des processus métier.

Une description des phases de cycle de vie des modèles d'entreprise est donnée par la norme ISO 19439. Nous nous sommes basés sur cette norme pour définir un cadre général de modélisation pour le référentiel MES (voir § 3.1 1). Dans cette étape et pour répondre à nos besoins, nous nous sommes servis des deux dimensions « généricité » et « vue des modèles ». Dans cette section, nous faisons recours à la troisième dimension définie dans la norme ISO 19439 : la dimension « des phases dans le cycle de vie des modèles » (voir Figure 3. 24). La norme identifie sept phases.

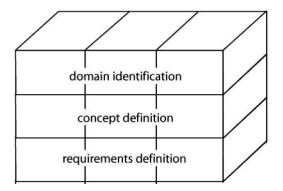


Figure 3. 24. Les trois premières phases dans le cycle de vie des modèles (ISO/TC and CEN/TC, 2006)

Dans la démarche que nous proposons, nous intervenons avec notre référentiel MES parallèlement aux trois premières phases dans le cycle de vie des modèles métier du projet client. Dans la suite de cette section, nous présentons les différents scénarios possibles et le

**Omar SAKKA** 

rôle que peut assurer notre référentiel MES dans des projets clients. Ceci revient à aligner les besoins client sur notre référentiel. En effet, il ne s'agit pas de spécifier les besoins client qu'à partir de l'analyse de l'existant pour les transformer ensuite en solution, mais de les spécifier comme un « alignement » sur notre référentiel MES orienté ISO/IEC 62264.

# 3.4.2. Alignement sémantique des besoins client sur le référentiel MES

Notre référentiel MES peut jouer un double rôle. En effet, dans la réalité, nous pouvons distinguer deux cas majeurs dans les projets client. Soit le client possède son propre référentiel métier et s'en sert pour mener ses projets, nous parlons dans ce cas de l'alignement sémantique du référentiel client sur le référentiel MES. Dans le deuxième cas, le client ne dispose pas de référentiel métier formalisé et désire mener un nouveau projet en partant de la définition du domaine pour arriver à la conception de son modèle métier, il s'agit dans ce cas de l'utilisation directe de notre référentiel.

### 3.4.2.1. 1<sup>er</sup> cas : l'entreprise cliente possède son propre référentiel

En général, une entreprise qui possède déjà son propre référentiel métier préfère l'utiliser pour définir son modèle métier pour de nouveaux projets. Ce choix est justifié par le coût élevé de la mise en place d'un nouveau référentiel métier. Cependant, dans des contextes assez complexes, tels que l'implication de l'entreprise dans de nouveaux projets collaboratifs (avec de nouveaux partenaires par exemple) ou des changements radicaux dans le métier de l'entreprise (ajout, modification ou suppression de composants métier), vu l'évolution des métiers et les obligations du marché, l'entreprise se trouve dans l'obligation de réviser, reformuler ou restructurer son référentiel métier. Une démarche de réingénierie métier s'avère avantageuse. C'est à ce stade que nous intervenons avec notre référentiel métier standardisé.

Il s'agit dans ce cas de figure d'un alignement sémantique du référentiel existant de l'entreprise sur notre référentiel MES. Les attentes de cet alignement sont multiples. Ceci permet, d'une part, à l'entreprise cliente de réorganiser et de restructurer son métier selon la structure et la hiérarchie de notre référentiel métier, c'est un premier pas vers une standardisation ISO/IEC 62264. D'autre part, en appliquant notre démarche d'alignement sémantique, l'entreprise peut aligner d'autres normes et standards métier sur son référentiel métier.

Par conséquent, en alignant son référentiel métier existant avec le référentiel MES, l'entreprise aboutit à un nouveau référentiel métier orienté ISO/IEC 62264. Ce dernier contient certainement de nouveaux éléments spécifiques à l'entreprise mais classés selon la hiérarchie de notre référentiel et respectant les relations définies dans notre méta-modèle. Ce nouveau référentiel contribue à une démarche d'interopérabilité sémantique surtout lorsque nous sommes face à plusieurs acteurs.

## 3.4.2.2.2<sup>ème</sup> cas : l'entreprise cliente n'a pas de référentiel métier formalisé

Dans ce cas, l'entreprise désire formaliser ses besoins pour créer son projet. Nous proposons alors une démarche de gestion d'un projet client au niveau métier, assistée par notre référentiel métier et conforme aux trois premières phases de cycle de vie des modèles de la norme ISO/IEC 19439. La Figure 3. 25 donne une vue macroscopique sur la démarche globale d'alignement sémantique entre la formalisation des besoins métier du client et le référentiel MES. Nous proposons un cycle d'alignement itératif pour la définition du *modèle métier* pour un projet client.

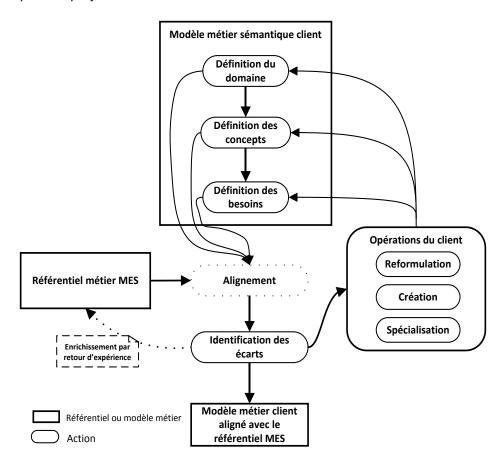


Figure 3. 25. Vue macro de la démarche d'alignement « Référentiel-Besoins client »

Dans notre démarche, nous alignons le contenu métier livré à la fin de chacune des trois étapes (définies dans la norme ISO/IEC 19439) pour la définition du modèle métier sur le référentiel MES. A l'issue de cet alignement, nous identifions des écarts dont la résolution exige dans certains cas des opérations supplémentaires par le client (reformulation, création, spécialisation). Cet alignement peut contribuer aussi à l'enrichissement du référentiel MES par retour d'expérience.

Tout au long de cette démarche, et à chacune des étapes de création du modèle métier, le client se situe au deuxième niveau de généricité de notre cadre de modélisation qui est le niveau *projet*. Il exprime ses besoins à ce niveau en se basant également sur la partie *projet* du méta-modèle, c.à.d. il formalise ses besoins sous forme d'objets, de fonctions et de

processus métier. Il s'agit de la formalisation des relations entre les construits du niveau *Référentiel* et *Projet* du méta-modèle (voir Figure 3. 2).

Dans la suite, nous commençons par présenter chacune des trois premières phases dans le cycle de vie du modèle métier client. Nous présentons les opérations du client.

### 3.4.2.2.1. La définition du domaine

Conformément à la norme ISO 19439, la première phase dans le cycle de vie d'un modèle métier est la définition du domaine à étudier. Cette phase consiste à identifier le domaine de l'entreprise à modéliser en termes d'objectifs métier, d'entrées/sorties, de fonctionnalités et de capacités. En général, les modèles produits dans cette phase sont décrits pas les utilisateurs clés.

Dans cette première phase, les solutions de reformulation, création et spécialisation sont applicables. En effet, notre référentiel MES définit quatre domaines métier (le domaine de la production, de la qualité, de la maintenance et de l'inventaire). Le client peut utiliser directement l'un (ou les) de ces quatre domaines, il peut aussi créer un nouveau domaine comme par exemple le domaine de la gestion des risques.

### 3.4.2.2.2. La définition des concepts

Dans cette phase sont définis les concepts métier qui facilitent la réalisation des objectifs métier et des opérations du domaine de l'entreprise, y compris la mission, la vision, les règles métier, les stratégies,... du domaine. Cette phase est nécessaire pour atteindre les fonctionnalités de base et les capacités définies dans la phase précédente. Ces modèles viennent enrichir ceux définis dans la définition du domaine.

Nous avons repris dans notre référentiel MES les principaux concepts définis par l'ISO/IEC 62264 (voir la section 2.3 1), tels que les concepts de l'aptitude (capability), la capacité (capacity), du processus segment (segment process). En cas de besoin, le client peut créer de nouveaux concepts tels que les concepts de la compétence (skill) et de la décision (decision).

### 3.4.2.2.3. La définition des besoins

Dans cette phase sont définis les fonctionnalités métier du domaine de l'entreprise en termes de processus métier, activités métier et leurs entrées/sorties, indépendamment de toute implémentation technique. Ceci comprend aussi la définition des besoins fonctionnels, comportementaux, informationnels... Cette phase dérive de la phase de définition des concepts et définit les besoins métier du domaine de l'entreprise.

### 3.4.2.2.4. Les opérations du client

Les étapes de reformulation, de création et de spécialisation sont assurées par les experts métier qui jouent le rôle d'un pivot entre les différents acteurs qui interviennent dans le processus de conception du modèle métier sémantique et le choix des modèles dans le référentiel MES.

La reformulation des besoins présente une première solution à certains types d'écarts, identifiés lors de l'alignement des besoins client sur le référentiel MES. Il s'agit de suivre les recommandations du référentiel MES concernant par exemple un certain nombre de processus métier partiels et standardisés. Dans ce cas, la reformulation des besoins client pour mieux s'aligner avec le référentiel ne peut qu'être bénéfique et n'influe pas sur le métier de l'entreprise. A titre d'exemple, nous citons un extrait sous forme d'ontologie d'un processus défini par la norme ISO/IEC 62264 et qui est repris dans le référentiel MES (voir Figure 3. 26). Dans cet exemple, le processus contient quatre activités métier et cinq informations. Le client peut reformuler ses besoins, à un niveau de granularité élevé, en se basant sur ce « macro » processus. Il peut éventuellement l'enrichir et le détailler mais en restant toujours dans le périmètre décrit par la norme.

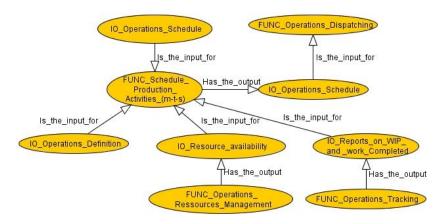


Figure 3. 26. Exemple d'un processus métier proposé par l'ISO/IEC 62264

Cependant, la reformulation ne répond toujours pas aux écarts identifiés lors de la phase d'alignement. La deuxième solution que nous proposons est d'apporter des modifications, plus ou moins importantes, aux modèles proposés par le référentiel MES et appliquer ces modifications sur le modèle métier sémantique du client. En effet, certains processus métier sont critiques pour l'entreprise et ne sont pas modifiables, ils peuvent être reliés, par exemple, à son savoir-faire ou à son cœur métier. Dans ce cas, nous proposons de réaliser l'une ou les deux opérations suivantes :

- Opération de spécialisation: cette opération est représentée dans notre métamodèle entre les construits du niveau référentiel et projet par la relation de spécialisation du langage UML. Elle permet de substituer quelques éléments génériques du référentiel par d'autres, de même type, avec une implication métier plus accentuée et ciblée au domaine métier du client.
- Opération de création : de nouveaux objets, activités, et opérations métier spécifiques au domaine métier du client peuvent être créés directement dans le modèle métier du client.

Pour illustrer par exemple, imaginons un processus de réception d'articles. Notons une diversité importante dans ce genre de processus, variant du plus simple au plus complexe. Dans notre cas, nous citons le cas d'une réception de produits finis sérialisés (contenant un numéro de série) avec un contrôle qualité soumis à des « instructions de contrôle »

(conformément à une norme qualité) et incluant un processus de retour pour les produits hors norme. Dans cette phase de définition de besoins, ce processus doit être affiné par une description précisant ainsi les activités, les acteurs intervenant dans ce processus, leurs capacités et qualifications, la norme qualité utilisée... Dans le cas où il s'agit d'un processus critique pour l'entreprise, ce dernier ne peut pas être reformulé. Le client peut choisir la solution de spécialisation et/ou de création. A titre d'exemple, il peut exécuter l'opération de spécialisation pour créer un lien sémantique entre l'objet métier *produit fini sérialisé*, propre au processus métier de l'entreprise, et l'objet métier *Material Information* défini dans le référentiel MES en se basant sur le méta-modèle défini précédemment. Le client peut aussi créer un nouvel objet métier qui s'intitule *règles métier pour retour produit* car le référentiel MES ne traite pas les aspects de retour. En ce qui concerne la norme qualité adaptée par l'entreprise cliente (dans l'exemple ci-dessus), nous pouvons appliquer notre démarche d'alignement sémantique entre référentiels métier détaillée dans la section § 3.3.1.

Nous avons représenté ce cas métier sous forme d'une ontologie (voir Figure 3. 27) afin de montrer les opérations effectuées par le client avec un niveau d'abstraction assez élevé et pour rester, à ce stade, indépendant de toute plateforme de modélisation. Ce cas métier peut se traduire, en se basant sur notre méta-modèle et dans une version très simplifiée, à une instance du construit *processus métier client* : « contrôle qualité réception » et manipulant des instances des construits du niveau projet du méta-modèle :

- Des instances du construit objet métier client : « Produit fini Sérialisé » « Outil de contrôle », « Instructions de contrôle », « Manutentionnaire » et « règles métier pour retour produit »;
- Des instances du construits *opération métier client* : « Recevoir colis » et « Saisir/Acquérir les informations de contrôle » et « Déclarer retour produit » ;
- Des instances du construit événement du client : « Arrivée colis », « Contrôle qualité requis » et « Qualité non validée ».

Cet exemple d'alignement met en évidence l'utilisation du référentiel MES dans la définition du processus métier client en utilisant les relations définies dans notre méta-modèle. Le client a utilisé la relation de spécialisation pour créer l'ensemble de ses objets et opérations métier à l'exception de l'objet métier : règles métier pour retour produit et la fonction métier : déclarer retour produit qui n'ont pas d'instances respectives dans le référentiel MES.

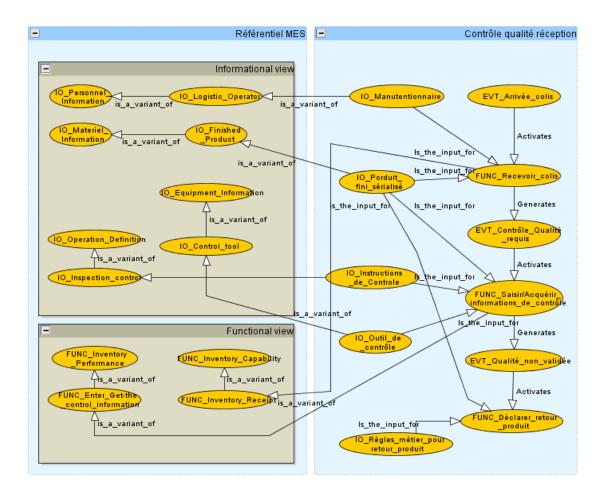


Figure 3. 27. Un exemple illustratif d'alignement des besoins client sur le référentiel MES

## 3.4.3. Synthèse

Le but de notre démarche d'alignement des besoins client sur notre référentiel MES (voir Figure 1. 2, page 17) est d'aboutir à un modèle métier sémantique standardisé. Il est évident que la première utilisation du référentiel dans un tel projet est une tâche coûteuse en termes de délais et de ressources. En effet, comme toute démarche de réingénierie, les bénéfices et les avantages ne sont pas instantanés. Cependant, l'entreprise commence à en tirer des avantages du moment où celui-ci devient son unique « bibliothèque métier ». Notre objectif est la maîtrise du niveau métier. A ce niveau, le modèle métier est le premier capital intellectuel de l'entreprise [12]. En effet, il va structurer tous les échanges, il est la langue commune du S.I. Il est construit pour accompagner l'évolution du métier de l'entreprise tout en permettant l'ajout de nouveaux concepts et apportant de la flexibilité métier face aux changements du marché.

Cette démarche peut contribuer aussi à l'enrichissement du référentiel MES par retour d'expérience. En effet, les domaines, les concepts et les besoins client créés par le client peuvent être rajoutés au référentiel MES en tenant compte aux problèmes sémantiques identifiés dans la section précédente (§ 3.3.2).

## 3.5. Conclusion

Pour la construction du référentiel MES, nous avons procédé en plusieurs étapes. Dans un premier temps, nous avons définit un cadre général de modélisation ainsi qu'un métamodèle pour la modélisation du référentiel. Ceci garantit une lecture unique et cohérente de tous les objets et processus métier qui seront définis par la suite. La deuxième étape dans la démarche de construction du référentiel MES est la modélisation de la norme ISO/IEC 62264, de la connaissance des experts métier et une cartographie d'opérations de services web conformément au méta-modèle défini.

Nous avons proposé ensuite une démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement sémantique avec d'autres normes et référentiels métier (le modèle SCOR dans notre cas). Cet alignement est unidirectionnel, il se fait toujours depuis le nouveau référentiel/standard/norme vers le référentiel MES, sans altérer la structure de ce dernier. Dans notre démarche, nous avons identifié et traiter les hétérogénéités sémantiques entre référentiels. Nous avons aussi proposé une formalisation de l'alignement entre référentiels sous forme d'un méta-modèle des relations sémantiques entre les éléments de ces référentiels. Enfin, afin de garder la cohérence du contenu du référentiel MES et sa conformité à l'ISO/IEC 62264, nous avons proposé l'utilisation des règles de contrôle sémantique pour la détection des incohérences.

Enfin, nous avons proposé une démarche d'alignement sémantique des besoins client sur le référentiel MES pour la conduite et la gestion des projets client. Nous avons caractérisé pour cela différents cas de confrontation et d'utilisation du référentiel dans une entreprise cliente.

Avec ces livrables, nous fournissons deux démarches "outillées" pour assister le processus d'alignement sémantique entre référentiels.

## Chapitre IV. Applications dans le cadre du « projet MES »

4.1.	Plateforme de modélisation	100
4.1 1	. Modélisation du cadre et du méta-modèle	100
4.1 2		
4.13	. Choix des modèles ARIS	102
4.1 4	. Choix des relations ARIS	103
4.1 5	. Transformation OWL	104
4.2.	Référentiel MES orienté ISO/IEC 62264 (ISA-95)	105
4.2 1	. Modélisation de la norme ISO/IEC 62264	105
4.2 2	. Contenu du référentiel MES orienté ISO/IEC 62264	107
4.2 3	. Utilisation du référentiel MES dans des projets client	109
4.3.	Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES avec le modèle SCOR	110
4.3 1	. Comparaison, extraction et modélisation	110
4.3 2		
4.3 3	. Cycle de validation par les experts	113
4.4.	Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES par les éléments de la couche	
fonctio	nnelle	115
4.4 1	. Modélisation de l'alignement au niveau de la vue informationnelle	115
4.4 2	. Modélisation de l'alignement au niveau de la vue fonctionnelle	117
4.5.	Contribution aux scénarios « MESTRIA »	118
4.6.	Conclusion	124

Le Chapitre III a permis de présenter nos propositions scientifiques pour la construction d'un référentiel MES, pour son enrichissement par alignement sémantique avec d'autres normes/référentiels métier et pour son utilisation dans la gestion des projets client. Dans ce chapitre, nous allons illustrer, dans le cadre du « *projet MES* », l'ensemble de nos propositions sur la plateforme ARIS SOA Architect.

### 4.1. Plateforme de modélisation

Afin de construire le référentiel MES, nous avons cherché une plateforme de modélisation qui permette de :

- Représenter plusieurs vues de modélisation,
- Différencier le niveau référentiel et le niveau projet,
- Modéliser les différents construits et relations du méta-modèle, en tenant compte des différentes couches de l'architecture SOA du « projet MES ».

Nous avons choisi la plateforme ARIS SOA Architect car, d'une part, elle permet de représenter jusqu'à cinq points de vues simultanément (voir § 2.2.2.2), elle propose aussi la notion de « *variante* » pour la création de nouvelles instances de projets, objets, processus... et est conçue spécialement pour des projets SOA. En effet, elle supporte la représentation des environnements métier (les processus métier par exemple) et technique (les services web par exemple), le mapping entre les processus métier et les descriptions des services et la génération automatique, grâce à la notion d' « événement », du langage d'exécution des processus métier BPEL<sup>46</sup> (Business Process Execution Language).

Dans cette section nous allons décrire, les étapes de construction du référentiel MES sur la plateforme ARIS SOA Architect conformément au raisonnement tenu dans notre métamodèle.

## 4.1 1. Modélisation du cadre et du méta-modèle

La modélisation de la couche métier du « *projet MES* » en utilisant le langage et la méthode ARIS, c.à.d. le choix des objets ARIS, des relations entre ces objets et des modèles ARIS représentant les objets et leurs relations, doit être conforme à la nature des construits du méta-modèle.

Afin d'assurer une meilleure lisibilité du référentiel, nous avons choisi de créer une structure hiérarchique pour représenter le cadre de modélisation et le méta-modèle. Cette structure est représentée sur la plateforme ARIS sous forme de dossiers et de sous-dossiers. Cette hiérarchie des dossiers ARIS est une « bonne pratique » de modélisation pour gérer proprement le référentiel et pour faciliter la navigation et la recherche des données. De plus, elle permet de créer une classification « sémantique » des données métier du référentiel conformément au cadre de modélisation et au méta-modèle.

<sup>46</sup> http://www.oasis-open.org/committees/tc\_home.php?wg\_abbrev=wsbpel

Nous avons créé deux dossiers principaux : *repository* et *project*. Chacun de ces deux dossiers contient deux sous dossiers : *information view* et *functional view*. Cette première classification de dossiers respecte bien la structure du cadre de modélisation général. Ensuite, nous avons créé pour chacun des construits du méta-modèle un sous-dossier classé selon son type. Par exemple, le construit *Repository Business Object* correspond à un sous-dossier qui porte le même nom, classé sous le dossier *information view*, ce dernier est classé sous le dossier *Repository* (voir Figure 4. 1).

