

Proposition d'une approche méthodologique d'interopérabilité multi-niveaux dans un environnement de PLM collaboratif

Thèse

Présentée à

L'Université Paris VIII

Pour obtenir le titre de

Docteur en Productique / Génie industriel

Par

Emna Moones

Soutenue le 04 Décembre 2017

Devant la commission d'examen composée de :

Abderrahman El Mhamedi	Directeur	Université Paris VIII
Hervé Panetto	Rapporteur	Université de Lorraine
Bruno Vallespir	Rapporteur	Université de Bordeaux
Valérie Botta-Genoulaz	Examinatrice	INSA de Lyon
Esma Yahia	Examinatrice	ENSAM Aix en Provence
Myriam Lamolle	Examinatrice	Université Paris VIII
El Mouloudi Dafaoui	Examineur	Université Paris VIII
Ali Koudri	Examineur	IRT SystemX

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Hervé Panetto Professeur à l'université de Lorraine et Monsieur Bruno Vallespir Professeur à l'université de Bordeaux, d'avoir accepté de rapporter sur mes travaux, pour tout l'intérêt qu'ils ont porté à mes recherches avec une lecture attentive et les remarques et commentaires pertinents qu'ils m'ont fournis.

Je remercie également Madame Valérie-Botta Genoulza Professeure à INSA Lyon et Madame Myriam Lamolle Professeure à l'université Paris8 d'avoir accepté de faire part de mon jury de thèse et d'examiner mes travaux.

Mes remerciements vont également à mon directeur de thèse Monsieur Abderrahman El Mhamedi, pour la qualité de son encadrement, pour le soutien et les conseils qu'il m'a donné tout au long de cette thèse. Je tiens aussi à remercier Monsieur El Mouloudi Dafoui mon encadrant de thèse de m'avoir orienté durant mes travaux. Je les remercie également pour la confiance et l'autonomie qu'ils m'ont accordée et qui ont fait de moi la personne que je suis maintenant.

Un remerciement spécial à Madame Esma Yahia, Maître de conférences à l'ENSAM d'Aix en Provence avec laquelle j'ai débuté mes premiers pas dans le monde de la recherche, qui m'a donné l'envie de continuer ainsi avec l'aboutissement de cette thèse et qui aujourd'hui me fait le plaisir d'être parmi les membres de mon jury.

Tous mes remerciements vont à Monsieur Ali Koudri, Docteur et Ingénieur de recherche senior à l'IRT SystemX qui non seulement me fait l'honneur d'examiner mes travaux, mais qui n'a pas cessé de me venir en aide tout le long de mes années de thèse. Tous les mots ne sauront qualifier ses efforts et ses conseils précieux et le soutien moral dont il m'a fait part et qui ont beaucoup contribué à la finalisation de cette thèse. Merci énormément du fond du cœur.

Je tiens aussi à remercier toute la direction de l'IRT qui m'a offert l'environnement adéquat pour réaliser les travaux actuels.

Cette thèse n'aura jamais vu le jour sans l'aide et la collaboration de tous les

membres du projet SIP (Standard Interopérabilité PLM) de l'IRT SystemX. Je remercie mon chef de projet Monsieur Nicolas Figay qui m'a donné l'opportunité d'intégrer cette expérience enrichissante. Merci à mes collègues du bureau et amis avec lesquels j'ai partagé énormément de bons moments. Merci à Diana Penciu, ingénieur de recherche à l'IRT qui a toujours manifesté son aide et son soutien et un grand intérêt à mes travaux. Merci à Thomas Vosgien qui a aussi su me soutenir durant mes premiers moments difficiles de la thèse. Merci pour son aide et ses contributions à mes travaux. Merci à Anaïs Ottino, Aminata Mbengue et Kevin Le Tutour pour tous leurs soutiens, les fous rires et la bonne humeur qui régnait dans le bureau. Leur présence a fait que les moments partagés étaient agréables et inoubliables.

Je remercie aussi mes trois stagiaires Moetez Ben Salah, Hamza Ouri et Arezki Kerkar, avec lesquels j'ai pu avancer dans mes recherches. Merci pour la qualité de leurs travaux qui m'ont permis d'avoir de bons résultats.

Au sein de l'IRT, j'ai pu réaliser cette thèse et j'ai noué aussi des relations d'amitié. Merci à mes chers amies et amis Laura Roa Castro, Mian Chen, Jing Zhu, Romain Barbedienne, Gauthier Fontaine, Hadrien Tournaire et également Aminata Mbengue, Anaïs Ottino et Kevin Le Tutour pour la bonne ambiance, les rires, les déjeuners, les sorties, les vacances et tous les magnifiques moments qu'on a partagé et qu'ont continuent de partager. J'espère que notre amitié durera encore.

Des remerciements spéciaux vont aussi à mes amis tunisiens et maghrébins de l'IRT qui étaient toujours à mes côtés dans les moments difficiles et qui n'ont cessé de m'encourager pour aller vers l'avant. Je cite Amira Ben Hamida, Manel Abid, Feyrouz Ksontini, Amira Methni, Mohamed Haykel Zayani, Aymen Boudguiga, Mohamed Tlig, Mouadh Yagoubi et Oussama Allali. Sans eux, mes années de thèse ne seraient pas pareil. Merci pour le soutien, la confiance et les conseils que vous m'avez accordé jusqu'au bout.

Je remercie également mes collègues de l'IRT Benjamin Aupetit et Michel Batteux pour leur aide précieuse, pour leur soutien, leurs conseils qui m'ont accordé et de m'avoir accueilli chaleureusement dans leur bureau durant la fin de mes jours à l'IRT. Merci également pour le chocolat et pour leur bonne humeur. Mes remerciements vont aussi à Abraham Cherfi pour toutes les discussions que nous avons partagées.

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont venu en aide au sein de l'IUT de Montreuil, notamment Monsieur Pascal Dupré, Directeur des études du département QLIO de l'IUT qui m'a aidé dans l'expérimentation de mes travaux. Je remercie aussi Madame Viviane Claus Directrice des études du département information et

communication de l'IUT qui a fournis un effort considérable malgré les délais pour la correction linguistique de ma thèse. Mes remerciements vont aussi à Monsieur Sid Ali Addouche Maître de conférences à l'IUT d'avoir été toujours présent à me venir en aide et me conseiller.

Sans oublier de mentionner mes collègues du laboratoire Quartz et plus précisément l'équipe MGSI. Merci Zina Akkouri pour tous les délicieux plats tunisiens qu'elle nous as cuisiné, ça à beaucoup contribuer à notre bonheur au laboratoire. Merci à ma collègue Asma Troudi pour toutes les discussions intéressantes que nous avons eu et pour tout le soutien qu'elle m'a accordé surtout vers la fin de la thèse. Je remercie également mes collègues Asmae El Mokrini, Imen Ben Brahim et Fatima Hamdane pour leur présence et les moments partagés au sein du laboratoire.

Je ne pourrais jamais assez remercier ma collègue et ma chère amie Nadine Kafa pour tout le temps, l'attention, l'effort, le soutien, la confiance et la bonne humeur qu'elle m'a accordé jusqu'à la fin de la thèse. Merci aussi pour toute sa patience et pour tous les mots avec lesquels elle réussit toujours à me remonter le moral et à me pousser à aller jusqu'au bout. Sa présence à mes côtés m'était très précieuse dans les moments difficiles de la rédaction de cette thèse.

Je dois aussi cette réussite à deux personnes aussi chères à mon cœur, Oumeima Ben Maaouia et Dahmane Yahiaoui. Sans leurs soutiens respectifs, leur bonne humeur ou tout simplement leur présence à mes côtés durant la dernière année m'a donnée beaucoup de courage et m'a redonné confiance en moi pour que je puisse arriver à ce stade et relever un tel défi. Je leur serais toujours reconnaissante et je ne les remercie pas assez pour tout leur épaullement. Merci Oumeima et Dahmane. Un merci sans fin à une merveilleuse amitié qui continue toujours d'exister, à Mohamed Aymen Sahnoun qui a répondu toujours présent pour m'écouter, m'orienter au travers de son expérience, me motiver et me remonter le moral durant tous les moments difficiles de la thèse. Je lui suis d'une grande reconnaissance notamment pour tous les bons moments, les sorties, les voyages et les rires partagés ensemble, sans oublier de mentionner sa femme Nouha Hichri et nos autres amis qui sont eux nos sorties n'auront pas le même gout : Mohamed Said, Zine El Abidine Taouil, Leila Ait Sidi Ahmed, Omar Dassi et Souha Rouissi.

A une amitié qui m'est trop chère également celle qui me lie à Wiem El Khediri, une personne avec laquelle je partage beaucoup de joie, de bonheur, des fous rires et des moments inoubliables, et qui sait aussi m'aider et m'orienter dans les bons moments. Merci d'être toujours à mes côtés malgré la distance.

A une chère et longue amitié qui dure depuis des années et qui continue encore à

exister malgré toute la distance qui nous sépare. Merci à ma meilleure amie Olfa Baccouri qui malgré tout ramène toujours sa bonne humeur et sait me faire rire à tous les moments. Merci à nos longues discussions, à son soutien et sa présence à tous les moments quand j'avais besoin d'elle. J'espère que notre amitié durera encore le plus longtemps possible.

Je voudrais aussi remercier mes amies Ghalia Damak et Abir Lassoued pour leurs conseils, pour les souvenirs qu'on a partagé et qu'ont continué de partager ensemble en Tunisie et ailleurs. Je remercie aussi mon amie Mariem Lameri pour tous les bons moments que nous avons partagés.

Enfin, je souhaite exprimer toute la gratitude et ma reconnaissance à ma famille qui m'a toujours soutenue et encouragé pour atteindre mes objectifs. Je remercie ma mère Latifa qui m'honore avec sa présence aujourd'hui, mon père Jemaa qui n'a malheureusement pas pu être présent mais qui me soutient avec son cœur de loin. Tous les mots et tous les gestes ne pourront suffire pour remercier ces deux êtres aussi chers à mon cœur.

Je remercie aussi mes deux sœurs Houda et Khadija avec lesquelles j'ai toujours partagé des moments agréables et qui leur amour ne cesse de grandir chaque jour dans mon cœur. Cette thèse n'aura jamais vu le jour sans leur soutien au quotidien et le sentiment qu'elles sont toujours à mes côtés et tous leurs encouragements et leur confiance.

J'adresse également mes remerciements à ma grand-mère Chalbja, à tous mes oncles, tantes, cousins et cousines qui n'ont cessé de penser à moi et de m'apporter leur soutien de près ou de loin. Je souhaite également remercier mon manager actuel Monsieur Gilles Law Yim Wan de m'avoir accordé le temps nécessaire afin que je puisse finir cette thèse.

Un grand merci à tous ceux qui travaillent à l'ombre pour que la thèse se passe dans les meilleures conditions. J'espère que chaque personne qui a contribué à la réussite de cette thèse saura puiser la part de mérite qui lui revient. A toutes les personnes (professeurs, chercheurs, doctorants...) que j'ai eu la chance de rencontrer durant cette thèse et avec lesquelles j'ai pu m'entretenir et partager de bons moments, notamment durant les conférences, les colloques, les événements scientifiques. Aussi à tous ceux qui m'ont accompagné durant mon quotidien pendant mes années à la cité universitaire de Paris.

Ces années de thèse me seront à jamais graver dans ma mémoire et ont fait de moi une personne imbattable, prête à relever tous les défis et les difficultés pour réussir ses objectifs. Malgré tous les efforts que j'ai fournis et tous les durs moments que j'ai vécus, je ne pourrais jamais être aussi contente et heureuse de voir enfin le fruit

de mon combat continu durant ces 4 dernières années et de savourer ces moments agréables et tant attendus.

Je me remercie moi-même d'avoir fait preuve de beaucoup de courage, de patience infinie et d'avoir tenue le bout dans les moments où je voulais laisser tomber. Cette thèse témoigne de longues heures de lectures, de recherches des bonnes informations, des nuits blanches, des mois et des mois de stress. Je me remercie car j'étais à la hauteur de mes promesses et de mes engagements, j'ai réussi à enfin relever un grand défi et à faire preuve de force sans égal. Le chemin parcouru durant cette thèse était bien rempli d'obstacles mais j'ai toujours réussi à trouver une solution et une réponse à chacun d'eux et j'en ai créé la volonté de vouloir continuer encore. Je pourrais encore écrire des lignes et des lignes pour exprimer tout ce que j'avais vécu dans cette expérience, mais tous les mots ne sauront exprimer en vrai mes sentiments actuels de voir une telle réussite. Je ressens maintenant le plaisir de tous les jours, les weekends, les vacances que j'ai passé à travailler sur ce projet. J'espère bien que ces quelques mots donneront de la motivation, du courage, de la volonté et de l'inspiration à tous ceux qui vont les lire.

Ces quatre années douloureuses, m'ont permis de découvrir une personne qui sommeille en moi, une personne plus forte, plus confiante et avec beaucoup de talents qui maintenant m'inspire énormément et qui ne cesse de me surprendre de plus en plus. Je close ces remerciements par deux citations de deux grandes personnalités qui ont tant inspirés le monde et qui y continuent encore...

"La force ne vient pas des capacités physiques, elle vient d'une indomptable volonté"

Mahatma Ghandi

"Il est très facile de casser et de détruire. Les héros ce sont ceux qui font la paix et qui bâtissent"

Nelson Mandela

A mes parents, mes deux sœurs, ma grand-mère et toute ma famille.

A tous mes amis partout dans le monde.

A mon cher et magnifique pays : la Tunisie.

Résumé

Nos travaux de thèse concernent l'étude de l'interopérabilité dans un environnement collaboratif et dynamique d'entreprise. Ce concept d'interopérabilité est considérée comme un facteur clé de collaboration qui doit être pris en compte tout au long du cycle de vie du produit. Ceci est particulièrement important en ce qui concerne les réseaux d'entreprise collaboratifs, tel que DMN, où un groupe distinct de partenaires est connecté dans un modèle en forme de chaîne et où la coopération est cruciale pour atteindre un objectif spécifique. Ce contexte a fait émerger la nécessité de faire inter-opérer une multitude de systèmes d'information, distribués, autonomes et hétérogènes.

Au sein du projet Standard Interopérabilité PLM et sur la base d'une analyse approfondie des problèmes d'interopérabilité au sein du DMN, ces travaux ont abouti à une approche générique conceptuelle d'interopérabilité multi-niveaux. Cette approche repose sur le standard ISA95 et l'approche d'ingénierie dirigée par les modèles (IDM), notre démarche vise à contribuer à l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes d'entreprises au cours de la phase de fabrication du produit dans un DMN collaboratif. En s'intéressant aux trois niveaux d'interopérabilité, cette approche permet de s'assurer que les informations sont physiquement échangées (l'interopérabilité technique), sont comprises (l'interopérabilité sémantique) et sont bien utilisées pour atteindre le but pour lequel elles ont été produites (l'interopérabilité organisationnelle). La qualité et l'efficacité de l'approche proposée ont été confirmées par une application sur un cas concret de collaboration entre ERP et MES dans une usine de fabrication de stylos DEKENZ.

Mots Clés

Collaboration, PLM, Interopérabilité, Modélisation, IDM, Standards, ERP, MES.

Abstract

Our thesis work deals with the study of interoperability in a collaborative and dynamic enterprise environment. Interoperability is considered as a key factor for collaboration that must be considered throughout the life cycle of the product. This is particularly important for collaborative enterprise networks, such as DMN, where a group of partners is connected in a chain model and where cooperation is crucial to achieve a specific goal. This context has led to the need for inter-operate a multitude of distributed, autonomous and heterogeneous information systems.

Within the standard and Interoperability PLM and basis on a thorough analysis of the interoperability problems within the DMN, this work proposed a generic conceptual multi-level approach of interoperability. This approach relies on the use of ISA95 standard and Model Driven Engineering (MDE) method. It aims to contribute to the improvement of the interoperability of information systems during the manufacturing phase of the product in a collaborative DMN. By focusing on the three levels of interoperability, this approach ensures that information is physically exchanged (technical interoperability), is understood (semantic interoperability), and is well used to achieve the purpose for which it have been produced (organizational interoperability). The quality and effectiveness of the proposed approach were confirmed by an application on a concrete case of collaboration between ERP and MES in a DEKENZ pen manufacturing plant.

Keywords

Collaboration, PLM, Interoperability, Modelling, MDA, Standards, ERP, MES.

Table des matières

Introduction Générale	1
I Chapitre 1	8
1 Concepts de base : Collaboration, PLM et Interopérabilité	9
1.1 Introduction	9
1.2 La révolution industrielle : contexte industriel	10
1.2.1 Le passage vers l'industrie 4.0 : L'usine numérique connectée	10
1.2.2 Emergence de nouveaux modèles pour la collaboration . . .	12
1.3 La collaboration dans l'entreprise	12
1.3.1 Définition de la collaboration	12
1.3.2 Niveaux et typologies de collaboration	14
1.4 Présentation du PLM	17
1.4.1 Le cycle de vie du produit	17
1.4.2 La définition du PLM	18
1.4.3 Objectif du PLM	23
1.5 Interopérabilité dans l'entreprise	24
1.5.1 Définition et types d'interopérabilité	24
1.5.2 Les niveaux d'interopérabilité	26
1.5.3 Les barrières d'interopérabilité	27
1.5.4 Les approches d'interopérabilité	28
1.6 Cadres d'interopérabilité	29
1.6.1 Le cadre IDEAS	30
1.6.2 Le cadre ATHENA : AIF	31
1.6.3 Le cadre INTEROP : FEI	32
1.7 Discussion et analyse des cadres d'interopérabilité	33
1.8 Conclusion	35

II Chapitre 2 36

2	État de l'art : Interopérabilité des systèmes d'information, ingénierie des modèles et standards	37
2.1	Introduction	37
2.2	Interopérabilité des Systèmes d'Information	38
2.2.1	Définition d'un système d'information	38
2.2.2	Caractéristiques des systèmes d'information d'un réseau collaboratif	40
2.2.3	Les systèmes d'information de la fabrication	44
2.2.4	Interopérabilité ERP/MES	46
2.3	La modélisation pour le niveau organisationnel	51
2.3.1	La modélisation comme support à l'interopérabilité	51
2.3.2	Les différents types de modèles d'entreprise	52
2.3.3	Cadres et langages de modélisation	54
2.3.4	Le cadre Archimate	55
2.3.5	Synthèse	56
2.4	L'IDM pour le niveau sémantique	57
2.4.1	L'ingénierie dirigée par les modèles	57
2.4.2	Les modèles et la transformation de modèles dans l'approche MDA	60
2.4.3	Mécanisme de transformation des modèles	62
2.4.4	L'approche MDA et l'interopérabilité : MDI	64
2.5	Les standards et les médiateurs pour l'interopérabilité sémantique et technique	65
2.5.1	Cartographie des standards dans le PLM	66
2.5.2	Les technologies pour l'interopérabilité au niveau technique	69
2.5.3	Rôles des standards dans l'échange de données techniques	70
2.5.4	Le langage XML	72
2.5.5	Le langage Schematron	77
2.6	Synthèse de l'état de l'art	78
2.7	Conclusion	79

III Chapitre 3 81

3	Une approche d'interopérabilité multi-niveaux basée sur l'ingénierie des modèles et les standards PLM	82
----------	--	-----------

3.1	Introduction	82
3.2	Positionnement et contribution au projet SIP	83
3.3	L'approche proposée	87
3.3.1	La modélisation Archimate	87
3.3.2	L'approche d'interopérabilité proposée	89
3.4	Présentation du standard ISA95	91
3.4.1	Le choix et le contenu du standard ISA95	91
3.4.2	Proposition de la modélisation du standard ISA95	96
3.4.3	Synthèse sur le standard ISA95	103
3.5	Présentation de l'approche globale	104
3.6	La réalisation de l'interopérabilité organisationnelle entre ERP et MES	107
3.6.1	Le processus de fabrication collaboratif	107
3.6.2	Description des informations du système ERP	109
3.6.3	Description des informations du système MES	109
3.6.4	Les hétérogénéités fonctionnelles entre les systèmes ERP et MES	111
3.6.5	Synthèse	112
3.7	La réalisation de l'interopérabilité sémantique entre ERP et MES	113
3.7.1	L'approche de rétro-ingénierie des modèles	114
3.7.2	La méta-modélisation du système ERP	114
3.7.3	La méta-modélisation du système MES	115
3.7.4	Transformation des méta-modèles	117
3.7.5	Synthèse	121
3.8	La réalisation de l'interopérabilité technique entre ERP et MES	121
3.8.1	Les convertisseurs ERP et MES	123
3.8.2	Les composants de références pour la plateforme testbed SIP	124
3.8.3	Validation des données échangées par les règles Schematron	124
3.8.4	Synthèse	126
3.9	Conclusion	126

IV Chapitre 4 128

4 Approche d'interopérabilité multi-niveaux : Application sur un cas d'intégration B2M 129

4.1	Introduction	129
-----	------------------------	-----

4.2	Présentation de l'entreprise DEKENZ et de ses Systèmes d'Information	130
4.2.1	Description de l'atelier de fabrication et du produit	131
4.2.2	Processus et flux de fabrication	133
4.2.3	Les systèmes d'information dans l'atelier	137
4.3	L'interopérabilité organisationnelle	138
4.3.1	Le processus de fabrication collaboratif DEKENZ	143
4.3.2	Modélisation des fonctions et flux de production selon ISA	149
4.3.3	Les scénarios d'échange entre ERP et MES de l'atelier DEKENZ selon ISA	151
4.4	L'interopérabilité sémantique basée sur les modèles	152
4.4.1	Description des concepts des différents méta-modèles de ODOO	153
4.4.2	Description des concepts des différents méta-modèles de Alpha3i	155
4.4.3	La correspondance des modèles avec le standard ISA-95 : Application de l'approche MDA	157
4.4.4	L'architecture applicative visée de l'entreprise	160
4.5	L'interopérabilité technique	161
4.5.1	Implémentation des correspondances sémantiques	162
4.5.2	Développement des convertisseurs ERP / ISA et ISA / MES	164
4.5.3	Développement des composants de référence ERP et MES	169
4.5.4	Intégration des composants ODOO/Alpha3i dans la plateforme "testbed" ERP/MES	172
4.6	Validation des données de nomenclature en utilisant les règles schématron	176
4.7	Conclusion	178
	Conclusion et perspectives	180
	Bibliographie	183
	Annexes	198

Table des figures

1	Organisation du manuscrit de thèse	7
1.1	De l'industrie 1.0 à l'industrie 4.0 [CK16]	11
1.2	Les différents niveaux de collaboration [CMA08]	15
1.3	Typologies des réseaux d'entreprises [Yah11]	17
1.4	Cycle de vie du produit [TBB ⁺ 08]	18
1.5	Une représentation de l'approche PLM	24
1.6	Les différents niveaux d'interopérabilité concepts d'interopérabilité et leurs relations [CDV08]	27
1.7	Les concepts d'interopérabilité et leurs relations [CDV08]	29
1.8	Le cadre IDEAS pour l'interopérabilité en entreprise [CDV08]	30
1.9	Le cadre AIF pour l'interopérabilité en entreprise [BEF ⁺ 07]	31
1.10	Le cadre FEI pour l'interopérabilité dans l'entreprise [CDV08]	33
2.1	Les différents niveaux du système d'information[Tou07] et [MFG11]	39
2.2	Types d'hétérogénéité entre systèmes d'information [Sak12, Yah11, Baï06]	43
2.3	Une représentation d'une gamme de produit par les systèmes ERP et MES	47
2.4	Exemple d'échange d'information entre ERP et MES [Baï06]	47
2.5	L'interopérabilité des Systèmes d'Information sur les différents ni- veaux [Tou07] et [MFG11]	48
2.6	Les quatre niveaux de l'architecture MDA [Béz03]	59
2.7	Une représentation des modèles et du lien entre les modèles de l'ap- proche MDA [DLC10]	60
2.8	Les opérations de transformation de modèles dans l'approche MDA	61
2.9	Mécanisme de transformation de modèles dans l'approche MDA [Che08]	63
2.10	Exemple de transformation de modèles dans l'approche MDA [Tou07]	64

2.11	Une classification des standards dans le PLM [Neg14]	68
2.12	La communication entre systèmes avec et sans standards	71
2.13	Nombre de convertisseurs requis en fonction du nombre de systèmes	71
2.14	Une représentation XML d'un planning de production avec son schéma XSD et DTD	74
2.15	La représentation B2MML du planning de production	75
2.16	Mécanisme de transformation de fichiers XML à partir des feuilles XSLT	76
2.17	Feuille XSLT de transformation du document de planning de production XML vers le document B2MML	77
3.1	Les partenaires du projet SIP	83
3.2	Architecture de la plateforme test-bed du projet SIP	84
3.3	Décomposition en lots du projet SIP	85
3.4	Notre positionnement dans un cadre de réseau manufacturier dynamique	86
3.5	Les différentes couches de Archimate	87
3.6	L'approche d'interopérabilité proposée [MEMF ⁺ 16]	90
3.7	Modèle de la hiérarchie fonctionnelle selon le standard ISA95 [ANS10]	93
3.8	Le modèle générique des activités des opérations de fabrication [ANS05]	95
3.9	Le modèle transactionnel défini par le standard ISA95 [ANS13]	96
3.10	Modèle Archimate du modèle fonctionnel de ISA95	98
3.11	Modèle Archimate générique des échanges entre ERP/MES selon ISA95	99
3.12	Le modèle de données du "Product Definition" de ISA95	100
3.13	Schéma d'échange standardisé entre ERP et MES	101
3.14	Schéma du processus transactionnel du standard ISA	102
3.15	Exemple de transaction suivant le modèle PULL du standard ISA95 [ANS13]	103
3.16	Approche globale	106
3.17	Description du processus de fabrication collaboratif	107
3.18	Critères de comparaison fonctionnels entre les système ERP et MES	111
3.19	L'approche de rétro-ingénierie appliquée pour l'obtention des modèles conceptuels des applications	114
3.20	Structure de base du méta-modèle ERP	115
3.21	Structure de base du méta-modèle MES	116
3.22	Méta-modèle des données techniques de la solution MES	116

3.23	Les types de correspondances entre la sémantique des systèmes d'information	117
3.24	Isomorphisme entre les connaissances des modèles des SI	118
3.25	Absence d'isomorphisme entre les connaissances des modèles des SI	119
3.26	Mapping composé entre les modèles des SI à travers le modèle ISA	120
3.27	Le convertisseur ERP/MES selon ISA95	122
3.28	Une représentation graphique d'un XSD du standard ISA95	122
3.29	La structure du convertisseur basé sur les règles XSLT	123
3.30	Moteur de validation des règles schematron	125
4.1	La description de l'atelier avec les différents postes de travail	132
4.2	Composants et produit fini fabriqués	133
4.3	Processus de fabrication du stylo DEKENZ	134
4.4	Matrice Ressources humaines-Tâches	135
4.5	Schématisation des flux physiques et informationnels du processus de fabrication	136
4.6	Architecture "As-Is" des systèmes d'information de l'atelier	137
4.7	L'interopérabilité organisationnelle entre ERP et MES à travers le standard ISA	139
4.8	Interface ODOO pour la création d'articles	140
4.9	Interface ODOO pour la création des nomenclatures des articles	140
4.10	Interface ODOO pour la création des ordres de fabrication des articles	141
4.11	Interface MES Alpha3i pour la création des articles	142
4.12	Modélisation du processus de fabrication du corps du produit DEKENZ	144
4.13	Modélisation du processus de fabrication du bouchon du produit DEKENZ	144
4.14	Modélisation du processus de fabrication du stylo DEKENZ	146
4.15	Architecture des acteurs et de leurs rôles dans l'entreprise	147
4.16	Modélisation des OF de l'atelier de fabrication DEKENZ	148
4.17	Le processus collaboratif d'intégration entre les systèmes ERP et MES pour la gestion de fabrication	150
4.18	Scénario d'échange d'information entre ERP et MES à travers le standard ISA95	152
4.19	L'interopérabilité sémantique entre les systèmes ERP et MES à travers le standard ISA95	153
4.20	Le méta-modèle produit de Odoo	155

4.21	L'application de la démarche MDA dans l'environnement EMF . . .	158
4.22	Architecture "TO-BE" des systèmes d'information de l'atelier	161
4.23	L'interopérabilité technique entre les systèmes ODOO et Alpha3i à travers le standard ISA95	162
4.24	Correspondance des données ERP ODOO avec les données B2MML	162
4.25	Correspondance des données MES Alpha3i avec les données B2MML	163
4.26	Les données MES ALpha3i sous forme B2MML	163
4.27	Interface graphique pour la conversion des données	165
4.28	Exemple de données à convertir	166
4.29	Extraction des données d'un ordre de production du système ODOO sous forme XML	167
4.30	Les données d'un ordre de production sous forme B2MML	168
4.31	Les composants de référence ODOO et Alpha3i	169
4.32	Architecture technique des composants de référence ODOO et Alpha3i	170
4.33	L'interface utilisateur pour la saisie des propriétés d'un produit . .	170
4.34	Interface utilisateur pour spécifier les OFs	171
4.35	Implémentation du protocole d'échange ISA avec les composants ODOO et Alpha3i	172
4.36	Intégration des composants ERP et MES dans la plateforme test bed ERP/MES	173
4.37	Une vue globale sur le scénario top-down d'intégration ERP/MES .	175
4.38	Nomenclature simplifiée du stylo DEKENZ	176
4.39	Le fichier XML de la nomenclature simplifiée issu du système ODOD	177
6.40	Décomposition de l'entreprise et rôle des équipement selon le stan- dard ISA95 (ref partie 1)	198
6.41	Modèle fonctionnel selon le standard ISA95	199
6.42	Modèle des opérations de fabrication selon le standard ISA95	200
6.43	Catégories d'information échangées entre le niveau contrôle de pro- duction et le niveau administration	201
6.44	Modèle d'objets du personnel	202
6.45	Modèle d'objets des équipements	203
6.46	Modèle d'objets des actifs physiques	204
6.47	Modèle d'objets des matières	205
6.48	Modèle d'objets des segments des processus	205
6.49	Modèle d'objets des segments des processus	206
6.50	Modèle d'objets des définitions des opérations	207
6.51	Modèle d'objets de la planification des opérations	208

6.52	Modèle d'objets de la performances des opérations	209
6.53	Modèle d'objets de la capacité des opérations	210
6.54	Modèle d'activités de la fonction production	211
6.55	Modèle d'activités de la définition du produit	212
6.56	Modèle d'activités de la gestion des ressources	213
6.57	Modèle d'activités de la planification détaillé de la production . . .	214
6.58	Modèle d'activités pour le lancement de la production	215
6.59	Modèle d'activités pour la gestion de l'exécution de la production .	216
6.60	Modèle d'activités pour la collection des données de la production .	217
6.61	Modèle d'activités pour le suivi de la production	218
6.62	Modèle d'activités pour l'analyse des performances de la production	219
6.63	Extrait d'un fichier B2MML avec les attributs correspondants aux " operations request "	220
6.64	Tableau des verbes et des modèles d'échange	221
6.65	Tableau des verbes et des modèles d'échange	222
6.66	Tableau des verbes et des modèles d'échange	222
6.67	Tableau des verbes et des modèles d'échange	223
6.68	Exemple d'un échange d'information suivant le modèle PUSH du standard ISA95	224
6.69	Exemple d'un échange d'information suivant le modèle PUBLISH du standard ISA95	224
6.70	Modèle ISA95 de la comptabilité des produits	225
6.71	Modèle ISA95 de contrôle des matériaux et de l'énergie	225
6.72	Modèle des activités du "Production Scheduling" de ISA95	226
6.73	Modèle des activités "Inventory Operations Management" de ISA95	226
6.74	Modèle des activités "Maintenance Operations" de ISA95	227
6.75	Le modèle de données du "Producion Schedule" de ISA95	228
6.76	Le modèle de données du "Production Performance" de ISA95 . . .	229
6.77	Modèle des activités "Quality Operations" de ISA95	230
6.78	Le méta-modèle personnel de Odoo	231
6.79	Le méta-modèle de la nomenclature de Odoo	232
6.80	Le méta-modèle des entrepôts de Odoo	233
6.81	L'interface utilisateur pour la saisi des articles	234
6.82	L'interface utilisateur pour la saisi des nomenclatures des articles .	234
6.83	L'interface utilisateur pour la saisi des ordres de producion	235
6.84	L'interface utilisateur spécifiant les unités du composant ODOO . .	236
6.85	L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un personnel . .	236

6.86	L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un entrepôt . . .	237
6.87	L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un ordre de production	238
6.88	L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'une nomenclature de produit	239
6.89	L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un composant de nomenclature de produit	240
6.90	Le modèle personnel	241
6.91	Le modèle d'information sur les équipements	242
6.92	Le modèle des atouts physiques	243
6.93	Le modèle matériel	244
6.94	Le modèle de segment des processus	245
6.95	Le modèle de définition du produit	246
6.96	Le modèle de la planification de produit	247
6.97	Le modèle de la performance de production	248
6.98	Le modèle des capacités de production	249
6.99	Méta-modèle du personnel	250
6.100	Méta-modèle des ordres de fabrication	251
6.101	Méta-modèle de gestion des sites de production	252
6.102	Méta-modèle de gestion des centres de production	252
6.103	Méta-modèle de gestion des cycles de production	253
6.104	Méta-modèle de gestion des cycles de production	254
6.105	Interface utilisateur de saisie d'une famille d'un article	255
6.106	Interface utilisateur de saisie d'une unité d'un article	255
6.107	Interface utilisateur de saisie de gamme d'un article	255
6.108	Interface utilisateur de saisie des liens entre les opérations d'un article	256
6.109	Interface utilisateur de saisie de la nomenclature d'un article	256
6.110	Interface utilisateur de saisie des OF d'un article	256
6.111	Interface utilisateur de saisie les outils des opérations d'un article .	257
6.112	Interface utilisateur du contrôle des opérations d'un article	257
6.113	Interface utilisateur pour spécifier les types de sites	258
6.114	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un site	258
6.115	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un atelier	259
6.116	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un centre	259
6.117	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'une machine . . .	260
6.118	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un état d'une machine	260

6.119Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des temps d'arrêt d'une machine	261
6.120Interface utilisateur pour spécifier les types d'un cycle machine . . .	261
6.121Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un cycle machine	262
6.122Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un travail	262
6.123Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un collaborateur .	263
6.124Interface utilisateur pour spécifier des compléments sur les proprié- tés d'un collaborateur	263
6.125Interface utilisateur pour représenter les ordres de production sous la forme graphique	264
6.126Interface utilisateur pour représenter les ordres de production sous la forme de tableau	264
6.127Interface utilisateur pour représenter les entrepôts sous la forme graphique	265
6.128Interface utilisateur pour représenter les entrepôts sous la forme de tableau	265
6.129Interface utilisateur pour représenter la liste des collaborateurs sous la forme de tableau	265
6.130Interface utilisateur pour représenter les nomenclatures sous la forme graphique	266
6.131Interface utilisateur pour représenter les nomenclatures sous la forme de tableau	266
6.132Interface utilisateur pour représenter les produits sous la forme de tableau	267
6.133Interface utilisateur pour spécifier les unités du composant de réf- erence ODOO	267
6.134Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des collaborateurs .	268
6.135Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un produit	268
6.136Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des entrepôts . . .	269
6.137Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des sous entrepôts .	270
6.138Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des ordres de fabri- cation	271
6.139Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des nomenclatures .	272
6.140Interface utilisateur pour spécifier les propriétés de composants de nomenclature	272
6.141Interface utilisateur pour les éléments du composant MES	273
6.142Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un cycle	274

6.143	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un collaborateur	274
6.144	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'affectation d'un collaborateur	275
6.145	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés des opérations d'un travail	275
6.146	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un site	276
6.147	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un atelier	276
6.148	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un centre	277
6.149	Interface utilisateur pour spécifier des propriétés des états machines	278
6.150	Interface utilisateur pour spécifier les types d'arrêts des machines .	279
6.151	Interface utilisateur pour spécifier les compléments sur les propriétés d'un collaborateur	279
6.152	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des opérations effectuées sur une machine	279
6.153	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des unités de base .	280
6.154	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un article	280
6.155	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'une séquence d'article	281
6.156	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'une opération . .	281
6.157	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un contrôle d'opération	282
6.158	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'une nomenclature	283
6.159	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des outils	284
6.160	Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un ordre de fabrication	285
6.161	Les symboles de la couche métier d'Archi	285
6.162	Suite des symboles de la couche métier d'Archi	286
6.163	Suite des symboles de la couche métier d'Archi	286
6.164	Les symboles de la couche applicative d'Archi	287
6.165	Les symboles de la couche technologique d'Archi	288

Liste des tableaux

1.1	Point de vue des industriels sur le PLM	19
1.2	Points de vus des éditeurs logiciels sur le PLM	20
1.3	Points de vue des scientifiques sur le PLM	22
1.4	Quelques définitions de l'interopérabilité issues de la littérature . . .	24
2.1	Récapitulatif des travaux sur l'interopérabilité des systèmes d'infor- mations	50
3.1	Correspondances entre les couches d'Archimate et les niveaux d'in- teropérabilité	89
4.1	Résumé des activités, produits fabriqués et ressources associées . . .	134
4.2	Correspondances entre les concepts ERP et ISA	159
4.3	Correspondances entre les concepts MES et ISA	160

Glossaire

AIF Athena Interoperability Framework.

APS Advanced Planning System.

B2MML Business To Manufacturing Markup Language.

CAO Conception Assistée par Ordinateur.

CIM Computational Independant Model.

DMN Dynamic Manufacturing Network.

EAI Enterprise Application Integration.

ERP Enterprise Ressource Planning.

ESB Enterprise Service Bus.

FAO Fabrication Assistée par Ordinateur.

FEI Framework for Enterprise Interoperability.

HTML Hyper Text Markup Language.

IDM Ingénierie Dirigée par les Modèles.

IoT Internet of Things.

IRT Institut de Recherche Technologique.

MDA Model Driven Approach.

MDE Model Driven Engineering.

MDI Model Driven Interoperability.

MES Manufacturing Execution System.

MOF Meta Object Facility.

OF Ordre de Fabrication.

OMG Object Management Group.

PDM Product Data Management.

PIM Platform Independant Model.

PLM Product Lifecycle Management.

PSM Platform Specific Model.

SCM Supply Chain Management.

SI Système d'Information.

SIP Standards, Interopérabilité et PLM.

TIC Technologie de l'Information et de la Communication.

TRS Taux de Rendement Synthétique.

UML Unified Modelling Langage.

W3C World Wide Web Consortium.

XML eXtensible Markup Language.

XSD XML Schema Definition.

XSLT eXentisable Stylesheet Language Transformation.

Introduction Générale

L'accroissement de la compétitivité, la complexité des produits et les répercussions de la mondialisation, ont poussé les entreprises à adopter de nouvelles méthodes de travail. Le but est de minimiser les coûts des produits, augmenter leur qualité et diminuer leurs délais de fabrication. Pour assurer leur survie dans un contexte de plus en plus compétitif, les entreprises doivent améliorer leur réactivité à travers une capacité d'adaptation accrue. Cette adaptation illustre la nécessité pour les entreprises d'interagir efficacement avec l'ensemble de ses partenaires. Le potentiel de collaboration qui en découle devient un facteur déterminant pour assurer leur capacité de survie [Tou07].

Les interactions actuelles reposent sur la collaboration d'une multitude de systèmes d'entreprises et en particulier des systèmes d'informations d'entreprises (SI) [RAM⁺17]. Ces dernières sont de facto hétérogènes, que ce soit par les fonctions qu'elles assurent ou par leurs conceptions (modèles, architectures, ...) et sont de fait difficiles à intégrer. Étant donné la multiplicité et la complexité des systèmes, un des défis majeurs consiste à créer les conditions permettant l'échange et le partage entre les différents environnements numériques de modèles de produits et des processus associés (virtualisation du produit).

Pour faire face à ces nouveaux défis, les entreprises ont souvent recours au concept d'interopérabilité. Ce concept peut être vu comme la capacité des entreprises à structurer, formaliser et présenter leurs compétences et savoir-faire dans le but de les échanger et les partager [Tou07]. L'interopérabilité des entreprises est désormais considéré comme un enjeu majeur et une aptitude cruciale pour assurer la collaboration au sein des entreprises [NDBC16]. Ce concept est incontournable pour assurer leur pérennité [Tou07] et [Yah11].

A l'avenir, les entreprises seront de plus en plus amenées à collaborer d'une manière opportuniste ou stabilisée, d'une façon pérenne ou éphémère, avec d'autres entreprises dans le but d'innover, de créer de la valeur ajoutée dans des nouveaux rapports de force gagnant / gagnant. Ces collaborations se manifesteront sous la

forme d'entreprises étendues ou virtuelles [JT01, PB06]. Actuellement, ces nouvelles formes de collaboration sont difficiles à mettre en œuvre car elles remettent en cause les modèles d'organisation historiques et nécessitent donc la mise en place de nouvelles organisations et de nouvelles méthodes.

Dans cette thèse, nous considérons qu'une manière de réaliser une collaboration efficace repose sur l'utilisation d'une plateforme adaptative supportant de nouvelles règles métiers et permettant l'échange de la bonne information au bon moment et pour les bonnes cibles. Une collaboration efficace entre SI **distribués**, **hétérogènes** et **autonomes** est conditionnée par la capacité de ces dernières à inter-opérer. L'interopérabilité des SI est en effet considérée comme une exigence pour assurer un bon niveau d'efficacité dans les collaborations [Duc07] [WGN16]. Il existe pratiquement plusieurs niveaux d'interopérabilité : cela va du niveau d'échange technique au niveau sémantique et organisationnel [Yah11].

Pour parvenir à un bon niveau d'interopérabilité entre SI, la réalisation de plateformes adaptatives doit reposer sur l'utilisation de standards. En effet, ces derniers définissent un moyen sûr pour échanger de l'information entre l'ensemble des parties prenantes de la collaboration. Le rôle des standards est de fournir un langage avec une syntaxe et une sémantique communes. Ainsi, les informations peuvent en théorie circuler indépendamment des technologies utilisées. Ceci implique une harmonisation des informations distribuées sur l'ensemble du réseau de collaboration.

Nous nous apercevons dans la pratique que l'utilisation des standards ne garantit pas un échange d'informations avec un niveau d'interopérabilité suffisant pour assurer une collaboration efficace entre différentes entreprises et l'émergence de nouvelles idées. Il faut au préalable sélectionner les standards répondant à un besoin d'échange et/ou de partage, déterminer les options à retenir et préciser les mécanismes d'articulation entre standards. Pour y arriver, nous devons prendre en compte les pratiques industrielles et la gestion du cycle de vie (les différentes configurations, la demande de changement, ...). En définitive, il est nécessaire de qualifier la pertinence de différents standards dans une collaboration d'entreprise à travers l'utilisation de plateformes adaptatives. Autrement dit, il faut mesurer le niveau de conformité des outils aux standards qu'ils sont censés supporter, déterminer le niveau global de la qualité de la collaboration et mettre en place des actions correctives si besoin.

Il est alors nécessaire de définir une méthodologie pour préparer et construire une interopérabilité opérationnelle à un prix acceptable pour un réseau d'entreprises. Cette démarche repose essentiellement sur la modélisation d'entreprises

avec pour hypothèses que les outils et méthodologies de modélisation permettent de [Sak12] :

1. comprendre, identifier et classifier les informations d'entreprise.
2. représenter, cartographier leurs processus métiers.
3. appréhender les différents échanges entre les applications des systèmes d'informations.

Dans cette idée, nous nous intéressons aux standards du PLM et en particulier aux échanges entre les outils ERP et MES. Les différents partenaires industriels du projet PLM ont manifesté depuis quelque temps un vif intérêt pour la démarche PLM [VANAHI15] qui intègre la gestion du cycle de vie du produit (exemple : le projet PHENIX¹ de Airbus Group). Il s'agit d'une approche holistique qui embrasse l'ensemble des différentes phases du cycle de vie du produit, comprenant la gestion des processus, des ressources physiques (les hommes) et logiques (outils informatiques). Cette approche permet de supporter l'échange et la synchronisation des informations durant toutes les phases dans l'objectif d'accélérer le développement des produits et améliorer leur qualité.

Le constat des industriels est que l'interopérabilité est critique pour la performance des processus PLM dans un contexte d'entreprise étendue. D'une part, les approches proposées actuellement restent, dans la majeure partie des cas, centrées sur une phase du cycle de vie ou sur le point de vue d'un seul acteur de la collaboration (intégrateur ou client). Les silos organisationnels, applicatifs ou techniques continuent d'exister ; peu d'infrastructures permettent la mise en œuvre de processus collaboratifs inter-organisations et inter-disciplines. Malheureusement, aujourd'hui, un modèle de données, capable de recueillir et de gérer de façon efficace et facile toutes les informations relatives au produit, tout au long de son cycle de vie, est toujours manquant. D'autre part, l'ensemble des solutions développées jusqu'à présent permet de résoudre principalement des problèmes d'interopérabilité spécifiques aux niveaux conceptuel et technologique. Peu de solutions et d'approches sont actuellement développées pour aider à développer l'interopérabilité au niveau organisationnel.

La standardisation des procédés d'échange et de partage représente un enjeu déterminant à la fois par la quantité des informations à partager et par la diversité et l'hétérogénéité de ces informations. Définir un cadre pour l'interopérabilité revient donc à structurer les différents concepts (Barrières, approches, standards,

1. www.journeedulplm.fr/uploads/file/eads.pdf

niveaux d'interopérabilité,...) pour mettre en évidence les voies de développement d'une approche d'interopérabilité entre les systèmes intra et inter entreprises.

La question qui se pose alors est : Comment peut-on assurer la synchronisation des informations échangées dans un réseau d'entreprises en prenant en compte l'hétérogénéité des compétences, outils et données véhiculés entre les différents partenaires de la collaboration ?

Contexte de recherche

Pour répondre aux besoins des industriels, dans le cadre des investissements pour la recherche et le développement, le projet SIP² se propose de contribuer à la résolution de cette problématique industrielle. En particulier, le projet SIP s'intéresse au problème de l'interopérabilité dans un milieu collaboratif et dynamique d'entreprises en utilisant l'approche PLM et les standards associés.

Pour y parvenir, la démarche adoptée dans le projet est basée sur un cadre d'interopérabilité des applications de l'entreprise développé dans [Fig09]. Le projet se propose ainsi de fournir une plateforme adaptative dont le but est de valider par l'expérimentation un certain nombre de standards du PLM.

Au sein de l'Institut de Recherche Technologique SystemX, sous la direction du groupe Airbus Group Innovations et en collaboration avec différents groupes industriels, le projet est structuré selon les trois objectifs suivants :

1. Le développement d'une approche générique et d'un cadre pour la spécification et le test pour la mise en œuvre des standards PLM, et ce dans des environnements collaboratifs multidisciplinaires et multi-sectoriels,
2. La promotion d'une recherche expérimentale capable de développer et d'évaluer la mise en œuvre d'un ensemble pertinent de standards PLM couvrant l'ensemble des phases du cycle de vie d'un produit industriel,
3. L'amélioration de la maturité de l'interopérabilité PLM dans l'industrie ; pour toute partie prenante ou un acteur du domaine, il lui est autorisé l'accès, l'évaluation et la contribution aux résultats du projet. Le but est de créer une communauté durable (qui continuera d'exister après la fin du projet) ouverte qui sera en mesure de conduire le développement des produits logiciels de solutions PLM avec des spécifications validées et pouvant être testées dans un environnement dynamique manufacturier DMN.

2. [http ://www.irt-systemx.fr/projet/sip/](http://www.irt-systemx.fr/projet/sip/)

Problématique de la thèse

Face aux problématiques exposées, les contributions des travaux de cette thèse s'inscrivent dans le cadre d'une approche d'interopérabilité multi-niveaux basée sur l'ingénierie des modèles et l'exploitation du standard ISA95 pour illustrer la collaboration entre le niveau de planification d'entreprise et celui de fabrication. Cette contribution s'intéresse, en particulier, aux SI manufacturiers dans une démarche PLM et sur l'intégration des informations entre les deux systèmes ERP et MES. Dans un souci de couverture globale de l'interopérabilité, nous nous sommes intéressés simultanément aux trois niveaux d'interopérabilité (organisationnel : < savoir communiquer >, sémantique : < savoir se comprendre > et technique : < pouvoir communiquer >).

En ce qui concerne le niveau organisationnel, la mise en place de stratégie de collaborations et de partenariat entre entreprises impose de formaliser les différents processus afin de pouvoir ensuite construire un processus commun inter-connectant les processus propres des différents partenaires. Pour cela, il faut modéliser à la fois les processus et les échanges d'information entre les différentes activités de ces processus.

Pour le niveau sémantique, une réelle compréhension des SI exige une modélisation fidèle à l'existant. Cette modélisation est basée sur la méthode de rétro-ingénierie des modèles, notre approche permet de garantir une cohérence entre modèles hétérogènes grâce aux mécanismes de transformations de modèles.

Enfin l'interopérabilité technique vient outiller notre proposition en fournissant des convertisseurs basés sur des schémas XML et permettant d'implémenter les mapping réalisés entre les concepts des modèles ERP, MES et le standard ISA95.

Nous cherchons à répondre dans cette thèse aux deux questions principales suivantes :

1. Comment améliorer l'interopérabilité entre les systèmes d'information ERP et MES à travers le standard ISA95 dans un milieu collaboratif et dynamique d'entreprise ?
2. Comment aborder et traiter les problèmes d'interopérabilité à travers les différents niveaux qui existent : technique, sémantique et organisationnel ?