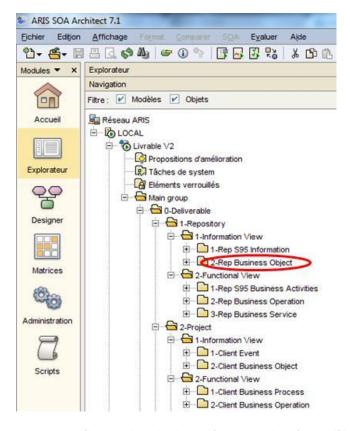


Figure 4. 1. Modélisation du cadre de modélisation et du méta-modèle

## 4.1 2. Choix des objets ARIS

Le langage ARIS propose un grand nombre d'objets. Chaque objet appartient à une des cinq vues de modélisation définies dans ARIS. Nous avons, dans une première étape appliquer le « filtre SOA » pour réduire le nombre d'objets proposés et pour respecter le contexte général du « projet MES ». Les construits de notre méta-modèle sont de type informationnel ou fonctionnel, ce qui correspond dans la plateforme ARIS respectivement à la vue « données » et à la vue « fonctions ». En ce qui concerne la première vue, nous avons choisi, d'une manière évidente, l'objet « événement » pour représenter le construit « Client event ». Pour les autres construits appartenant à la vue informationnelle, nous avons eu le choix entre les objets « cluster », « type d'entité », « classe » et « attribut descriptif ». Un « cluster » est défini dans le langage ARIS par un aperçu logique d'un regroupement de types d'entités et de relations, nécessaire à la description d'un objet complexe, d'un modèle de données... Un « cluster » peut avoir des relations avec d'autres clusters, des types d'entités, des classes et des attributs descriptifs. Il a le plus grand niveau de granularité.

Nous l'avons choisi pour représenter les construits *Repository information, Repository business object* et Client business object.

Quant aux construits de la vue fonctionnelle, nous avons choisi l'objet « fonction » (function) pour représenter tous les construits de la vue fonctionnelle : « Repository Business Activities », « Client Business Operation » et « Client Business Process ». L'utilisation de l'objet fonction diffère selon la granularité de ces trois construits. Le niveau de détail de chaque construit fonctionnel sera représenté par des modèles ARIS en les associant avec leurs fonctions respectives. A titre d'exemple, le construit « Client Business Process » peut être représenté seulement par l'objet fonction pour exprimer un niveau de granularité macroscopique, comme il peut être représenté par un modèle de « Chaine de Processus Evènementielle » (CPE) associé à la « fonction », tel est le cas du processus « Make-to-order ».

## 4.1 3. Choix des modèles ARIS

Les objets ARIS que nous avons choisis sont soit de type informationnel soit de type fonctionnel, par conséquent, nous avons trois types de relations :

- Informationnel/Informationnel: ce type de relation est présent dans la relation cluster-cluster. Dans ce cas, il faut choisir un modèle « purement » informationnel. Nous avons choisi le modèle « Modèle de donnée IE » qui permet de modéliser ce type de relation Par exemple, nous utilisons ce modèle pour modéliser les modèles d'objets définis par la norme ISO 62264.
- Informationnel/Fonctionnel: cette relation est présente dans les relations clusterfonction et event-fonction. Le modèle « Chaine de Processus Evènementielle » peut
  contenir plusieurs types d'objets et de relations ARIS. Nous l'avons choisi pour
  représenter les détails du construit « Client Business Process » au niveau projet.
  Ce construit représente un point de vue particulier de modélisation puisqu'il utilise
  à la fois des éléments informationnels et fonctionnels reliés par plusieurs relations.
- Fonctionnel/Fonctionnel: ce type de relation est présent dans la relation fonction-fonction. Cette relation se traduit au niveau métier par une relation de spécialisation et une relation de composition. Afin de différencier ces deux types de relation, nous avons choisi deux types de modèles:
  - Le modèle « Diagramme de rattachement de fonctions » pour regrouper les fonctions créées par spécialisation d'une autre fonction (la fonction mère) dans un seul modèle portant le nom de cette fonction mère.
  - Le modèle « Arbre de fonctions » pour montrer la relation de composition.
     Ce type de modèle permet d'exprimer un point de vue « hiérarchique ».

La relation fonction-fonction existe aussi entre le niveau métier et le niveau fonctionnel à travers la relation utilise (use). Nous avons choisi le modèle « Diagramme d'affectation de service » car il offre la possibilité de mixer des éléments du niveau métier et fonctionnel à la fois.

## 4.1 4. Choix des relations ARIS

Il y a une variété de relations dans le langage ARIS. Nous pouvons identifier :

- Un seul type de relation entre deux objets ARIS, par exemple la relation « active » entre un événement déclencheur et une fonction. Dans ce cas, le choix de la relation entre ces deux objets est immédiat.
- Plusieurs types de relation entre deux objets ARIS, par exemple, nous identifions entre un « cluster » et une fonction douze types de relations. Par exemple, nous avons choisi la relation « est l'entrée pour » entre un cluster et une fonction pour représenter la relation d'association entre le « Repository information » et « Repository Business Activities ».
- Pas de type de relation défini par le langage ARIS entre deux objets ARIS. Dans ce cas, un effort de modélisation a été fait pour choisir les meilleurs modèles et relations ARIS pouvant répondre à nos besoins. Par exemple, il n'existe pas de type de relation dans le langage ARIS qui correspond à la relation de spécialisation entre deux clusters, bien que ces deux types de relations existent en UML dans la plateforme ARIS. Une relation de spécialisation sert à créer un lien de «parenté» entre les construits du méta-modèle. Pour garder cette notion, nous avons choisi d'utiliser la gestion de « variante » pour représenter toute relation de spécialisation dans le méta-modèle.

Le Tableau 4. 1 montre les relations ARIS choisies et leurs correspondances avec celles du méta-modèle.

Tableau 4. 1. Liste des relations ARIS utilisées

Relation ARIS	Relation dans le méta-modèle		
Est l'entrée pour	Association entre :      Repository Information et Repository Business Activity     Client business object et client business operation		
A la sortie	<ul> <li>Association entre :</li> <li>Repository Business Activity et Repository Information</li> <li>Client business operation et Client business object</li> </ul>		
Active	Association entre :  • Client event et client business operation		
Génère	Association entre :  • Client business operation et Client event		
Variante	Relation de spécialisation entre :  Repository Information et Repository Business Object Repository Business Object et Client business object Repository Business Operation et Client business operation		
Assiste	Association entre :  Repository Business Operation et Repository Operation		

L'identification des objets, modèles et relations ARIS n'est autre que la modélisation du méta-modèle défini précédemment sur la plateforme ARIS. En effet, chaque construit ou relation du méta-modèle est traduit par un objet ARIS. On parle de la notion de « filtre » dans ARIS qui permet de choisir et gérer un ensemble particulier d'objets ARIS pour chaque « projet ARIS ». Par défaut, ce filtre est appelé « Méthode générale » et il contient l'ensemble des objets ARIS. Nous avons créé notre propre filtre pour le « projet MES » afin de ne garder que l'ensemble des objets, relations et modèles choisis précédemment.

## 4.1 5. Transformation OWL

Afin de pouvoir représenter le référentiel MES à un niveau d'abstraction élevé d'une part, et sous une forme indépendante de toute plateforme de modélisation d'autre part, nous avons généré une ontologie en OWL à partir du référentiel MES modélisé sur la plateforme ARIS. Nous nous sommes basés sur un outil de transformation existant dans le laboratoire. Cet outil est basé sur le langage XSLT<sup>47</sup> (eXtensible Stylesheet Language Transformations). XSLT est un langage de transformation XML défini au sein de la recommandation XSL du W3C. L'objectif étant de transformer un document XML vers un autre, ou un dialecte XML (XHTML, XSL-FO, HTML, etc.). Le langage XSLT permet aussi des transformations vers tout autre type de document, au format texte ou dans un format binaire (bien que ceci ne soit pas nativement prévu par la recommandation XSLT).

Notre processus de transformation a comme entrée l'export du référentiel MES, représenté sous forme de fichier XML, et comme sortie un fichier OWL qui représente l'ontologie du référentiel MES. La Figure 4. 2 montre le processus de transformation qui comporte deux opérations : la première a pour but d'éliminer, à travers des règles XSLT que nous avons définies, les informations « inutiles » du fichier exporté telles que les informations de couleurs, de la date de création...

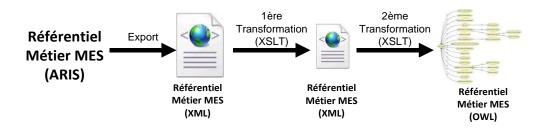


Figure 4. 2. Processus de transformation

A l'issu de cette opération nous obtenons un nouveau fichier XML « réduit » et qui est l'entrée de la deuxième opération de transformation. Nous avons créé pour cette opération des règles XSLT afin de décider de la transformation des différentes relations entre les objets du référentiel MES en OWL. Nous avons détaillé l'ensemble de ces étapes dans [90]. Dans la suite, nous citons quelques exemples de ces règles :

<sup>47</sup> http://www.w3.org/TR/xslt

- Dans la plateforme ARIS, un objet peut avoir des « associations » avec un ou plusieurs modèles ce qui crée une « structure hiérarchique », tel est le cas de chacun des neufs informations de la norme ISO/IEC 62264 qui est associé à un « modèle de données IE » pour représenter l'ensemble des variantes. La règle XSLT dans ce cas est de transformer ces associations en hiérarchie de classes en OWL.
- Une deuxième règle XSLT concerne la transformation des dossiers du référentiel MES sur ARIS en des concepts en OWL. Nous avons fait ce choix car nous considérons la structure de ces dossiers comme une information qui concerne la gestion de la structure des connaissances formalisées du référentiel selon la norme ISO/IEC 62264. De cette façon, nous pouvons être sûrs de capturer toutes les connaissances sémantiques de chaque objet du référentiel. Par exemple, en regroupant les objets métier du référentiel par catégorie : personnel, équipement... La Figure 4. 3 montre un exemple d'une règle en XSLT qui sélectionne le premier niveau de sous-groupe.

```
<xsl:for-each select="Group/Group">
<xsl:element name="Group1">
<xsl:text>&#10;</xsl:text>
    <xsl:call-template name="concept-group"/>
<xsl:text>&#10;</xsl:text>
    <xsl:element name="Group2">
<xsl:value-of select="../AttrDef/AttrValue"/>
</xsl:element>
</xsl:element>
```

Figure 4. 3. Exemple de règle en XSLT

Cette transformation du référentiel MES en ontologie nous a permis de nous concentrer sur le contenu sémantique des différents référentiels métier constituants et sur les problématiques d'alignement sémantique, tout en modélisant sur une plateforme qui supporte l'orientation service.

## 4.2. Référentiel MES orienté ISO/IEC 62264 (ISA-95)

Le choix des objets, modèles et relations ARIS, conformément au cadre de modélisation et au méta-modèle définis précédemment, a constitué un prérequis dans le processus de construction du référentiel MES basé sur l'ISO/IEC 62264 sur la plateforme ARIS SOA Architect.

## 4.2 1. Modélisation de la norme ISO/IEC 62264

L'étape suivante est la modélisation, proprement dit, de la norme ISO/IEC 62264 en utilisant uniquement les construits ARIS choisis précédemment. Cela revient à remplir, par les objets de la norme, les dossiers et leurs sous-dossiers de chacune des deux vues du méta-modèle. Nous nous sommes basés sur la version V.5 du standard ANSI/ISA-95 publiée en 2010 et qui utilise la notion « *Operations* » d'une façon générique pour exprimer l'un des quatre domaines de fabrication définis dans les anciennes versions : la production, la qualité, la maintenance et l'inventaire. La normalisation de ce standard en nouvelle version ISO/IEC

### **Omar SAKKA**

62264 est en cours. Nous avons fait ce choix car les quatre domaines de la norme sont conçus avec le même raisonnement et utilisent les mêmes construits. La notion générique de « *Operations* » facilite donc l'utilisation et la lecture du référentiel MES. Toutefois, nous nous autorisons l'utilisation dans la partie projet de ces quatre domaines comme spécifications du construit « *Operations* » pour des raisons de classification des métier.

Concernant la vue informationnelle, nous avons modélisé le contenu des parties 1 et 2 de la norme ISO/IEC 62264 dans les sous-dossiers du dossier « *Repository Information* ». Nous avons modélisé les neuf modèles d'objets de la norme classés en deux catégories : les *objets communs*, qui correspondent aux sous-dossiers « *Personnel Information* », « *Equipement Information* », « *Physical assets* », « *Material Information* » et « *Process segment* » du dossier « *Common Object* » et les *informations des opérations* (de fabrication), qui correspondent aux sous-dossiers « *Operations definition* », « *Operations schedule* », « *Operations performance* » et « *Operations capability* » du dossier « *Operations information* ». Nous avons modélisé chaque modèle d'objets de chaque information dans un sous-dossier à part. La partie gauche de la Figure 4. 4 montre la structure de la vue informationnelle du référentiel MES. La partie à gauche illustre un exemple de modèle d'objet : « *Equipment information* » qui se trouve dans le sous-dossier correspondant à cette même information.

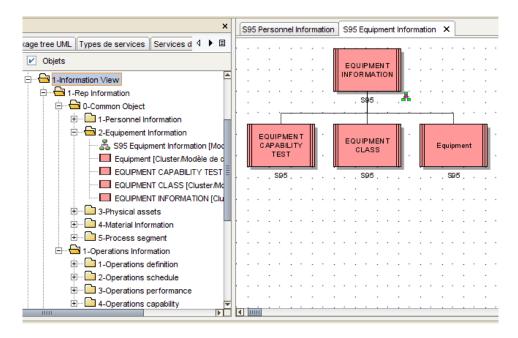


Figure 4. 4. Structure de la vue informationnelle du référentiel MES

La norme ISO/IEC 62264 (partie 1 et 2) s'est intéressée à la vue informationnelle en détaillant la structure des données et les attributs de chaque information définie. Cependant, la vue fonctionnelle reste assez générique. La partie 3 définie un modèle générique de huit activités. Ainsi, nous avons créé dans le dossier « *Repository Business Activity* » huit fonctions et le modèle qui les regroupe afin de montrer leurs interactions (voir Figure 4. 5).

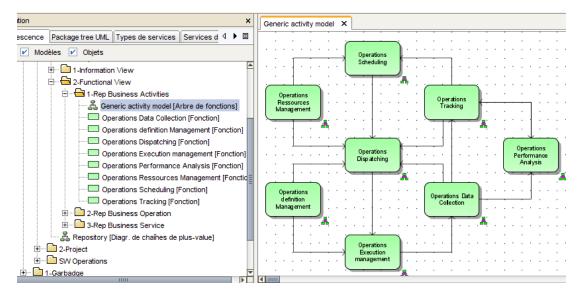


Figure 4. 5. Structure de la vue fonctionnelle du référentiel MES

La norme ISO/IEC 62264 défini de plus, dans la partie 3, des macros processus sous forme de modèles d'interaction entre activités et informations. Elle propose huit modèles génériques. Chaque modèle représente les relations d'une activité avec les autres activités et les informations échangées. En termes de modélisation sur ARIS, il s'agit d'une vue de modélisation qui regroupe des objets informationnels et fonctionnels. Pour ce type de modèle, nous avons rajouté à la hiérarchie du référentiel MES un dossier intitulé « *Repository Models* ». Ce dossier (voir Figure 4. 6) va contenir aussi tous les nouveaux modèles de la partie référentiel qui proviennent d'autres sources métier (comme le modèle SCOR).

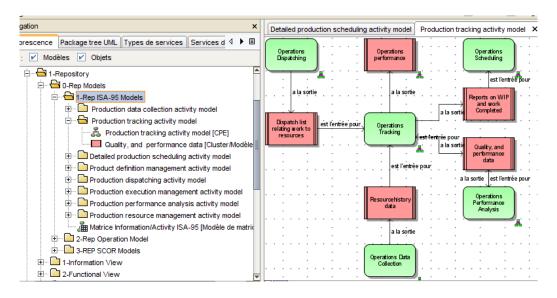


Figure 4. 6. Exemple de modèle du référentiel MES

## 4.2 2. Contenu du référentiel MES orienté ISO/IEC 62264

La modélisation de la norme ISO/IEC 62264 sur ARIS conformément au cadre de modélisation et au méta-modèle définis précédemment a produit une première version du

### **Omar SAKKA**

référentiel MES limitée à un niveau d'abstraction élevé. En effet, nous avons créé une « couche générique » de haut niveau dans le référentiel MES conforme à la norme ISO/IEC 62264 pour garder l'orientation à cette norme. Cette première version du référentiel MES a été enrichie par la suite par des connaissances métier des experts métier, des éléments du modèle SCOR et par des éléments de la couche fonctionnelle représentées sous forme d'opérations de services web et leurs entrées/sorties (voir Annexe IV).

Ces nouveaux éléments permettent d'instancier tous les construits de notre méta-modèle de la partie « Repository ». Vu la grande taille du référentiel MES, nous ne présentons à la suite que des extraits du référentiel, en mixant les exemples entre la vue informationnelle et la vue fonctionnelle. Nous insistons sur la structure du référentiel et de son enrichissement. Cependant, nous avons mis dans Annexe V un extrait plus détaillé du contenu du référentiel MES généré à partir de la plateforme ARIS.

Dans cette section, nous montrons des exemples d'enrichissement issus de la vue informationnelle. La Figure 4. 7 montre un extrait d'instanciation du construit « *Repository Business Object* ». Le contenu rajouté correspond aux éléments informationnels du modèle SCOR et des connaissances issues de l'expertise métier. Ces nouveaux éléments sont modélisés sur ARIS en tant que variantes de l'un des neufs modèles d'objets de la norme. Dans cet exemple, nous présentons des variantes du modèle d'objets « *Operations schedule* ». A titre d'exemple, les objets « *Order Information* » et « *Instruction inspection* » qui proviennent respectivement du modèle SCOR et de l'expertise métier sont deux variantes de l'objet « *Operations schedule* ». Cet exemple illustre notre première démarche d'enrichissement par alignement.

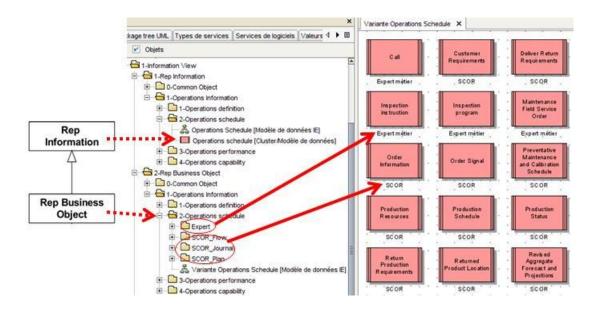


Figure 4. 7. Exemple d'instanciation du construit "Repository Business Object"

La Figure 4. 8 est un extrait d'alignement avec des éléments de la couche fonctionnelle vers ceux de la couche métier. Nous continuons avec l'exemple précédent (« *Operations Schedule* ») pour montrer l'alignement entre les instanciations du construit « *Repository* 

Omar SAKKA

**Business Data** » et les instanciations du construit « **Repository Business Object** ». Cet alignement est modélisé par un *modèle de matrice*, les lignes présentent les éléments de la couche métier classés par leur source métier (l'expertise métier ou le modèle SCOR) et les colonnes présentent les éléments de la couche fonctionnelle (les entrées/sorties des opérations des services web). Tous ces éléments sont placés dans une hiérarchie de sousdossiers identique à celle conçue pour les éléments de la norme ISO/IEC 62264.

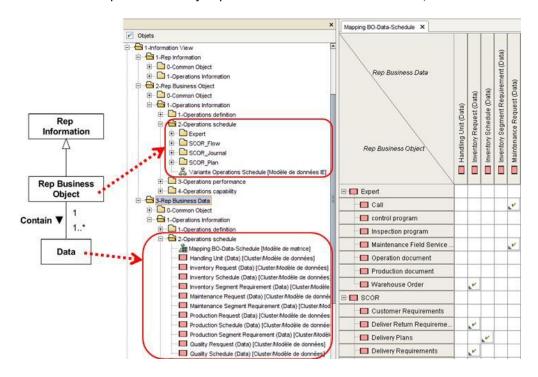


Figure 4. 8. Exemple d'instanciation du construit "repository Business Data"

#### 4.2 3. Utilisation du référentiel MES dans des projets client

L'utilisation du référentiel MES dans des projets client se traduit dans ARIS par la modélisation de processus métier dans des modèles « *CPE* », dans les sous-dossiers du dossier « *Project* ». Le client peut utiliser directement des éléments du référentiel en créant des variantes pour son projet, comme il peut aussi créer ses propres objets. Par conséquent, la construction de la hiérarchie du dossier « *Project* » se base sur le principe suivant : pour chaque nouveau scénario nous créons quatre sous-dossiers pour contenir respectivement les instanciations des construits « *Client Business Process* », « *Client Business Operation* », « *Client Business Object* » et « *Client Event* ». Ces sous-dossiers sont classés selon l'un des quatre domaines de la norme. La Figure 4. 9 montre un exemple de création ce cette hiérarchie pour le processus métier « *Maintenance Interne d'un équipement* » :.le premier sous-dossier contient le modèle « *CPE* », le deuxième sous-dossier contient les « *fonctions* », le troisième sous-dossier contient les « *clusters* » et le quatrième sous-dossier contient les « *événements* ».