Structure du manuscrit de thèse

Le travail de cette thèse sera présenté sous quatre chapitres structurés de la manière suivante :

Le chapitre 1 “Concepts de base : Collaboration, PLM et Interopérabilité” introduit la notion de l’entreprise numérique qui a poussé les entreprises à collaborer. Nous introduisons aussi les concepts de la collaboration dans l’entreprise et le rôle de l’approche PLM et de l’interopérabilité dans la collaboration.

Le chapitre 2 “Etat de l’art : Interopérabilité des systèmes d’information, ingénierie des modèles et standards” présente l’état de l’art relatif aux questions posées par cette thèse. Nous présentons les problèmes liés à l’hétérogénéité des systèmes d’informations utilisés par les diverses parties prenantes. Nous expliquons par la suite que les problèmes d’interopérabilité sont intimement liés aux problèmes d’hétérogénéité. L’étude de l’état de l’art nous permettra ainsi d’identifier les limitations des approches théoriques dans ce domaine et de circonscrire la contribution de cette thèse dans l’ensemble des problèmes encore ouverts.

Le chapitre 3 “Approche d’interopérabilité multi-niveaux basée sur l’ingénierie des modèles et les standards PLM” donne une vision plus approfondie sur la partie de l’état de l’art qui concerne la problématique que nous tentons de résoudre à travers ma contribution. Ce chapitre présente l’approche proposée dite “Interopérabilité Totale” pour une nouvelle approche méthodologique d’interopérabilité sur plusieurs niveaux.

Le chapitre 4 “Application de l’interopérabilité multi-niveaux sur un cas d’intégration B2M” présente l’application de la démarche proposée dans le chapitre 3 sur une usine de fabrication réelle contenant des systèmes ERP et MES à des fins de validation et d’illustration.

Enfin, la conclusion fait la synthèse et le bilan du travail accompli durant cette thèse. Il résume les contributions scientifiques de la thèse dans le cadre du projet de recherche SIP. Ce chapitre se termine par un ensemble de perspectives et de questions ouvertes qui devront faire l’objet de plus amples recherches.

La figure 1 résume l’enchaînement et la relation entre les différents chapitres de la thèse.

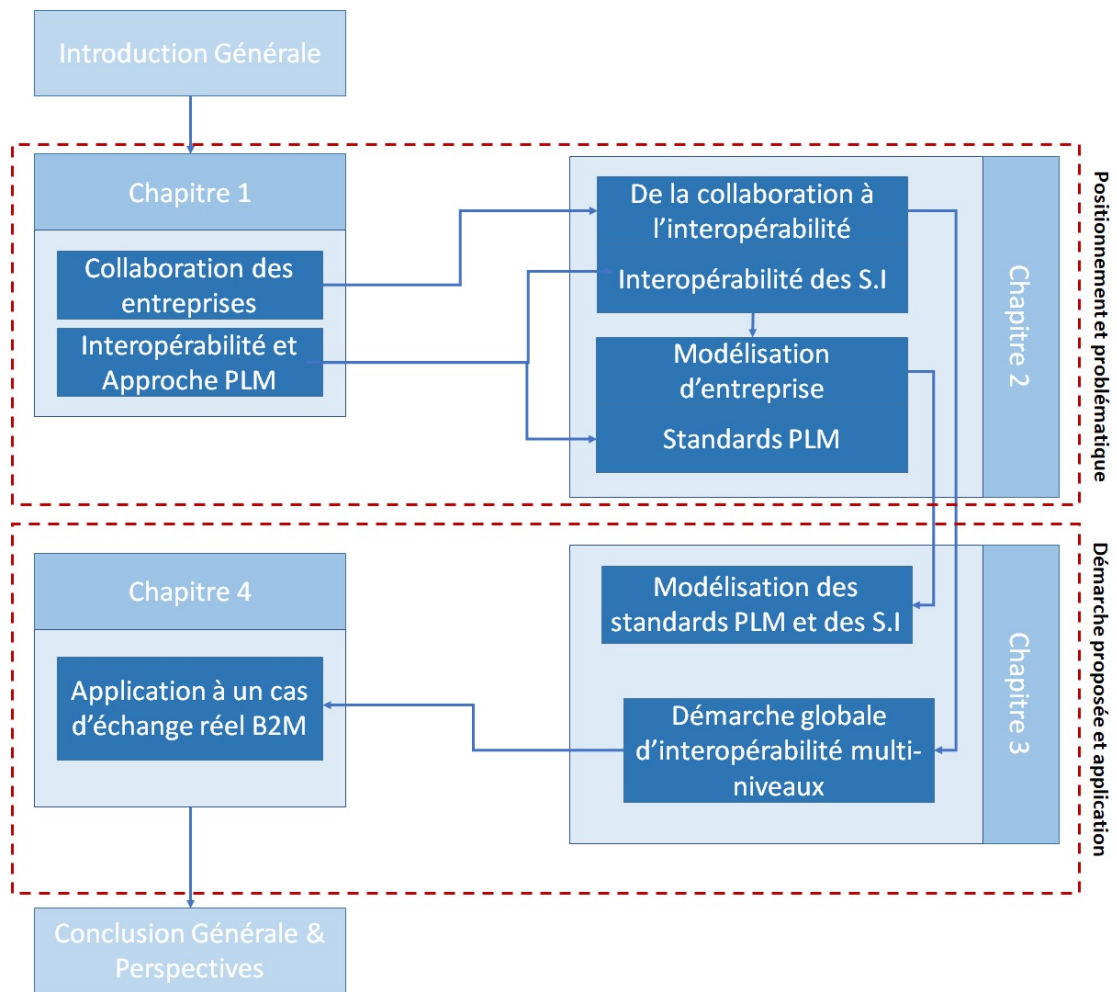


FIGURE 1 – Organisation du manuscrit de thèse

Première partie

Chapitre 1

Chapitre 1

Concepts de base : Collaboration, PLM et Interopérabilité

1.1 Introduction

Depuis quelques années, nous assistons à un mouvement de compétition sans précédent avec pour effet une concurrence toujours plus forte entre les entreprises. Ce mouvement a changé la donne dans les rapports entre ces dernières et avec les clients. Il est utile pour qui veut rester dans la compétition de bien en comprendre les tenants et aboutissants. Et pour commencer, il nous faut comprendre comment l'évolution des organisations au cours du temps, accentué par les avancées scientifiques et technologiques, a pu d'une certaine manière influencer les relations inter-entreprises et avec les clients.

L'entreprise est définie comme une réponse structurée, supportant une action collective, dans la réalisation d'un objectif partagé [GT02]. Plus précisément, les entreprises sont définies comme un ensemble plus ou moins cohérent de processus métiers qui s'exécutent grâce à des entités fonctionnelles ou ressources [GT02]. Ces dernières contribuent à un objectif métier et doivent faire face aujourd'hui à des exigences économiques de plus en plus fortes.

L'accroissement de la complexité ou des coûts de production amènent les entreprises à être plus réactives afin de répondre plus efficacement aux exigences du marché en termes de coût, qualité ou délais. Pour satisfaire ces exigences et rester dans la compétition, les industriels doivent aujourd'hui s'orienter vers de nouvelles méthodes de travail. Celles-ci devront permettre à terme d'améliorer la collaboration interne / externe et la prise de décision quand un grand nombre de

compétences métiers doivent coopérer au sein d'un même projet. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons en particulier à la collaboration dans les phases de planification et de manufacture du produit. La section suivante explique de quelle manière ce concept novateur qui est au cœur de cette thèse a émergé et les différentes problématiques liées à sa mise en œuvre. Nous présenterons par la suite les différents concepts clés sur lesquels reposent cette thèse.

1.2 La révolution industrielle : contexte industriel

1.2.1 Le passage vers l'industrie 4.0 : L'usine numérique connectée

Historiquement, toute révolution industrielle a été précédée par des progrès scientifiques, techniques ou organisationnels.

La première révolution industrielle de la fin du 18^{me} siècle a été amorcée notamment par l'apparition de technologies qui ont ouvert la voie à la productivité (exploitation du charbon, production de forces mécaniques, train). L'industrie en a été profondément marquée et de nouveaux modèles d'organisation ont vu le jour. La meilleure circulation des matières premières a en effet nécessité d'organiser et de rationaliser le travail de manière à mieux gérer les flux de matières et leurs transformations pour répondre à de nouvelles demandes : spécialisation dans de nouveaux métiers, co-localisation des travailleurs, etc [Sie13].

La seconde révolution industrielle de la fin du 19^{me} siècle a été amorcée par l'apparition de l'électricité et des moteurs électriques. Les usines ont pu ainsi se disséminer davantage sur le territoire, se rapprochant plus des clients. Avec cette révolution, deux courants de pensées organisationnelles se sont imposés. D'une part, le taylorisme [Pla13] a instauré le principe de la direction scientifique du travail ; d'autre part, le fordisme [Pla13] a permis la réduction du temps de montage des produits selon le principe du travail à la chaîne.

La troisième révolution démarre dans les années 70, grâce aux avancées de l'électronique, des télécommunications, de l'informatique, de l'audiovisuel et du nucléaire. Elle est en fait principalement caractérisée par l'apparition des premiers ordinateurs et l'invention d'internet. Cette révolution a permis un nouveau saut dans les gains de productivité par la robotisation des chaînes de montage. Durant cette période, les API (Automates Programmables Industriels) destinés au contrôle

commande de machines et processus se sont imposés dans nombre de domaines industriels. Cette révolution a profondément impacté l’organisation du travail.

Enfin, avec la numérisation de l’ensemble des données, nous assistons aujourd’hui à ce qui est considéré par beaucoup comme la quatrième révolution industrielle. La numérisation de l’ensemble des données dans le domaine industriel devrait en effet permettre un nouveau saut dans les gains des productivités. Ce gain promet une meilleur réactivité / anticipation face à la demande, et également une meilleure segmentation du marché avec des offres toujours plus ciblées et personnalisées. Les nouvelles technologies telles que les réseaux sociaux, IoT (Internet of Things) ou les imprimantes 3D remettent en question l’organisation des entreprises et leurs rapports, au point que l’on parle aujourd’hui d’industrie 4.0, de “Smart Manufacturing” ou plus globalement de “Smart Industry”[Sie13]. La figure 1.1 illustre le passage de l’industrie 1.0 vers l’industrie 4.0.

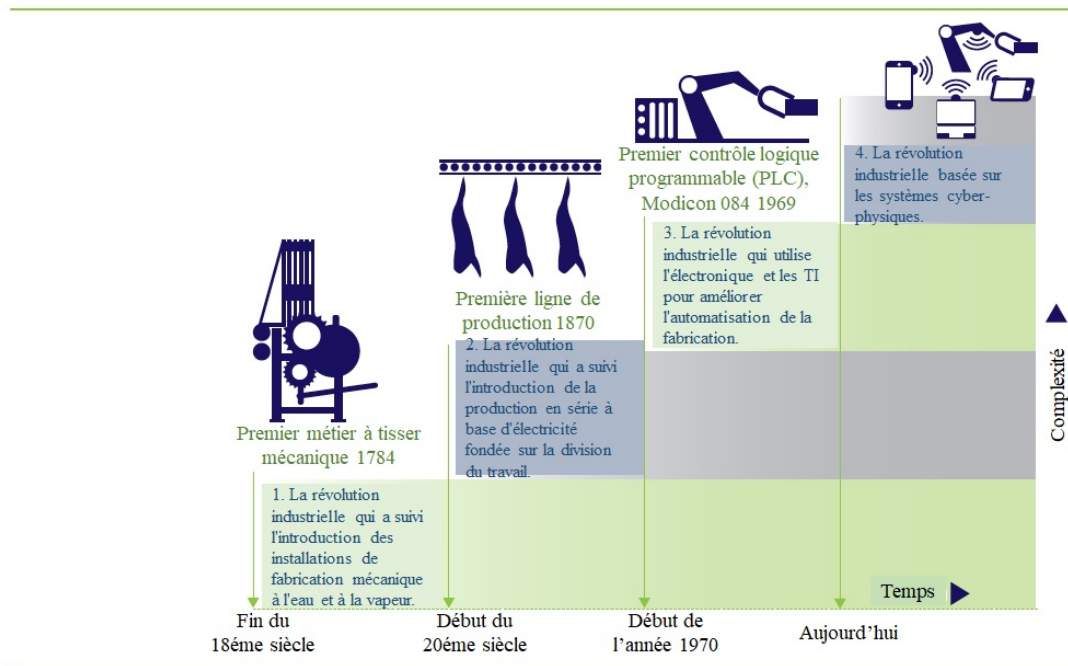


FIGURE 1.1 – De l’industrie 1.0 à l’industrie 4.0 [CK16]

Selon le rapport de Gimelec [Sie13], le passage vers cette nouvelle industrie 4.0 appelée aussi “usine numérique connectée” offre un champ extraordinaire pour l’innovation, la croissance et le progrès. Elle repose essentiellement sur la fusion des mondes réel et virtuel. Le développement de l’industrie digitale est en pleine

accélération, imposant ainsi de nouveaux paradigmes dans l'organisation du travail ou dans le cycle de vie des produits nécessitant ainsi le développement de nouveaux modèles de collaboration.

1.2.2 Emergence de nouveaux modèles pour la collaboration

La nouvelle usine connectée remet en question les habitudes de travail, les rapports entre parties prenantes, équipes, services ou organisations, ainsi que les cycles de vie des produits.

Dans cette évolution, la question de la place de l'homme dans les nouveaux processus industriels, parés d'un nouvel attirail numérique a largement été souligné dans les débats politiques. Afin de relever le défi de cette nouvelle industrie, les dirigeants ont mis en avant le rôle important de l'homme dans ce changement qui reste essentiel dans la créativité et la prise de décision. De ce fait, les apports des nouvelles technologies sont vus comme autant de facilitateurs permettant de fluidifier les communications et de faciliter la prise de décision.

L'amélioration de la réactivité des entreprises aux nouvelles demandes et aux nouveaux usages amène à la question de la collaboration entre les équipes impliquées dans le cycle de vie du produit (informaticiens, automaticiens, responsables de production, installateurs, ...) et du décroisement des métiers. Comment assurer une meilleure collaboration au sein d'une organisation dont les acteurs peuvent avoir des intérêts divergents et qui doivent pour autant collaborer dans l'intérêt général de l'entreprise ? Cette question nécessite de déterminer quels échanges d'information sont pertinents pour la prise de décision.

1.3 La collaboration dans l'entreprise

1.3.1 Définition de la collaboration

Il existe dans la littérature une pléthore de définitions sur la collaboration. On peut en trouver une synthèse dans [Neg14] :

1. La collaboration consiste en un travail commun entre un client et un fournisseur sur une période de temps pour le bénéfice des deux [RVdV92].
2. La collaboration est un processus dans lequel les partenaires partagent la planification des actions visant des objectifs communs [LB98].

3. La collaboration signifie travailler ensemble pour des bénéfices mutuels. Compte tenu des relations inter-organisationnelles, la collaboration est un terme qui représente les relations les plus étroites entre les partenaires [GFM03].
4. La collaboration est définie comme le processus de communication avec le but de partager l'information qui aboutira à une décision mutuellement convenue [Bax07].
5. La collaboration est définie comme un travail conjoint pour un objectif commun [ZMTT13].

Une première analyse de ces différentes définitions nous permet de caractériser la collaboration par les éléments clés suivants : processus, information, actions, objectif commun, communication, partenaires, partages, bénéfices mutuels. A partir de cette caractérisation, nous proposons la définition suivante de la collaboration qui fera foi pour le reste de cette thèse :

La collaboration est un processus durant lequel un ensemble de partenaires communiquent, échangent et partagent des informations et des actions autour d'un objectif commun afin de réaliser des bénéfices mutuels.

Définition de processus De la même manière que la collaboration, le concept de processus trouve plusieurs définitions dans l'état de l'art, parmi lesquelles :

- Un processus est un ensemble partiellement ordonné d'étapes exécutées en vue de réaliser au moins un objectif [Ver96],
- Un processus représente l'organisation d'un ensemble finalisé d'activités effectuées par des acteurs et mettant en jeu des entités [MFG11]. On remarquera que cette définition s'attache davantage à la structure d'un processus,
- Un processus est un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie [ISO00b],
- un processus est un enchaînement partiellement ordonné d'exécution d'activités qui, à l'aide de moyens techniques et humains, transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie en vue de réaliser un objectif dans le cadre d'une stratégie donnée [The02].

L'ensemble de ces définitions nous permet de caractériser le processus par :

- Un objectif exprimant la finalité du processus en question,
- Des ressources utilisées par une activité et qui peuvent être de types matériels ou humains,

- Des rôles par lesquels l’organisation des processus est exprimée,
- Des activités comme éléments exprimant la transformation d’une ressource d’entrée en une ressource de sortie,
- Un enchaînement d’activités représentant le lien nécessaire à la réalisation de l’objectif fixé.

Suivant ces caractéristiques, nous considérons la définition donnée par [The02] comme étant la plus pertinente pour le reste de cette thèse.

Définition de processus collaboratif Un processus collaboratif est défini par [BMMD05] comme un processus faisant intervenir différentes organisations.

Dans [AD⁺02], le processus collaboratif est défini comme “un processus dont les activités peuvent appartenir à des organisations différentes”.

À cette définition, l’auteur de [BMMD05] précise qu’un processus inter - organisationnel est “un processus où les partenaires ont une maîtrise partielle sur ce dernier”.

Enfin, le processus collaboratif est défini dans [Tou07] comme :

Un ensemble d’activités ordonnées d’une manière partielle et qui sont spécifiquement organisés chez les partenaires du milieu collaboratif.

Leur exécution se fait donc partiellement chez les partenaires.

C’est cette dernière définition qui est retenue pour le reste de la thèse.

Dans la pratique, les partenaires d’un projet collaboratif ne montrent rien de leurs processus internes, ils y font au mieux référence. L’activité collaborative ne peut alors se faire qu’à travers des interfaces entre activités de processus qui permettent de mettre en œuvre la collaboration sans pour autant dévoiler les détails des processus internes des partenaires impliqués.

1.3.2 Niveaux et typologies de collaboration

Le concept de collaboration est souvent confondu avec d’autres concepts comme la communication, la coordination ou la coopération [Him01]. Selon [Tou07, Che08], ces concepts représentent différents niveaux de collaboration comme illustré par la figure 1.2 tirée de [CMA08].

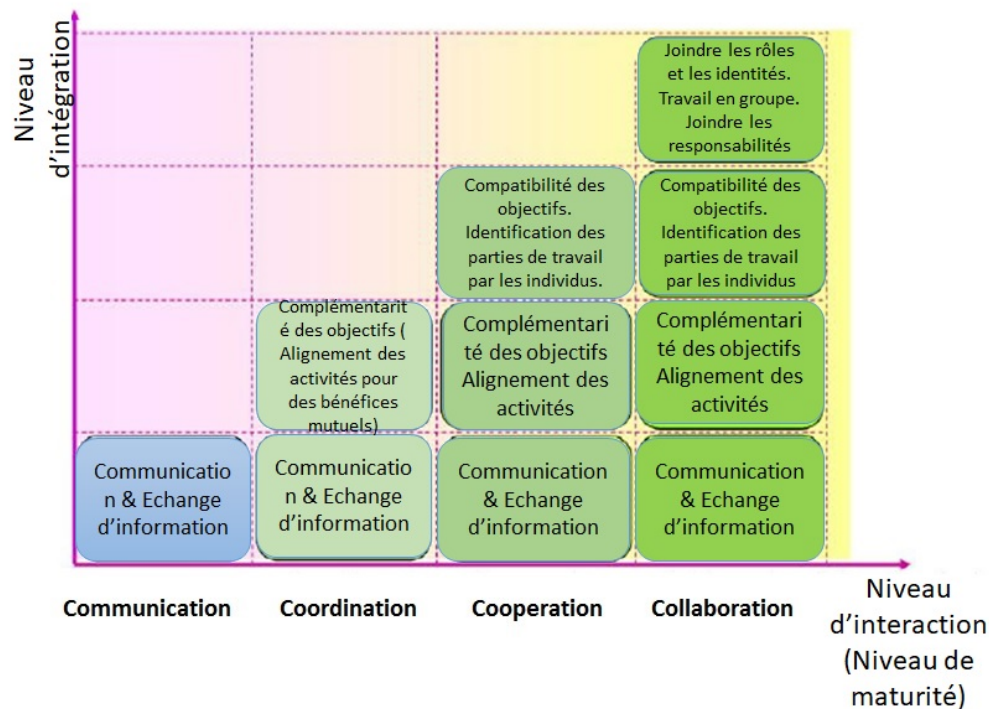


FIGURE 1.2 – Les différents niveaux de collaboration [CMA08]

Comme indiqué par la figure, chaque niveau englobe le niveau inférieur sur l'axe des abscisses.

La communication a trait à la manière dont les partenaires communiquent et échangent des informations au sein de l'entreprise.

La coordination concerne la synchronisation des tâches effectuées dans l'entreprise. L'ambiguïté avec ce niveau de collaboration est l'absence de l'objectif commun lorsque les partenaires partagent des compétences (applications, fonctions, services). On peut remarquer que la notion d'individualisme induit par ce niveau est antinomique de celle de la collaboration.

La coopération représente la réalisation d'activités simultanées sur différents artefacts mais avec un objectif partagé. À ce niveau, on parle d'exécution de tâches planifiées.

La collaboration est à la fois la coordination et la réalisation simultanée des tâches effectuées dans un même environnement intégré au sein d'une même entité, qu'elle soit réelle ou virtuelle.

D'après cette figure, la collaboration ne peut être effective que si les quatre niveaux sont pleinement satisfaits.

La mise en place de la collaboration dans un réseau d'entreprises est conditionnée par l'acceptation par les parties prenantes de relations bilatérales telles que des accords qui peuvent être de nature contractuels ou non [JT01]. Ces relations établissent la spécification de réseaux d'entreprises selon différentes topologies : la chaîne logistique, l'entreprise étendue ou encore l'entreprise collaborative [JT01, PB06]. Comme illustrées par la figure 1.3 tirée de [Yah11], ces typologies sont définies de la manière suivante :

1. La chaîne logistique représente un réseau stable d'entreprises ayant chacune un rôle bien défini. Celle-ci couvrent les différents étapes du cycle de vie du produit, depuis leur conception jusqu'à la livraison chez le client, en passant par les étapes de production, d'expédition ou de distribution.
2. L'entreprise étendue représente une association d'entreprises partageant des objectifs communs. Celle-ci s'est développée avec l'avènement des technologies de l'information et la mondialisation. L'entreprise étendue est basée sur des alliances et des partenariats mettant en commun des connaissances et des compétences. De par l'utilisation des capacités (distribuées) de ses membres, elle permet à ces derniers de gagner en compétitivité [KZ02].
3. L'entreprise collaborative représente un cas particulier d'entreprise étendue. Elle se distingue par une alliance temporaire entre les différentes entreprises qui collaborent pour réaliser une tâche particulière durant une durée déterminée dans le temps [KZ02]. Celle-ci est également appelée entreprise dynamique [JT01] au vu de la notion d'arbitraire qui la caractérise.

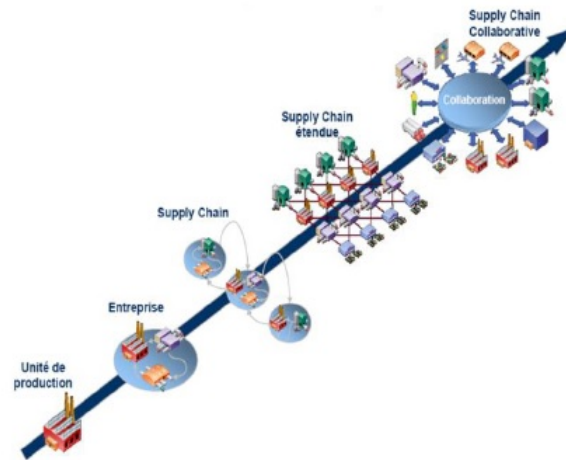


FIGURE 1.3 – Typologies des réseaux d’entreprises [Yah11]

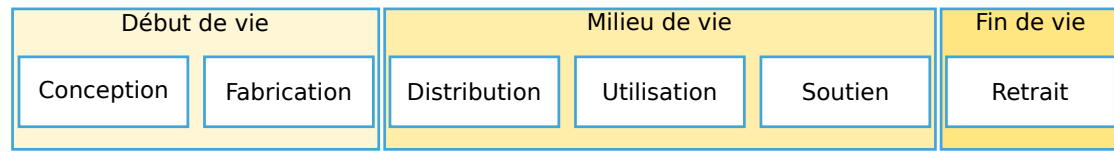
Cette thèse se focalise sur un réseau d’entreprises collaboratives particulier appelé DMN (Dynamic Manufacturing Network).

La mise en œuvre de projets innovants qui agrègent différents domaines de compétences sur le même pied d’égalité est aujourd’hui garante de la pérennité de l’entreprise. Elle nécessite la mise en place d’un système permettant une collaboration plus étroite entre différents services (études, méthodes, gestion de configuration, gestion de changement, systèmes d’informations, processus de production, etc.). Cette démarche s’inscrit dans une approche holistique dont l’objectif est de mettre en cohérence l’ensemble des informations en préambule à une prise de décision collaborative efficiente. Parmi les approches les plus prometteuses, on peut citer la gestion du cycle de vie du produit PLM (Product Lifecycle Management) [MVK⁺15] testée par des grands groupes comme la société Dassault Aviation pour réduire les délais d’assemblages et d’aménagement de son avion d’affaire Falcon 7X.

1.4 Présentation du PLM

1.4.1 Le cycle de vie du produit

Dans [TBB⁺08], l’auteur découpe le cycle de vie d’un produit en trois phases. Comme illustré par la figure 1.4, chaque phase englobe une ou plusieurs étapes.

FIGURE 1.4 – Cycle de vie du produit [TBB⁺08]

Le début de la vie englobe les étapes de conception et de fabrication. L'étape de conception formalise les attentes du client. En découle un ensemble d'exigences pour ce dernier et pour l'entreprise en phase avec sa stratégie. Elle établit la faisabilité du projet en lien avec les risques et les opportunités identifiés par les activités d'analyse. L'étape de fabrication inclut les tâches de production et de logistique interne,

Le milieu de la vie correspond à l'étape de distribution (logistique externe), d'utilisation et de support (maintenance et réparation),

La fin de la vie est la phase durant laquelle le produit est collecté, désassemblé, recyclé ou détruit.

Toutes les étapes pouvant être vécues par un produit, qu'il soit tangible ou intangible (logiciel), sont décrites dans ce cycle. En revanche, un produit ne suit pas nécessairement toutes les étapes. Cela s'explique par le fait que certaines étapes n'ont pas de sens pour certains produits ; par exemple le démontage pour le logiciel. Il faut préciser ici que ces étapes sont théoriques. Dans la pratique, il se peut que le cycle de vie d'un produit ne suive pas ce schéma prescriptif.

L'approche PLM comme son nom l'indique permet de gérer les différentes étapes du cycle de vie du produit.

1.4.2 La définition du PLM

Le PLM a été défini selon différents points de vue d'industriels (Airbus Group, CIMData, Volvo Car, ...), d'éditeurs de solutions logicielles (Dassault Systèmes, Siemens, Oracle, PTC, SAP, ...) et d'académiques comme par exemple [Pav10]. Ces différents points de vue sont synthétisés dans les paragraphes ci-dessous.

Point de vue des industriels Le tableau 1.1 suivant résume le point de vue de certains industriels engagés dans la démarche PLM.

TABLE 1.1: Point de vue des industriels sur le PLM

Groupes industriels	Définitions
Airbus Group ¹	Le groupe aéronautique et de défense Airbus s'est engagé dans le projet de grande envergure PHENIX depuis l'année 2007. Ce projet doit permettre selon son responsable de faire face à la complexité croissante des programmes. Le PLM est vu comme un capital stratégique pour l'entreprise étendue, au cœur du système industriel ² .
CIMData ³	Le PLM est une approche stratégique qui met en œuvre un ensemble cohérent de pratiques afin de supporter la création collaborative. Cela passe par l'organisation, la diffusion et l'utilisation des informations relatives à la définition du produit au travers de l'entreprise étendue. Cela englobe l'ensemble du cycle de vie, de la conception à la fin de vie, et l'intégration des hommes, des processus ou des systèmes d'information.
Volvo Car ⁴	Le PLM est l'activité qui consiste à gérer les produits de l'entreprise, tout au long de leur cycle de vie et de la manière la plus efficiente. Il est holistique : son champ couvre de nombreux éléments comme les processus, les données, les hommes et les applications. Cela le distingue d'activités atomiques qui s'attachent à un point particulier, comme par exemple le Product Data Management (PDM). Selon [Sta05], le PLM peut être vu comme un paradigme de rassemblement : il fédère de nombreux processus, disciplines, fonctions et applications avec différents vocabulaires, règles métiers, cultures ou langues.

1. www.airbusgroup.com

2. <http://cnis.afnet.fr/commissions/plm/presentation-et-cr-3eme-reunion/PHENIX>

3. www.cimdata.com

4. www.volvocars.com

QAD ⁵	Considère le PLM comme un instrument incontournable pour contrôler les performances des produits. Il tient compte de la planification des activités, de la coordination et de la gestion détaillée des documents. QAD focalise son attention non sur les aspects technologiques du PLM, mais davantage sur les fonctionnalités nécessaires pour le support de la collaboration.
ARC Advisor Group ⁶	Définit le PLM comme la solution pour aider les entreprises à obtenir le bon produit, au bon moment et au bon endroit. Pour l'ARC, le PLM est une solution de collaboration dont l'objectif est de créer et de gérer une documentation détaillée sur les données du produit et de son cycle de vie. L'ARC structure le PLM autour de six fonctionnalités importantes : gestion du portefeuille de produits, gestion de projet, conception collaborative, gestion des données, gestion de la planification des processus et gestion des services de soutien.

Points de vue des éditeurs logiciels Le tableau 1.2 suivant résume le point de vue de certains éditeurs logiciels engagés dans la démarche PLM.

TABLE 1.2: Points de vue des éditeurs logiciels sur le PLM

Editeurs	Définitions
Dassault Systèmes ⁷	Le PLM est une stratégie d'entreprise qui aide les entreprises à partager les données du produit. Il permet d'appliquer des procédés communs et de capitaliser les informations de l'entreprise pour le développement de produits, de la conception à la mise au rebut. Il englobe tous les segments de l'entreprise étendue, incluant tous les acteurs (partenaires, fournisseurs, équipementiers et clients).

5. www.qad.com

6. www.arcweb.com

7. <http://www.3ds.com>

Siemens ⁸	le PLM permet à l'entreprise de prendre des décisions cohérentes, pilotées par les systèmes d'information. Les solutions PLM reposent sur la mise en place d'une plateforme intégrée afin de : — optimiser les relations au travers de toutes les phases du cycle de vie des produits et de toutes les organisations impliquées, — maximiser dans le temps la valeur du portefeuille de produits, — mettre en place un système unique pour l'enregistrement et la diffusion des données numériques.
PTC ⁹	La gestion du cycle de vie des produits repose sur une technologie qui permet de faire évoluer les informations techniques du concept au retrait et qui, ce faisant, représente un avantage certain pour l'entreprise.
SAP ¹⁰	Le PLM est une solution technologique qui permet aux entreprises de : — créer et proposer des produits innovants répondant ou générant de la demande, — optimiser les processus et systèmes de développement de produit pour une mise sur le marché plus rapide, tout en garantissant une conformité sectorielle, qualitative et réglementaire, — être plus flexible par rapport aux concurrents, être capable de réagir et de tirer parti des opportunités du marché.
Oracle ¹¹	Les solutions PLM permettent aux entreprises d'accélérer l'innovation et de maximiser la rentabilité des produits par la gestion de l'information, des processus et des décisions concernant le produit, tout au long de leur cycle de vie.

8. <http://www.siemens.com>

9. <http://www.theptcgroup.com.au>

10. <http://www.sap.com>

11. <http://www.oracle.com>

Points de vue des académiques Le tableau 1.3 suivant résume le point de vue de certains académiques engagés dans la démarche PLM.

TABLE 1.3: Points de vue des scientifiques sur le PLM

Références	Définitions
[SFSW05, BLDC09]	S'appuient sur le point de vue de CIMData présentée dans le tableau 1.1.
[Ter05]	Le PLM est une vision stratégique de l'entreprise orientée pour répondre aux requêtes et aux besoins du marché. C'est une solution d'innovation pour créer, gérer et maintenir toutes les informations partagées tout au long du cycle de vie du produit. Il doit être supporté par les TIC (technologies de l'information et de la communication) .
[DEC07]	L'objectif principal des outils PLM est la gestion du produit et des données qui le décrivent tout au long de son cycle de vie. Le PLM englobe ainsi toutes les étapes de conception du produit, ainsi que les composants de la chaîne numérique permettant le suivi des informations lors de la fabrication, de la vente et du retrait du produit.
[AATV08]	La stratégie PLM repose sur une solution qui met en œuvre plusieurs composants dédiés à la gestion des données relatives au produit.
[LMTV08]	Le PLM constitue une approche qui intègre les hommes, les processus et les systèmes d'information. Il permet de gérer le cycle de vie du produit dans sa globalité.
[LD10]	Le PLM consiste en une stratégie d'entreprise visant la gestion collaborative des activités centrées sur le produit durant l'ensemble de son cycle de vie. Il est soutenu par des systèmes d'informations et des logiciels et supporte la circulation des informations entre les différentes applications métier à travers l'entreprise étendue.

Analyse des différents points de vue D'après les points de vue présentés dans les paragraphes précédents, on peut noter que :

- le point de vue des industriels est focalisé sur l'aspect stratégique du PLM,
- le point de vue des éditeurs renforce celui des industriels sur les aspects

- techniques (logiciels, outils, applications...),
- le point de vue des académiques intègre les deux autres points de vue (industriels et éditeurs) et propose des définitions plus complètes.

On constate également que ces points de vue font ressortir un certain nombre de mots-clés : stratégie, cycle de vie, collaboration dans l'entreprise étendue, système d'information, hommes, processus. La définition du PLM que j'ai choisi de retenir est celle proposée par CIMData qui a le mérite d'englober les trois points de vue :

Le PLM est une approche stratégique mettant en œuvre un ensemble de pratiques cohérentes pour supporter la création collaborative ainsi que l'organisation, la diffusion et l'utilisation des informations relatives à la définition du produit à travers l'entreprise étendue depuis la conception jusqu'à la fin de vie en intégrant les processus, les hommes, les systèmes d'organisation et d'information.

1.4.3 Objectif du PLM

Les systèmes PLM permettent de partager et faire circuler toutes les informations nécessaires à la gestion du cycle de vie du produit. Chaque étape du cycle de vie est gérée par son propre système d'information. Le rôle d'un PLM est donc de créer un pont de circulation des informations et de mettre en cohérence les différents systèmes supports du cycle de vie, telles que la CAO, la FAO, la simulation, l'ERP, le SCM, le MES, ... (figure 1.5). Dans la mesure où ces systèmes d'informations sont supportés par des applications différentes, il est nécessaire d'assurer une meilleure interopérabilité pour qu'un maximum d'applications de l'entreprise puissent interagir.

Dans [?], l'auteur explique que pour le PLM, l'interopérabilité des applications et l'intégration des bases de données sont les problèmes principaux du point de vue technologie de l'information. Ce concept d'interopérabilité fait l'objet de la partie suivante.

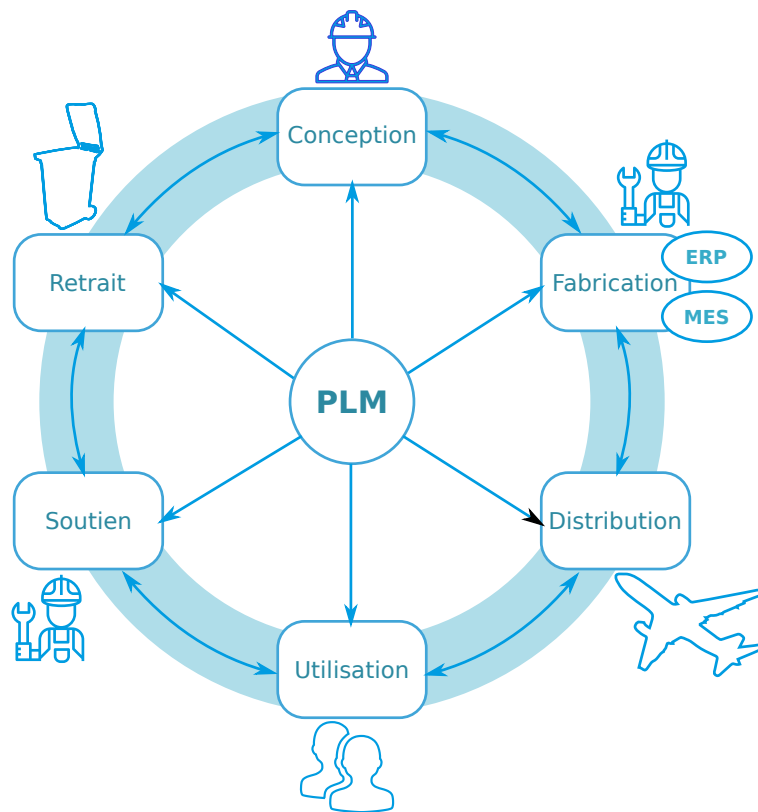


FIGURE 1.5 – Une représentation de l'approche PLM

1.5 Interopérabilité dans l'entreprise

1.5.1 Définition et types d'interopérabilité

La notion d'interopérabilité a attiré l'attention de nombreux chercheurs et il existe dans la littérature diverses définitions de l'interopérabilité. Le tableau 1.4 donne un aperçu de quelques unes qui me semblent les plus pertinentes pour cette thèse.

TABLE 1.4: Quelques définitions de l'interopérabilité issues de la littérature

Références	Définitions
[IEE90 , BEF⁺07]	La capacité que possèdent deux ou plusieurs, systèmes ou composants à échanger des informations et à les utiliser.

[Ver96]	La capacité de communiquer avec des systèmes distants pour accéder et faire appel à leurs fonctionnalités.
[Weg96]	L'aptitude de deux systèmes ou plus, à communiquer co-opérer et échanger des données et services, et ce malgré des différences dans les langages, implémentations, environnements d'exécution ou modèles d'abstraction.
[CD03, IDE03]	L'interopérabilité n'est atteinte si et seulement si les interactions entre les systèmes impliqués couvrent ces différents aspects transverses : données, ressources et processus métiers. La prise en compte des sémantiques définies dans les contextes métier constitue également une dimension importante de l'interopérabilité.

D'après ces définitions, on peut déduire que les différentes facettes de l'interopérabilité sont :

- La présence de plusieurs acteurs ou systèmes,
- La communication entre ces composants (systèmes et acteurs),
- La compréhension et l'utilisation des informations échangées entre les différents acteurs de la collaboration.

Pour le reste de cette thèse, nous choisissons de retenir cette définition de l'interopérabilité, donnée par [IEE90, BEF⁺07].

L'interopérabilité peut être définie comme étant “la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou composants à échanger des informations et à les utiliser”

Les références [EIF10, EIF04, COM06] décrivent différents types d'interopérabilité :

L'interopérabilité organisationnelle définit la responsabilité des acteurs impliquées, des aspects légaux, de la propriété intellectuelle et des structures organisationnelles nécessaires à l'acceptation des échanges d'information entre les applications d'entreprises,

L'interopérabilité conceptuelle impose que la signification des informations échangées soit unanimement partagée et acceptée pour que les différentes applications d'entreprise puissent les utiliser de manière cohérente. L'interopérabilité conceptuelle permet de combiner des informations reçues par différents systèmes et de les traiter d'une façon significative.

L'interopérabilité technique est basé sur la mise en œuvre des technologies de l'information et de la communication. Ces dernières implantent les standards pour le stockage, l'échange, la présentation et le traitement des données à travers des matériels par des moyens informatiques.

Il existe également dans la littérature différents concepts clés (barrières, niveaux et approches) liés à l'interopérabilité des entreprises collaboratives.

Nous détaillons ces concepts dans la suite.

1.5.2 Les niveaux d'interopérabilité

L'interopérabilité entre entreprises collaboratives peut être réalisée sur différents niveaux [BEF⁺07] : données, services, processus et métiers.

L'interopérabilité au niveau données Elle permet de faire communiquer des modèles de données différents (e.g. hiérarchiques, relationnels, etc.) en lien avec les langages de requêtes associés s'il en est. L'interopérabilité des données revient donc à localiser et partager des informations provenant de sources hétérogènes. L'interopérabilité au niveau des données exige (i) une participation dans l'élaboration des normes et standards pour la description des données (de référence), (ii) l'accès aux données (interfaces, API), et (iii) l'échange de données (représentation et protocoles),

L'interopérabilité au niveau services Elle concerne la capacité d'échange des services entre les partenaires. Il s'agit d'identifier, composer et rassembler les activités des différentes applications conçues et implémentées séparément. Ceci passe par la prise en compte des différences syntaxiques et sémantiques.

L'interopérabilité au niveau processus Elle fait l'hypothèse qu'un processus est une séquence de services (activités) répondant à un besoin spécifique de l'entreprise. Ce dernier évolue en interaction (en série ou en parallèle) avec d'autres processus. Dans le contexte de l'entreprise collaborative, la connexion des processus internes pour créer des processus collaboratifs représente un champ de recherche actif. Il est par exemple nécessaire d'investiguer les mécanismes pour composer des processus décrits dans différents langages ou les distribuer selon différents modes (centralisés, peer-2-peer).

L'interopérabilité au niveau métiers Elle permet de connecter, tant en interne à l'entreprise qu'en externe avec ses partenaires, les différents métiers impliqués. Cette connexion doit se faire en lien avec la vision stratégique

de l'entreprise, ses modèles métiers, ses modes de décisions et ses bonnes pratiques. Cette interopérabilité facilite en théorie le développement et le partage de spécifications métiers entre les entreprises.

La figure 1.6 extraite de [CDV08] résume ces différents niveaux.

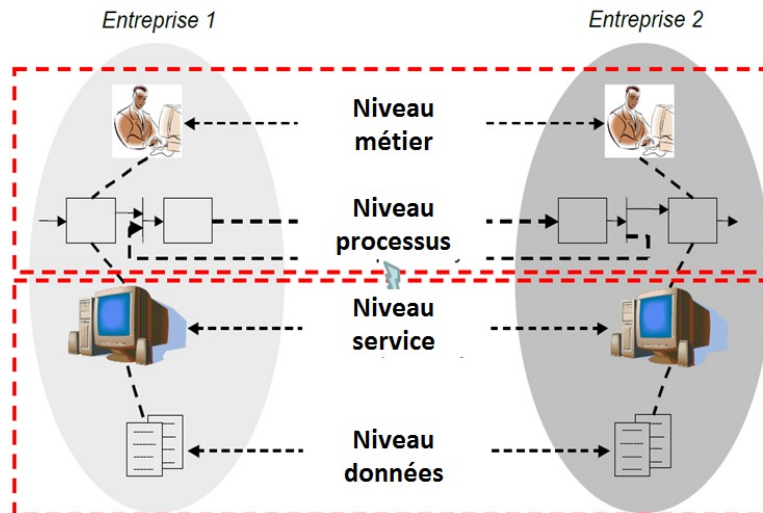


FIGURE 1.6 – Les différents niveaux d'interopérabilité concepts d'interopérabilité et leurs relations [CDV08]

1.5.3 Les barrières d'interopérabilité

Une barrière à l'interopérabilité est un problème qui bloque l'échange et le partage des informations. Plusieurs barrières à l'interopérabilité ont été identifiées [EIF04, INT07, Che05, CD⁺06]. Certaines d'entre elles ont été traitées par la littérature [Kas01, ERI04, EIF04]. Les descriptions suivantes listent quelques barrières significatives.

Les barrières à l'interopérabilité organisationnelle sont liées à la définition des rôles et responsabilités des acteurs. Chaque acteur est responsable d'une ou plusieurs activités. À ce titre, les tâches qu'il exécute impactent les décisions qui peuvent être prises au sein de l'entreprise et la qualité du travail [Sak12].

Les barrières à l'interopérabilité conceptuelle sont liées à la diversité des concepts. Ils font apparaître des problèmes de sémantique et de syntaxe dans les données échangées. L'information peut alors être interprétée de différentes façons selon son contexte [Yah11],

Les barrières à l’interopérabilité technique sont liées aux problèmes du partage des informations provenant de sources hétérogènes. Ces problèmes sont liés généralement à l’incompatibilité des protocoles utilisés par les différents systèmes informatiques pour présenter, stocker, échanger et traiter l’information [CD⁺06].

1.5.4 Les approches d’interopérabilité

Les descriptions suivantes listent les différentes approches de résolution de problèmes de barrières d’interopérabilité qui ont été proposées [ISO00a].

L’approche par intégration repose sur l’utilisation d’un modèle commun de données standardisé, pour tous les composants du système et sur tous les niveaux d’interopérabilité. Le processus d’intégration revient à fusionner des modèles de données pour faire un modèle de référence unique. Il s’agit d’une approche d’intégration descendante “top-down” où toutes les applications de l’entreprise seront instanciées à partir d’un modèle unique. Un exemple de modèle intégré est le standard ISA95 [Sch07] développé pour l’échange de données entre les applications du niveau administratif et celles du niveau production. C’est un standard qui définit un modèle de référence commun pour l’ensemble des données,

L’approche par unification est basée sur l’utilisation d’un méta-modèle commun. Celui-ci fournit un univers unifié pour une sémantique commune de tous les concepts partagés par les différents modèles de l’entreprise. A titre d’exemple, nous pouvons citer le modèle UEMML “Unified Enterprise Modeling Language” [ABH⁺10]. Ce langage est construit autour d’un méta-modèle qui définit un ensemble de concepts résultant de l’unification sémantique d’un ensemble de langages de modélisations de l’entreprise (GRAI, IEM, EEMML...),

L’approche par fédération est un cas particulier de l’approche par unification. Il s’agit d’une intégration dynamique de modèles distincts qui se fait à la demande. L’unification sémantique à la demande de deux modèles se fait lorsqu’un modèle donné sollicite un autre modèle. C’est une méthode semi-automatique basée sur des heuristiques qui permettent de comparer la terminologie et la structure des données afin d’effectuer des correspondances sémantiques. L’utilisation d’une approche fédérée implique qu’aucun partenaire n’impose ses modèles, langages et méthodes de travail. Dans ce cas

l'utilisation d'ontologie offre une certaine flexibilité pour parvenir à mettre en œuvre une telle approche [CD⁺06].

Le choix d'une approche d'interopérabilité dépend essentiellement du contexte et des besoins de l'entreprise. Par exemple, l'utilisation d'une approche d'intégration est la plus adaptée quand il s'agit de faire fusionner des entreprises. Dans le cas de la mise en place d'une collaboration d'entreprise à long terme, l'approche par unification est plus appropriée. L'approche par fédération est quant à elle utilisée dans le contexte d'une collaboration à court terme.

La structuration des différents concepts (barrières, approches, niveaux) permet de définir des cadres pour l'interopérabilité. Ces cadres permettent de fournir les voies de développement de solution d'interopérabilité entre les systèmes d'entreprises collaboratives. La Figure 1.7 issue de [CDV08] résume les différents concepts de base de l'interopérabilité ainsi que leurs relations.

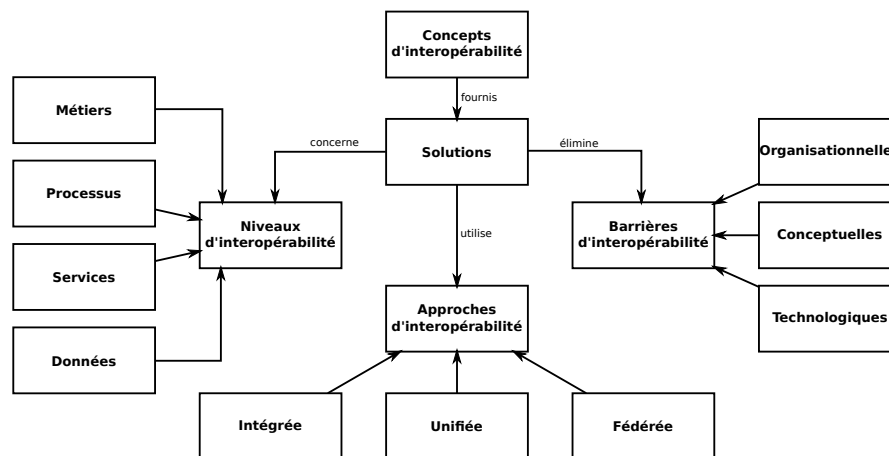


FIGURE 1.7 – Les concepts d'interopérabilité et leurs relations [CDV08]

1.6 Cadres d'interopérabilité

L'objectif principal d'un cadre d'interopérabilité est d'organiser les différents concepts d'interopérabilité d'une façon structurée [CDV08]. Les sous-sections suivantes présentent quelques-uns des principaux cadres d'interopérabilité.

1.6.1 Le cadre IDEAS

Le cadre IDEAS (Interoperability Development for Enterprise Application and Software) a été défini dans le cadre du projet éponyme [IDE03]. Ce cadre définit trois niveaux d'interopérabilité, (i) métier “business”, (ii) connaissance “knowledge” et (iii) les systèmes TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Ces trois niveaux sont reliés par une dimension sémantique. Il s'agit d'adresser les barrières liées à la sémantique des différents concepts véhiculés dans chacun des trois niveaux [CD03] (figure 1.8).