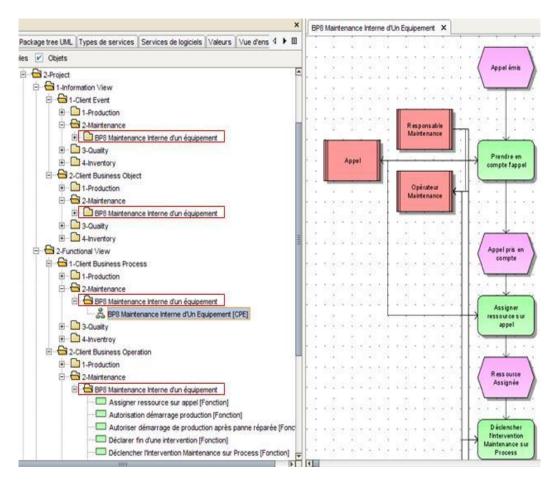


Figure 4. 9. Exemple de création d'un processus métier

### 4.3. Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES avec le modèle SCOR

Dans cette section nous allons appliquer notre démarche d'alignement sémantique entre référentiels métier. Cette démarche est détaillée dans la section §3.3. Nous rappelons que cette démarche est unidirectionnelle et basée sur les quatre phases suivantes : comparaison, extraction et modélisation, alignement et validation.

#### 4.3 1. Comparaison, extraction et modélisation

La comparaison et l'extraction sont deux phases indépendantes de toute plateforme de modélisation. En effet, la phase de comparaison permet de connaître le degré de compatibilité des deux référentiels à aligner et leurs principaux points d'hétérogénéités afin de choisir les parties à extraire (voir Tableau 3. 1, page 77). Nous rappelons que pour la phase de l'extraction, nous sommes basés sur les travaux de [75] pour choisir le contenu du processus MAKE à aligner sur le référentiel MES.

Concernant la phase de modélisation, nous avons repris la version du modèle SCOR fournie sur la plateforme ARIS pour modéliser les éléments informationnels (107 entrées/sorties) et fonctionnels (28 éléments de processus) du processus MAKE conformément à notre métamodèle et en utilisant les construits ARIS choisis précédemment. Le reste des éléments du

processus « MAKE » (les bonnes pratiques et les métriques) est hors de notre domaine d'application.

Vu le grand nombre d'éléments SCOR à modéliser, nous avons utilisé les « modèles de matrices » de la plateforme ARIS pour représenter les relations entre les fonctions et leurs entrées/sorties. La Figure 4. 10 montre un aperçu de la matrice représentative du processus MAKE avec les entrées/sorties (les *clusters*) en lignes et les fonctions en colonnes. Ceci représente le résultat de l'étape de modélisation.

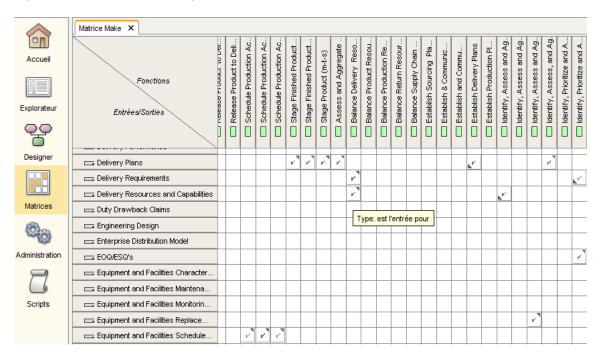


Figure 4. 10. Aperçu de la matrice du processus MAKE

#### 4.3 2. Processus d'alignement

Comme nous l'avons précisé dans la section § 2.4 2, le processus d'alignement sémantique ne peut pas être totalement automatique. Il nécessite la compréhension de la sémantique des concepts à aligner. Plusieurs travaux se sont intéressés à l'alignement des ontologies et ont proposé des outils d'alignement et de mapping basés sur des algorithmes heuristiques pour proposer à l'utilisateur les concepts candidats pour l'alignement.

Dans le cadre du « *projet MES* », nous ne traitons pas les problématiques d'alignement sémantique entre ontologies ni l'utilisation ou la proposition d'outils de mapping ou d'alignement entre ontologies. Nous nous intéressons plutôt à fournir aux experts une démarche d'alignement sémantique assistée par des règles de contrôle sémantique pour leur aider à résoudre les problématiques d'hétérogénéités sémantiques qui peuvent exister entre deux sources métier à aligner. La résolution de ces problématiques est une tâche générique pour toute démarche d'alignement (démarche basée sur les ontologies, sur les modèles…).

En appliquant sur ARIS notre démarche d'alignement sémantique proposée dans la section §3.3.4, nous avons procédé ainsi :

#### **Omar SAKKA**

- L'alignement des éléments des deux référentiels se fait par vue de modélisation.
- La démarche est descendante (top-down) puis ascendante (bottom-up).

Dans la suite, nous allons montrer des exemples de modélisation de l'alignement entre la norme ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR sur ARIS issus de la vue informationnelle. Bien que les problématiques d'hétérogénéité sémantique ne soient pas les mêmes dans les deux vues, la démarche d'alignement sur ARIS reste la même. Ces problématiques d'hétérogénéité ont été traitées dans la section 3.3.2

Aligner les éléments informationnels du processus MAKE sur ceux de la norme ISO/IEC 62264 revient à aligner 140 entrées/sorties sur 9 modèles d'objets. Nous avons commencé par une démarche descendante (top-down), comme expliqué dans la section 3.3.4.1, en classant les informations du modèle SCOR en cinq grandes classes pour réaliser un premier alignement « haut niveau » entre ces classes et les neuf modèles d'objets de la norme ISO/IEC 62264.

Comme application sur ARIS, nous avons créé dans un premier temps cinq modèles de données IE (voir le choix des modèles ARIS dans la section 4.1 3). Chaque modèle porte le nom d'une des cinq classes et contient l'ensemble des informations SCOR correspondants à cette classe. La modélisation de l'alignement entre l'information de l'ISO/IEC 62264 et l'information SCOR se traduit sur ARIS par la création d'une relation d'association entre un cluster, représentant l'un des neuf modèles d'objets, et un (ou des) modèle(s) de données IE représentant l'une ou les classes d'information SCOR.

A titre d'exemple, les classes « *Plan* » et « *Flow* » du modèle SCOR peuvent s'aligner au modèle d'objet « *Operations Schedule* » (voir Tableau 3. 3). Sur la plateforme ARIS, les classes « *Plan* » et « *Flow* » sont modélisées par deux « *modèle de donnée IE* » et elles sont en relation d'association avec le modèle d'objet « *Operations Schedule* » représenté par un *cluster* (voir Figure 4. 11).

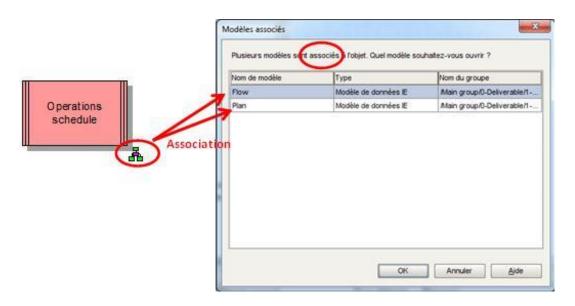


Figure 4. 11. Modélisation de l'alignement "haut niveau" de la vue informationnelle

L'étape suivante est d'aligner directement les 140 entrées/sorties du processus MAKE directement sur les neuf modèles d'objets de la norme. Cette tâche est facilitée grâce à l'alignement du haut niveau déjà réalisé (voir § 3.3.4.1).

Pour ce faire, nous avons vérifié si les entrées/sorties du modèle SCOR, déjà classées par modèle, peuvent s'aligner ou pas avec le modèle d'objet associé. Pour l'exemple cité dans la Figure 4. 11, il s'agit de vérifier si les entrées/sorties des modèles « *Plan* » et « *Flow* » sont bien alignées au modèle d'objets « *Operations Schedule* » ou pas. La modélisation de cet alignement passe par la notion de *variante* de la plateforme ARIS (voir Figure 4. 12).

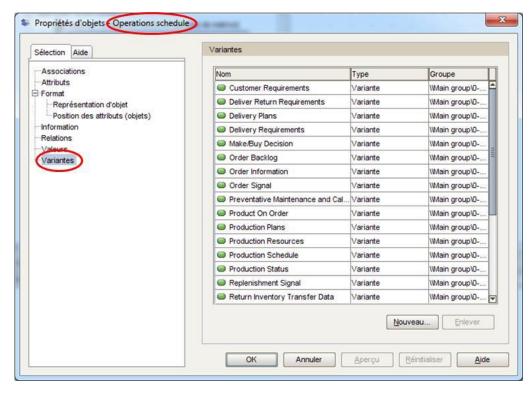


Figure 4. 12. Modélisation de l'alignement "Bas niveau"

#### 4.3 3. Cycle de validation par les experts

La dernière étape dans notre démarche d'alignement est le cycle de validation par les experts. Cette validation se fait d'une manière « naturelle » lors de chaque « alignement élémentaire » entre les éléments des deux référentiels. Cependant, comme nous l'avons expliqué dans la section §3.3.5, un cycle de validation par les experts métier du résultat final de l'alignement du deuxième référentiel (le modèle SCOR et les connaissances des experts métier dans notre cas) sur les éléments du référentiel MES est nécessaire. En effet, il faut s'assurer de la consistance du référentiel MES et de son orientation ISO/IEC 62264 en se basant principalement sur le méta-modèle du référentiel MES. Nous avons évoqué aussi dans la même section la notion de règles de contrôle sémantique pour vérifier et détecter les incohérences sémantiques des nouveaux éléments rajoutés et même au niveau des processus métier modélisés dans des projets client par exemple. L'ensemble des règles de contrôle sémantique que nous avons définis a été traduit dans la plateforme ARIS en utilisant les scripts ARIS. Ce travail a été réalisé par un étudiant dans le cadre d'un stage

#### **Omar SAKKA**

dans le laboratoire. La Figure 4. 13 montre un extrait d'un rapport affichant le résultat pour le contrôle sémantique, représenté dans la § 3.3.5, appliqué sur un scénario métier « Ordonnancement et lancement d'un OF en Jobshop ».

Modèle : BP2 Ordonnancement lancement d'un OF en jobshop			
Rapporter les outils			
Cluster 1: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.	
Cluster 2: Outillages Manuels	L'Object 'Outillages Manuels' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.	
imprimer situation stocks pour un ordre de production			
Cluster 1: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.	
Vérifier disponibilité matière d'un ordre de production			
Cluster 1: Document OF	L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 n'est pas respectée.	

Figure 4. 13. Extrait d'un rapport de contrôle sémantique

La même règle de contrôle sémantique peut être appliquée directement sur les modèles. Dans ce cas, les objets possédant des relations non conformes à la norme ISO/IEC 62264 sont entourés en rouge (voir Figure 4. 14).

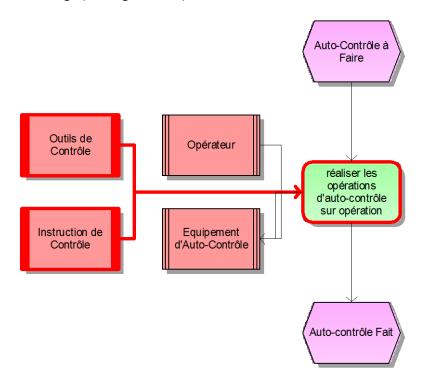


Figure 4. 14. Exemple d'un modèle analysé avec une règle de contrôle sémantique

## 4.4. Zoom sur l'enrichissement du référentiel MES par les éléments de la couche fonctionnelle

Afin que notre référentiel MES soit exploitable dans le « *projet MES* » et pour rester conforme à une démarche SOA, nous avons aligné les éléments de la couche métier, représentés sous forme d'objets et opérations métier avec ceux de la couche fonctionnelle, représentés sous forme d'opérations de services web et de données. Pour cela, nous nous sommes basés sur les relations définies dans notre méta-modèle et sur un format pivot : les fichiers B2MML (voir §3.2 3).

Les opérations de services web ainsi que leurs entrées/sorties proviennent d'une « cartographie d'opérations de services web » établie par le laboratoire LISTIC (un partenaire du « *projet MES* ») à partir des solutions existantes des autres partenaires (les éditeurs) du « *projet MES* ». Elle est représentée sous forme d'un fichier Excel et contient 161 opérations de services web et 1962 entrées/sorties.

La modélisation de l'alignement métier/fonctionnel sur ARIS passe par deux principales étapes :

- Distinguer les éléments de chaque couche. En effet, la plateforme ARIS SOA Architect, conçue pour les architectures SAO, définit l'objet « faculté » pour exprimer la notion de service. Nous avons utilisé cet objet ARIS pour modéliser le construit « Repository Operation », situé au niveau de la vue des fonctions, de la couche fonctionnelle. Concernant le construit « Data » qui appartient à la vue informationnelle, nous l'avons modélisé avec l'objet « Attribut MER ».
- Modéliser l'alignement des éléments informationnels et fonctionnels, en créant des relations entre les objets ARIS déjà choisis pour la construction du référentiel.

## 4.4 1. Modélisation de l'alignement au niveau de la vue informationnelle

En appliquant, dans un premier temps, notre démarche « top-down » (définie dans la section 3.2 3) sur la plateforme ARIS, nous avons créé neuf sous-dossiers « *data* », chacun est classé dans le dossier représentant le modèle d'objet correspondant. La Figure 4. 15 montre un sous-dossier « *Data* » de type « *personal information* » et qui contient quelques entrées/sorties.

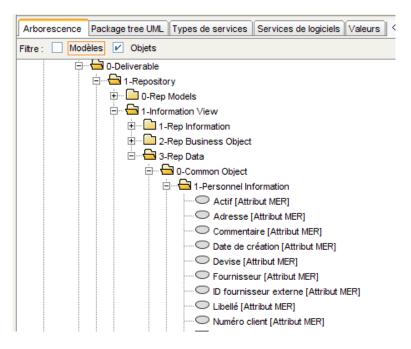


Figure 4. 15. Exemples d'entrées/sorties de la classe "Personal Information"

L'étape suivante est la modélisation de l'alignement métier/fonctionnel (de la vue informationnelle) selon une démarche « bottom-up ». Il s'agit de créer la relation « est constitué de » entre les entrées/sorties de la cartographie et les objets métier du référentiel MES qui proviennent des autres référentiels métier (SCOR par exemple). La Figure 4. 16 montre un exemple de modélisation de l'alignement d'un objet SCOR avec plusieurs entrées/sorties.

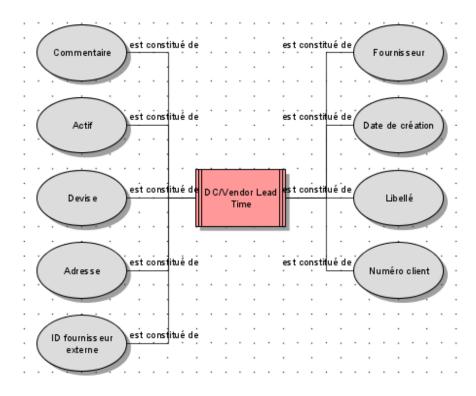


Figure 4. 16. Exemple de modélisation de l'alignement métier/fonctionnel au niveau de la vue informationnelle

### 4.4 2. Modélisation de l'alignement au niveau de la vue fonctionnelle

La démarche de modélisation de l'alignement des éléments de la vue fonctionnelle suit exactement la même logique que celle de la vue informationnelle : nous commençons par une démarche « top-down » qui consiste à classer les 161 opérations de services web selon les quatre domaines définis par la norme ISO/IEC 62264 (production, maintenance, qualité et inventaire) et aussi, selon les huit activités génériques de la norme. Ceci revient à créer sur ARIS quatre sous-dossiers. Chaque sous-dossier porte le nom d'un domaine et contient un ensemble d'opérations de services web, classées par activités et modélisées en « faculté ». Ensuite, nous effectuons un alignement « plus fin » dans une démarche « bottom-up » en alignant directement les opérations de services web, qui correspondent au construit « Repository Operation » sur les opérations métier du référentiel MES qui correspondent au construit « Repository Business Operation ». La modélisation de cet alignement se fait sur ARIS à travers le modèle « Diagramme d'affectation de service » qui contient une « fonction » qui « assiste » un ensemble de « facultés » (voir l'exemple dans la Figure 4. 17).

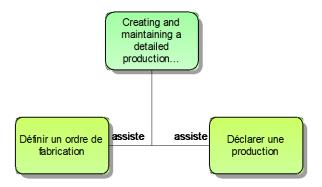


Figure 4. 17. Exemple de modélisation de l'alignement métier/fonctionnel au niveau de la vue fonctionnelle

Cet alignement métier/fonctionnel est conforme à la structure des fichiers B2MML. Toutefois, les choix des alignements restent la tâche des experts et des éditeurs puisque l'ensemble des éléments fonctionnels découlent de leurs propres solutions logicielles. Notre intervention dans cet alignement était de proposer une démarche qui guide ces éditeurs à mieux s'aligner sur le référentiel MES.

Ainsi, les éléments de la couche fonctionnelle alignés sur le référentiel MES permettent d'enrichir les processus métier modélisés par le client (dans la partie projet du cadre de modélisation). En effet, en modélisant ces processus métier sur ARIS sous forme de modèles CPE, nous pouvons modéliser aussi les entrées/sorties utilisés et les opérations de services web invoquées par les opérations métier. Nous obtenons ainsi un modèle « CPE enrichi orienté service ».

La Figure 4. 18 montre la modélisation de l'ensemble des relations et des objets ARIS utilisés dans la partie référentiel et projet conformément à notre méta-modèle.

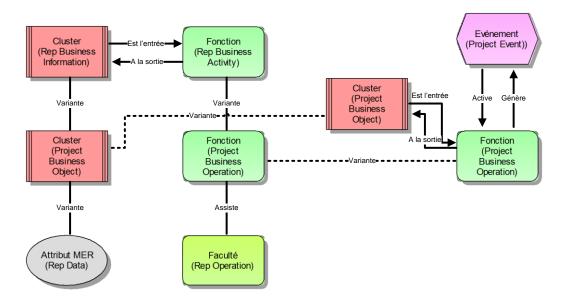


Figure 4. 18. Ensemble des objets et relations ARIS utilisés

#### 4.5. Contribution aux scénarios « MESTRIA »

Dans le cadre de nos travaux, le référentiel MES a été confronté directement avec les besoins du « *projet MES* » pour aider à la construction de la solution MES finale : « *MESTRIA* »<sup>48</sup>.

Nous avons mis en œuvre notre démarche d'alignement, détaillée dans la section §3.4, à travers plusieurs réunions avec les partenaires du « projet MES ». Au cours de ces réunions, nous étions face aux deux cas présentés dans notre démarche d'alignement sémantique entre le référentiel MES et les besoins client : (i) l'entreprise cliente possède son propre référentiel et (ii) l'entreprise cliente n'a pas de référentiel formalisé. En effet, lors de ces réunions de travail, les partenaires (les différents éditeurs) ont joué un double rôle : d'une part, ils ont la volonté de s'aligner sur le référentiel MES afin de garantir la conformité à la norme ISO/IEC 62264, et d'autre part, ils se mettent à la place d'une entreprise cliente qui désire utiliser le référentiel MES pour la construction de la solution « MESTRIA ».

La méthodologie de travail a consisté à proposer différents scénarios métier, modélisés en BPMN par les acteurs du projet. Ce langage de modélisation a été choisi par tous les membres du « *projet MES* » pour être le langage de modélisation des scénarios MESTRIA car il est considéré, à leur sens, comme un langage neutre et indépendant de toutes leurs solutions logicielles, compréhensible par tous les partenaires et il peut être repris au cas de besoin sur plusieurs autres plateformes tels que ARIS ou Agilium<sup>49</sup>. Ces scénarios, traitent

Omar SAKKA

<sup>48</sup> http://www.thesame-innovation.com/Jitec/Jitec.php?Id=889

<sup>&</sup>lt;sup>49</sup> Agilium est la plateforme d'orchestration des processus métier et des services web dans le « *projet MES* » http://www.agilium.com/Accueil

plusieurs champs d'applications des systèmes MES et invoquent, à travers des opérations de services web, les différentes solutions des éditeurs (voir Figure 4. 19).

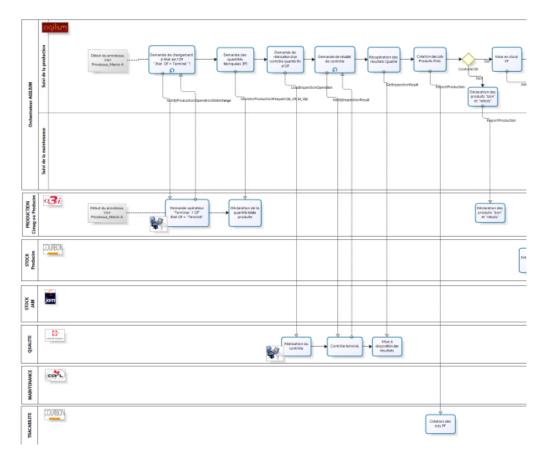


Figure 4. 19. Exemple d'un processus "MESTRIA" en BPMN

Chaque éditeur exprime à travers ces scénarios les fonctionnalités métier qu'il désire mettre dans la solution « MESTRIA », formalisant ainsi son référentiel métier sous forme de processus métier. Nous sommes intervenus donc, lors de ces réunions, sur deux niveaux : l'alignement sémantique des cartographies de chacun des éditeurs sur le référentiel MES en appliquant notre démarche d'enrichissement du référentiel MES par les éléments de la couche fonctionnelle, et l'alignement sémantique des besoins clients (les sept éditeurs partenaires du « projet MES ») sur le référentiel MES.

La Figure 4. 20 montre la confrontation du référentiel MES lors des réunions de travail avec les éditeurs du « *projet MES* » pour la conception de la solution « *MESTRIA* ». Cette confrontation se traduit par l'alignement des opérations de services web à travers les « diagrammes d'affectation de services » (voir l'exemple de diagramme dans la Figure 4. 20) et leurs entrées/sorties à travers les « modèles de données IE » de chaque éditeurs sur le référentiel MES. Cet alignement a été expliqué dans la section 3.2 3. A l'issu de cette étape, chaque éditeur possède son propre référentiel MES orienté ISO/IEC 62264. Cette conformité à la norme permet d'assurer une certaine interopérabilité au niveau métier et au niveau sémantique entre les différentes solutions des éditeurs.

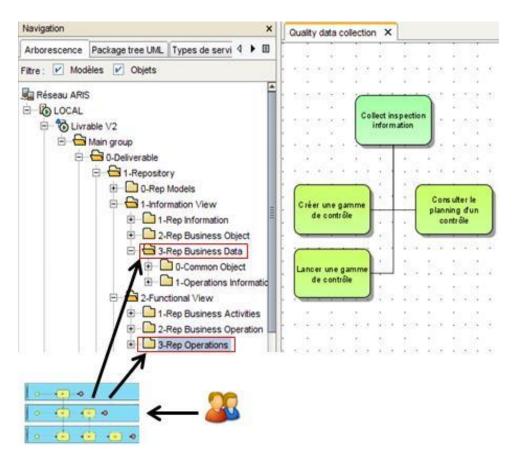


Figure 4. 20. Alignement des cartographies des éditeurs sur le référentiel MES

Nous obtenons ainsi, un référentiel MES pour le « *projet MES* » avec les caractéristiques suivantes :

- Conforme ISO/IEC 62264 (ANSI ISA-95),
- Contient des connaissances issues de l'expertise métier,
- Contient des éléments issus du modèle SCOR,
- Contient les éléments de la cartographie des opérations de service web des éditeurs du « projet MES ».

Nous illustrons dans la suite notre démarche d'alignement sémantique des besoins des éditeurs du « *projet MES* » sur le contenu de ce référentiel MES.

D'une façon pratique, la définition du projet client « MESTRIA » est modélisée dans le dossier « *Project* ». Nous avons modélisé ensuite les scénarios BPMN proposés par les éditeurs sur la plateforme ARIS sous forme d'objets métier, événements métier et opérations métier en appliquant, à l'issue de l'étape d'identification des écarts, les trois opérations définies dans notre démarche d'alignement : la reformulation, la création et la spécialisation (voir la Figure 3. 25). Le choix de ces opérations a été décidé lors des réunions avec les partenaires du « *projet MES* ».

Dans la suite, nous allons présenter un extrait de scénario métier « *MESTRIA* » proposé par les partenaires du « *projet MES* » et la démarche que nous avons suivi pour le modéliser sur ARIS en utilisant le référentiel MES.

**Omar SAKKA** 

L'objectif du scénario est de décrire comment un produit est construit selon un plan de production sur un site de production. Ce processus peut faire appel aux quatre domaines définies par la norme ISO/IEC 62264: la production, la qualité, la maintenance et l'inventaire. L'événement déclencheur de ce processus métier est une liste d'ordre (ou d'un groupe d'ordre) de production à faire. Avant de lancer un ordre de production, les phases de vérification de disponibilité de matières, de composants, d'équipements, des personnels, d'outillages... de traitement des manquants et de (ré) ordonnancement sont obligatoires. L'exécution d'une ou plusieurs opérations d'un ordre de fabrication déclenche des opérations d'« auto-contrôle qualité » sur opération (selon des instructions de contrôle), des opérations de collecte d'information (numéro de lot du produit par exemple) et des demandes de rangement du produit fabriqué en stock.

La modélisation d'une partie de ce processus par les éditeurs est donnée dans la Figure 4. 21. Dans la suite nous allons traiter une seule fonctionnalité de ce processus (Réaliser un contrôle qualité à la fin d'un ordre de fabrication) et montrer la démarche suivie pour la modéliser sur la plateforme ARIS en appliquant notre démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES.

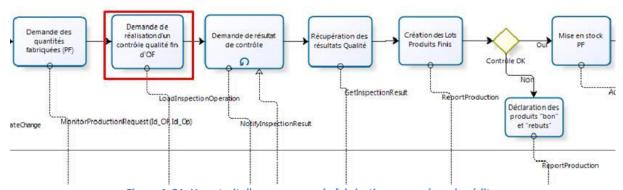


Figure 4. 21. Un extrait d'un processus de fabrication proposé par les éditeurs

A l'issue de cette modélisation, une formalisation du modèle métier sémantique du client pour la fonction « Réaliser un contrôle qualité à la fin d'un ordre de fabrication » a été réalisée :

- La définition du domaine : Gestion de la qualité. Ce domaine est l'un des domaines de la norme ISO/IEC 62264 et il est bien présent dans le référentiel MES.
- La définition des concepts : cette phase détaille les règles métier de la fonction choisie, les instructions à suivre, le personnel responsable, ses compétences...
- La définition des besoins : cette phase détaille les fonctionnalités métier de la fonction choisie en termes de son déroulement (processus de déroulement) sur le terrain. Plusieurs questions peuvent être posées à cette phase : quelles sont les entrées/sorties de cette fonctions ? quels sont les événements déclencheurs et générés ? quels sont les sous-opérations ?

Ces trois phases de définition du modèle métier du client permettent d'identifier les écarts avec les objets du référentiel MES. La Figure 4. 22 montre une partie d'un modèle « CPE » orienté service. Il contient une « fonction » : « Réaliser les Opérations de Contrôle sur l'Opération de Fin de Production », des « clusters » en entrées de cette fonction, deux « événements », un pour déclencher la fonction et un généré par la fonction et enfin une « faculté » qui représente une opération de service web invoquée par la fonction. Cette figure met en évidence la construction d'un projet client à partir du référentiel MES. Cette construction est conforme aux relations définies dans le méta-modèle entre la partie projet et référentiel. Chaque modèle client se crée soit par instanciation des objets du référentiel MES soit par la création d'un nouveau objet :

- Dans le premier cas, nous utilisons la notion de « variante » pour créer un objet propre au projet client. C'est l'exemple des objets métier « Opérateur » qui est une variante de l'objet métier « Operator », un objet métier du référentiel MES.
- Dans le deuxième cas, nous ne trouvons pas de concordance entre l'objet client et les objets du référentiels métier MES, nous créons alors un nouveau objet propre au projet client en fonction de sa nature (vue informationnelle ou fonctionnelle).
   Dans l'exemple de la Figure 4. 22, nous avons créé une nouvelle fonction « Réaliser les Opérations de Contrôle sur l'Opération de Fin de Production » dans le sousdossier « Client Business Operation ».

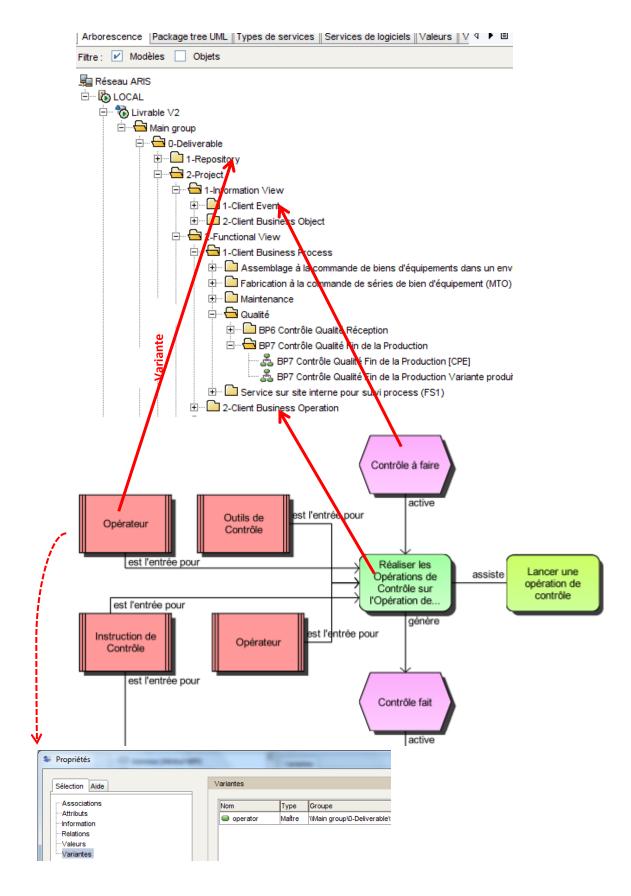


Figure 4. 22. Modélisation sur ARIS d'un extrait d'un processus "MESTRIA"

#### **Omar SAKKA**

#### 4.6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, de manière concrète, notre référentiel MES orientée ISO/IEC 62264 modélisé et opérationnel sur la plateforme ARIS SOA.

Nous avons ensuite expérimenté l'enrichissement de notre référentiel, d'une part au niveau de la couche métier avec des éléments du modèle SCOR en appliquant notre démarche d'alignement sémantique, et d'autre part avec des éléments de la couche fonctionnelle en se basant sur les fichiers B2MML et les connaissances des éditeurs.

La troisième expérimentation est inspirée de la solution « MESTRIA » du « *projet MES* ». Nous nous sommes basés sur les scénarios métier menés dans ce cadre pour appliquer notre démarche d'alignement sémantique avec les besoins client.

La modélisation de ces trois alignements se traduit sur ARIS par le choix des relations adéquates entre les objets du référentiel MES, les éléments du modèle SCOR, les éléments de la couche fonctionnelle et les éléments instanciés dans les projets client.

Nous avons également implanté les règles de contrôle sémantique pour le test et la vérification des éléments rajoutés ainsi que pour la cohérence des modèles pour les processus métier du client, pour garantir la structure du référentiel et la cohérence de son contenu par rapport à l'orientation ISO/IEC 62264.

La modélisation du référentiel et des différents types d'alignement sur la plateforme ARIS ont pu ainsi répondre aux exigences du « *projet MES* ».

Nous disposons ainsi d'une plateforme opérationnelle permettant la gestion des projets client en s'appuyant sur un référentiel orienté ISO/IEC 62264 et intégrant une diversité de connaissances métier provenant des éléments du processus MAKE du modèle SCOR et de différentes expertises métier.

# Chapitre V. Conclusions et perspectives

Les travaux décrits dans cette thèse portent sur les problématiques d'hétérogénéité sémantique entre référentiels métier, et en particulier sur l'alignement sémantique entre référentiels métier dans le domaine des systèmes **MES** (**M**anufacturing **E**xecution **S**ystem). Ces travaux se sont inscrits dans le cadre d'un projet de recherche et développement : le « *projet MES* », qui s'intéresse à la mise sur le marché d'un produit « MES On Demand » réunissant les offres complémentaires des différents partenaires industriels du projet.

Le contexte du « projet MES » est caractérisé par une double hétérogénéité : une hétérogénéité au niveau technique constatée par les différentes plateformes logicielles et une hétérogénéité sémantique au niveau des connaissances métier due aux différentes manières d'interpréter des acteurs du projet.

Les travaux que nous avons menés ont pour objectif d'assurer l'interopérabilité, au niveau des connaissances, entre les différentes applications des partenaires industriels. Ceci nécessite une représentation formalisée permettant de partager et d'utiliser ces diverses connaissances dans le projet. Pour cela, nous sommes intervenus dans la formalisation des processus et objets métier, supportés par les différentes applications, dans le but d'identifier et de résoudre les conflits sémantiques. Cette formalisation est conforme à la norme métier ISO/IEC 62264 (la normalisation du standard ANSI ISA-95) et à une architecture orientée services (SOA). Elle est représentée sous forme d'un référentiel métier unique pour le « projet MES » que nous avons appelé le "référentiel MES". Sur la base de ce référentiel, nous avons approfondi deux des trois problématiques d'alignement sémantique présentées dans la section 1.2.2. La première s'est appuyée sur l'enrichissement du référentiel MES par d'autres normes/standards ou référentiels métier. La deuxième problématique a traité des aspects de l'alignement sémantique des besoins client, formalisés sous forme de processus et objets métier, sur le référentiel MES. Cet alignement a représenté un cas d'utilisation du référentiel.

L'approche globale que nous avons proposée s'est basée essentiellement sur la construction et l'utilisation d'un référentiel MES standardisé pour faciliter, d'une façon générale, l'interopérabilité sémantique entre applications et pour guider, en particulier, l'expert dans le processus d'alignement sémantique entre référentiels. Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont contribué aussi au « *projet MES* » sous forme de livrables.

Nos principales contributions scientifiques sont :

1. La construction du référentiel MES: cette construction s'est appuyée sur un cadre de modélisation conforme à la norme ISO 19439 et un méta-modèle pour définir les construits du référentiel ainsi que leurs relations et pour assurer une lecture unique et cohérente du référentiel. Ce référentiel a été développé dans le cadre d'une architecture orientée service et conforme à la norme ISO/IEC 62264. Aujourd'hui, en plus des connaissances issues de cette norme, le référentiel MES que nous proposons contient des connaissances en provenance d'experts métier, du processus MAKE du référentiel SCOR ainsi que de la cartographie d'opérations de services web définie dans le cadre du « projet MES » et fournie par le laboratoire LISTIC.

- 2. Une démarche d'alignement sémantique entre référentiels métier : il s'agit d'une démarche unidirectionnelle en quatre étapes : comparaison, modélisation, alignement et validation. Cette démarche ne cherche ni à modifier la structure des référentiels à aligner, ni à les fusionner. Il s'agit d'une démarche d'enrichissement d'un référentiel en créant des relations sémantiques entre les éléments provenant d'autres normes ou référentiels et les éléments de base du référentiel à enrichir. Nous avons en particulier proposé :
  - a. Une méthode de comparaison et de gestion des hétérogénéités sémantiques entre deux référentiels. Cette comparaison porte sur quatre niveaux d'hétérogénéité : syntaxique, terminologique, conceptuel et pragmatique.
  - b. Un *méta-modèle pour l'alignement sémantique* entre référentiels. Ce méta-modèle contient les relations caractéristiques de l'alignement entre les construits des référentiels dans le cadre de notre méta-modèle initial.
  - c. Des *règles de contrôle sémantique* pour vérifier la cohérence des éléments du référentiel MES.
- 3. Une démarche d'alignement sémantique des besoins client sur le référentiel MES : cette démarche vise à guider et structurer le travail de l'expert métier dans la phase de conduite des projets client de mise en œuvre de solutions de MES à la carte.

L'ensemble de ces contributions a été mis en œuvre sur la plateforme ARIS SOA. Ces contributions restent indépendantes de cette plateforme : nous avons défini une transformation du contenu sémantique des modèles ARIS en ontologie pour les représenter à un niveau d'abstraction indépendant de toute plateforme de modélisation.

Ce travail a également donné lieu à trois livrables pour le consortium du projet MES :

- 1. Un état des lieux sur les principales normes et référentiels métier dans le domaine du MES. Ceci nous a permis de choisir la norme ISO/IEC 62264 pour la définition de la structure du référentiel MES et le modèle SCOR pour l'application de notre première démarche d'alignement au niveau métier.
- 2. Une version étendue des fichiers B2MML: ce travail a consisté à aligner les entrées/sorties des opérations de services web fournies par les partenaires du « projet MES » sur les fichiers B2MML de la norme ISO/IEC 62264 (standard ANSI ISA-95). Cet alignement a contribué à l'enrichissement des fichiers B2MML initiaux pour fournir une version "B2MML étendue" propre au « projet MES ». Cette contribution a permis aux éditeurs, partenaires du projet, d'adapter une ou plusieurs parties de leurs solutions selon les conformités du standard ISA-95.
- 3. Un référentiel MES unique et standardisé pour projet MES : nous avons généré à partir de la plateforme ARIS (voir Annexe V) un rapport qui contient la structure et l'ensemble des éléments du référentiel MES.

Ce travail de recherche a dû prendre en compte les contraintes du « *projet MES* » et du consortium. Par ailleurs, des travaux complémentaires sont d'ores et déjà identifiés. Cela nous conduit à identifier les perspectives de recherche suivantes :

- Elargir le cadre général de modélisation : nous avons conçu ce dernier pour répondre aux besoins du « projet MES ». Bien que notre cadre soit conforme aux exigences de la norme ISO 19439, il ne présente qu'une version "simplifiée" de cette dernière. En effet, nous avons utilisé deux vues de modélisation et trois phases dans le cycle de vie des modèles parmi, respectivement, les quatre vues de modélisation et les sept phases dans le cycle de vie des modèles définies par la norme. Il serait intéressant de compléter par les deux autres vues de modélisation : la vue organisationnelle et la vue des ressources pour augmenter le champ d'application du référentiel MES et permettre de regrouper tous les composants métier des applications des partenaires du « projet MES ». Nous avons aussi agrégé les deux premiers niveaux de généricité en un seul (référentiel), et cela pour rendre accessible en phase projet la totalité des éléments du référentiel et pour gagner en flexibilité. L'opérationnalisation du référentiel MES proposé a montré que cette flexibilité était pénalisée par le nombre important des éléments du référentiel. L'introduction d'un niveau intermédiaire de généricité entre le niveau référentiel et projet comme indiqué dans la norme ISO 19439 permettrait de pallier ce problème.
- Enrichir le méta-modèle du référentiel: le méta-modèle actuel, comme le référentiel, couvre aujourd'hui les niveaux métier et fonctionnel, il serait intéressant de l'étendre au niveau technique pour couvrir l'ensemble des couches d'une architecture SOA. En conséquence à l'élargissement du cadre de modélisation, de nouveaux construits et de nouvelles relations devront être proposés dans le méta-modèle si on ajoute d'autre vues de modélisation.
- Enrichir le référentiel MES avec d'autres normes/référentiels métier: nous nous sommes limités aux éléments du processus MAKE du référentiel SCOR pour illustrer notre démarche d'enrichissement du référentiel MES par alignement sémantique. Ce choix a été guidé par les travaux de [75]. Il serait intéressant d'enrichir le référentiel MES avec des normes de qualité (par exemple la norme ISO 9001) ou de maintenance (par exemple la norme NF EN 13306 X 60-319).
- Etudier de nouvelles méthodes pour la vérification de la cohérence du référentiel MES à partir des règles de contrôle sémantique que nous avons définies, comme par exemple les moteurs d'inférences. Il serait intéressant d'exploiter la transformation en ontologie du contenu sémantique des modèles ARIS pour conduire des raisonnements logiques et dériver des conclusions sur la cohérence du contenu du référentiel MES après chaque processus d'alignement sémantique. L'utilisation de ces techniques, en se basant sur les ontologies, sur le langage OWL ou des outils d'inférence rend l'opération de vérification indépendante des autres plateformes de modélisation.