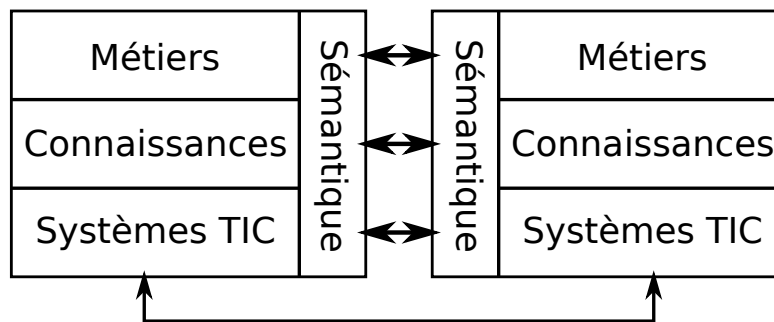


FIGURE 1.8 – Le cadre IDEAS pour l'interopérabilité en entreprise [CDV08]

Le niveau métiers concerne les éléments liés à l'organisation et la gestion de l'entreprise. Elle touche la façon dont elle opère pour créer de la valeur ajoutée. Ce niveau englobe la gestion des processus et les relations entre les parties prenantes ou la prise de décision.

Le niveau connaissances concerne la structuration et la représentation des connaissances personnelles et collectives d'une entreprise. Il s'agit de capitaliser, rafraîchir et réutiliser les connaissances concernant les savoir-faire ou les produits. Cette connaissance s'étend au delà du périmètre de l'entreprise et englobe les informations liées à son environnement : partenaires, fournisseurs, institutions publiques.

Le niveau TIC concerne l'utilisation des technologies de l'information et de la communication. Celles-ci permettent d'assurer un certain niveau d'interopérabilité entre les différentes ressources de l'entreprise : applications, machines ou personnes.

1.6.2 Le cadre ATHENA : AIF

Le cadre ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) Interoperability Framework (AIF) reprend les niveaux d'interopérabilité que nous avons présentés dans la section (1.5.2) et traite trois types d'interopérabilité :

Conceptuel identifie les concepts, modèles, méta-modèles, les langages et les relations nécessaires au développement l'interopérabilité.

Applicatif s'intéresse à la méthodologie, aux standards et domaines des modèles. Il fournit les lignes directrices, principes et patterns qui peuvent être utilisés pour résoudre les problèmes d'interopérabilité.

Technique se focalise sur le développement technique et les systèmes TIC. Il fournit les moyens et techniques pour le développement et le fonctionnement des applications logicielles de l'entreprise.

Le cadre AIF définit une architecture de référence pour l'interopérabilité reliant plusieurs solutions de modélisation issues du cadre de recherche de ATEHNA et qui sont : modélisation d'entreprise, architectures et plateformes, médiation sémantique et ontologies. La figure 1.9 illustre l'architecture de référence du cadre ATHENA qui définit les besoins des entreprises collaboratives [BEF⁺07].

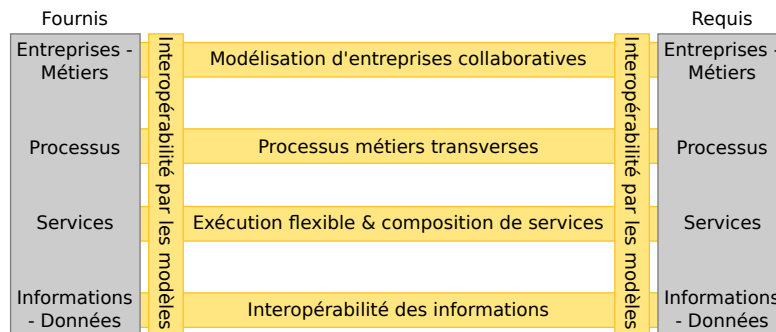


FIGURE 1.9 – Le cadre AIF pour l'interopérabilité en entreprise [BEF⁺07]

L'architecture de référence du projet ATHENA met en relation un ensemble de niveaux d'interopérabilité qui ont été décrits dans la section 1.5.2 [FKT17].

Le cadre ATHENA s'appuie sur une approche d'interopérabilité basée sur les modèles (MDI). Sur chaque niveau d'interopérabilité, il définit un méta-modèle afin de formaliser les échanges dans le réseau collaboratif [BEF⁺07] :

La modélisation d'entreprise collaborative concerne l'échange et l'alignement des modèles de connaissances pour la description des processus, organisations, produits et systèmes dans un contexte collaboratif. Ce niveau est supporté par le méta-modèle **POP** (Process Organisation Product).

La modélisation des processus métiers transversaux définit les vues de processus d'interactions entre deux entités collaboratives ou plus. En effet, dans un réseau d'entreprises, la manière dont les processus internes des organisations se connectent pour créer un processus collaboratif inter-organisationnel est un élément déterminant pour la qualité de la collaboration. Ce niveau est supporté par le méta-modèle **CBP** (Cross-Organisational Business Process).

L'exécution flexible et la composition de services concerne l'identification, la composition et l'exécution de différentes applications. À ce niveau, on parle généralement d'architecture orientée service (SOA). Ce niveau est formalisé par le méta-modèle **PIM4SOA** (Platform-Independent Model for Service-Oriented Architecture).

L'interopérabilité des informations se focalise sur l'échange et le traitement des différents documents, messages et autres structures de données. Pour ce niveau, le projet ATHENA s'appuie sur le langage XML Schema Definition Language (XSD) du consortium W3C (World Wide Web Consortium) (W3C 2004) pour effectuer l'échange des informations.

1.6.3 Le cadre INTEROP : FEI

Le cadre FEI “Framework for Enterprise Interoperability” a été développé par [CD⁺06] dans le cadre du projet INTEROP “European Network of Excellence” [INT07]. Le but de ce cadre est de définir le contexte de recherche pour l'interopérabilité dans l'entreprise. Il identifie et structure les différents concepts d'interopérabilité se présentant dans la figure 1.10.

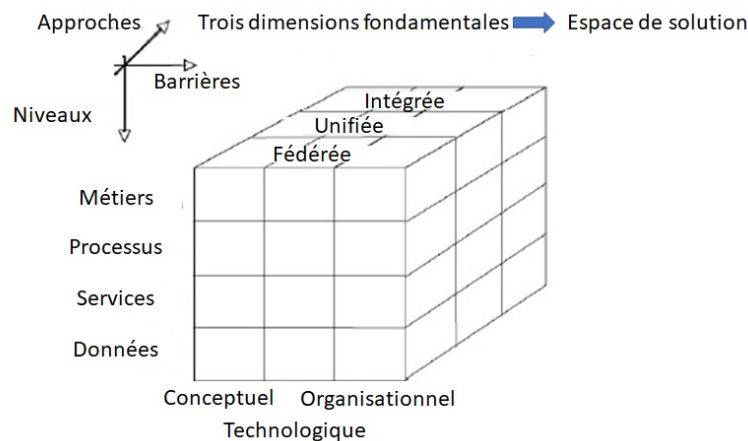


FIGURE 1.10 – Le cadre FEI pour l'interopérabilité dans l'entreprise [CDV08]

Dans cette approche, l'interopérabilité nécessite que toutes les barrières identifiées dans la sous-section 1.5.3 soient éliminées [CD+06]. L'élimination de ces barrières nécessite que les différents niveaux (données, services, processus et métiers) soient traités.

1.7 Discussion et analyse des cadres d'interopérabilité

Le cadre IDEAS représente la première initiative européenne prise dans l'objectif de proposer des solutions pour l'interopérabilité dans l'entreprise. Ce cadre propose 3 axes de recherche qui sont la modélisation d'entreprise, l'architecture et les plateformes de modélisation et les ontologies. Ces trois axes contribuent au développement de l'interopérabilité. Les travaux réalisés lors du développement de ce cadre constituent la base de travail des cadres ATHENA et INTEROP. Le cadre ATHENA propose des lignes directrices pour couvrir les besoins de l'entreprise concernant le support des différents types d'interopérabilité. Le cadre INTEROP s'est fixé pour objectif principal d'investiguer davantage les problèmes d'interopérabilité dans l'entreprise et de proposer des solutions.

Tous les cadres d'interopérabilité cités dans cette section ont pour objectif de proposer des solutions aux barrières d'interopérabilité. Chaque cadre a proposé un point de vue différent et a traité un ou plusieurs types de barrières à différents niveaux. Les réalisations proposées se basent sur différentes approches / technologies

comme l'approche dirigée par les modèles ou les ontologies.

En étudiant les différents cadres, nous soulignons une convergence entre les différents concepts associées :

1. Les trois cadres considèrent les niveaux processus / métiers, connaissances / services et informations / données.
2. Les trois cadres proposent de faire face à une ou plusieurs barrières d'interopérabilité que nous avons identifiées (Le cadre IDEAS traite les barrières sémantiques).
3. Les cadres ATHENA et INTEROP traitent les types d'interopérabilité (organisationnel, conceptuel et technique).

Etant donné que le cadre ATHENA est basé sur les travaux du cadre IDEAS [CD⁺06], il représente une continuité des travaux effectués dans le cadre IDEAS. Nous pouvons ainsi considérer que ce dernier traite les mêmes types d'interopérabilité décrits par le cadre ATHENA.

Nous pouvons ainsi associer les différents types et niveaux d'interopérabilité que nous avons cités comme suit

- L'interopérabilité organisationnelle prend en considération les deux niveaux métier et processus.
- L'interopérabilité conceptuelle prend en considération le niveau services.
- L'interopérabilité technique prend en considération le niveau information et données.

Dans la suite de cette thèse, nous nous focaliserons sur les trois niveaux d'interopérabilité : organisationnel, sémantique et technique. Nous caractériserons davantage l'interopérabilité des systèmes d'information dans l'entreprise selon ces trois types

1.8 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons mis l'accent sur l'importance de la collaboration des entreprises. Pour poser les bases de notre contribution, nous nous sommes attachés à choisir les définitions qui nous paraissent les plus importantes pour mieux comprendre et caractériser la collaboration.

Aujourd'hui, les différents acteurs du monde scientifique et industriel disposent de l'approche PLM pour répondre à ce problème de collaboration. Une analyse détaillée des définitions proposées par les acteurs du PLM nous a permis d'identifier les objectifs et les points de vue des principaux promoteurs de cette approche.

Au coeur de l'approche PLM, le concept d'interopérabilité favorise en théorie les interactions entre les différents agents logiques ou physiques impliqués dans le cycle de vie du produit.

Par la suite, nous avons présenté les concepts clés de l'interopérabilité issus des différents travaux de recherche qui ont proposé des solutions d'interopérabilité comme les cadres ATHENA ou INTEROP. Les recherches demeurent toujours très actives pour favoriser au mieux l'interopérabilité dans l'objectif d'améliorer la qualité des collaborations. En effet, tous les acteurs du PLM s'accordent sur l'importance de mieux caractériser les propriétés de l'interopérabilité entre les systèmes d'information au sein de l'entreprise collaborative. Cette thèse s'attache à contribuer modestement à cette lourde tâche. Dans le chapitre suivant, nous nous intéresserons alors à une étude bibliographique sur les travaux d'interopérabilité des systèmes d'information. A travers cette étude, nous pourrions identifier les pistes de contribution que nous allons proposer.

Deuxième partie

Chapitre 2

Chapitre 2

État de l'art : Interopérabilité des systèmes d'information, ingénierie des modèles et standards

2.1 Introduction

L'interopérabilité des systèmes d'information d'entreprises est désormais considérée comme un enjeu majeur pour favoriser la collaboration dans les réseaux d'entreprises. Elle permet l'échange et le partage des informations entre les SI. Les SI d'entreprise doivent pouvoir communiquer entre eux et avec ceux des autres entreprises.

Ces systèmes d'information jouent un rôle majeur dans la mise en place d'une collaboration efficace. Ils communiquent et interagissent pour réaliser un objectif commun. L'autonomie, la distribution et l'hétérogénéité constituent dans ce cadre les principales caractéristiques de ces SI d'entreprise [Has00, Bus03].

L'information échangée lors d'une collaboration est distribuée à travers le réseau ; elle est consommée par plusieurs systèmes [Yah11]. Avec la numérisation de l'ensemble des données de l'entreprise, l'échange d'information, de plus en plus complexe, peut être entravé par des problèmes d'interopérabilité.

Ce chapitre est consacré à la définition et à la caractérisation de la notion d'interopérabilité des SI si importante dans la collaboration des entreprises. Dans un premier temps, nous nous attachons à définir les SI et leurs caractéristiques. Nous présentons ensuite un ensemble non exhaustif des propriétés qui permettent de caractériser plus finement l'interopérabilité à travers l'étude de l'état de l'art

portant sur les problématiques de collaboration des SI. L'analyse critique de ces travaux nous permettra enfin de poser les limites des approches au regard des problèmes posés et de proposer des axes d'amélioration.

2.2 Interopérabilité des Systèmes d'Information

2.2.1 Définition d'un système d'information

La notion du système d'information ne cesse d'évoluer au fil des années [PZJG⁺16]. Un système d'information n'est plus considéré selon un angle informatique comme un système responsable de collecter, traiter et transformer les données informatiques connectées pour les redistribuer à différents niveaux au sein de l'entreprise comme le décrit [LM94]. Cette définition situe le SI comme un sous-système de l'entreprise et qui interagit avec d'autres systèmes (système opérant et système de pilotage). Pour préciser le rôle du Système d'Information dans l'entreprise [RFKR11] le définit comme "un ensemble organisé de ressources : matériel, logiciel, personnel, données, procédures permettant d'acquérir, traiter, stocker, communiquer des informations (données, textes, images, sons...) dans l'organisation". C'est l'échange d'information qui permet aux utilisateurs de travailler ensemble. Pour que ce travail soit optimal et efficace, la bonne information doit être disponible au bon endroit (bon utilisateur) et au bon moment [BN96]. Cette définition s'intéresse aux fonctions que propose le SI aux utilisateurs. [MFG11] fait la différence entre la dimension informatique et information du SI et donne une autre définition au système d'information comme "la partie du réel constituée d'informations organisées et d'acteurs qui agissent sur ces informations ou à partir des ces informations, selon des processus visant une finalité de gestion et utilisant des technologies de l'information". Cette définition met l'accent entre la notion de processus et son rôle au sein des SI.

Selon ces différentes définitions, nous remarquons que la notion du SI a bien évolué, au delà de la dimension logicielle qui se résume dans le partage au niveau informatique des données. Le SI gère aussi toute une structure organisationnelle englobant les acteurs, leurs rôles, les processus tout en se basant sur les technologies web et d'information.

Cette évolution montre que le besoin d'échange d'informations entre SI n'est pas une problématique nouvelle. Ce besoin est dû à la transformation numérique et la nécessité d'échange à travers les réseaux internet. Cependant, le système d'information devient l'un des composants les plus importants de l'entreprise col-

laborative [Tou07], [Yah11] et [Sak12].

Nous proposons alors en se basant sur les travaux de [Tou07] et [MFG11] de le schématiser comme dans la figure 2.1 ci-après.

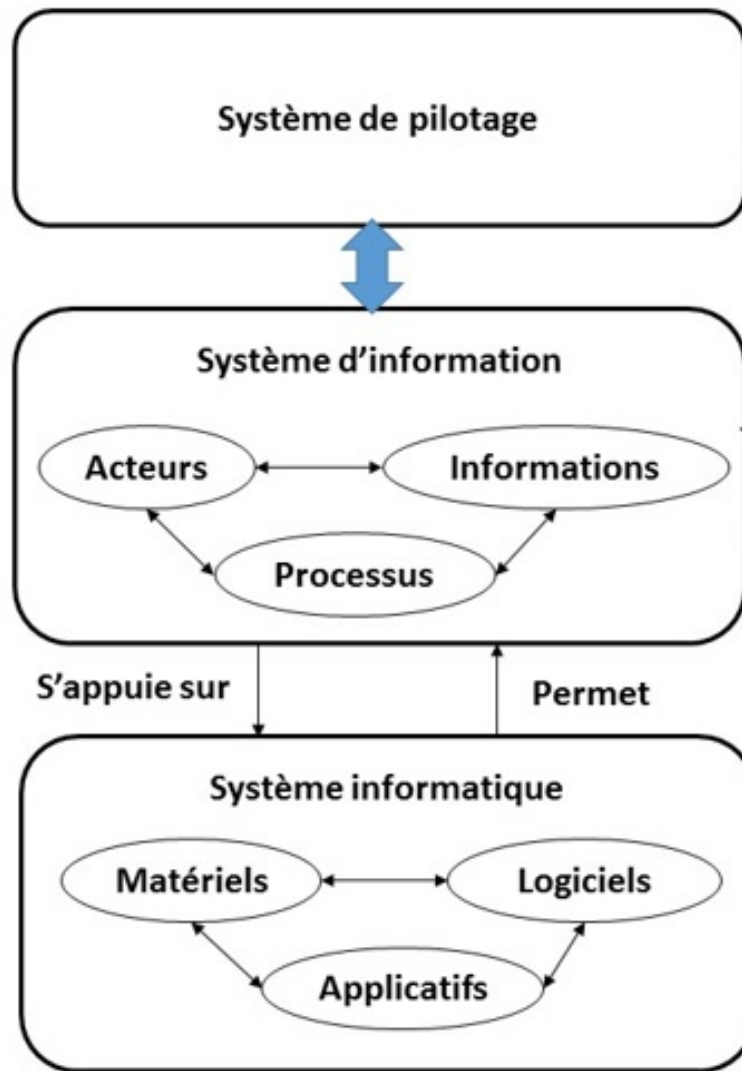


FIGURE 2.1 – Les différents niveaux du système d'information [Tou07] et [MFG11]

Dans le contexte collaboratif, il est nécessaire de faire inter-opérer les systèmes d'information [ADZ⁺16] [ÅFBE16] qui ont des caractéristiques différentes. Nous les exposerons dans la section suivante.

2.2.2 Caractéristiques des systèmes d'information d'un réseau collaboratif

Dans un réseau collaboratif, les S.I sont principalement caractérisés par [Yah11] et [Sak12] :

1. **La distribution** : cette caractéristique est liée à l'endroit où se trouve le système physiquement dans le réseau de l'entreprise. Cette localisation physique est maintenue grâce à certaines techniques de type JAVA par exemple.
2. **L'autonomie des systèmes** : elle est liée à la capacité des systèmes d'informations de s'exécuter de façon indépendante les uns des autres.
3. **L'hétérogénéité** : elle est due à la différence des méthodes de développement et de déploiement des applications dans l'entreprise.

D'après [Has00] et [Bus03], l'hétérogénéité des S.I représente la véritable difficulté dans la mise en place de leur interopérabilité.

[Wie92] et [Tou07] identifient différents niveaux d'hétérogénéité :

1. **L'hétérogénéité technique** correspond aux différences du matériel informatique utilisé (types d'ordinateurs, réseaux...) et aux logiciels (plateformes d'exécution, les systèmes d'exploitation, les systèmes de gestion de bases de données...)
2. **L'hétérogénéité syntaxique** résulte des différences entre les modèles des données d'un système à un autre : la structuration des mêmes informations d'une manière différente (classe d'objet, relation dans un modèle relationnel, fichier XML...) avec différents langages (SQL, UML, OWL...) et des protocoles d'accès différents (HTTP, pages web...).
3. **L'hétérogénéité sémantique** est liée à la manière d'interpréter le sens des informations partagées. Un même concept peut être interprété d'une manière différente suivant les applications qui le considèrent. Cette hétérogénéité peut être liée à la taxonomie et à la linguistique ainsi qu'aux différences d'unités et d'échelles de valeur utilisées.
4. **L'hétérogénéité organisationnelle** concerne plutôt l'hétérogénéité des processus métiers. Chaque entreprise possède des processus internes spécifiques selon sa stratégie et son mode de fonctionnement. Ces processus sont modélisés suivant des formalismes différents que chaque entreprise adopte (réseaux de pétri, BPMN, diagramme UML ...). L'hétérogénéité organisationnelle couvre aussi les domaines fonctionnels couverts par les différents métiers au sein des entreprises.

Il est relativement plus facile de remédier aux défauts causés par l'hétérogénéité syntaxique. Ceci en se basant sur les standards d'échange d'informations (ISO, STEP...) En revanche, faire face aux hétérogénéités sémantique et organisationnelle demeure une tâche plus difficile [Yah11].

En regardant de plus près au niveau de l'état de l'art, nous avons caractérisé dans la suite, un ensemble des hétérogénéités issues des différences fonctionnelles, conceptuelles et linguistiques (figure 2.2).

Des hétérogénéités fonctionnelles : liées à la différence de couverture fonctionnelle des différents systèmes d'informations du réseau collaboratif. De leurs degrés de granularité et de leur perspectives fonctionnelles.

1. Couverture : signifie que deux systèmes d'information couvrent des domaines métiers différents. Par exemple un système SCM (Supply Chain Management) pour la gestion de la chaîne logistique et un système PDM (Product Data Management) pour la gestion des données de la conception de produit.
2. Granularité : signifie que deux systèmes d'information décrivent une même entité avec des degrés de détail différents.
3. Perspective : signifie que deux systèmes d'information donnent deux points de vue différents. Par exemple le système PDM présente différemment la nomenclature du produit par rapport au système ERP [Pav10].

Des hétérogénéités linguistiques : portant sur les différences du sens des mots échangés lors de la collaboration.

1. Polysémie : un même mot est utilisé pour dénommer plusieurs entités. Exemple le mot "activité" représente une composante d'un processus et aussi une tâche à exécuter.
2. Synonymie : plusieurs mots désignent la même entité et ont donc le même sens. Par exemple dans les expressions "atelier de fabrication" et "usine de fabrication", les mots "atelier" et "usine" signifient tout deux le lieu où s'effectue la fabrication d'un produit donné.
3. Homonymie : des mots ayant la même graphie et la même prononciation mais ont des sens différents. Par exemple, le mot "système" peut faire référence à deux entités différentes comme "un système informatique" qui signifie un logiciel hardware et "un système d'information" qui englobe le "système informatique".

Des hétérogénéités conceptuelles : déterminent la relation qui lie deux concepts de deux systèmes différents.

1. Égalité : un concept du système 1 trouve son équivalent dans le système 2.
2. Inclusion : un concept du système 1 peut être inclus dans un concept du système 2 ce qui signifie que le concept du système 2 est plus global.
3. Intersection : l'intersection de deux concepts appartenant à un système 1 est équivalente à un concept du système 2.
4. Disjonction : Un concept appartenant au système 1 n'a pas d'équivalent dans le système 2.

Surpasser ces différentes catégories d'hétérogénéité revient donc à faire communiquer les systèmes d'information via une connaissance commune, qui permet d'explicitier et de préciser le sens des données pour être interprétées correctement par différents systèmes. Cette connaissance peut être capturée, par exemple, grâce à l'ingénierie des modèles [YAP12].

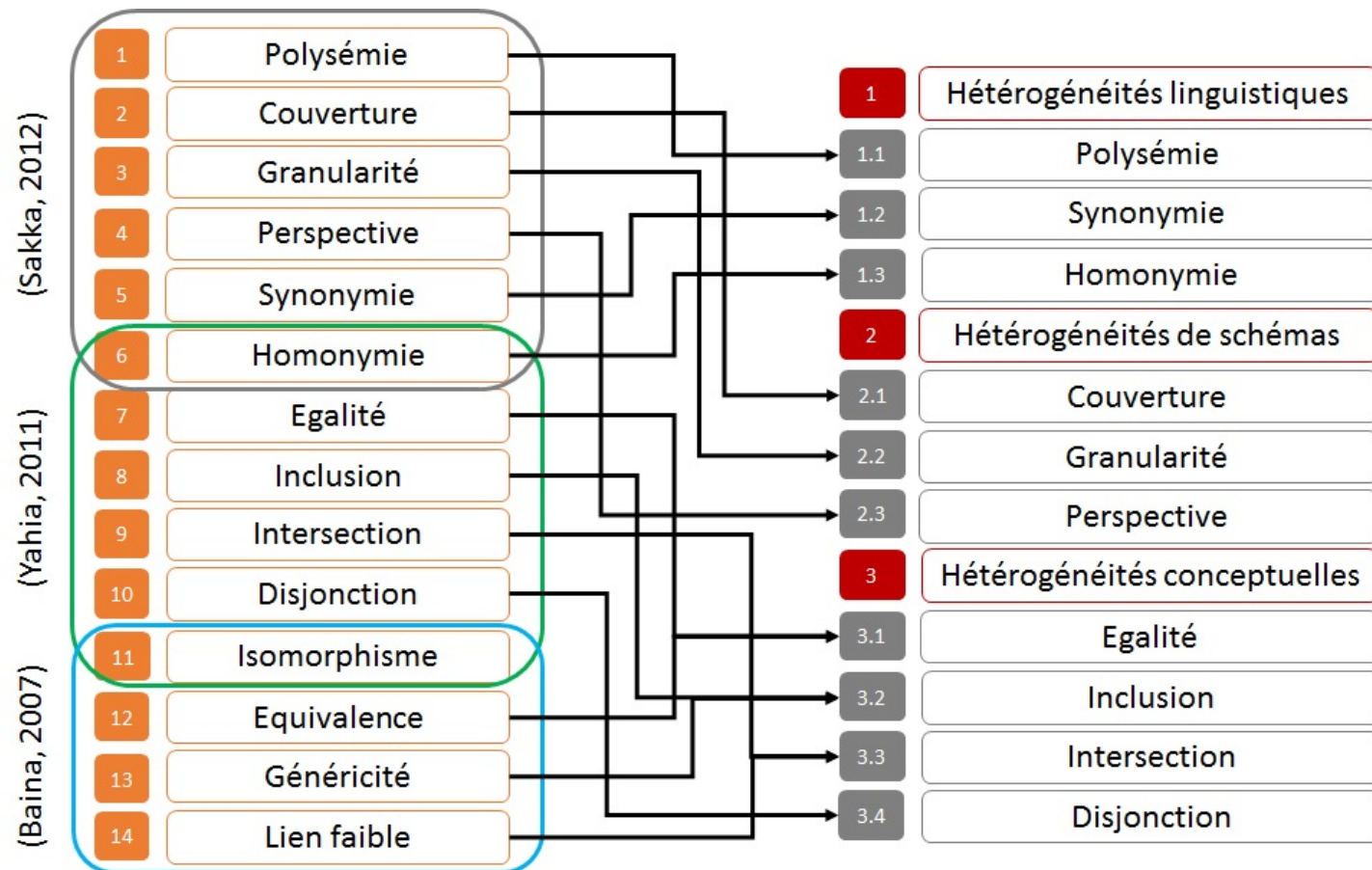


FIGURE 2.2 – Types d'hétérogénéité entre systèmes d'information [Sak12, Yah11, Bai06]

Nous constatons que ces types d'hétérogénéité sont en adéquation avec les barrières d'interopérabilité citées dans la section (1.5.3). Ainsi nous nous intéresserons à ces problèmes d'hétérogénéité des SI et plus particulièrement des systèmes liés la fabrication dans l'entreprise.

2.2.3 Les systèmes d'information de la fabrication

La dimension de fabrication a été bien élargie de sa fonction initiale, de la création de produits physiques à la gestion des flux dans l'entreprise [Pav10].

Les applications supports durant la fabrication sont l'APS (Advanced Planning System) pour la planification avancée des opérations de production, l'ERP (Enterprise Resource Planning) pour la gestion des ressources, Le MES (Manufacturing Execution System) pour l'exécution et le suivi du processus de fabrication. Nous nous focaliserons dans ce travail sur les systèmes de type ERP et MES sur lesquels porte notre étude.

Le système ERP

[GVLH08] définit le système ERP comme l'arête dorsale des systèmes d'information de la plupart des grandes et moyennes entreprises.

Selon [TYB02], un ERP permet d'unifier les différentes fonctions de l'entreprise. Au travers d'un ERP, ces fonctions peuvent être utilisées par les différents départements de l'entreprise pour l'aide à la décision : production, relation client, finance/comptabilité, etc.. Le système ERP permet aux différents services de l'entreprise de travailler de manière collaborative et de communiquer via une interface commune.

[TYB02] détaillent l'architecture et les fonctions d'un système ERP : il consiste en une série de modules intégrés dédiés à la gestion des comptes clients (accounting), la distribution, le marketing et les ventes, la fabrication, les ressources humaines.

Au sein des entreprises, le système ERP a pour objectif de [Mil08] :

1. Éviter la redondance d'informations entre différents systèmes de l'entreprise.
2. Disposer d'un outil multilingue et multidevises (très adapté aux multinationales).
3. Éviter des restitutions d'informations divergentes entre différents services et donc apaiser les conflits qui en résultent.

4. Assurer une meilleure coordination des services et donc un meilleur suivi des processus.
5. Permettre une meilleure maîtrise des stocks.
6. Permettre une normalisation de la gestion des Ressources Humaines, en particulier pour les entreprises qui gèrent de nombreuses entités, parfois géographiquement dispersées.
7. Transformer les commandes clients en Ordre de Fabrication (OF).
8. Établir des plannings prévisionnels des OF à lancer chaque jour de la semaine.
9. Commander les matières premières correspondantes aux différentes commandes clients.

Le système MES

Un MES est un ensemble de composants matériels et logiciels permettant la gestion et l'optimisation des activités de production, du lancement de la commande jusqu'à l'obtention des produits finis. Ce système est considéré comme le chef d'orchestre de l'atelier, il organise toute la production et la gère en temps réel. [BDF⁺99] [MIR07] [?]. Tout en maintenant des données précises et à jour, le MES guide, initie, répond et rapporte les événements de l'usine au moment où ils se produisent. Un MES fournit des informations critiques aux modules d'aide à la décision à travers l'entreprise.

Au sein des entreprises le système MES a pour objectif de [Pav10] :

1. Suivre et allouer les ressources (s'assurer que les conditions de démarrage de la production sont respectées).
2. Affiner le planning selon le temps de disponibilité sur la ligne en retirant les périodes non productives (arrêts pour maintenance, réunions..).
3. Ordonnancer les opérations (en fonction des priorités, caractéristiques, procédés liés à un équipement).
4. Affecter le travail aux ressources (ordres de fabrication, préparation des matières premières, de la manutention).
5. Gérer les spécifications (notices techniques, dessins de définition, procédures).
6. Acquérir et stocker les données de production et de maintenance.

7. Gérer la qualité (analyses temporelles du contrôle produit/processus provenant des opérations de fabrication).
8. Gérer la maintenance des équipements et des outils pour assurer leur disponibilité (historique et traçabilité des pannes/opérations de maintenance).
9. Superviser la fabrication du produit (conditions de production, informations sur l'état des ressources).
10. Analyser la performance (utilisation et disponibilité des ressources, temps de cycle, TRS (Taux de Rendement Synthétique)).
11. Organiser les flux de matières premières dans l'atelier.
12. Collecter les informations sur la consommation énergétique, le temps passé sur chaque OF et les consommations réelles de matières premières.
13. Calculer le coût exact de production d'un lot donné.

2.2.4 Interopérabilité ERP/MES

L'implémentation des ERP au sein des entreprises a permis de centraliser toutes les données du niveau administratif. Un meilleur fonctionnement des processus de l'entreprise et une meilleure réponse aux attentes clients en termes de coûts, de qualité et de services du produit.

Ce type de système offre une gestion administrative du plus haut niveau mais le champ d'application des ERP s'arrête aux portes de l'atelier. Tout ce qui se passe au niveau des usines reste une boîte noire pour le système ERP.

Les dirigeants des entreprises s'intéressent de plus en plus à ce qui se passe au niveau des ateliers. Ils ont constaté que l'amélioration de la production leur permet de générer des économies en temps et en argent.

Ainsi, pour améliorer la production, il est nécessaire de faire inter-opérer les systèmes ERP et MES. L'objectif principal de cette interopérabilité est d'améliorer la synchronisation de l'aspect administratif de la gestion de l'entreprise et la réalité au niveau de l'atelier [Bai06].

Les systèmes ERP et MES ont des fonctionnalités différentes dans la gestion d'un produit donné. Ces deux systèmes sont complémentaires. Leur collaboration présente un intérêt stratégique pour l'aide à la décision [CDLDE15].

Les deux systèmes n'ont pas la même précision temporelle. Le système ERP travaille à la semaine, voire à la journée : il donne une vision plutôt macro sur la fabrication en entreprise. Le système MES travaille plus en détail, il surveille la production minute par minute et apporte une maîtrise opérationnelle fine sur les

produits. La figure 2.3 montre la représentation d'une gamme de produit par les deux systèmes.

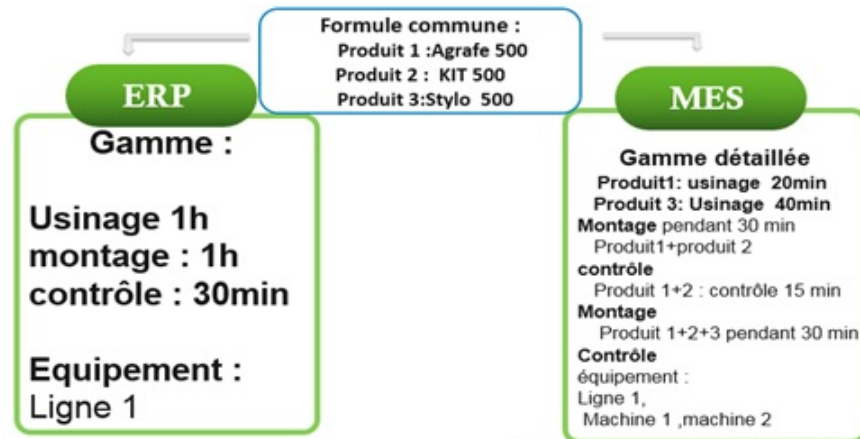


FIGURE 2.3 – Une représentation d'une gamme de produit par les systèmes ERP et MES

L'échange des flux informationnels entre les systèmes ERP et MES peut être accéléré par le développement d'une interface. Celle-ci permet d'analyser les informations manipulées par chacun des deux systèmes afin d'identifier l'information adéquate à échanger. (Figure 2.4)

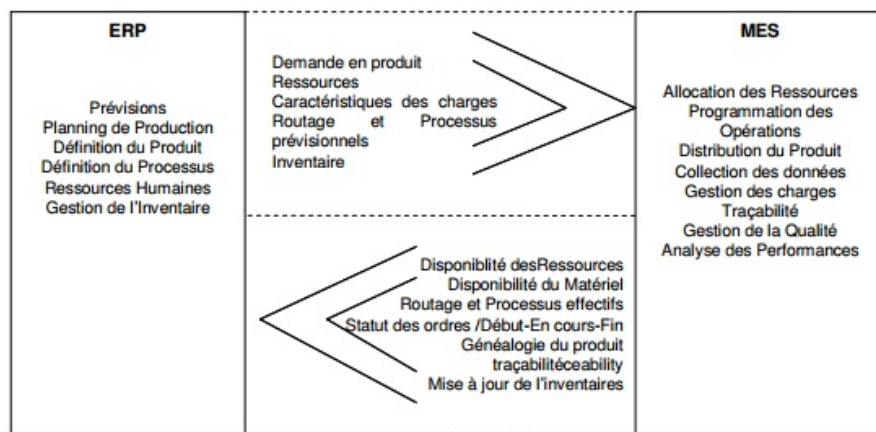


FIGURE 2.4 – Exemple d'échange d'information entre ERP et MES [Bai06]

Des tentatives d'implémentation de liaisons entre ces deux systèmes ont été mises en place. Citons l'exemple du logiciel LinkForSap [Sek98] développé pour

l'unification des données entre l'ERP "SAP"¹ et le système de contrôle de la production "Centum". Ce type de liaison est spécifique pour un ERP donné et un MES donné. Il s'agit d'une liaison point à point qui implique des développements coûteux et peu réutilisables[Bai06]. L'apparition des normes ISA88 et ISA95 avait comme objectif de combler ce fossé par la normalisation de ces échanges informationnels. Ceci implique la mise en place de couche d'abstraction appelée médiateur servant d'intermédiaire de communication et utilisée pour mettre à disposition des données hétérogènes.

L'hétérogénéité de ces systèmes [YGW16] comme nous l'avons mentionné dans la section (2.2.2) est la problématique principale de l'interopérabilité des SI. Ainsi, assurer l'interopérabilité des systèmes ERP et MES est la clé pour une collaboration efficace d'un réseau d'entreprise. Nous pouvons schématiser cette interopérabilité multi-niveaux (organisationnel, conceptuel et technique) dans la figure 2.5

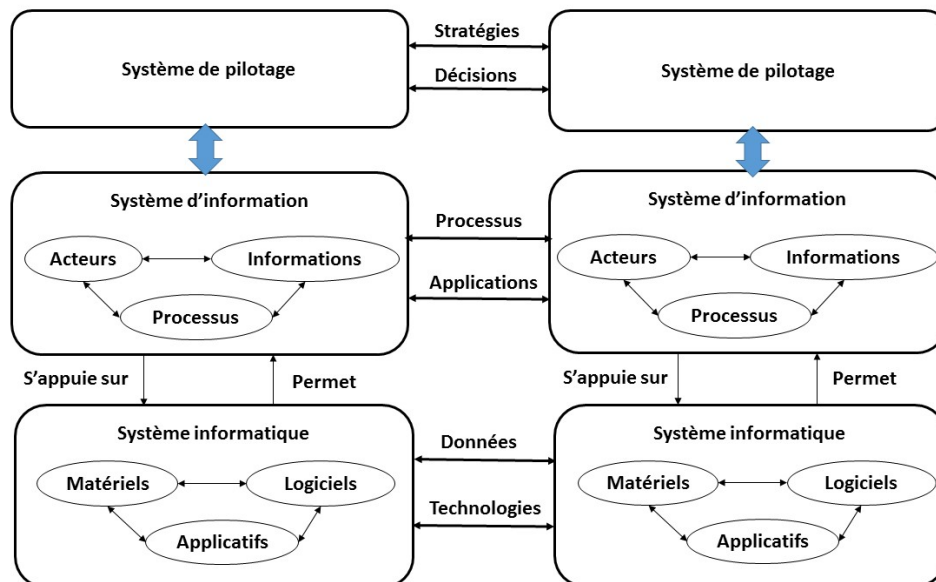


FIGURE 2.5 – L'interopérabilité des Systèmes d'Information sur les différents niveaux [Tou07] et [MFG11]

L'analyse des travaux scientifiques qui portent sur l'interopérabilité des systèmes ERP/MES et autres SI, a montré que beaucoup ont traité l'interopérabilité sur les niveaux technique et sémantique ou seulement sémantique. Peu de travaux

1. <http://www.sap.com/france>

se sont intéressés à proposer des solutions à l'interopérabilité organisationnelle des entreprises. [Tou07] a mentionné dans son travail l'importance de passer par les trois niveaux d'interopérabilité. Nous avons rassemblé les principaux travaux de littérature portant sur l'interopérabilité des systèmes d'information dans le tableau 3.1.

A travers ce tableau, nous avons positionné les démarches des différents travaux que nous avons étudié pour leur apports concernant à l'interopérabilité des SI.

Nous remarquons que ces travaux ont utilisé des méthodes différentes pour proposer des solutions aux problèmes d'interopérabilité comme l'approche d'ingénierie dirigée par les modèles (MDA), les ontologies et les standards.

Nous précisons dans ce tableau notre positionnement par rapport aux autres travaux. Nous précisons aussi les méthodes que nous allons utiliser pour apporter des réponses quant aux problèmes d'interopérabilité des systèmes ERP et MES.

Dans la suite du manuscrit, nous allons détailler comment nous souhaitons répondre aux problèmes d'interopérabilité entre ERP et MES pour chaque niveau d'interopérabilité en utilisant les méthodes choisis.

TABLE 2.1 – Récapitulatif des travaux sur l’interopérabilité des systèmes d’informations

Approches Thèses	Interop. organisa- tionnelle	Interop. séman- tique	Interop. technique	MDA	Ontologies	Standard STEP	Standard ISA	Pas de standard	ERP/MES	Autres
[Ter05]	X			X		X	X			X
[Bai06]		X		X			X		X	
[Tou07]	X	X	X	X	X			X		
[Tur09]		X			X	X	X			PDM / ERP / MES
[Auz09]			X	X				X	X	
[Pav10]		X	X	X		X				PDM / ERP
[Yah11]		X		X				X	X	
[Sak12]		X		X	X		X			MES
[For13]		X			X			X		PDM / ERP / MES
[Dan15]		X			X	X				X
Ce travail de thèse	X	X	X	X			X		X	

2.3 La modélisation pour le niveau organisationnel

L'interopérabilité organisationnelle de l'entreprise concerne les niveaux métiers et processus (voir section 1.5 du chapitre 1).

Par ailleurs, le niveau processus de l'interopérabilité concerne plutôt les systèmes d'information [MFG11].

Nous rappelons que nous travaillons dans un contexte de collaboration et que nous nous intéressons à la notion de processus collaboratif (voir section 1.3 du chapitre 1).

Les processus collaboratifs sont organisés d'une manière spécifique chez les différents partenaires. Chaque partenaire s'appuie sur son propre système d'information. Ainsi, afin de réaliser l'interopérabilité à ce niveau, il est nécessaire de représenter, cartographier les processus métiers dans l'entreprise et les différentes informations échangées entre les S.I. Un premier pas vers la mise en place de cette interopérabilité commence par la modélisation d'entreprise [Sak12].

2.3.1 La modélisation comme support à l'interopérabilité

La modélisation d'entreprise s'intéresse à la représentation de la structure et des comportements des entités organisationnelles dans le but d'analyser, optimiser et rendre efficace les opérations de l'entreprise (unique ou en réseau) [Ver03] [MSYR14]. Elle couvre l'ensemble des activités, méthodes et outils pour le développement de modèles pour différents aspects de l'entreprise [Ver96]

Les modèles permettent de soutenir la collaboration, et d'exprimer :

1. Les entités à échanger dans la collaboration.
2. Les moyens de les transformer en expertise cible.
3. Les moyens de propager et de mettre à jour les modèles en fonction des modifications éventuelles.
4. Le moyen de garantir la confidentialité et le savoir faire.

Les objectifs de la modélisation d'une entreprise manufacturière sont de faciliter la communication entre diverses entités fonctionnelles de l'entreprise, fournir une interopérabilité des applications et faciliter la coordination des entités fonctionnelles pour l'exécution des processus métiers afin de garantir la synergie et accomplir les objectifs de l'entreprise.

La modélisation d'entreprise sert à intégrer les processus métiers qui contrôlent le flux dans l'entreprise (politiques de gestion, flux et documents, procédures, processus manufacturiers, procédures administratives, régulation...)

L'intégration est une exigence de la collaboration selon [Ver96]. Elle est définie comme un processus qui fait inter-opérer vigoureusement les personnes, les machines et les applications d'entreprise, afin de construire un environnement plus synergique. L'intégration d'entreprise comme [Pan06] la caractérise est l'intégration de l'ensemble des systèmes de l'entreprise (matériels, logiciels et fonctions) dans le but d'avoir un ensemble cohérent.

Il existe une certaine ambiguïté entre le concept d'intégration et celui de l'interopérabilité. Selon [Mei02] des systèmes sont interopérables s'ils sont capables d'échanger des informations et d'agir ensemble tout en préservant leur hétérogénéité et autonomie. Des systèmes sont intégrés s'ils sont capables de coopérer au sein d'un seul système homogène.

Cette différenciation montre que l'interopérabilité est une condition nécessaire pour assurer l'intégration des systèmes d'entreprise. Ce constat rejoint les travaux de [Pan07] qui confirme qu'un système intégré doit être composé d'applications interopérables, alors que des applications interopérables ne réalisent pas forcément un système intégré.

La modélisation d'entreprise sert à faciliter l'intégration en fournissant une plateforme et un modèle pour l'infrastructure de l'entreprise.

2.3.2 Les différents types de modèles d'entreprise

Il existe plusieurs modèles d'entreprise [Ver96] [Gus98] :

1. **Des modèles économiques** : Ces modèles déterminent une vue plutôt analytique sur les valeurs des coûts dans une organisation. Ils sont utilisés pour l'étude de la compétitivité et l'efficacité des différentes parties de l'entreprise. Ils définissent les objectifs et les motivations régissant le développement d'autres modèles. Ils répondent à la question " Pourquoi " de la modélisation.
2. **Des modèles organisationnels** : Il s'agit de modèles utilisés pour représenter la structure de l'entreprise et son organisation, par exemple, les différents départements, cellules, postes de travail, personnels, lignes de production, tout en spécifiant les responsabilités de chacun et les niveaux de prises de décision. Ces modèles répondent essentiellement à la question " Qui " de la modélisation.

3. **Des modèles d'activité** : Lors de l'exécution d'un travail dans l'entreprise, ces modèles indiquent les diverses actions (opérations) à enclencher. Il s'agit ici de répondre à la question "Comment" de la modélisation.
4. **Des modèles de ressources** : Ils sont conçus pour la description des caractéristiques, des règles de gestion et des actions que supportent les équipements qui sont en charge d'exécuter les activités dans l'entreprise. Ces modèles sont conçus pour répondre à la question "Quoi" de la modélisation.
5. **Des modèles de produits** : Ces derniers représentent les caractéristiques, détails de la conception des produits et les composants à fabriquer au sein de chaque entreprise et durant tout le cycle de vie du produit à réaliser. Les modèles de ressources et produits permettent de répondre à la question "Quoi" de la modélisation. [Gus98] considère un seul modèle pour les produits et les ressources appelé modèle de concepts.
6. **Des modèles informationnels** : Ils sont conçus pour décrire les éléments et les relations informationnels des systèmes d'information de l'entreprise.

En ce qui concerne les modèles informationnels, [Bai06] indique que le mot informationnel est discutable, il laisse entendre que les autres modèles ne contiennent pas d'informations. Or, il n'existe pas un modèle sans informations. Tous les modèles que nous avons cités avant contiennent des informations relatives aux objectifs, acteurs, activités, produits et ressources.

Dans notre travail, nous nous intéressons à la définition des modèles des acteurs (qui), activités (comment), produits et ressources (quoi) et des flux informationnels échangés entre les systèmes ERP et MES.

Ce choix est lié à notre positionnement par rapport à la phase de fabrication du cycle du vie du produit. Ainsi nous nous intéressons à l'interopérabilité des systèmes ERP et MES.

Les modèles d'entreprise possèdent chacun une syntaxe définie et chaque élément de modèle véhicule une sémantique particulière [Tou07].

Le mécanisme de modélisation d'entreprise est une tâche très complexe [Zai05]. Il s'agit de décrire et d'organiser un nombre important d'éléments différents. Ceci requiert l'utilisation de techniques et formalismes de modélisation. Dans ce sens, des architectures de références ont proposé des cadres et des langages de modélisation.

2.3.3 Cadres et langages de modélisation

Selon le Software Productivity Consortium²

” Un cadre fournit un espace générique de problèmes et un vocabulaire commun dans lesquels les individus peuvent coopérer pour résoudre un problème spécifique. Les cadres ne sont pas nécessairement complets, mais ils peuvent être accrus pour fournir au moins un ensemble de questions de bases et des problématiques qui doivent être adressées dans le développement d’architecture. Les cadres de modélisation peuvent fournir un guide aussi bien pour obtenir une vision plus large d’architecture que pour obtenir des schémas fonctionnels.”

Les cadres d’architecture ou les cadres de modélisation d’architecture ont été développés initialement pour des fins militaires afin de définir des exigences par rapport aux fournisseurs de systèmes d’armes et de technologies de l’information. Par la suite, ils ont été étendus dans les domaines civils [Auz09] pour répondre aux problèmes de communication que rencontrent les acteurs humains souhaitant accomplir un objectif commun.

Les modèles d’entreprise décrivent des architectures selon différents points de vue pour permettre une spécification et une implémentation des systèmes étudiés [Val03] [CDV08]. Étant donné que cette description est complexe, il serait donc avantageux de baser une modélisation sur un cadre d’architecture afin de circonscrire la complexité du système à modéliser [Auz09].

Plusieurs cadres d’architecture et langages de modélisation ont été développés depuis plusieurs décennies [Ber03].

Cette diversité est non seulement la conséquence de la variation des domaines d’applications mais aussi de la différence des besoins de leurs acteurs.

Des initiatives issues de différents projets ont proposé des cadres d’architecture d’entreprise comme CIM-OSA [AMI93], GRAI [Dou84] et GRAI-GIM [DVZC92], PERA [Wil92], GERAM [For99]

Ils s’appuient également sur des langages de modélisation comme IDEF [MCF⁺95], BPMN [Whi04], UML [Fow04], UEML [VBCC03].

Ces cadres ne sont pas adaptés à fournir des modèles répondant aux questions que nous nous posons (Qui, Quoi, Comment et Pourquoi)

Dans ce sens, d’autres cadres d’architectures comme le cadre Zachman [Zac87] [SZ92] et encore le cadre TOGAF [Jos11] offrent des conseils de haut niveau permettant d’identifier les domaines d’activités et les technologies qui devraient être prises en considération lors de la création des architectures d’entreprises [ŠK11].

2. www.software.org

En revanche ils fournissent peu d'assistants pour des artefacts architecturaux [JL⁺D⁺06].

Comme complément à ces deux cadres, nous citons le cadre Archimate [Lan09] qui est le développement le plus récent dans le domaine d'architecture d'entreprise et qui est utilisé dans cette thèse.

2.3.4 Le cadre Archimate

Le cadre Archimate a été adopté par le groupe OMG (Object Management Group) en 2009, il est basé sur un langage de modélisation d'entreprise et comprend des lignes directrices pour la modélisation, l'analyse et la visualisation de l'architecture d'entreprise [Lan09].

La principale motivation pour le développement du cadre Archimate est de surpasser le fossé entre les différents domaines d'architecture, par exemple, le domaine des processus métiers, le domaine des systèmes d'information et le domaine technique [Lan04]. L'avantage de Archimate par rapport aux autres cadres c'est qu'il propose un langage commun à tous ces domaines.