## Annexe I. Liste des modèles d'objets définis dans la norme ISO/IEC 62264

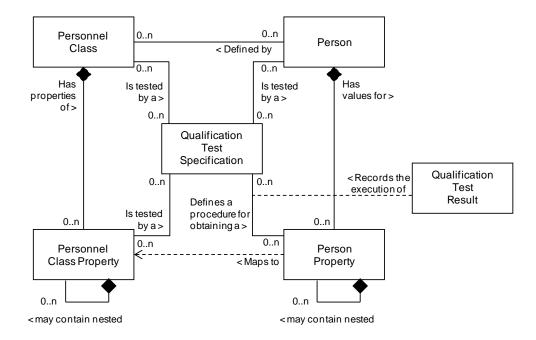


Figure I. 1. Modèle de personnel

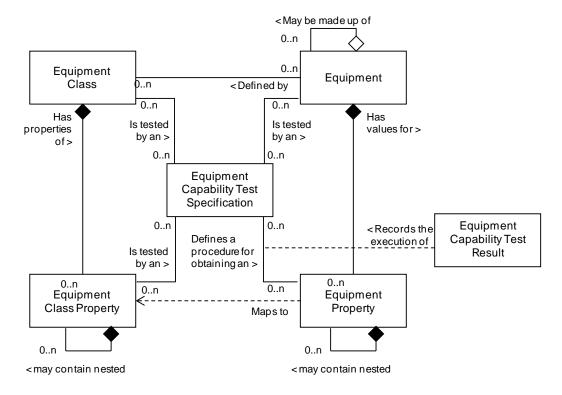


Figure I. 2. Modèle d'équipement

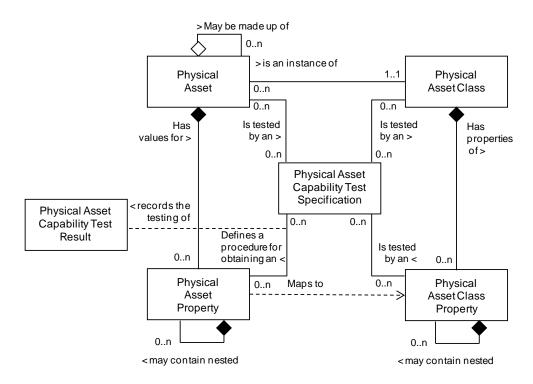


Figure I. 3. Modèle des actifs physiques

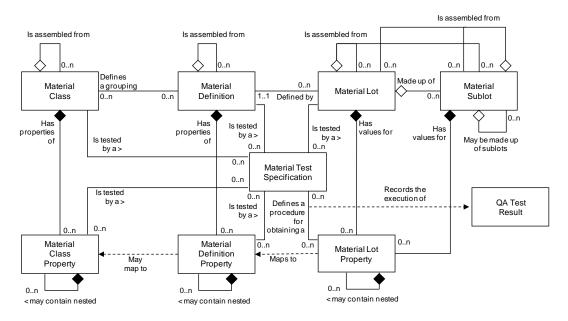


Figure I. 4. Modèle matière

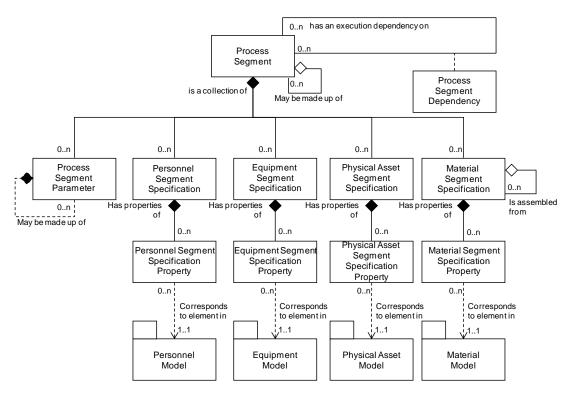


Figure I. 5. Modèle de segment de processus

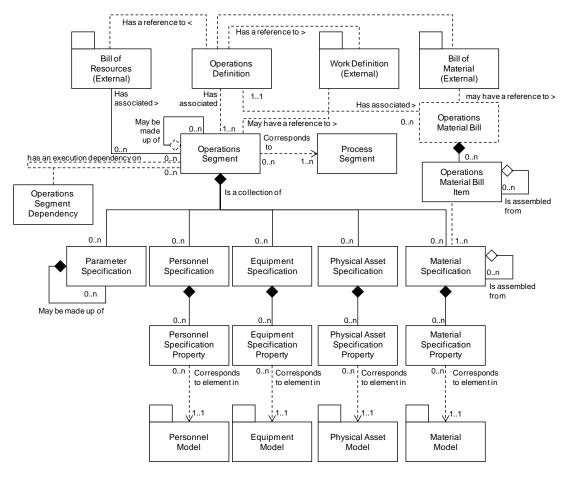


Figure I. 6. Modèle de définition de l'opération

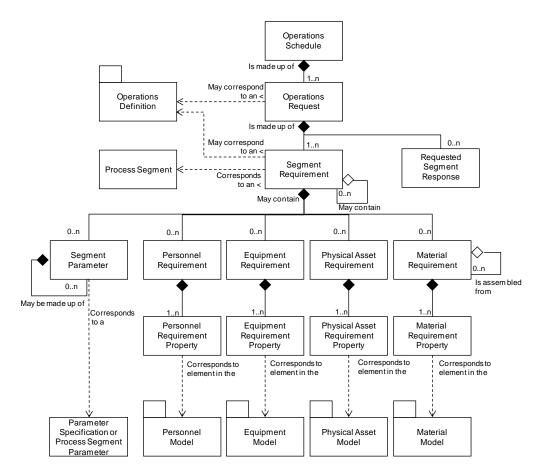


Figure I. 7. Modèle de planification de l'opération

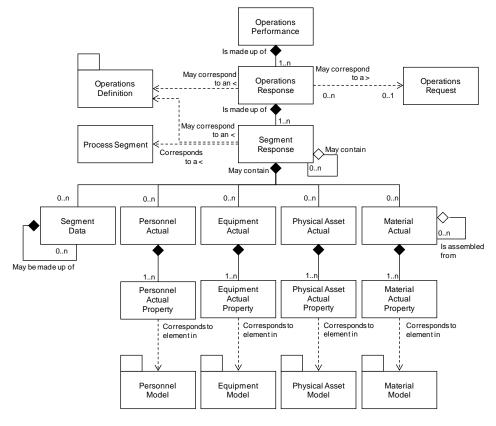


Figure I. 8. Modèle de rapport de l'opération

#### **Omar SAKKA**

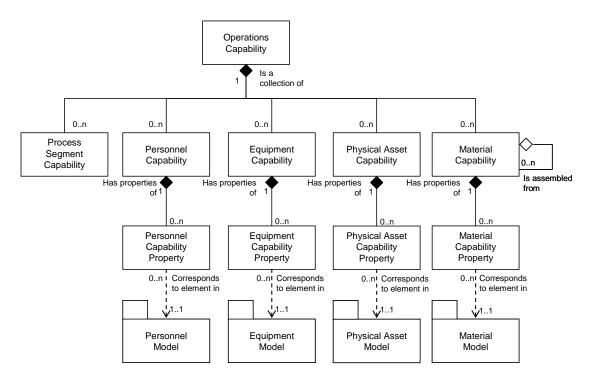


Figure I. 9. Modèle de capacité de l'opération

Annexe II. Liste des modèles d'activités définis dans la norme ISO/IEC 62264 : application au domaine de la "production"

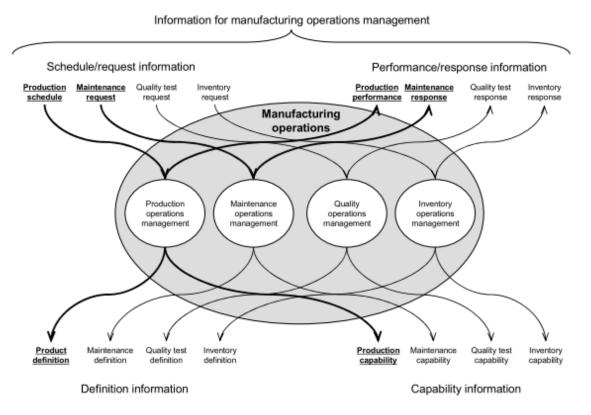


Figure II. 1. Opérations de fabrication

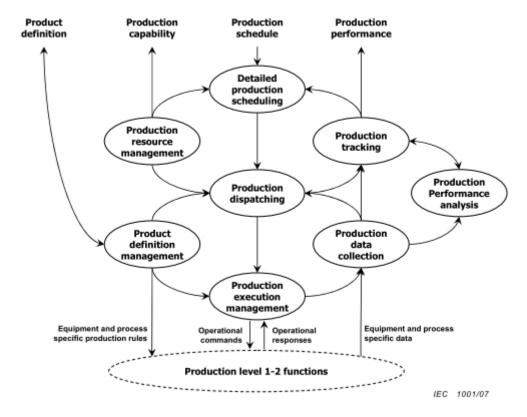


Figure II. 2. Modèle d'activités pour la gestion des opérations de production

Annexe II. Liste des modèles d'activités définis dans la norme ISO/IEC 62264 : application au domaine de la "production"

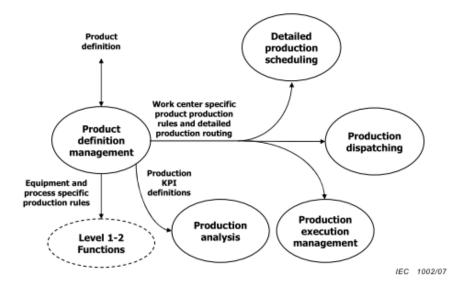


Figure II. 3. Modèle d'activités pour la gestion de la définition du produit

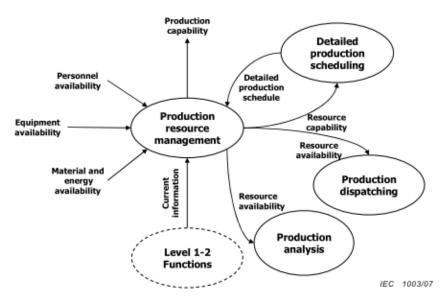


Figure II. 4. Modèle d'activités de gestion des ressources de production

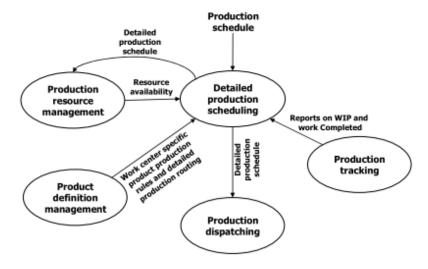


Figure II. 5. Modèle d'activités avec l'ordonnancement détaillé de production

#### **Omar SAKKA**

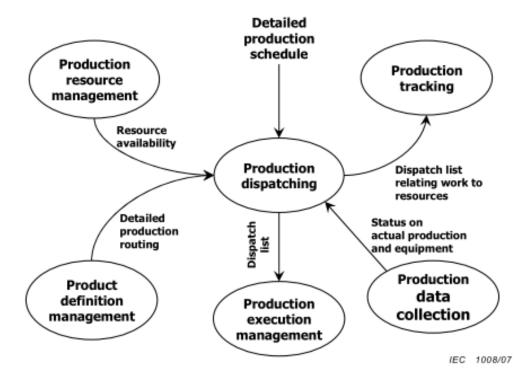


Figure II. 6. Modèle d'activités de lancement en production

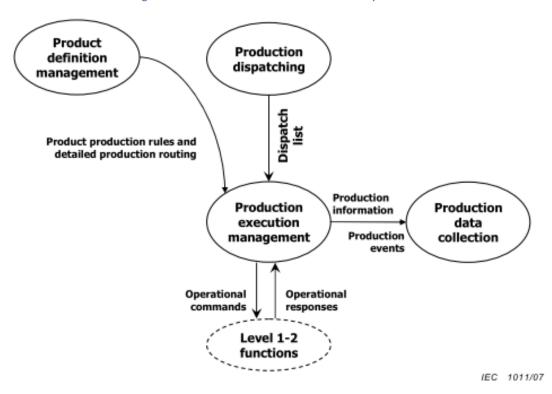


Figure II. 7. Modèle d'activités de gestion de l'exécution de la production

Annexe II. Liste des modèles d'activités définis dans la norme ISO/IEC 62264 : application au domaine de la "production"

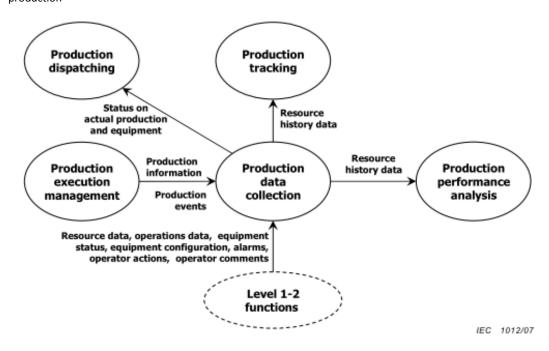


Figure II. 8. Modèle d'activités de la collecte des données de production

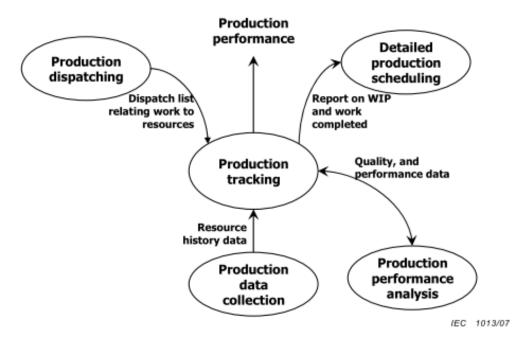


Figure II. 9. Modèle d'activités pour le suivi de production

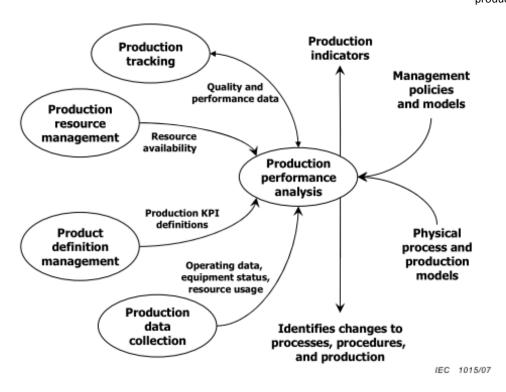
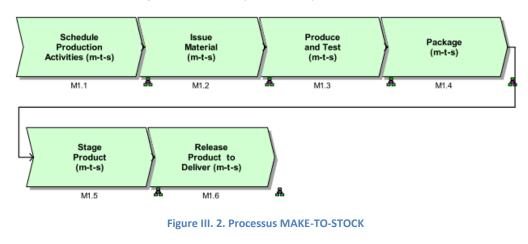


Figure II. 10. Modèle d'activités de l'analyse de performance de la production

## Annexe III. Les fonctions du processus MAKE du modèle SCOR (V 9.0)

Process Categories		
M1: Make-to-Stock	The process of manufacturing in a make-to-stock environment adds value to products through mixing, separating, forming, machining, and chemical processes. Make to stock products are intended to be shipped from finished goods or 'off the shelf', can be completed prior to receipt of a customer order, and are generally produced to a planned schedule in accordance with a sales forecast. No customer reference or customer order detail or specification is attached to production orders, attached to or marked on the product, or recorded in the shop floor management or ERP system for Make-to-Stock products.	
M2: Make-to-Order	Given plans for the production of specific parts, products, or formulations in specific quantities and planned availability of required sourced products, the scheduling of the operations to be preformed in accordance with these plans. Scheduling includes sequencing, and, depending on the factory layout, any standards for setup and run. In general intermediate production activities are coordinated prior to the scheduling of the operations to be preformed in producing a finished product.	
M3: Engineer-to-Order	The process of developing, designing, validating, and ultimately using a manufacturing process to produce products or services based on the requirements of a specific customer. In general Engineer-to-Order requires that work instructions may need to be defined or refined and material routing instructions may need to be added or modified. An example of an alternative or related name for Make Engineer-to-Order is: Design-to-Order (DTO).	
Enable Make	The collection of processes associated with managing and monitoring Make process data, performance and relationships.	

Figure III. 1. Les sous-processus du processus MAKE



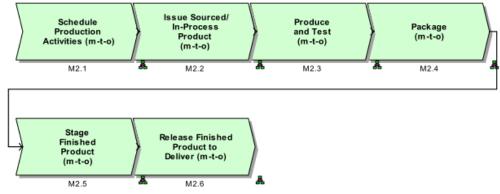


Figure III. 3. Processus MAKE-TO-ORDER

**Omar SAKKA** 

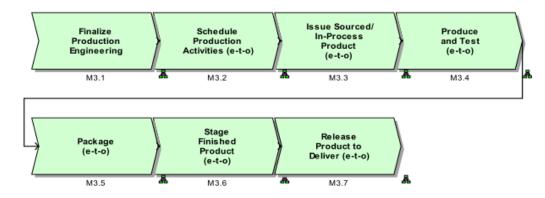


Figure III. 4. Processus Engineer-to-Order

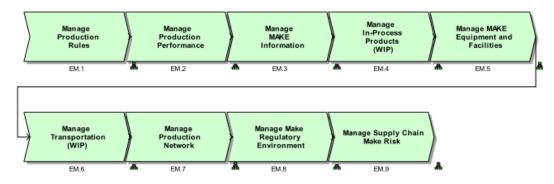


Figure III. 5. Processus Enable Make

Tableau III. 1. Description des fonctions du processus MAKE

Nom de la fonction	Description
Finalize Production Engineering	Engineering activities required after acceptance of order, but before product can be produced. May include generation and delivery of final drawings, specifications, formulas, part programs, etc. In general, the last step in the completion of any preliminary engineering work done as part of the quotation process.
Issue Material (m-t-s)	The selection and physical movement of sourced/in-process product (e.g., raw materials, fabricated components, subassemblies, required ingredients or intermediate formulations) from a stocking location (e.g., stockroom, a location on the production floor, a supplier) to a specific point of use location. Issuing product includes the corresponding system transaction. The Bill of Materials/routing information or recipe/production instructions will determine the products to be issued to support the production operation(s).
Issue Sourced/ In- Process Product (e-t-o)	The selection and physical movement of sourced/in-process products (e.g., raw materials, fabricated components, subassemblies, required ingredients or intermediate formulations) from a stocking location (e.g., stockroom, a location on the production floor, a supplier) to a specific point of use location. Issuing material includes the corresponding system transaction. The Bill of Materials/routing information or recipe/production instructions will determine the materials to be issued to support the production operation(s).

Nom de la fonction	Description
Issue Sourced/ In- Process Product (m-t-o)	The selection and physical movement of sourced/in-process products (e.g., raw materials, fabricated components, subassemblies, required ingredients or intermediate formulations) from a stocking location (e.g., stockroom, a location on the production floor, a supplier) to a specific point of use location. Issuing product includes the corresponding system transaction. The Bill of Materials/routing information or recipe/production instructions will determine the products to be issued to support the production operation(s).
Manage In-Process Products (WIP)	The process of establishing and maintaining limits or levels, replenishment models, ownership, product mix and stocking locations for In-Process Product (WIP).
Manage MAKE Information	The process of managing, collecting, maintaining, and communicating information to support MAKE planning and execution processes. The information to be managed includes production, order and process data.
Manage Production Performance	The process of developing and maintaining performance standards and analysis methods to compare actual production performance against the established standards. This process allows the development and implementation of a course of action to achieve targeted performance.
Manage Production Rules	The process of establishing, maintaining, and enforcing rules for managing production details in line with business strategy, goals, and objectives. Production details include part/item master, bills of materials/formulas, routings, processes, equipment requirements, tooling, and other information specifying the method of production for a particular product.
Manage Transportation (WIP)	The process of transporting In-Process Product (WIP). This includes management of the activities associated with in transit handling and movement of In-Process Product (WIP).
Manage Production Network	The process of identifying and maintaining a network of intra-company production units that deliver specific semi-finished materials or product sets to the final production site.
Manage MAKE Equipment and Facilities	The process of specifying maintaining and dispositioning MAKE's capital assets to operate the supply chain production processes. This includes repair, alteration, calibration and other miscellaneous items to maintain production capabilities.
Manage Make Regulatory Environment	The process of identifying and complying with regulatory documentation and process standards set by external entities (eg government)

Nom de la fonction	Description
Manage Supply Chain Make Risk	The process of managing Make risks within an overall supply Chain risk Program. This includes identifying and assessing make risks as well as and planning and implementing responses to Make risks. Make risks include potential events that could impact your ability to make on-time at a reasonable cost with good quality. The risks can occur internally within your organization, e.g. a matching breakdown or facility fire, or externally, e.g. a hurricane, that impacts your ability to Make. Response planning includes: mitigation, either reducing the impact of a Make risk event or reducing the likelihood it will occur; transfer; acceptance. An organization has a high level of control and flexibility of action concerning internal Make risks, so they are prime candidates for control Response planning can be aggregated for make risks across the organization.
Package (e-t-o)	The series of activities that containerize completed products for storage or sale to end-users. Within certain industries, packaging may include cleaning or sterilization.
Package (m-t-o)	The series of activities that containerize completed products for storage or sale to end-users. Within certain industries, packaging may include cleaning or sterilization.
Package (m-t-s)	The series of activities that containerize completed products for storage or sale to end-users. Within certain industries, packaging may include cleaning or sterilization.
Produce and Test (e-t-o)	The series of activities performed upon sourced/in-process product to convert it from the raw or semi-finished state to a state of completion and greater value. The processes associated with the validation of product performance to ensure conformance to defined specifications and requirements.
Produce and Test (m-t-o)	The series of activities performed upon sourced/in-process product to convert it from the raw or semi-finished state to a state of completion and greater value. The processes associated with the validation of product performance to ensure conformance to defined specifications and requirements.
Produce and Test (m-t-s)	The series of activities performed upon sourced/in-process product to convert it from the raw or semi-finished state to a state of completion and greater value. The processes associated with the validation of product performance to ensure conformance to defined specifications and requirements.
Release Product to Deliver (m-t-s)	Activities associated with post-production documentation, testing, or certification required prior to delivery of finished product to customer. Examples include assembly of batch records for regulatory agencies, laboratory tests for potency or purity, creating certificate of analysis, and sign-off by the quality organization.

Nom de la fonction	Description
Release Product to Deliver (e-t-o)	Activities associated with post-production documentation, testing, or certification required prior to delivery of finished product to customer. Examples include assembly of batch records for regulatory agencies, laboratory tests for potency or purity, creating certificate of analysis, and sign-off by the quality organization.
Release Finished Product to Deliver (m-t-o)	Activities associated with post-production documentation, testing, or certification required prior to delivery of finished product to customer. Examples include assembly of batch records for regulatory agencies, laboratory tests for potency or purity, creating certificate of analysis, and sign-off by the quality organization.
Schedule Production Activities (e-t-o)	Given plans for the production of specific parts, products, or formulations in specified quantities and planned availability of required sourced products, the scheduling of the operations to be performed in accordance with these plans. Scheduling includes sequencing, and, depending on the factory layout, any standards for setup and run. In general, intermediate production activities are coordinated prior to the scheduling of the operations to be performed in producing a finished product.
Schedule Production Activities (m-t-o)	Given plans for the production of specific parts, products, or formulations in specific quantities and planned availability of required sourced products, the scheduling of the operations to be preformed in accordance with these plans. Scheduling includes sequencing, and, depending on the factory layout, any standards for setup and run. In general intermediate production activities are coordinated prior to the scheduling of the operations to be preformed in producing a finished product.
Schedule Production Activities (m-t-s)	Given plans for the production of specific parts, products, or formulations in specified quantities and planned availability of required sourced products, the scheduling of the operations to be performed in accordance with these plans. Scheduling includes sequencing, and, depending on the factory layout, any standards for setup and run. In general, intermediate production activities are coordinated prior to the scheduling of the operations to be performed in producing a finished product.
Stage Finished Product (e-t-o)	The movement of packaged products into a temporary holding location to await movement to a finished goods location. Products that are made to order may remain in the holding location to await shipment per the associated customer order. The actual move transaction is part of the Deliver process.
Stage Finished Product (m-t-o)	The movement of packaged products into a temporary holding location to await movement to a finished goods location. Products that are made to order may remain in the holding location to await shipment per the associated customer order. The actual move transaction is part of the Deliver process.