Avant le développement du cadre Archimate, comme il n'y avait pas de langage commun, l'architecte d'entreprise devait s'appuyer sur différentes méthodes et techniques spécifiques pour chaque domaine. Citons par exemple la notation BPMN pour les processus de l'entreprise, le langage UML pour les systèmes d'informations. Même si ces langages permettent la présentation et l'analyse dans chaque domaine, les relations entre les concepts de chaque domaine sont souvent peu claires ou indéfinies [Lan09].

En outre, différents domaines peuvent se chevaucher en utilisant fréquemment les mêmes concepts de différentes manières. Cela peut causer des difficultés pour déterminer les relations entre les domaines. L'utilisation de plusieurs langages constitue un inconvénient dans la gestion et la gouvernance des systèmes d'entreprise et la gestion des changements [ŠK11]. En proposant un langage d'architecture d'entreprise commun, Archimate apporte une solution à ces problèmes.

Dans ce travail de thèse, nous proposons une méthodologie de modélisation basée sur le langage d'architecture d'entreprise Archimate et ceci grâce à son habilité à modéliser les architectures spécifique des systèmes d'entreprise inter-reliés et les relations entre les domaines d'entreprise. Cependant le langage Archimate permet de représenter l'architecture d'entreprise sous les niveaux métiers, applicatif et technologique. Chaque niveau est caractérisé par trois aspects qui sont : des éléments actifs représentant les comportements de systèmes (Processus et fonctions),

une structure interne et des éléments définissant l'utilisation ou la communication de l'information. L'utilisation du langage Archimate dans notre méthodologie nous permet de modéliser différentes architectures de systèmes.

Par ailleurs, l'utilisation du langage commun fourni par le cadre Archimate nous permet de faire face à l'hétérogénéité organisationnelle (voir section 2.2.2) des SI qui provient de l'utilisation de plusieurs outils de modélisation par les acteurs de la collaboration.

2.3.5 Synthèse

Nous avons vu dans cette section l'apport et les avantages de la modélisation d'entreprise pour la description de l'architecture d'entreprise ainsi que les fonctions, processus et information que contiennent les systèmes d'information. Nous avons aussi montré que la modélisation d'entreprise est un moyen pour traiter de l'interopérabilité organisationnelle (niveau métier et processus).

Ainsi, les modèles d'entreprise que nous effectuons permettent de :

1. Capitaliser la connaissance et le savoir-faire de l'entreprise.
2. Rationaliser et structurer les échanges d'information.
3. Analyser, concevoir et spécifier des parties de l'entreprise.
4. Simuler le comportement de l'entreprise.
5. Contrôler, synchroniser ou coordonner certaines parties de l'entreprise.
6. Répondre aux questions (Qui, Comment, Quoi et Pourquoi)
7. Fournir une vue globale sur le fonctionnement de l'ensemble de l'entreprise.
8. Faciliter la collaboration entre les différents parties prenantes.

Comme réponse à l'interopérabilité organisationnelle des systèmes ERP et MES, nous avons adopté le cadre de modélisation Archimate.

La modélisation d'entreprise peut aussi être utilisée dans le cadre de l'ingénierie de solutions logicielles (applications, systèmes d'informations, etc.) adaptées au contexte, aux savoirs et aux besoins spécifiques de l'entreprise exprimés dans les modèles. Il s'agit d'une approche d'ingénierie dite " dirigée par les modèles " (IDM). Nous étudierons, dans la suite de ce chapitre, l'apport de ces approches (IDM) pour la spécification de solution pour l'interopérabilité.

2.4 L’IDM pour le niveau sémantique

Assurer l’interopérabilité sémantique [YGW16] entre différents systèmes d’informations, dans le contexte des entreprises collaboratives, nécessite l’analyse et la manipulation de leurs modèles conceptuels [Yah11].

Cette interopérabilité traite du sens des informations véhiculées au sein des applications de l’entreprise [WGN16]. Une des solutions pour traiter ces informations est de les capitaliser sous forme de modèles. L’approche d’ingénierie dirigée par les modèles a été conçue afin de traiter de l’interopérabilité des applications d’entreprise.

2.4.1 L’ingénierie dirigée par les modèles

L’approche d’Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) ou comme son nom l’indique en anglais ”Model Driven Engeneering” (MDE) est l’appellation générique pour une discipline particulière du génie logiciel qui regroupe plusieurs familles d’approches partageant des pratiques, des méthodes, des techniques communes, souvent implémentées au sein d’outils de développement.

L’émergence de l’IDM s’inscrit dans l’évolution générale de l’informatique qui vise à se détacher de la machine et du code pour se concentrer sur des concepts plus généraux.

L’IDM propose comme solution de se baser sur les modèles et les méta-modèles pour regrouper les concepts des systèmes. Cette approche s’appuie sur le principe de la réutilisabilité et l’interopérabilité des modèles indépendamment des plateformes ou applications étudiées[Kad05].

Ces méta-modèles décrivent comment spécifier des modèles qui peuvent être génériques, ou bien spécifiques à un domaine ou un métier . Une fois spécifiés, ces modèles peuvent ensuite faire l’objet de transformations pour obtenir d’autres modèles plus exécutables (code). Souvent, ces spécifications et ces transformations ont lieu dans le même environnement (outil orienté IDM) [Gar13].

Selon [Lem12], les deux principaux prototypes de l’ingénierie dirigée par les modèles sont :

- Les modèles spécifiés à l’aide de formalisme de modélisation.
- La transformation en d’autres modèles, en code, ou en d’autres artefacts, au moyen de langages de spécification dédiés aux transformations.

L’IDM a fait progresser la vision du modèle qui autrefois était considéré comme une représentation figée d’un système, sans interaction directe possible avec le cycle

du développement logiciel. Le modèle est envisagé désormais comme l'élément central, actif, du processus de développement. Une des conséquences les plus "spectaculaires" de cette productivité des modèles est la génération semi-automatique, voire automatique, de code.

L'IDM a permis d'une part l'amélioration de la qualité des systèmes, et d'autre part la simplification de leur mise en œuvre et leur maintien sur une ou plusieurs plateformes [Gar13].

L'approche IDM englobe l'approche d'Architecture Dirigée par les Modèles dite en anglais "Model Driven Architecture" (MDA). Cette dernière représente la partie standardisée de l'approche IDM définie par le groupe OMG en 2000 [Sol00] sur laquelle nous allons nous appuyer dans la suite.

Après l'acceptation du concept clé de métamodèle comme langage de description de modèles, de nombreux métamodèles ont émergé afin d'apporter chacun leurs spécificités dans différents domaines. Devant le danger de voir émerger indépendamment et de manière incompatible cette grande variété de métamodèles, il y avait un besoin urgent de donner un cadre général pour leur description [Com08]. La réponse fut de spécifier un langage de définition de métamodèles qui prit lui-même la forme d'un modèle : il s'agit du métamétamodèle MOF (Meta-Object Facility) [WS08]. Un métamétamodèle est un modèle qui décrit un langage de métamodélisation, c'est à dire les éléments de modélisation nécessaires à la définition des langages de modélisation. Il a de plus la capacité de se décrire lui-même pour limiter le nombre de niveaux d'abstraction [Com08]. Le MOF permet ainsi la compréhension, la comparaison et l'interopérabilité des méta-modèles et des modèles.

Le MOF est représenté au sommet d'une architecture à quatre niveaux d'abstraction pour la modélisation des systèmes. Chacun de ces niveaux entretient une relation d'instanciation avec le niveau supérieur [Béz03] comme le montre la figure 2.6.

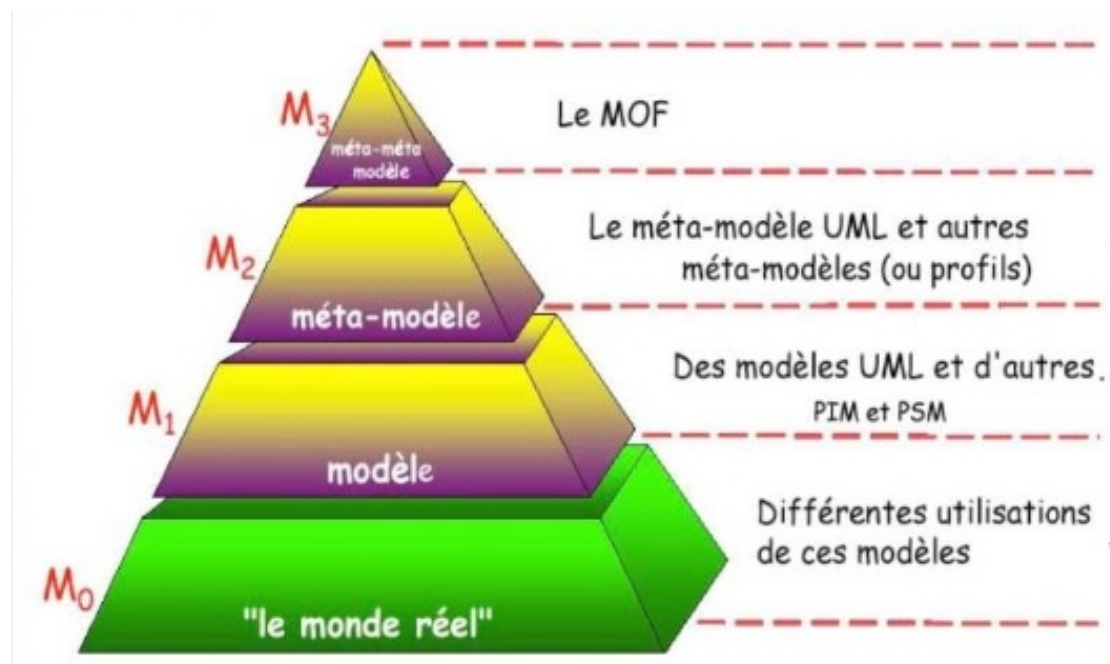


FIGURE 2.6 – Les quatre niveaux de l'architecture MDA [Béz03]

1. Le niveau M_3 : Appelé aussi le niveau méta-méta-modèle ou le MOF. A ce niveau la structure de tous les méta-modèles du niveau M_2 est définie. Le MOF est réflexif, il s'auto-décrit, ceci permet de dire que le MOF est le dernier niveau hiérarchique. Ce niveau représente donc les fonctionnalités universelles de la modélisation.
2. Le niveau M_2 : C'est le niveau méta-modèles, où se trouvent également les langages de modélisation. Ce niveau est basé sur le langage UML. Le méta-modèle UML décrit le standard UML qui appartient au niveau M_2 .
3. Le niveau M_1 : C'est le niveau modèles, il s'agit soit de diagrammes de classes UML, soit de modèles conceptuels MERISE ou tout autre schéma qui représente une vue abstraite des objets modélisés. En ce qui concerne la démarche MDA, on trouve à ce niveau les modèles de type PIM (Platform Independant Model) et PSM (Platform Specific Model). La définition de ces modèles est décrite de façon unique au niveau M_2 .
4. Le niveau M_0 : Il représente le monde réel, c'est le niveau où se trouve le système étudié par l'utilisateur (par exemple le système d'information de l'entreprise). En effet, ce niveau contient l'ensemble des informations de la réalité à modéliser.

2.4.2 Les modèles et la transformation de modèles dans l'approche MDA

Dans l'approche MDA tout est considéré comme modèle, aussi bien les spécifications des applications que le code source ou le code binaire [Che08]. Quatre types de modèles [DLC10] sont identifiés dans l'approche MDA comme le montre la figure 2.7

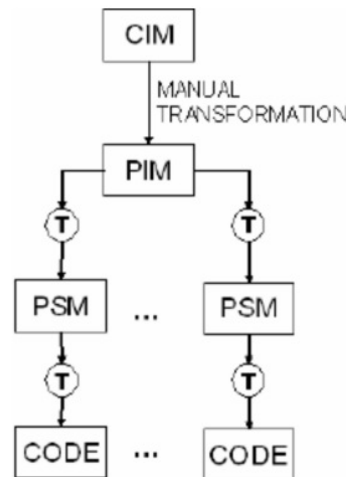


FIGURE 2.7 – Une représentation des modèles et du lien entre les modèles de l'approche MDA [DLC10]

1. CIM : Computational Independent Model, c'est un modèle logiciel indépendant pour la description des systèmes d'entreprise.
2. PIM : Platform Independent Model, c'est une transformation du CIM, c'est un modèle avec un niveau d'abstraction élevé indépendant de toute technologie.
3. PSM : Platform Specific Model, c'est le résultat de la transformation du modèle PIM, il permet de spécifier comment le système va utiliser la plateforme choisie. Ces modèles servent de base pour générer du code exécutable vers ces mêmes plateformes techniques.
4. Le code : La dernière étape est la transformation du modèle PSM en code exécutable. Les modèles PSM disposent d'une technique adaptée pour une simple transformation.

Certaines étapes de l'approche MDA correspondent à la transformation d'un modèle en un autre modèle (de même type ou non), en utilisant éventuellement différents modèles [Che08]. Par exemple un PIM peut être projeté vers un PSM. Quatre types de transformations différentes sont ainsi identifiés [BB02] et [MM⁺03]. Ces transformations se traduisent dans la figure 2.8.

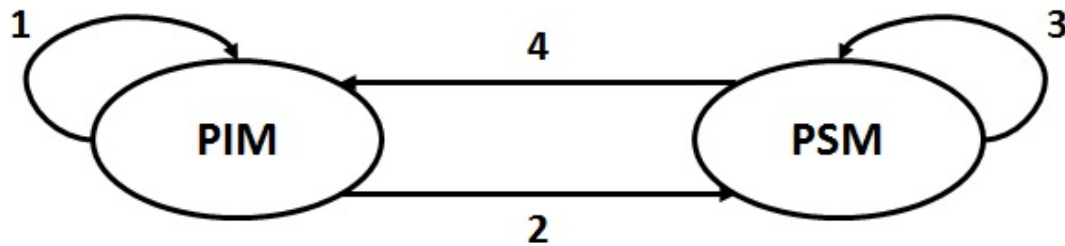


FIGURE 2.8 – Les opérations de transformation de modèles dans l'approche MDA

1. PIM à PIM : Cette transformation est la plus naturelle, elle représente un passage du problème à la solution. L'inconvénient de cette transformation est qu'elle est difficilement automatisable.
2. PIM à PSM : Cette transformation se fait quand on a un modèle PIM bien enrichi avec des informations permettant leur projection sur une plateforme technologique. Elle permet d'enrichir les plateformes technologiques comme J2EE, CORBA et XML par les codes exécutables. Les règles permettant cette transformation sont importantes et nécessitent d'être capitalisées et généralisées. Ces transformations nécessitent d'être fortement automatisées.
3. PSM à PSM : Une transformation PSM vers PSM est applicable. C'est une transformation spécifique qui permet la génération de modèles sur la même plateforme. Une seule transformation n'est pas suffisante pour générer du code. Ceci nécessite parfois le passage par des transformations intermédiaires de type (UML vers SDL et SDL vers C++). Les transformations PSM vers PSM sont alors souvent effectuées durant les phases de déploiement, d'optimisation ou de re-configuration de composants.
4. PSM à PIM : Ces transformations sont les plus difficiles à effectuer dans l'approche MDA, mais elles sont nécessaires à considérer dans une stratégie de migration. Elles se font dans le but de l'obtention d'un PIM à partir d'une implantation existante sur une plateforme spécifique.

Une autre transformation est possible : la transformation de CIM vers PIM. Cette transformation peut nécessiter un enrichissement de modèle CIM pour obtenir le modèle PIM. Selon [Tou07] cette transformation est compliquée car la distance entre les modèles CIM (exigences métiers) et PIM (exigences du système) est plus grande que celle entre PIM et PSM.

2.4.3 Mécanisme de transformation des modèles

La transformation de modèles dans MDA occupe un rôle majeur. Il s'agit de générer un modèle cible à travers un modèle source. Trois étapes composent le mécanisme de modélisation [Che08] :

1. La définition des règles de transformation
2. L'expression des règles de transformation
3. L'exécution des règles de transformation

La figure 2.9 montre le mécanisme de transformation de modèles. Nous disposons en entrée d'un modèle source conforme à un méta-modèle source. Les règles de transformation sont établies entre le méta-modèle source et le méta-modèle cible. Le processus de transformation prend en entrée un modèle conforme au méta-modèle source et produit en sortie un ou plusieurs autre(s) modèle(s) conforme(s) au méta-modèle cible, en utilisant les règles préalablement établies.

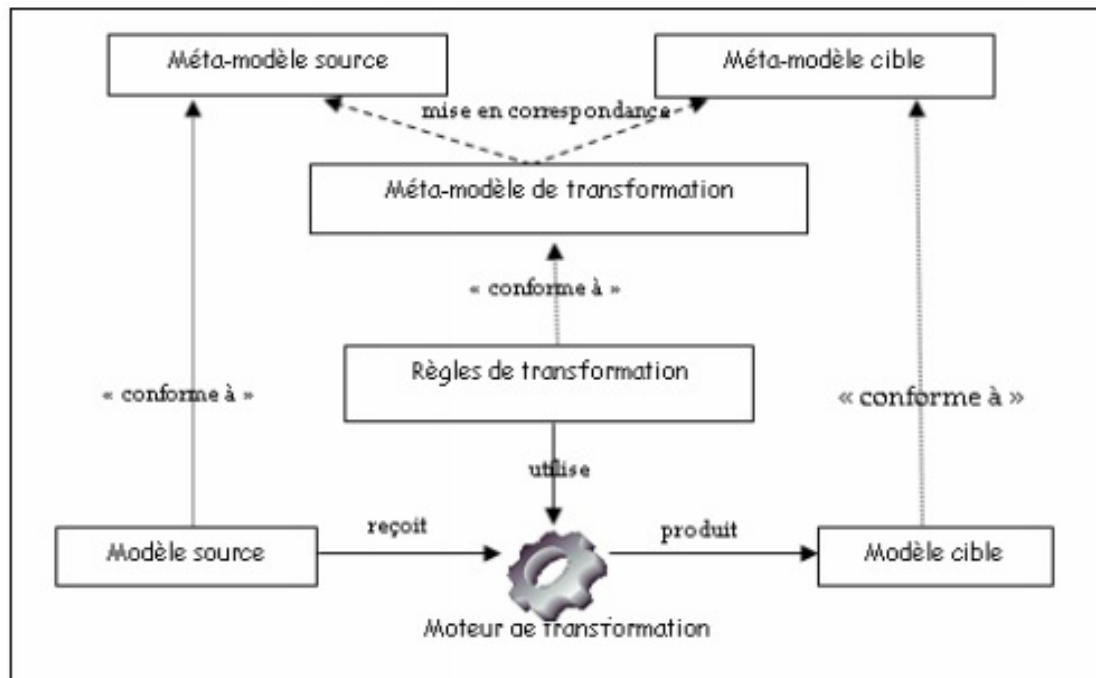


FIGURE 2.9 – Mécanisme de transformation de modèles dans l’approche MDA [Che08]

Les auteurs [Lem98], [BLL95] et [LHBJ06] ont défini différents types de règles selon le nombre d’éléments de la source et la destination de chacun de ces éléments comme suit :

1. Des règles qui expriment une transformation d’un élément de la source vers un élément de la cible ($1 \rightarrow 1$).
2. Des règles qui expriment une transformation d’un élément de la source vers plusieurs éléments de la cible ($1 \rightarrow n$).
3. Des règles qui expriment que plusieurs éléments de la source correspondent à un seul élément de la cible ($n \rightarrow 1$).
4. Des règles qui expriment une transformation de plusieurs éléments de la source vers plusieurs éléments de la cible ($n \rightarrow m$).

La figure 2.10, montre un exemple de transformation de modèles suivant l’approche MDA.

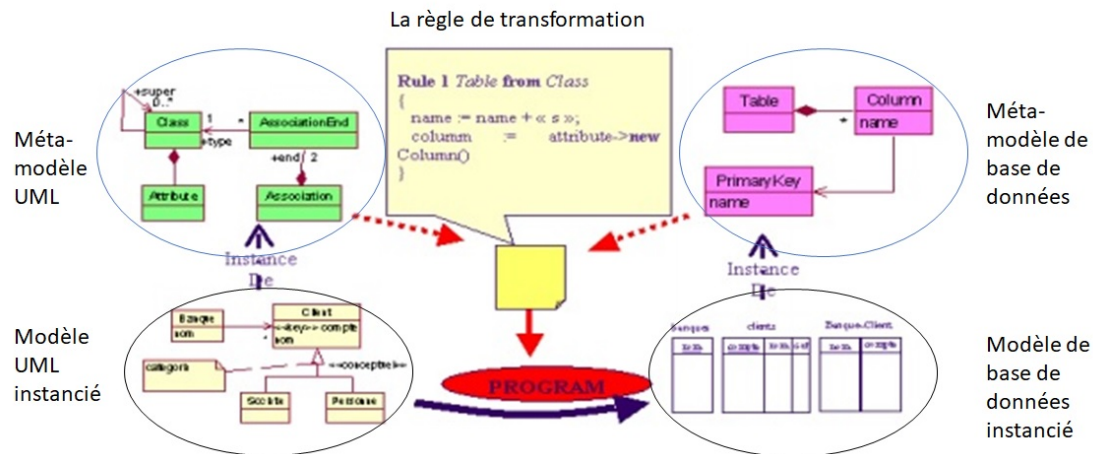


FIGURE 2.10 – Exemple de transformation de modèles dans l’approche MDA [Tou07]

Cet exemple montre une transformation d’un diagramme de classe UML en des tables d’une base de données. La règle établie montre que l’élément "Table" de modèle de base de données cible est déduit à partir de l’élément "Class" de modèle UML source.

2.4.4 L’approche MDA et l’interopérabilité : MDI

L’approche MDA vise à faire remonter le problème de l’interopérabilité des systèmes d’information au niveau des modèles, qui représentent ces systèmes. Cette approche propose des mécanismes de transformation, ayant pour but de faire interopérer des modèles de système d’information. L’interopérabilité dirigée par les modèles (MDI), selon [BEF⁺07], [GSB⁺07], [BGB⁺05] et [BLE⁺07] propose de faire le lien entre les différents niveaux conceptuels (CIM, PIM, et PSM) de MDA. Le but de l’approche MDA est d’obtenir des applications informatiques interopérables et qui respectent les besoins spécifiques définis dans les niveaux conceptuels [GSB⁺07]. [RB07] précise que l’approche MDA permet d’illustrer le développement d’applications interopérables dans un contexte collaboratif. Chaque niveau de l’approche MDA est identifié à un méta-modèle qui obéit à une ontologie de référence.

Le CIM permet de représenter et de comprendre le fonctionnement de l’entreprise, dans le but de capitaliser ses connaissances et son savoir faire pour une utilisation ultérieure. Le PIM est le résultat d’une transformation des modèles d’entreprise définis dans le CIM. Le PSM représente différents modèles d’application

selon la technologie utilisée.

Dans notre travail, au niveau métier (qui est le niveau CIM de l'approche MDA), nous avons précisé que nous allons utiliser un outil de modélisation commun aux différentes entreprises qui collaborent au sein du projet SIP. Nous abordons l'approche MDA pour l'interopérabilité au niveau des applications. Ces derniers sont de types hétérogènes et distribués au niveau du réseau collaboratif. L'approche MDA facilite la descente en abstraction et permet une séparation nette et délimitée entre le métier et la technique [Tou07].

L'approche MDA permet de capitaliser la connaissance des différentes applications d'entreprise, l'objectif est de prendre en compte la sémantique recueillie au sein des modèles tout au long du réseau de collaboration.

Nous avons bien noté que les applications du réseau sont différentes et spécifiques pour les différents partenaires qui collaborent. Ainsi, nous avons besoin d'un composant au centre du réseau collaboratif permettant la circulation du flux sémantique entre les parties prenantes. Ce composant s'appelle "Médiateur". Nous proposons dans ce travail d'implémenter les standards PLM comme médiateurs pour l'interopérabilité.

Nous expliquons notre choix dans la section suivante.

2.5 Les standards et les médiateurs pour l'interopérabilité sémantique et technique

La médiation repose sur un composant essentiel, appelé médiateur, qui est chargé de répondre à des besoins à partir de connaissances mises à sa disposition [Wie92] et [WG95]. Le médiateur permet de localiser l'information et de résoudre les conflits sémantiques [Jou00].

Selon [BTRP06], un médiateur joue le rôle de fournisseur et de demandeur de service. Le médiateur en question permet :

1. L'identification de l'origine du flux sémantique d'informations.
2. L'identification de la destination de ce flux.

Une architecture de type médiateur permet d'avoir plus d'agilité quant à l'ajout ou la suppression de système d'information [Pav10]. Selon [Jou00], l'architecture d'entreprise doit respecter les critères suivants :

1. **Extensibilité ou agilité** afin de maîtriser l'ajout ou la suppression des SI.

2. **Composabilité** : pouvoir combiner les informations des différents systèmes d'information.
3. **Scalabilité** : ce terme est utilisé dans le domaine de l'informatique matérielle et logicielle. Il est dérivé du mot anglais "scalability". C'est la capacité d'un système à maintenir ses fonctionnalités et ses performances en cas de fortes demandes.
4. **Transparence** : permettre de repérer où se trouve l'information et son format de données.