Nom de la fonction	Description
Stage Product (m-t-s)	The movement of packaged products into a temporary holding location to await movement to a finished goods location. Products that are made to order may remain in the holding location to await shipment per the associated customer order. The movement to finished goods is part of the Deliver process.

# Annexe IV. Extraits de la cartographie des opérations de service web

Cette annexe montre une opération de service web pour le domaine de la production et trois opérations de service web pour le domaine de la maintenance. Chacune des opérations contient des paramètres d'entrée et de sortie. Ces derniers sont typés et contiennent un nombre d'occurrence.

E/S - Production					
Operation	Field	Occurs Min Max		Туре	
	: paramètres d'entré		III		
Code couleur :	: paramètres de sorti	e			
	Entête OF	1	1	complex	
	ID OF externe	0	1	string	
	Type OF	0	1	énumération	
	ID Gamme	О	1	string	
	Référence	О	1	int	
	Quantité lancée	1	1	date	
	Date de début	1	1	date	
	Date de fin prévue	1	1	string	
	Ligne de fabrication	1	1	string	
	Commentaire	0	1	string	
	Produit Fini	1	1	complex	
	Code produit	1	1	string	
	Libellé	0	1	string	
	Désignation	0	1	string	
	Gamme	0	*	complex	
	ID Gamme	1	1	string	
	ID Opération	1	1	string	
	Type Opération	1	1	string	
	Numéro d'ordre	0	1	string	
	Libellé opération	0	1	string	
	Temps de réglage	0	1	duration	
	Temps de démontage	0	1	duration	
	Temps unitaire	0	1	duration	
	Quantité standard	0	1	double	
	Temps unitaire MO	0	1	duration	
Définir un ordre de fabrication	Quantité standard MC	0	1	double	
	Ressource d'affectation	0	1	string	
	Coeff de quantité sais	0	1	double	
	Nomenclature	0	*	complex	
	ID Nomenclature	1	1	string	
	ID Composant	1	1	string	
	Numéro de lot compo		1	string	
	Libellé	0	1	string	
	Quantité de composa	1	1	double	
	Par quantité d'articles		1	double	
	Famille  Type de ligne	1	1	énumération	
	ID Opération	0	1	string	
	Jalonnement				
	Type de jalonnement	1	1	énumération	
	ID OF antérieur	1	1	string	
	ID Opération antérieu	1	1	string	
	Temps de jalonnemei	0	1	duration	
	Pourcentage de jalon	0	1	double	
	Paramètre de production	О	*	complex	
	ID Paramètre	1	1	string	
	Valeur du paramètre	1	1	string	
	ID OF	1	1	string Omar SAK	

	E	/S - N	<b>M</b> ain	tenance
Operation	Field	Occ Min	urs	Туре
	: paramètres d'entrée		iviax	
Code couleur :	: paramètres de sortie			
	Date de création	0	1	datetime
	Titre/libellé	1	1	string
	Commentaire	0	1	string
	Equipement	0	1	équipement
	Location	0	1	location
	Priorité	1	1	string
Emettre une demande d'intervention	Date de fin souhaitée	0	1	datetime
	Destinataire	0	1	personnel
	Emetteur	1	1	personnel
	Symptôme	0	1	string
	Etat Equipement	0	1	boolean
	Réception demandée	0	1	boolean
	ID DI	1	1	string
	ID DI	0	1	string
	Période de création	0	1	période
	Période de date de fin souhaitée	0	1	période
	Etat DI	0	1	string
	Titre/libellé	0	1	string
	Equipement	0	1	équipement
	Location	0	1	location
	Priorité	0	1	string
	Destinataire	0	1	string
	Emetteur	0	1	string
	Symptôme	0	1	string
	Etat Equipement	0	1	string
	Réception demandée	0	1	boolean
	ID DI	0	1	string
Consulter une demande d'intervention	Date de création	0	*	datetime
	Etat DI	0	*	string
	Commentaire	0	*	string
	Titre/libellé	0	*	string
	Equipement	0	*	équipement
	Location	0	*	location
	Priorité	0	*	string
	Destinataire	0	*	personnel
	Date de fin souhaitée	0	*	datetime
	Emetteur	0	*	personnel
	Symptôme	0	*	string
	Etat Equipement	0	*	string
	Réception demandée	0	*	boolean
	ID intervention	0	*	string
	Commentaire de prise en compte	0	*	string
	ID DI	1	1	string
Etre notifié du changement d'état d'une	Etat DI	1	1	string
demande d'intervention	ID DI	1	1	string
	Etat DI	1	1	string

# Annexe V.Extraits du contenu du référentiel MES

Cette annexe montre un extrait du contenu du référentiel MES sous forme de tableaux et de processus métier modélisés sur la plateforme ARIS. Chacun des tableaux présente un extrait de l'une des vues, en précisant pour chaque élément du référentiel, le type, la source et ses éventuelles relations :

- Le Tableau V. 1. montre un extrait issu de la vue fonctionnelle pour l'objet « Execution management ».
- Le Tableau V. 2 montre un extrait issu de la vue informationnelle pour l'objet « *Material information* ».
- Le Tableau V. 3 montre un exemple d'alignement, issu de la vue fonctionnelle, entre les instances des construits « Client Business Operation » et « Repository Business Operation ».
- Le Tableau V. 4 montre un extrait de la modélisation d'un processus métier intitulé :
   Ordonnancement et lancement d'un groupe d'OF en ligne de production avec machines.

Les processus métier à la fin de cette annexe se basent sur le contenu du Tableau V. 4 :

- La Figure V. 1 montre un exemple de modélisation du scénario métier.
- La Figure V. 2 montre le même processus métier après lancement des règles de contrôle sémantique sur ARIS, ainsi que son résultat
- La Figure V. 3 montre la coloration du même processus selon les huit catégories d'activité de la norme ISO/IEC 62264

Tableau V. 1. Exemple issue de vue fonctionnelle : Variante Execution Management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Add Order to Production Order Group	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Add Production Order to Order Block	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Assign Production Orders to SFC Order Group	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Assigning resources under local run time control	Function	\$95	false	true	Operations Execution management
Autocheck operation exectution	Function	Expert Métier	true	true	Operations Execution management
Automated Queue Time Compression	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Availability Check for Tooling	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Backflush Materials and Hours	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Call maintenance because of process out of control	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Cancel Production Order	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Cancel Range of Production Orders	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
check product prerequisite availability	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Check resource availability	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Confirm picking list	Function	Expert Métier	false	true	Operations Execution management
Confirm Receipts	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Confirming that the work is performed according to the accepted quality standards	Function	S95	false	true	Operations Execution management
Create Production Order Group	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Directing the performance of work	Function	S95	false	true	Operations Execution management
Directing the performance of work are used in production	Function	S95	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Field service execution	Function	Expert Métier	false	true	Operations Execution management
Generate lot or serial for manufactured item	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Inform production after machine repair	Function	Expert Métier	false	true	Operations Execution management
Informing other activities when unanticipated events result in the inability to meet the work requirements	Function	S95	false	true	Operations Execution management
Initiate Inventory Issue	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Issue Material (m-t-s)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Issue Sourced/ In-Process Product (e-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Issue Sourced/ In-Process Product (m-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Manage Transportation (WIP)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Manage a rework	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Material Shop Floor supply	Function	Expert Métier	false	true	Operations Execution management
Microprocessor command programming	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Operation or Production Order Execution	Function	Expert Métier	true	true	Operations Execution management
Operations Execution management	Function		true	false	
Order Block Planning	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Package (e-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Package (m-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Package (m-t-s)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Plan Production Orders by Setup Information	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Availability Planning	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Estimated Tool Requirements	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Print Inventory by Production Order	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Production Order Documents	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Production Order Groups - Production Orders	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Production Order Planning	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Print Production Schedules	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
process automatic storage mission (picking)	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Process inspection operation	Function	S95	true	true	Operations Execution management
Process Material Shortages	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Process Outbound Advice	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Process Warehouse Release Information	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Produce and Test (e-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Produce and Test (m-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Produce and Test (m-t-s)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Purge Order Block Planning	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Receipt Correction	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Release Product to Deliver (m-t- s)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Release Product to Deliver (e-t- o)	Function	SCOR	false	true	Operations Tracking
Release Finished Product to Deliver (m-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Release Outbound Advice	Function	Expert Métier	true	true	Operations Execution management
release production order group	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Release Production Orders	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Replan Tools	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report field service activies	Function	Expert Métier	false	true	Operations Execution management
Report Operations Complete by Order Group	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report Operations Completed	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report Orders Completed	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report Orders Completed Globally	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report Production Orders Completed from Production Scheduling	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Report Production Schedules Completed	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Reprocess Production Orders	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Request and Return Tools	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Request and Return Tools	Function	Expert Métier	true	true	Operations Execution management
Request manufactured product putaway	Function	Expert Métier	true	true	Operations Execution management
Reschedule Production Orders	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Return Lots and Serials	Function	Expert métier	false true		Operations Execution management
Run process control autocheck	Function	Expert métier	false true	true	Operations Execution management
Shift Production Planning	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Split Line	Function	Expert métier	false	true	Operations Execution management
Stage Finished Product (e-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Stage Finished Product (m-t-o)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management
Stage Product (m-t-s)	Function	SCOR	false	true	Operations Ressources Management

Tableau V. 2. Exemple issu de la vue informationnelle : Variante Material Information

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Active componant	Cluster/Data model	Expert Métier	true	true	Material Information
Componant	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Material Information
Consommable	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Material Information
Coproduct	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
Finished Product Release	Cluster/Data model	SCOR	false	true	MATERIAL SUBLOT
Fragile componant	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
Item Master	Cluster/Data model	SCOR	false	true	MATERIAL TEST
Load Information	Cluster/Data model	SCOR	false	true	MATERIAL SUBLOT
Material	Cluster/Data model	Expert Métier	true	true	Material Information
Merchandise Category/Classif ication	Cluster/Data model	SCOR	false	true	Material Class
Passive componant	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
Product Location Information	Cluster/Data model	SCOR	false	true	MATERIAL SUBLOT
Raw material	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
Semi-finished product	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Sensible componant	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
Subproduct	Cluster/Data model	Expert métier	false	true	Material Information
WIP Inventory Location	Cluster/Data model	SCOR	false	true	MATERIAL SUBLOT

Tableau V. 3. Exemple d'alignement fonctionnel/fonctionnel : Client Business Operation-Repository Business Operation

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
activer les ordres magasins planifiés	Function	Expert Métier	false	true	Activate Warehousing Orders
Appel	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Call
Assigner proposition de sortie	Function	Expert Métier	false	true	Assign Outbound Advice
Assigner ressource sur appel	Function	Expert Métier	false	true	Handle call and assign resource
Associer informations de contrôle à l'OF	Function	Expert Métier	false	false	
associer les informations collectées avec un no lots ou no série	Function	Expert Métier	false	true	Link information with lot or serial
Autorisation démarrage production	Function	Expert Métier	false	false	
Autoriser démarrage de production après panne réparée	Function	Expert Métier	false	false	
Bon de Travail Opération	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Operation document
Charger le programme machine (CAM)	Function	Expert Métier	false	false	
Chef d'atelier	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Shop Floor manager
Colis	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Package
Collecter informations de contrôle	Function	Expert Métier	false	true	Collect SPC information

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Collecter informations de lot produit	Function	Expert Métier	false	true	Collect control process information
Collecter les informations contrôles process (SPC)	Function	Expert Métier	false	true	Collect SPC information
Composant Actif	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Active componant
Composant Passif	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	passive componant
Compter le colis	Function	Expert Métier	false	false	
Confirmer la réception	Function	Expert Métier	false	false	
Consommables Machines	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	consumables material for machines
Contrôle Processs	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	control process
déclaration d'opération de production	Function	Expert Métier	false	true	Report Operations Completed
déclaration d'ordres de production	Function	Expert Métier	false	true	Report Orders Completed
Déclarer fin d'une intervention	Function	Expert Métier	false	false	
Demander le rangement du produit fabriqué en stock	Function	Expert Métier	false	false	
demander le rangement du produit fabriqué en stock	Function	Expert Métier	false	true	Request manufactured product putaway
Demander/rapporter les outils	Function	Expert Métier	false	false	
Disponibilité	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Availability
Document de Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Inspection Document
Document OF	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Production document
Equipement d'Auto-Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	autotest equipment
Exécuter une ou plusieurs opérations d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	false	

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
exécuter une ou plusieurs opérations d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	true	Operation or Production Order Execution
Génération picking list	Function	Expert Métier	false	true	Generate Picking list
Gérer autorisation non-conformité- acceptable	Function	Expert Métier	false	false	
imprimer la liste des ordres de production pour une période	Function	Expert Métier	false	true	Print Production Orders
imprimer les docs d'ordre de production pour une période	Function	Expert Métier	false	true	Print Production Order Documents
Imprimer les groupes d'odres et les ordres de production	Function	Expert Métier	false	false	
Imprimer situation stocks pour un ordre de production	Function	Expert Métier	false	false	
imprimer situation stocks pour un ordre de production	Function	Expert Métier	false	true	Print Inventory by Production Order
Instruction de Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Inspection instruction
lancer des ordres de production	Function	Expert Métier	false	true	Release Production Orders
Lancer la liste de stockage	Function	Expert Métier	false	false	
Lancer la proposition de sortie	Function	Expert Métier	false	true	Release Outbound Advice
Lancer la tournée de sortie de stock (stock tournant)	Function	Expert Métier	false	true	process automatic storage mission (picking)
Lancer Opération de contrôle	Function	Expert Métier	false	true	Process inspection operation
Lieu de Production	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Production Cell
Ligne de Production	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	machine line
Logistique de Stockage au Poste (en Ligne)	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	stock on line installation
Machine Outil Numérique	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	programable machine

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Magasinier	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	General Warehouse Operator
Manutentionnaire	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	logistic operator
Matière	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Material
Matière Première	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	raw material
Matière Semi-finie	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	semi-finished
Matière Situation de Stock	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	stock level
Mettre à disposition des matière en atelier	Function	Expert Métier	false	false	
Moyen de Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	test machine
Opérateur	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	operator
Opérateur Maintenance	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Operator maintenance
Opérateur Non Qualifié	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Non skilled operator
Opérateur Planificateur	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Operator scheduler
Opérateur Qualifié Conducteur de Machine	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Skilled operator machine driver
Opérateur Qualifié Soudure	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	skilled operator - welding qualified
Ordre d'Intervention	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Maintenance Field Service Order
Ordre Magasin	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Warehouse Order
Outillages Manuels	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	manual tools
Outils de Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	false	
Outils Machine	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	machine tool
Ouvrir le colis	Function	Expert Métier	false	false	

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Planifier un bloc d'ordre	Function	Expert Métier	false	false	
Poste d'Assemblage	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	assembly place (jobshop)
Prendre en compte l'appel	Function	Expert Métier	false	false	
Procédure de Montage	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	assembling document
Produit Fini	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	finshed product
Produit Fini (Lot)	Cluster/Data model	Expert Métier	false	false	
Produit Fini Sériailisé	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	finished serialized product
Produit Fini Sérialisé (Spec/constitutions)	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	finished serialized product specification and physical configuration
Produit Fini Spécifications Réélles	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	finisehd product actual specification
Programmes de Contrôles	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Inspection program
Programmes de Machines	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Machines programs
Rapporter les outils	Function	Expert Métier	false	true	Request and Return Tools
réaliser les opérations d'auto- contrôle sur opération	Function	Expert Métier	false	true	Autocheck operation exectution
Réaliser les opérations d'auto- contrôle sur opération	Function	Expert Métier	false	false	
Réaliser une intervention sur machine	Function	Expert Métier	false	false	
Règleur	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Set-up operator
Réordonnancer les OF de la période	Function	Expert Métier	false	false	
Résultatt de Contrôle	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	inspection result
Recevoir le colis	Function	Expert Métier	false	false	

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Relever le compteur sur machine	Function	Expert Métier	false	true	Collect counter for a machine
Responsable Maintenance	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Maintenance Responsable
Saisir/Acquérir les informations de contrôle	Function	Expert Métier	false	false	
Stockage Automatique	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	rotative stocks
Suivi Opération de Production	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Operation Tracking
Traiter (confirmer) la sortie de stock	Function	Expert Métier	false	true	Confirm picking list
traiter les manquants de composants et de matières	Function	Expert Métier	false	true	Process Material Shortages
Traiter proposition de sortie	Function	Expert Métier	false	true	Generate Outbound Advice
vérifier disponibilité des ressources d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	true	Check resource availability
Vérifier disponibilité des ressources d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	false	
Vérifier disponibilité équipements d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	true	Check resource availability
Vérifier disponibilité matière d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	tr ue	Check resource availabilit y
Vérifier disponibilité personnels d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	true	Check resource availability
Vérifier la disponibilité des outillages	Function	Expert Métier	false	false	
vérifier la disponibilité des outillages	Function	Expert Métier	false	true	Availability Check for Tooling
Vérifier la disponibilité des outils	Function	Expert Métier	false	false	

Tableau V. 4. Exemple d'un processus Métier : Ordonnancement et lancement d'un groupe d'OF en ligne de production avec machines

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
activer les ordres magasins planifiés	Function	Expert Métier	false	true	Activate Warehousing Orders
Bloc d'ordes à planifier	Event	Expert Métier	false	false	
Bloc d'ordres planifié	Event	Expert Métier	false	false	
Consommables Machines	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	consumables material for machines
Demander/rapporter les outils	Function	Expert Métier	false	false	
Dispo des outillages à Vérifier	Event	Expert Métier	false	false	
End event	Event	Expert Métier	false	false	
Imprimer les groupes d'odres et les ordres de production	Function	Expert Métier	false	false	
Imprimer situation stocks pour un ordre de production	Function	Expert Métier	false	false	
lancer des ordres de production	Function	Expert Métier	false	true	Release Production Orders
Logistique de Stockage au Poste (en Ligne)	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	stock on line installation
Machine Outil Numérique	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	programable machine
Matière Première	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	raw material
OF à lancer	Event	Expert Métier	false	false	
OF lancé	Event	Expert Métier	false	false	
Opérateur	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	operator
Opérateur Qualifié Conducteur de Machine	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Skilled operator machine driver
Ordre de production à imprimer	Event	Expert Métier	false	false	
Ordre de production imprimé	Event	Expert Métier	false	false	
Ordre magasin à lancer	Event	Expert Métier	false	false	

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Ordre magasin encours	Event	Expert Métier	false	false	
Outillages dispos	Event	Expert Métier	false	false	
Outillages Manuels	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	manual tools
Outils dispo	Event	Expert Métier	false	false	
Outils disponible ou en place	Event	Expert Métier	false	false	
Outils Machine	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	machine tool
Planifier un bloc d'ordre	Function	Expert Métier	false	false	
Programmes de Machines	Cluster/Data model	Expert Métier	false	true	Machines programs
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Règle ET	Rule	Expert Métier	false	false	
Ressources Ordres de Production à vérifier	Event	Expert Métier	false	false	
Ressources vérifiées et dispo	Event	Expert Métier	false	false	
Situation stock à imprimer	Event	Expert Métier	false	false	
Situation stock imprimé	Event	Expert Métier	false	false	
Vérifier disponibilité des ressources d'un ordre de production	Function	Expert Métier	false	false	

Nom	Туре	Source	A des variantes	Est variant	Maître
Vérifier la disponibilité des outillages	Function	Expert Métier	false	false	
Vérifier la disponibilité des outils	Function	Expert Métier	false	false	

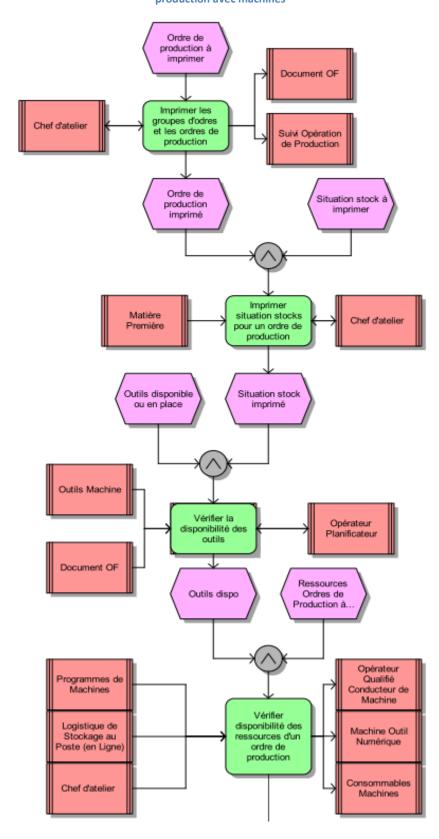
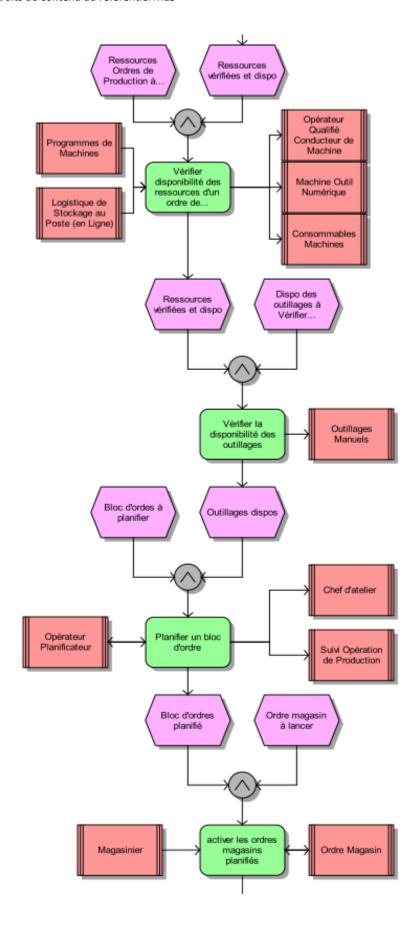
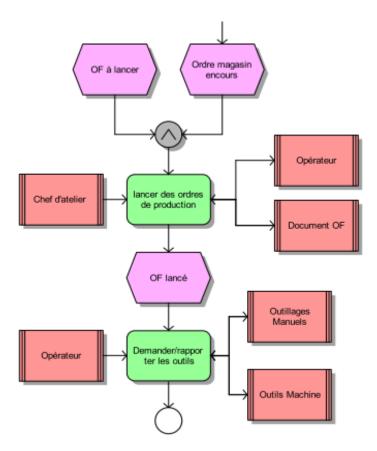


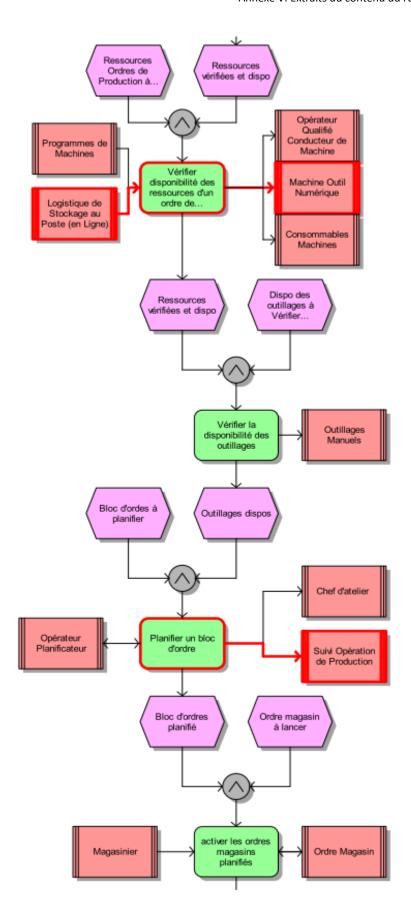
Figure V. 1. Modélisation du processus métier : Ordonnancement et lancement d'un groupe d'OF en ligne de production avec machines

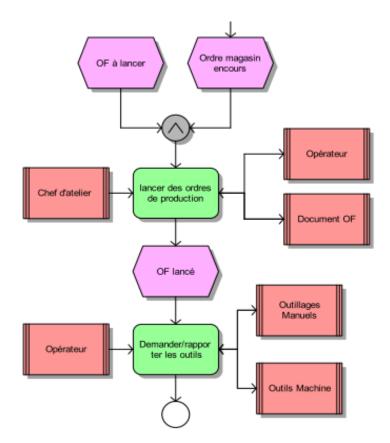




Ordre de production à imprimer Document OF Imprimer les groupes d'odres Chef d'atelier et les ordres de Suivi Opération production de Production Ordre de Situation stock à production imprimer imprimé Imprimer situation stocks Chef d'atelier Première pour un ordre de production Outils disponible Situation stock ou en place imprimé Outils Machine Vérifier la Opérateur disponibilité des Planificateur outils Document OF Ressources Ordres de Production à Outils dispo Opérateur Qualifié Programmes de Machines Conducteur de Machine Logistique de disponibilité des Machine Outil Stockage au sources d'un Numérique Poste (en Ligne) ordre de production Consommables Chef d'atelier Machines

Figure V. 2. Processus Métier après lancement du contrôle sémantique : Ordonnancement et lancement d'un groupe d'OF en ligne de production avec machines





ancement lancement d'un groupe d'OF en ligne	de production avec machines
et les ordres de production	
L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
L'Object 'Suivi Opération de Production' a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 n'est pas respecté
L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
L'Object 'Opérateur Planificateur' a un maître dans le	La norme ISA-95 est respectée.
L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel bien associé au maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
L'Object 'Outils Machine' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
nifiés	
L'Object 'Magasinier' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
L'Object 'Ordre Magasin' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
	et les ordres de production  L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  L'Object 'Suivi Opération de Production' a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.  L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  L'Object 'Opérateur Planificateur' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  L'Object 'Outils Machine' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  nifiés  L'Object 'Magasinier' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.  L'Object 'Ordre Magasin' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.

Cluster 1: Outillages Manuels	L'Object 'Outillages Manuels' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Demander/rapporter les outils		
Cluster 1: Outillages Manuels	L'Object 'Outillages Manuels' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 2: Outils Machine	L'Object 'Outils Machine' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 3: Opérateur	L'Object 'Opérateur' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Planifier un bloc d'ordres		
Cluster 1: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 2: Opérateur Planificateur	L'Object 'Opérateur Planificateur' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 3: Suivi Opération de Production	L'Object 'Suivi Opération de Production' a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 n'est pas respecté
Imprimer situation stocks pour	r un ordre de production	
Cluster 1: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 2: Matière Première	L'Object 'Matière Première' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
lancer des ordres de productio	n	
Cluster 1: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 2: Document OF	L'Object 'Document OF' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 3: Opérateur	L'Object 'Opérateur' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Vérifier disponibilité des ress	ources d'un ordre de production	
Cluster 1: Programmes de Machines	L'Object 'Programmes de Machines' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 2: Opérateur Qualifié Conducteur de Machine	L'Object 'Opérateur Qualifié Conducteur de Machine' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 3: Machine Outil Numérique	L'Object 'Machine Outil Numérique' a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 n'est pas respect
Cluster 4: Chef d'atelier	L'Object 'Chef d'atelier ' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.
Cluster 5: Consommables Machines	L'Object 'Consommables Machines' a un maître dans le référentiel bien associé au maître de la fonction.	La norme ISA-95 est respectée.

Cluster 6: Logistique de Stockage au Poste (en Ligne) a un maître dans le référentiel mais il n'est pas associé au maître de la fonction.

La norme ISA-95 n'est pas respectée.

Modèle : B10 Ordonnancement lancement d'un groupe d'OF en					
ligne de production avec machines					
Code couleur de chacune des fonctions du processus					
Operations Data Collection					
Operations Definition Management					
Operations Dispatching					
Operations Execution Management					
Demander/rapporter les outils					
Operations Performance Analysis					
Operations Ressources Management					
Operations Scheduling					
Imprimer les groupes d'odres et les ordres de production					
Vérifier la disponibilité des outils					
activer les ordres magasins planifiés					
Vérifier la disponibilité des outillages					
Planifier un bloc d'ordres					
Imprimer situation stocks pour un ordre de production					
lancer des ordres de production					
Vérifier disponibilité des ressources d'un ordre de production					
Operations Tracking					
Conclusion:					
Les fonctions variantes de 'Operations Scheduling' sont prédominantes dans ce modèle.					

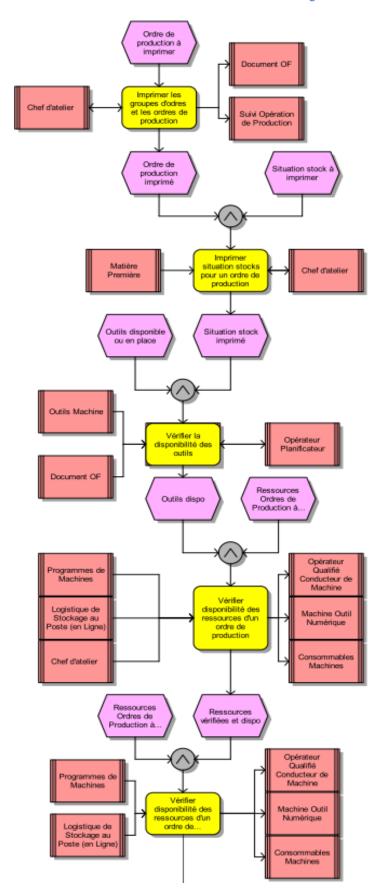
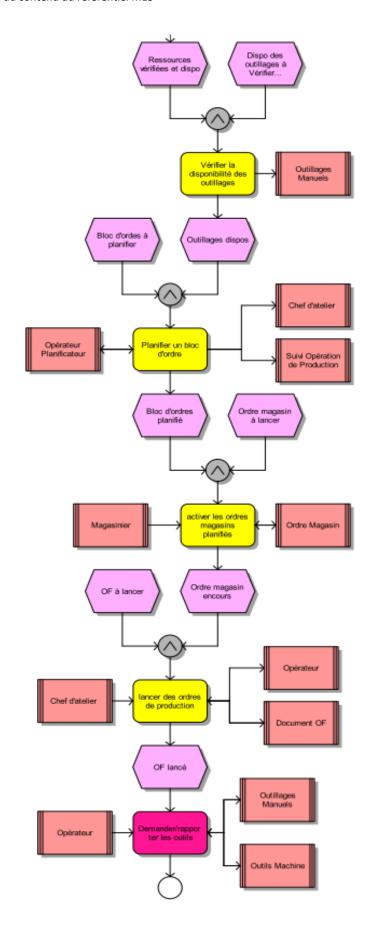


Figure V. 3. Coloration des fonctions des modèles selon les 8 catégories d'activités



# Annexe VI. Liste des figures

## Chapitre I

Figure 1. 2.Les verrous scientifiques de la thèse
Chapitre II  Figure 2. 1. L'entreprise : un système de systèmes [64]2
Figure 2. 1. L'entreprise : un système de systèmes [64]2.
Figure 2. 2. Dichotomie SOA métier – SOA IT [50]2
Figure 2. 3. Hiérarchie fonctionnelle
Figure 2. 4. Cadre de modélisation ISO 19439 [49]30
Figure 2. 5. Modèle d'équipement [45]40
Figure 2. 6. Modèle générique d'activité pour la gestion des opérations de fabrication [47]42
Figure 2. 7. Interopérabilité au niveau des trois couches de l'entreprise [15]4
Figure 2. 8. Le modèle SAM [34] étendu par le niveau de gestion de connaissances [30]5.
Chapitre III
Figure 3. 1. Cadre de modélisation
Figure 3. 2. Méta-modèle de la couche métier
Figure 3. 3. Méta-modèle du référentiel MES64
Figure 3. 4. Modélisation de la structure du référentiel MES65
Figure 3. 5. Modélisation des modèles d'objets
Figure 3. 6.Contenu du référentiel MES à l'issue de la modélisation de la norme ISO/IEC 62264 6.
Figure 3. 7. Modélisation des scénarios métiers
Figure 3. 8. Contenu du référentiel MES à l'issu de l'intervention des experts métier 65
Figure 3. 9. Processus classique d'utilisation de B2MML70
Figure 3. 10. Processus d'alignement métier/fonctionnel en utilisant B2MML7.
Figure 3. 11. Contenu du référentiel MES après l'enrichissement par les éléments de la couche fonctionnelle 7.
Figure 3. 12. Le champ de couverture des référentiels7.
Figure 3. 13. Démarche globale d'enrichissement du référentiel par alignement74
Figure 3. 14. Hétérogénéités conceptuelles70
Figure 3. 15. Extraction du contenu à aligner78
Figure 3. 16. Exemple de modélisation d'une fonction SCOR en ontologie75
Figure 3. 17. Exemple d'alignement au niveau de la vue fonctionnelle8.
Figure 3. 18. Exemple de définition des E/S dans le modèle SCOR82
Figure 3. 19. Exemple d'alignement du modèle SCOR sur l'ISO/IEC 62264 issu de la vue informationnelle 84
Figure 3. 20. Exemple d'incohérence sémantique8
Figure 3. 21. Processus d'alignement sémantique entre référentiels métier
Figure 3. 22. Méta modèle pour l'alignement sémantique de référentiels métier89
Figure 3. 23. Exemple de cycle de vie du projet de développement d'un système unique90
Figure 3. 24. Les trois premières phases dans le cycle de vie des modèles (ISO/TC and CEN/TC, 2006) 90
Figure 3. 25. Vue macro de la démarche d'alignement « Référentiel-Besoins client »92

#### Omar SAKKA

Figure 3. 26. Exemple d'un processus métier proposé par l'ISO/IEC 62264	94
Figure 3. 27. Un exemple illustratif d'alignement des besoins client sur le référentiel MES	96
Chapitre IV	
Figure 4. 1. Modélisation du cadre de modélisation et du méta-modèle	
Figure 4. 2. Processus de transformation	
Figure 4. 3. Exemple de règle en XSLT	
Figure 4. 4. Structure de la vue informationnelle du référentiel MES	
Figure 4. 5. Structure de la vue fonctionnelle du référentiel MES	107
Figure 4. 6. Exemple de modèle du référentiel MES	
Figure 4. 7. Exemple d'instanciation du construit "Repository Business Object"	108
Figure 4. 8. Exemple d'instanciation du construit "repository Business Data"	
Figure 4. 9. Exemple de création d'un processus métier	
Figure 4. 10. Aperçu de la matrice du processus MAKE	111
Figure 4. 11. Modélisation de l'alignement "haut niveau" de la vue informationnelle	112
Figure 4. 12. Modélisation de l'alignement "Bas niveau"	113
Figure 4. 13. Extrait d'un rapport de contrôle sémantique	114
Figure 4. 14. Exemple d'un modèle analysé avec une règle de contrôle sémantique	114
Figure 4. 15. Exemples d'entrées/sorties de la classe "Personal Information"	116
Figure 4. 16. Exemple de modélisation de l'alignement métier/fonctionnel au niveau de la vue	
informationnelle	116
Figure 4. 17. Exemple de modélisation de l'alignement métier/fonctionnel au niveau de la vue for	
Figure 4. 18. Ensemble des objets et relations ARIS utilisés	
Figure 4. 19. Exemple d'un processus "MESTRIA" en BPMN	
Figure 4. 20. Alignement des cartographies des éditeurs sur le référentiel MES	
Figure 4. 21. Un extrait d'un processus de fabrication proposé par les éditeurs	
Figure 4. 22. Modélisation sur ARIS d'un extrait d'un processus "MESTRIA"	
Annexe I	123
Figure I. 1. Modèle de personnel	
Figure I. 2. Modèle d'équipement	130
Figure I. 3. Modèle des actifs physiques	
Figure I. 4. Modèle matière	131
Figure I. 5. Modèle de segment de processus	132
Figure I. 6. Modèle de définition de l'opération	132
Figure I. 7. Modèle de planification de l'opération	133
Figure I. 8. Modèle de rapport de l'opération	133
Figure I. 9. Modèle de capacité de l'opération	134
Annexe II	
Figure II. 1. Opérations de fabrication	136
Figure II. 2. Modèle d'activités pour la gestion des opérations de production	136
Figure II. 3. Modèle d'activités pour la gestion de la définition du produit	137
Figure II. 4. Modèle d'activités de gestion des ressources de production	137
Figure II. 5. Modèle d'activités avec l'ordonnancement détaillé de production	
Figure II. 6. Modèle d'activités de lancement en production	138
Figure II. 7. Modèle d'activités de gestion de l'exécution de la production	138

## Annexe VI. Liste des figures

Figure II. 8. Modèle d'activités de la collecte des données de production	139
Figure II. 9. Modèle d'activités pour le suivi de production	139
Figure II. 10. Modèle d'activités de l'analyse de performance de la production	140
Annexe III	
Figure III. 1. Les sous-processus du processus MAKE	142
Figure III. 2. Processus MAKE-TO-STOCK	
Figure III. 3. Processus MAKE-TO-ORDER	
Figure III. 4. Processus Engineer-to-Order	143
Figure III. 5. Processus Enable Make	143
Annexe V	
Figure V. 1. Modélisation du processus métier : Ordonnancement et lancement d'un groupe d	d'OF en ligne de
production avec machines	172
Figure V. 2. Processus Métier après lancement du contrôle sémantique : Ordonnancement et	lancement d'un
groupe d'OF en ligne de production avec machines	175
Figure V. 3. Coloration des fonctions des modèles selon les 8 catégories d'activités	180

## Annexe VII. Liste des tableaux

## Chapitre II

Tableau 2. 1. Les attributs de la classe "Equipment Property" [45]	41
Tableau 2. 2. Résumé de l'évaluation des sept approches [23]	
Chapitre III	
Tableau 3. 1. Résultats de la phase de comparaison	77
Tableau 3. 2. Alignement haut niveau entre l'ISO/IEC 62264 et le modèle SCOR	83
Tableau 3. 3. Alignement haut niveau entre les sous-processus MAKE et les activités ISO/IEC 62264 Tableau 3. 4. Modélisation de l'alignement sémantique du processus MAKE du modèle SCOR sur l'ISO/IEC	
62264	86
Chapitre IV	
Tableau 4. 1. Liste des relations ARIS utilisées 1	03
Annexe III	
Tableau III. 1. Description des fonctions du processus MAKE1	43
Annexe V	
Tableau V. 1. Exemple issue de vue fonctionnelle : Variante Execution Management 1	54
Tableau V. 2. Exemple issu de la vue informationnelle : Variante Material Information 1	62
Tableau V. 3. Exemple d'alignement fonctionnel/fonctionnel : Client Business Operation-Repository Busines	S
Operation	63
Tableau V. 4. Exemple d'un processus Métier : Ordonnancement et lancement d'un groupe d'OF en ligne de	•
production avec machines 1	69

## Annexe VIII. Bibliographie

- [1] Alter, S. "A General, Yet Useful Theory of Information Systems". Communications of the Association for Information Systems, 1999. vol 1, n° 13, pp. 1-68.
- [2] APICS, in *APICS Dictionary, Tenth Edition*, J.F. Cox and J.H. Blackstone Jr., Editors. 2002, Amer Production & Inventory. pp. 132.
- [3] Bigand, M., Korbaa, O., and Bourey, J.-P. "Integration of FMS performance evaluation models using patterns for an information system design". Computers & Industrial Engineering, 2004. vol 46, n° 4, pp. 625-637.
- [4] Bleistein, S.J., Cox, K., and Verner, J., Strategic alignment in requirements analysis for organizational IT: an integrated approach, in Proceedings of the 2005 ACM symposium on Applied computing. 2005, ACM: Santa Fe, New Mexico. pp. 1300-1307.
- [5] Bodhuin, T., Esposito, R., Pacelli, C., and Tortorella, M. "Impact Analysis for Supporting the Co-Evolution of Business Processes and Supporting Software Systems". Proceedings of BPMDS'04, Workshop on Creating and Maintaining the Fit between Business Processes and Support Systems, 2004, Riga, Latvia, pp. 7.
- [6] Bourey, J.-P., Grangel, R., Doumeingts, G., and Berre, A. DTG2.3: Report on model establishment. Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence. Rapport de recherche: INTEROP, 2007, 91 p.
- [7] Box, G.E.P. and Norman, R.D., "Empirical Model-Building and Response Surfaces": Wiley, 1987, 688 p. ISBN: 0471810339.
- [8] Braesch, C., Théroude, F., and Haurat, A., *OLYMPIOS*: a model to control by process reengineering, in *International Conference Systems Engineering and information* & *Communication Technology (TIC'2000)*. 2000: Nîmes, France.
- [9] Bruijn, J.d. State-of-the-art survey on Ontology Merging and Aligning V1. Rapport de recherche: University of Innsbruck, F. Mart'ın-Recuerda, D. Manov, and M. Ehrig, 2004, 94 p.
- [10] Brujin, J.d., Ehrig, M., Feier, C., Martin-Recuerda, F., Scharffe, F., and Weiten, M. "Ontology Mediation, Merging, and Aligning, pages". In: J. Davies, R. Studer, and P. Warren. Semantic Web Technologies, trends and research in ontology-based systems, WILEY. 2006, pp. 95-113.
- [11] Bussler, C. "Semantic Web services: reflections on Web service mediation and composition". Proceedings of the Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering, 2003, Galway, Ireland, pp. 253-260.
- [12] Caseau, Y., "Urbanisation et BPM, Le point de vue d'un DSI. ". Paris: Dunod, 2006, 311 p.
- [13] CEN. "ENV 12204: Advanced Manufacturing Technology Systems Architecture Constructs for Enterprise Modelling". 1996, 44 p.
- [14] Chaari, S. "Interconnexion des processus Interentreprises : une approche orientée services". Thèse Informatique. Thèse de doctorat. Lyon: INSA de Lyon, 2008, 177 p.
- [15] Chen, D. and Doumeingts, G. "European initiatives to develop interoperability of enterprise applications—basic concepts, framework and roadmap". Annual Reviews in Control, 2003. vol 27, n° 2, pp. 153-162.

#### **Omar SAKKA**

- [16] Ciborra, C. "De profundis? Deconstructing the concept of strategic alignment". Journal of Information Systems, 1997. vol 9, n° 1, pp. 67-82.
- [17] Darras, F. "Proposition d'un cadre de référence pour la conception et l'exploitation d'un progiciel de gestion intégré". Thèse de doctorat. Albi-Carmaux: École des Mines d'Albi-Carmaux, 2004, 300 p.
- [18] Doan, A., Madhavan, J., Domingos, P., and Halevy, A. "Ontology matching: a machine learning approach". In: S. Staab and R. Studer. Handbook on Ontologies in Information Systems.London, Springer. 2003, pp. 397--416.
- [19] Doumeingts, G., Vallespir, B., and Chen, D. "GRAI Grid Decisional Modelling, In handbook on Architecture of Information Systems". In: P. Bernus, K. Mertins, and G. Schmith. Handbook on Information Systems.Berlin, Springer Verlag. 1998, pp. 313-337.
- [20] EIF. European Interoperability Framework for pan-European eGovernment Services, Interoperable Delivery of European eGovernment Services to public Administrations, Businesses and Citizens (IDABC),. Rapport de recherche n° 1.0: Luxembourg: 2004, 26 p.
- [21] ENV. "ENV 40003 : Computer Integrated Manufacturing Systems Architecture Framework for Enterprise Modelling". CEN/CENELEC, 1991, 23 p.
- [22] ENV. "ENV 12204: Advanced Manufacturing Technology Systems Architecture Constructs for Enterprise Modellingx". CEN TC 310/WG1, 1996.
- [23] Etien, A. "Ingénierie de l'alignement : Concepts, Modèles et Processus. La méthode ACEM pour l'alignement d'un système d'information aux processus d'entreprise". Thèse de doctorat. Paris: Université Paris I Pantheon- Sorbonne, 2006, 355 p.
- [24] Euzenat, J. "Towards a principled approach to semantic interoperability". Workshop on Ontologies and Information Sharing, 2001, Seattle, USA, pp. 19-25.
- [25] EXTERNAL, *Extended Enterprise Resources, Networks and Learning*. 2000, EC project, IST-1999-10091.
- [26] Ferchichi, A. "Contribution à l'intégration des processus métier : application à la mise en place d'un référentiel qualité multi-vues". Thèse de doctorat. Lille: Ecole centrale de Lille et l'école centrale de paris, 2008, 350 p.
- [27] Goh, C.H. "Representing and Reasoning about Semantic Conflicts in Heterogeneous Information Sources". Thèse de doctorat. MASSACHUSETTS: MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 1997, 113 p.
- [28] Gomez-Perez, A. "Evaluation of Ontologies". International Journal of Intelligent Systems, 2001. vol 16, n° 3, pp. 391–409.
- [29] Gruber , T. "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications". Knwledge Acquisition, 1993. vol 5, n° 2, pp. 199-220.
- [30] Gudas, S. and Brundzaite, R. "Knowledge-Based Enterprise Modelling Framework". Advances in Information Systems, 2006. vol 42, n° 4, pp. 334-343.
- [31] Hagan, P., "Foundational Practices and tools for EA development (EA = Enterprise Architecture)": EABOK, 2002, 141 p.
- [32] Hameed, A., Preece, A., and Sleeman, D. "Ontology reconciliation,". In: S. Staab and R. Studer. Handbook on ontologies in information systems.Berlin Heidelberg New York, Springer. 2003, pp. 231–250.
- [33] Hasselbring, W. "Information Systeme Integration". Communications of the ACM, 2000. vol 43 n° 6, pp. 33-38.
- [34] Henderson, J. and Venkatraman, C. "Strategic Alignment: Leveraging information technology for transformation organizations". IBM Systems Journal, 1993. vol 38, n° 2, pp. 472-484.

- [35] Huang, S.H., Sheoran, S.K., and Keskar, H. "Computer-assisted supply chain configuration based on supply chain operations reference (SCOR) model". Computers & Industrial Engineering, 2005. vol 48, n° 2, pp. 377-394.
- [36] Hwang, Y.-D., Lin, Y.-C., and Jung, L.J. "The performance evaluation of SCOR sourcing process--The case study of Taiwan's TFT-LCD industry". International Journal of Production Economics, 2008. vol 115, n° 2, pp. 411-423.
- [37] IEC. "Batch control Part 1: Models and terminology". IEC 61512-1 ed1.0, 1997, 177 p.
- [38] IEEE. "IEEE Recommended Practice for Architectural Description for Software-Intensive Systems". IEEE 1471-2000, 2000, 29 p.
- [39] IFIP. GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology. IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration. Rapport de recherche n° 1.6.1: 1999, 31 p.
- [40] ISO. "ISO 10303-1: Industrial automation systems and integration Product data representation and exchange Overview and Fundamental Principles". ISO TC184/SC4, 1994, 17 p.
- [41] ISO. "Industrial automation systems -- Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies". ISO 15704, 2000, 43 p.
- [42] ISO. "ISO 15704 : Industrial automation systems -- Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies". 2000, 43 p.
- [43] ISO. "Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data -- Part 1: General overview". ISO 15531-1, 2004, 29 p.
- [44] ISO/IEC. "IEC 62264-1: Enterprise-control system integration". Part 1: Models and terminology, 2003, 128 p.
- [45] ISO/IEC. "IEC 62264-2: Enterprise-control system integration". Part 2: Model object attributes, 2004, 96 p.
- [46] ISO/IEC. "Information technology -- Open Distributed Processing -- Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2". ISO/IEC 19501 ed1.0, 2005, 432 p.
- [47] ISO/IEC. "IEC 62264-3: Enterprise-control system integration". Part 3: Activity models of manufacturing operations management, 2007, 212 p.
- [48] ISO/TC. "DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 19440". Enterprise integration Constructs for enterprise modelling, 2004, 63 p.
- [49] ISO/TC and CEN/TC. "Enterprise integration Framework for enterprise modelling (ISO 19439)". 2006, 47 p.
- [50] Izza, S. "Intégration des Systèmes d'Information Industriels Une Approche Flexible Basée les Services Sémantiques". Thèse de doctorat. Saint-Etienne: École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2006, 375 p.
- [51] Jacobson, I., Booch, G., and Rumbaugh, J., "The unified software development process". Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1999, 463 p.
- [52] Jardim-Goncalves, R., Grilo, A., and Steiger-Garcao, A. "Challenging the interoperability between computers in industry with MDA and SOA". Computers in Industry, 2006. vol 57, n° 8-9, pp. 679-689.
- [53] Jean-Mary, Y. and Kabuka, M. "ASMOV: Ontology Alignment with Semantic Validation ". SWDB-ODBIS Workshop, 2007, Vienna, Austria, pp. 15-20.
- [54] Jean-Mary, Y.R., Shironoshita, E.P., and Kabuka, M.R. "ASMOV: Results for OAEI 2010". International Workshop on Evaluation of Semantic Technologies (IWEST 2010), 2010, Shanghai, China, pp. 8.

- [55] Kavouras, M. "A unified ontological framwork for semantic integration". In: P. Agouris and A. Croitoru. Next Generation Geospatial Information From Digital Image Analysis to SpatioTemporal Databases.The Netherlands, Taylor & Francis. 2005, pp. 147-156. ISBN: 0-415-38049-9.
- [56] Klein, M., Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions., in Proceedings of Workshop on Ontologies and Information Sharing at the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2001), G.A. Perez, H. H. Gruninger, H. Stuckenschmidt, and M. Uschold, Editors. 2001: Seattle, WA, USA.
- [57] Knoll, K. and Jarvenpaa, S.L. "Information technology alignment or "fit" in highly turbulent environments: the concept of flexibility". Proceedings of the computer personnel research conference on Reinventing IS, 1994, Alexandria, Virginia, United States, pp. 1-14.
- [58] KnowledgeWeb. Deliverables of KWEB Project EU-IST-2004-507482. Rapport de recherche: 2004, 10 p.
- [59] Kosanke, K. "CIMOSA -- Overview and status". Computers in Industry, 1995. vol 27, n° 2, pp. 101-109.
- [60] Kosanke, K. and Nell, J.G. Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus, 1997, Torino, Italy, Springer-Verlag, pp. 634.
- [61] Krafzig, d., Banke, K., and Slama, D., "Enterprise SOA: Service-Oriented Architecture Best Practices". US: Prentice Hall, 2004, 408 p. ISBN: 978-0131465756.
- [62] Krishna, A., Ghose, A.K., and Vilkomir, S. "Co-Evolution of Complementary Formal and Informal Requirements". Proceedings of International Workshop on Principles of Software Evolution (IWPSE'04), 2004, Kyoto, Japan, pp. 159-164.
- [63] Landtsheer, R.d., Letier, E., and Lamsweerde, A.v. "Deriving Tabular Event-Based Specifications from Goal-Oriented Requirements Models". Requirements Engineering Journal, 2004. vol 9, n° 2, pp. 104-120.
- [64] Le Moigne, J.-L., "La Théorie du Système Général : théorie de la modélisation": Presse Universitaire Française, 1984, 352 p.
- [65] Le Roux, B., "Urbanisation et modernisation du SI": Lavoisier, 2004, 214 p. (H. Science).
- [66] Li, H. and Williams, T.J. "Some extensions to the Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA): I. Explaining the Purdue architecture and the Purdue methodology using the axioms of engineering design". Computers in Industry, 1997. vol 34, n° 3, pp. 247-259.
- [67] Li, J., Tang, J., Li, Y., and Luo, Q. "RiMOM: A Dynamic Multi-Strategy Ontology Alignment Framework". IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering (TKDE), 2009 vol 21, n° 8, pp. 1218-1232.
- [68] Luftman, J. "Assessing business-IT alignment maturity". Communications of the Association for Information Systems, 2000. vol 4, n° 14, pp. 1-50.
- [69] Marca, D.A. and McGowan, C.L., "SADT: structured analysis and design technique". New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1987, 392 p.
- [70] Marks, E.A. and Bell, M., "Service Oriented Architecture (SOA): A Planning and Implementation Guide for Business and Technology": John Wiley & Sons, 2006, 384 p. ISBN: 978-0-471-76894-4.
- [71] Martin, R., Robertson, E., and Springer, J. "Architectural Principles for Enterprise Frameworks: Guidance for Interoperability". In. Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise. 2005, pp. 79-91.
- [72] Meinadier, J.-P., "Le métier d'intégration des systèmes". France: Lavoisier-Hermes, 2002, 542 p.

- [73] Méndez, J. "Strategic Process Integration". In. Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise. 2005, pp. 363-371.
- [74] Mertins, K. and Jochem, R., "Quality-Oriented Design of Business Processes". Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1999, 216 p. ISBN: 0-7923-8484-9.
- [75] Millet, P.-A. "Une étude de l'intégration organisationnelle et informationnelle. Application aux systèmes d'informations de type ERP". Thèse de doctorat. Lyon: INSA de Lyon, 2008, 308 p.
- [76] Millet, P.-A., Schmitt, P., and Botta-Genoulaz, V. "The SCOR model for the alignment of business processes and information systems". Enterprise Information Systems, 2009. vol 3, n° 4, pp. 393-407.
- [77] Millet, P.-A., Trilling, L., Moyaux, T., and Sakka, O. "Ontology of SCOR for the Strategic Alignment of Organizations and Information Systems". In: V. Botta-Genoulaz, J.-P. Campagne, D. Llerena, and C. Pellegrin. Supply Chain Performance: Collaboration, Alignment and Coordination, Wiley ISTE ed. 2010, pp. 171-210.
- [78] Millet, P.A. and Botta-Genoulaz, V. "Contribution des briques applicatives aux processus Supply Chain". Proceedings of the 7e congrés International de Génie Industrie (CIGI), 2007, Quebec-Canada, pp. 11.
- [79] Minoli, D., "Enterprise Architecture A to Z: Frameworks, Business Process Modeling, SOA, and Infrastructure Technology". London: Auerbach Publishers Inc., 2008, 504 p.
- [80] Morley, C., Hugues, J., Leblanc, B., and Hugues, O., "Processus Métiers et systèmes d'information: Evaluation, modélisation, mise en oeuvre". Paris: Dunod, 2005, 240 p.
- [81] Nguyen, N., "Gestion de la qualité": LAVOISIER S.A.S., 2007, 527 p. (C. Education) ISBN: 978-2-7650-1057-9.
- [82] Noy, N.F. and Musen, M.A. "Anchor-PROMPT: Using Non-Local Context for Semantic Matching". Proceedings of the workshop on ontologies and information sharing at the international joint conference on artificial intelligence (IJCAI), 2001, pp. 63-70.
- [83] Panetto, H. "Meta-modèles et modèles pour l'intégration et l'interopérabilité des applications d'entreprises de production". Habilitation à Diriger des Recherches.. Nancy: Henri Poincaré Nancy I 2006, 110 p.
- [84] Panetto, H. "Towards a Classification Framework for Interoperability of Enterprise Applications". International Journal of CIM, Taylor & Francis, 2007. vol 20, n° 8, pp. 727-740.
- [85] Persson, F. and Araldi, M. "The development of a dynamic supply chain analysis tool-Integration of SCOR and discrete event simulation". International Journal of Production Economics, 2009. vol 121, n° 2, pp. 574-583.
- [86] Potts, C. "Fitness for Use: The System Quality that Matters Most". Processding of Requirements Engineering: Foundation for Software Quality (REFSQ'97), 1997, Barcelona, Spain, pp. 16-17.
- [87] Reix, R., "Systèmes d'information et management des organisations". Paris Vuibert 2004, 486 p.
- [88] Ruggaber, R. "ATHENA Advanced technologies for interoperability of heterogeneous enterprise networks and their applications". In: D. Konstantas, J.-P. Bourrières, M. Léonard, and N. Boudjlida. INTEROPERABILITY OF ENTERPRISE SOFTWARE AND APPLICATIONS.London, Springer. 2006, pp. 459-460.
- [89] Sakka, O., Millet, P.A., and Botta-Genoulaz, V. Etat des lieux des normes et des référentiels métier. Rapport de recherche: Projet MES, Lyon, France: 2010, 30 p.

- [90] Sakka, O., Millet, P.A., and Botta-Genoulaz, V. "An ontological approach for strategic alignment: a SCOR case study". International Journal of Computer Integrated Manufacturing (IJCIM), 2011. vol 24, n° 11, pp. 1022-1037.
- [91] SCC. "Supply Chain Operations Reference Model". Disponible sur: <a href="http://supplychain.org/scor/9.0">http://supplychain.org/scor/9.0</a> (Consulté le 17.09.2009).
- [92] SCC. "Supply Chain Operations Reference (SCOR) model.". Disponible sur: <a href="http://supply-chain.org/scor/10.0">http://supply-chain.org/scor/10.0</a> (Consulté le 13.05.2010).
- [93] Scheer, A.-W., Architecture of Integrated Information System (ARIS),, in Workshop on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing (DIISM'93). 1993: Tokyo, Japan. pp. 177-191.
- [94] Scheer, A.-W. and Schneider, K. "ARIS Architecture of Integrated Information Systems". In: P. Bernus, K. Mertins, and G. Schmidt. Handbook on Architectures of Information Systems, Springer Berlin Heidelberg. 2006, pp. 605-623. ISBN: 978-3-540-26661-7.
- [95] Schekkerman, J., "Trends in Enterprise Architecture". The Netherland: Institute For Enterprise Architecture Developments (IFEAD), 2005, 31 p. (E. 1.).
- [96] Shorter, D. and Focus, I. "Integrating Enterprise Model Views through Alignment of Metamodels". In. Knowledge Sharing in the Integrated Enterprise. 2005, pp. 21-37.
- [97] Smaczny, T. "Is an alignment between business and information technology the appropriate paradigm to manage IT in today's organisations?". Management Decision, 2001. vol 39, n° 10, pp. 797-802.
- [98] Stewart, G. "Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross-industry framework for integrated supply-chain management". Logistics Information Management 1997. vol 10, n° 2, pp. 62-67.
- [99] Swartout, B., Patil, R., Knight, K., and Russ, T. "Use of Large-Scale Ontologies". Spring Symposium Series on Ontological Engineering Stanford University, 1997. pp. 137-148.
- [100] Tardieu, H., Rochfeld, A., Colletti, R., Panet, G., and Vahéee, G., "La méthode Merise Tome 2 Démarches et pratiques". Paris, 1985, 460 p. ISBN: 2-7081-0703-8.
- [101] Terrasse, M.N., Savonnet, M., Becker, G., and Leclercq, E. "UML-Based Metamodeling for Information System Engineering and Evolution". 9th International Conference on Object-Oriented Information Systems: OOIS'03, 2003, pp. 83-94.
- [102] Touzi, J. "Aide à la conception de Système d'Information Collaboratif support de l'interopérabilité des entreprises". Thèse de doctorat. Toulouse: Ecole des Mines d'Albi Carmaux, 2007, 208 p.
- [103] Tricker, R., "ISO 9001 :2000 : The Quality Management Process": Van Haren Pub, 2006, 186 p. (B. Practice).
- [104] Ulmer, J.-S. "Approche générique pour la modélisation et l'implémentation des processus". Thèse de doctorat. Toulouse: INP Toulouse, 2011, 207 p.
- [105] Vallespir, B., Braesch, C., Chapurlat, V., and Crestani, D., L'intégration en modélisation d'entreprise : les chemins d'UEML, in Conférence francophone de modélisation et simulation MOSIM'03. 2003. pp. 6.
- [106] Vernadat, F.B., "Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications". London, UK: Chapman & Hall, 1996, 496 p. ISBN: 978-0412605505.
- [107] WBF. "B2MML". Disponible sur: <a href="http://wbforg.affiniscape.com/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=99">http://wbforg.affiniscape.com/displaycommon.cfm?an=1&subarticlenbr=99</a> (Consulté le 20.10.2011).

- [108] Wegmann, A., Balabko, P., Le, L.S., Regev, G., and Rychkova, I. "A Method and Tool for Business-IT Alignment in Enterprise Architecture". Proceedings of CAiSE`05 Forum, 2005, Porto, Portugal, pp. 113-118.
- [109] Weston, R.H. "Steps towards enterprise wide integration: a definition of needs and first generation open solutions". International Journal of Production Research, 1993. vol 31, n° 9, pp. 2235-2254.
- [110] Wiederhold, G. "Mediators in the Architecture of Future Information Systems". IEEE Computer, 1992. vol 25 n° 3, pp. 38-49.
- [111] Wieringa, R.J., Blanken, H.M., Fokkinga, M.M., and Grefen, P.W.P.J. "Aligning application architecture to the business context". CAiSE'03 Proceedings of the 15th international conference on Advanced information systems engineering, 2003, Berlin, Springer-Verlag, pp. 209–225.
- [112] Williams, T.J., "The Purdue Enterprise Reference Architecture--A Technical Guide for CIM Planning and Implementation": Instrument Society of America (Research Triangle Park, N.C.), 1992, 506 p.
- [113] Wohed, P. "Analysis of process modelling languages for enterprise interoperability". Diplôme de Recherche Post-Doctorale. Nancy Université Henri Poincaré Nancy I 2005.
- [114] Zdravković, M., Trajanović, M., Panetto, H., Lezoche, M., and Aubry, A. "Ontology-based supply chain process configuration". In: M. Trajanović In Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, 2011, Niš, Serbia, pp. 399-402.
- [115] Zelm, M., Vernadat, F.B., and Kosanke, K. "The CIMOSA business modelling process". Computers in Industry, 1995. vol 27, n° 2, pp. 123-142.

#### **FOLIO ADMINISTRATIF**

### THESE SOUTENUE DEVANT L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

NOM : SAKKA DATE de SOUTENANCE : 21 mars 2012

Prénoms : Omar

TITRE: Alignement sémantique entre référentiels d'entreprise - Application aux systèmes d'exécution de la

fabrication (MES)

NATURE : Doctorat Numéro d'ordre : 2012 ISAL 0020

Ecole doctorale : Ecole Doctorale Informatique et Mathématiques

Spécialité : Informatique

#### **RESUME:**

L'interopérabilité entre applications d'entreprise est une problématique à multiples facettes. Pour y répondre, nous avons investigué l'alignement sémantique des connaissances sur les processus et objets métier supportés par les différentes applications d'entreprise. Ces connaissances sont souvent hétérogènes selon les métiers et implémentées de manières diverses, engendrant ainsi des conflits sémantiques dues aux différentes interprétations des acteurs. Nous intervenons dans le processus de découverte de zones de correspondances et/ou de conflits sémantiques entre ces connaissances, plus particulièrement dans le domaine des applications de gestion d'atelier (MES – Manufacturing Execution System). Nous proposons une démarche de formalisation de ces connaissances sous la forme d'un référentiel standardisé (ISO 62264) : "le référentiel MES", ainsi qu'une démarche d'enrichissement de ce référentiel par alignements successifs avec d'autres normes et/ou référentiels. Nous définissons ainsi formellement, un méta-modèle qui décrit les relations sémantiques entre les éléments des référentiels à aligner, et des règles de contrôle sémantique pour garder la cohérence et la standardisation du référentiel MES. Enfin, pour aider à la mise en œuvre des applications d'entreprise, nous présentons une démarche d'alignement des besoins client sur le référentiel MES. Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre d'un projet de Recherche et Développement soutenu par le cluster EDIT de la région Rhône-Alpes.

MOTS-CLES: Alignement sémantique, Interopérabilité, Référentiel, Modélisation de processus, MES.

Laboratoire (s) de recherche : DISP, Décision et Information pour les Systèmes de Production

**Directeur de thèse :** Valérie Botta-Genoulaz **Co-directeur de thèse :** Pierre-Alain Millet

Président de jury : Xavier Boucher

### Composition du jury :

Khalid Benali Maître de conférences HDR, Université de Lorraine, Examinateur

Valérie Botta-Genoulaz Professeur, INSA de Lyon, Directeur

Xavier Boucher Professeur, Ecole des mines de St-Etienne, Examinateur Virginie Goepp-Thiebaud Maître de conférences, INSA de Strasbourg, Invitée

Alain Guinet Professeur, INSA de Lyon, Examinateur

Pierre Maret Professeur, Université Jean Monnet St-Etienne, Rapporteur

Pierre-Alain Millet Maître de conférences, INSA de Lyon, Co-directeur Hervé Panetto Professeur, Université de Lorraine, Rapporteur

Hervé Verjus Maître de conférences, Université de Savoie, Examinateur

#### **Omar SAKKA**