Dans ce cadre, les standards intègrent des modèles de données avec une sémantique commune et prête à l'emploi [SGEK⁺16]. Utiliser un modèle standard permet aux entreprises de faire des économies importantes. Une étude menée au sein du NIST sur la nécessité d'utiliser le standard STEP surtout dans les domaines de l'automobile, l'aéronautique et des industries navales a permis de faire des économies de plus d'un milliard de dollars par an [GOP02]. Ceci montre que l'implémentation des standards permet la réduction des coûts de l'interopérabilité des systèmes d'information (migration, maintenance...). Les experts de standardisation ont fourni des efforts considérables pour mettre à disposition des standards permettant aux utilisateurs de se dispenser de la modélisation sémantique en utilisant celle du standard. Les modèles standards fournissent une sémantique riche, ce qui leur donne une crédibilité industrielle [Pav10].

Nous rappelons qu'aussi bien [CV04] et [LJ06] précisent que *l'interopérabilité requiert l'utilisation des standards pour être capable de partager et échanger des informations au sein de SI et d'organisations hétérogènes et distribuées.*

2.5.1 Cartographie des standards dans le PLM

Beaucoup de standards ont été développés pour la gestion du cycle de vie du produit. Il existe des standards pour la conception, la simulation, la fabrication, la maintenance, la qualité des produits ou des processus. Dans ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement aux standards PLM. [RSB⁺08] classe ces standards selon quatre types :

1. **Standards de type 0** : Ce type concerne les langages standardisés de programmation et d'implémentation de scripts tels que les langages : C, C++, Fortran, Perl...
2. **Standards de type 1** : Cette classification concerne les standards pour la modélisation de l'information comme le langage UML (Unified Mode-

ling Language) essentiellement utilisé pour la modélisation des informations logicielles. Le langage SysML (Systems Modeling Language) pour la représentation des informations de l'ingénierie système. Le langage OWL (Web Ontology Language) pour la représentation des ontologies. Ainsi que le langage XML (Extensible Markup Language) pour une harmonisation syntaxique des informations...

3. **Standards de type 2** : Appelés aussi des standards du domaine de discours. Ce type englobe les standards pour la modélisation du produit et l'échange de données comme la norme STEP avec ses différentes parties : la partie STEP-PLCS pour le support du cycle de vie, la partie STEP-NC pour la CFAO, AP214 pour la simulation... Les standards pour l'intégration des données manufacturières comme la norme ISA95 et les standards orientés processus pour la chaîne logistique comme le référentiel SCOR.
4. **Standards de type 3** : Il s'agit des standards pour l'architecture des environnements de travail. Il s'agit ici des cadres d'architectures d'entreprise que nous avons abordés dans la section (2.3) comme Zachman, Togaf, Archimate, Cimos... Ce type correspond plus à l'interopérabilité organisationnelle.

En se basant sur cette classification et sur les travaux de [Ter05] et [Tur09], [Neg14] enrichit la cartographie de [RSB⁺08], mettant en œuvre le standard ISA95, avec une couverture d'applications d'entreprise et les échanges standardisés entre ces applications durant le cycle de vie du produit 2.11.

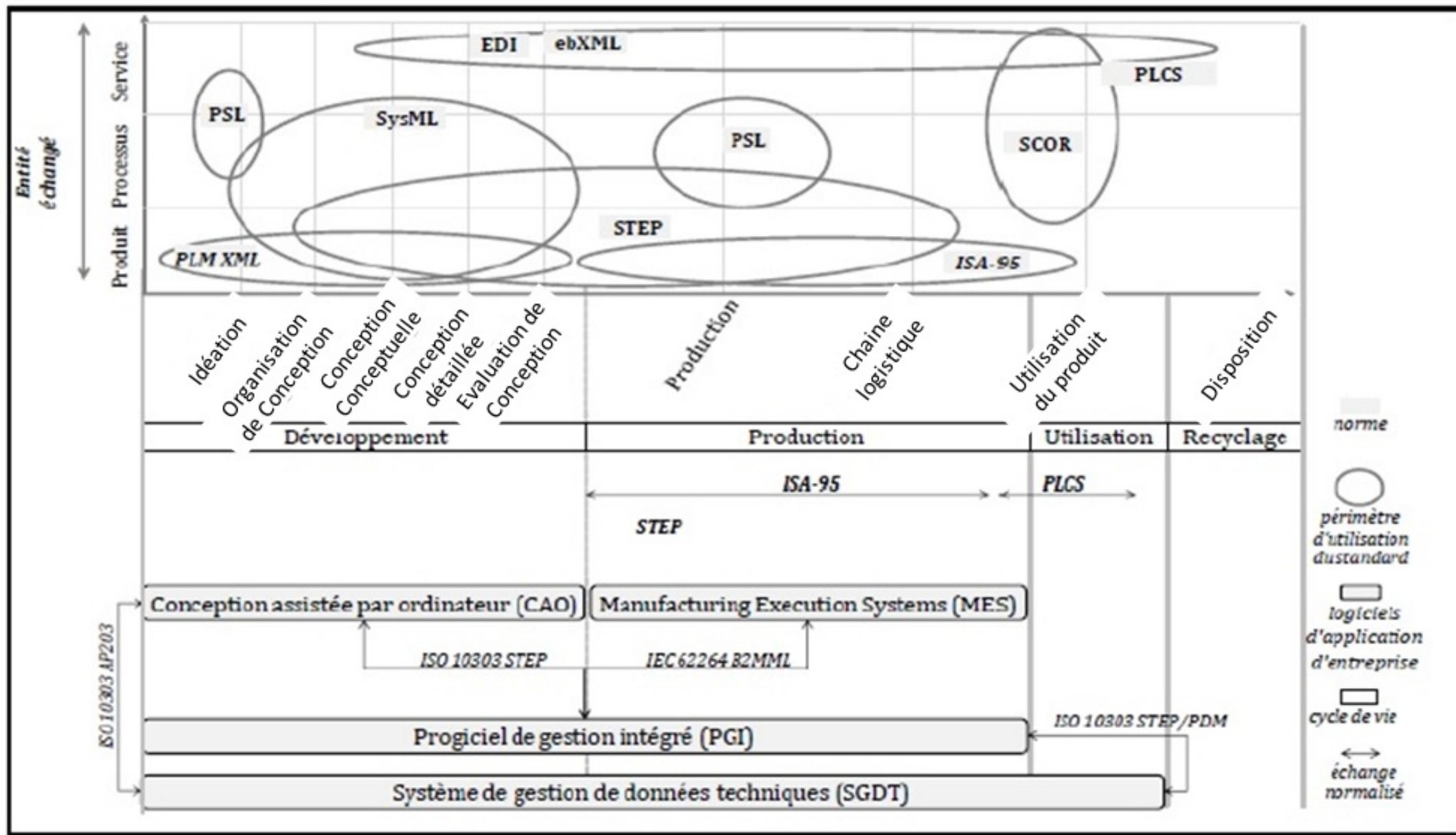


FIGURE 2.11 – Une classification des standards dans le PLM [Neg14]

Cette cartographie 2.11 montre le positionnement des standards par rapport aux différentes phases du cycle de vie, au périmètre d'utilisation du standard (produit, processus et service) et par rapport aux applications d'entreprises concernées.

Rappelons que dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à la phase de production et à l'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES durant cette phase. Remarquons que nous disposons de deux standards différents selon la cartographie que nous présentons :

- Le standard STEP : Il ne couvre pas toute la phase de production, ni toute l'étendue du système MES.
- Le standard ISA95 : Ce dernier couvre bien toute la partie production ainsi que les fonctionnalités des systèmes MES.

Cette analyse fait l'objet d'une première justification quant au choix du standard ISA95 dans notre travail. Nous détaillerons beaucoup plus ce choix ainsi que les différentes parties du standard dans le chapitre suivant.

Nous avons bien noté dans cette partie que les standards se basent aussi sur des outils et des technologies permettant de les implémenter.

Nous exploitons dans la section suivante, les méthodes et techniques utilisées au niveau de l'interopérabilité technique des systèmes.

2.5.2 Les technologies pour l'interopérabilité au niveau technique

Techniquement, il existe un large choix d'outils et de technologies [KTS13], facilitant la communication entre différents systèmes d'information. La technologie XML (eXtensible Markup Language) apporte une structuration des informations qui peuvent être échangées entre SI.

Les fichiers XML étant des standards de type 1 comme nous l'avons mentionné dans la typologie des standards (section 2.7.6).

Différentes technologies et initiatives sont fondées sur la norme XML pour la représentation et l'échange d'information.

Des technologies de type EAI (Enterprise Application Integration) [RP02], les services-web [KM03], et les ESB (Enterprise Service Bus) [Cha04] se basent sur les apports de XML dans la structuration et l'échange de données ainsi que sur la gestion des processus par les outils de workflow.

Les ESB se basent sur l'EAI (intégration d'applications) mais évitent la centralisation de la logique d'intégration en se basant sur une architecture totalement distribuée. Toutes ces technologies ont un point commun, elles se basent toutes sur

la technologie de "Middleware".

Ce dernier est un intermédiaire de communication entre plusieurs applications, généralement complexes ou distribuées sur un réseau informatique [Lop05].

Le standard ISA95, se base sur la technologie "middeleware" et le langage XML pour l'intégration des données techniques entre ERP et MES [Sch07].

Dans cette section, nous allons nous intéresser aux technologies de types XML et aux interfaces (Middelware) de communications entre les systèmes ERP et MES basés sur le langage XML.

2.5.3 Rôles des standards dans l'échange de données techniques

Considérons quatre systèmes distincts (A, B, C, D), nous souhaitons échanger des données techniques entre ces quatre systèmes. Deux cas de figure se présente selon [Pav10] :

1. **Liaison point à point (sans intermédiaire)** : Dans ce cas, il est nécessaire de développer des interfaces de conversion des informations (12 interfaces pour 4 systèmes) entre les systèmes (deux par deux) afin qu'ils puissent communiquer. Ces interfaces, pour rester opérationnelles, nécessitent une mise à jour régulière, des efforts de déploiement et de développement. Ceci engendre un coût global de possession (couts de maintenance, développement et déploiement des interfaces) très élevé.
2. **Liaison à travers les standards comme intermédiaire** : Dans ce type de liaison, nous avons introduit un standard au milieu des quatre systèmes. Le rôle de ce standard est d'interpréter l'information qui vient du système (A,B,C,D) et de convertir l'information pour quelle soit compréhensible par le destinataire. En adoptant ce type de liaison, nous avons constaté une baisse dans le nombre d'interfaces (8 interfaces pour 4 systèmes) à développer par rapport aux liaisons de type point à point. Ceci permet aussi de souligner qu'il y a un gain en temps et en argent en adoptant les standards.

La figure 2.12, montre le nombre de convertisseurs à implémenter dans le cas de liaison point à point et de liaison standardisée.

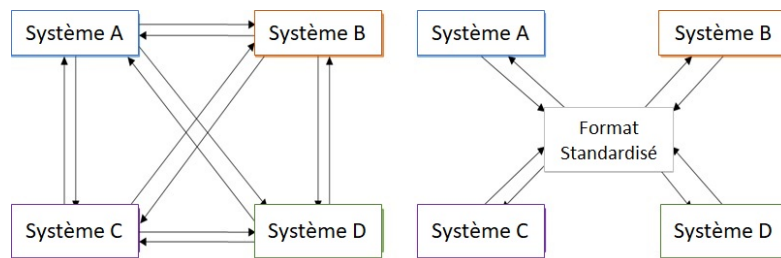


FIGURE 2.12 – La communication entre systèmes avec et sans standards

Pour renforcer le constat que nous avons établi, nous avons tracé la courbe qui montre l'évolution du nombre de convertisseurs en fonction de l'évolution du nombre de systèmes 2.13.

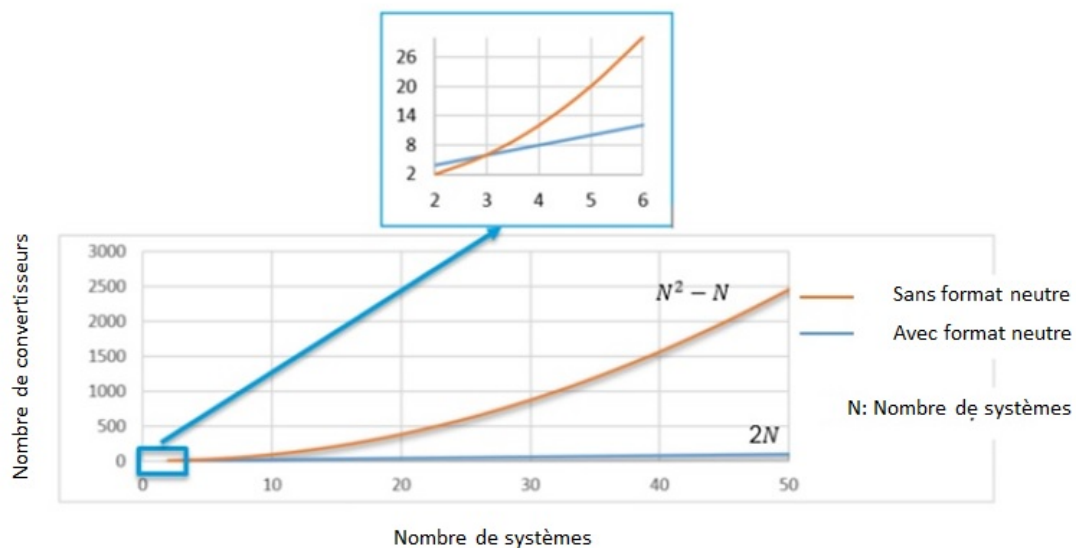


FIGURE 2.13 – Nombre de convertisseurs requis en fonction du nombre de systèmes

Nous remarquons une explosion du nombre de convertisseurs dès que le nombre de systèmes échangeant des informations dépasse quatre systèmes.

En règle générale, dans le cas où nous utilisons un standard entre les systèmes, le nombre de convertisseurs à implémenter est $2*N$ (N représente le nombre de systèmes)

Pour des connections point à point, le nombre de convertisseurs est égal à $N^2 - N$

Ce nombre devient infini dans le cas où nous manipulons un grand nombre d'applications d'entreprise.

Ceci montre que l'utilisation de standards dans le cadre d'un réseau d'entreprise collaborative est recommandée afin d'éviter la multiplication infinie des convertisseurs qui engendrent des coûts et des délais de développement considérables.

Le rôle global et principal des normes d'échange d'information est de réduire le nombre de protocoles inter-changement. Le but est de passer d'une multitude ingérable d'échanges un à un à un nombre fini de convertisseurs permettant l'échange de l'information cohérente au cours du temps [RSB⁺08].

En plus des middleware, le standard ISA95 se base sur la technologie XML pour l'échange de données.

2.5.4 Le langage XML

La structuration de données prend une place prépondérante dans le domaine des systèmes d'information. En effet, un système d'information a pour objectif premier d'organiser l'échange de données entre acteurs d'entreprise. Dans cette optique, le langage XML qui est une recommandation du W3C³ (World Wide Web Consortium), constitue un langage de structuration de données, adapté à des contextes aussi divers que les applications distribuées, la configuration de produits, les annuaires, l'édition de documents, la diffusion de contenu sur le web ou la gestion de la connaissance. C'est un langage de balises, définissant un format universel de représentation des données. Un document XML contient à la fois des données et des indications définissant les rôles que jouent les données. En analysant ces indications (balises), on peut déterminer la structure logique permettant de déterminer la structure du document.

Un document XML est composé d'un ensemble d'éléments fils contenant éventuellement un ensemble d'attributs. Un document XML peut être défini par deux normes. La première est la spécification XML, qui stipule les règles applicables par défaut à la création de tout document XML (document bien formé). La deuxième norme, qui est facultative, est créée par les auteurs du document et spécifiée dans la définition du type de document : XSD (Xml Schema Definition). Tout document XML qui respecte les règles définies dans le document XSD se définit comme étant un document XML valide. Un document XSD est lui-même un document XML, il définit :

- Des éléments qui peuvent apparaître dans le document.

3. <https://www.w3.org/XML/>

- Des attributs qui peuvent apparaître dans le document.
- Les éléments fils d'une balise.
- L'ordre des éléments fils.
- Le nombre d'éléments fils.
- Des types de données pour les éléments et attributs.

Un exemple d'un schéma XML avec son fichier de règles XSD est représenté dans la figure 2.14. La figure montre un exemple de document XML décrivant le contenu d'un planning de production. Les fils de la balise racine `<MasterProductionPlan>` sont : `<Number>` (définit le numéro du planning de production), `<ReleaseDate>` (Date de réalisation du planning). Après nous avons la balise `<Task>` (définit une tâche du planning). Elle est composée de plusieurs balises : `<TaskNumber>` (Numéro de la tâche), `<Recipe>` (la recette) et `<BeginTime>` (Date de début de la tâche). Le document XSD décrit la structure du fichier XML :

- Les éléments `<Number>` et `<TaskNumber>` sont de type entier.
- Les éléments `<ReleaseDate>` et `<BeginTime>` sont de type Date.
- L'élément `<Recipe>` de type chaîne de caractère.

Les documents DTD permettent aussi de décrire les documents XML. La description DTD est faible par rapport aux XSD : Contrairement à une XSD, une DTD permet uniquement de décrire la structure d'un document XML (liste des balises et organisation des balises), et non la typologie des données contenues (chaîne de caractère, date, entier, etc).

<pre> <MasterProductionPlan> <Number>0109201701095646</Number> <ReleaseDate>01-09-2017</ReleaseDate> <Task> <TaskNumber>00010000431</TaskNumber> <Recipe>0010+0000000000043000633</Recipe> <BeginTime>01-09-2017</BeginTime> </Task> </MasterProductionPlan> </pre>	<pre> <?xml version = "1.0" ?> <xsd:schema xmlns:xsd = "http://www.w3.org/2001/XMLSchema" targetNamespace = "monns" xmlns = "monns" > <xsd:element name = "MasterProductionPlan"> <xsd:complexType> <xsd:sequence> <xsd:element name = "Number" type = "xsd:integer"/> <xsd:element name = "ReleaseDate" type = "xsd:date"/> <xsd:element name = "TaskNumber" type = "xsd:integer"/> <xsd:element name = "Recipe" type = "xsd:string"/> <xsd:element name = "BeginTime" type = "xsd:date"/> </xsd:sequence> </xsd:complexType> </xsd:element> </xsd:schema> </pre>
<pre> <ELEMENT MasterProductionPlan (Number, ReleaseDate, Task)> <ELEMENT Number (#PCDATA)> <ELEMENT ReleaseDate (#PCDATA)> <ELEMENT Task (TaskNumber, Recipe, BeginTime)> <ELEMENT TaskNumber (#PCDATA)> <ELEMENT Recipe (#PCDATA)> <ELEMENT BeginTime (#PCDATA)> </pre>	

FIGURE 2.14 – Une représentation XML d'un planning de production avec son schéma XSD et DTD

Le standard ISA95 possède son propre langage XML qui le langage B2MML (Business To Manufacturing Markup Language). B2MML est un vocabulaire XML utilisé pour décrire les échanges d'information entre les applications ERP et MES. C'est une mise en œuvre conforme des modèles de données de la norme ISA95 pour le développement d'interfaces de communication entre les deux applications ERP et MES. Dans la figure 2.15, nous présentons le document B2MML relatif à l'exemple du planning de production en XML que nous avons cité ci-dessus.

The image shows a B2MML (Business to Machine Markup Language) representation of a production schedule. It is a structured XML-like code snippet enclosed in a blue border. The code starts with a root element <ProductionSchedule>. Inside, there is an <ID>0109201701095646</ID> element. This is followed by a <PublishedDate>01-09-2017</PublishedDate> element. Then, there is a <ProductionRequest> element, which contains three sub-elements: <ID>00010000431</ID>, <ProductProductionRuleID>0010+00000000000043000633</ProductProductionRuleID>, and <StartTime>01-09-2017</StartTime>. The <ProductionRequest> element is closed with </ProductionRequest>, and the entire structure is closed with </ProductionSchedule>. In the bottom right corner of the blue box, the text 'B2MML' is written in bold black font.

```
<ProductionSchedule>
  <ID>0109201701095646</ID>
  <PublishedDate>01-09-2017</PublishedDate>
  <ProductionRequest>
    <ID>00010000431</ID>
    <ProductProductionRuleID>0010+00000000000043000633
    </ProductProductionRuleID>
    <StartTime>01-09-2017</StartTime>
  </ProductionRequest>
</ProductionSchedule>
```

B2MML

FIGURE 2.15 – La représentation B2MML du planning de production

Le langage XSLT (pour eXtensible Stylesheet Language Transformation) est un langage de transformation de documents XML source vers des documents de type XML ou HTML (Hyper Text Markup Language) pour la création de pages web.

Le langage XSLT est aussi souvent utilisé pour réaliser des transformations simples sur des documents. Il s'agit, par exemple, de supprimer certains éléments, de remplacer un attribut par un élément ou de déplacer un élément.

Le principe de fonctionnement de XSLT est le suivant. Une feuille de style XSLT contient des règles qui décrivent des transformations. Ces règles sont appliquées à un document source XML pour obtenir un nouveau document XML résultat comme le montre la figure 2.16. Cette transformation est réalisée par un programme appelé processeur XSLT. La feuille de style est aussi appelée programme dans la mesure où il s'agit des instructions à exécuter par le processeur.

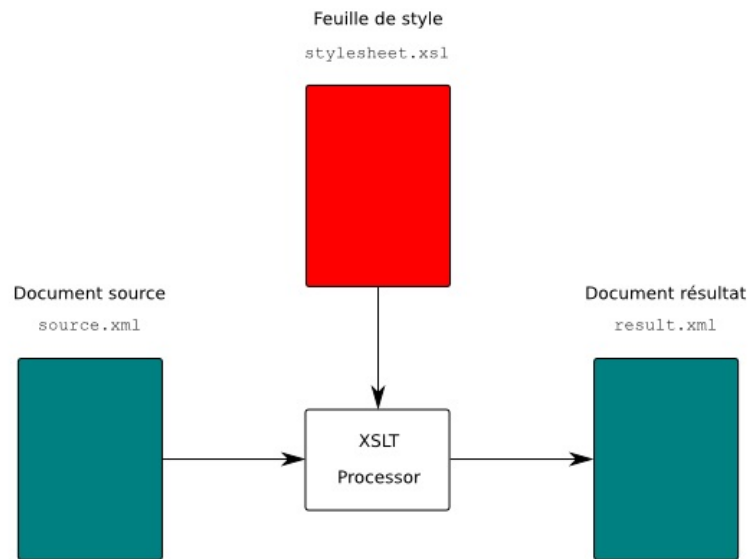


FIGURE 2.16 – Mécanisme de transformation de fichiers XML à partir des feuilles XSLT

Dans notre travail, nous nous intéressons à l'échange des informations entre les systèmes ERP et MES. Pour le niveau technique ceci se traduit par un échange de document XML. Or, chacun des deux systèmes (ERP et MES) possède son propre langage XML, en plus du langage XML (B2MML) du standard ISA95 sur lequel nous nous appuyons pour effectuer l'échange. Des transformations de fichier XML sont alors requises afin que le système cible (ERP ou MES) puisse interpréter l'information reçue. Ces transformations seront basées sur des feuilles XSLT qui définissent les règles de transformation des documents XML.

Reprenons l'exemple du document XML qui présente un planning de production (Figure 2.14) et le document B2MML (Figure 2.15) qui est une transformation du document XML. Le document XSLT qui contient les règles de cette transformation est représenté dans la 2.17.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xsl:stylesheet version="1.0" xmlns:xsl="http://www.w3.org/2000/XSL/Transform">
  <xsl:output
    method="xml"
    encoding="UTF-8"
    doctype-public "-//W3C//DTD XML 4.01//EN"
    doctype-system="http://www.w3.org/TR/XML/strict.dtd"
    indent="yes">
  </xsl:output>

  <xsl:template match="MasterProductionPlan">
    <ProductionSchedule>
      <ID> <xsl:value-of select="Number"/>
      </ID>

      <xsl:apply-templates/>
    </ProductionSchedule>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="ReleaseDate">
    <PublishedDate> <xsl:apply-templates/>
    </PublishedDate>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="Task">
    <ProductionRequest>
      <ID> <xsl:value-of select="TaskNumber"/>
      </ID>

      <xsl:apply-templates/>
    </ProductionRequest>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="Recipe">
    <ProductProductionRuleID> <xsl:apply-templates/>
    </ProductProductionRuleID>
  </xsl:template>

  <xsl:template match="BeginTime">
    <StartTime> <xsl:apply-templates/>
    </StartTime>
  </xsl:template>
</xsl:stylesheet>

```

XSLT

FIGURE 2.17 – Feuille XSLT de transformation du document de planning de production XML vers le document B2MML

Ce type de transformation de documents XML peut engendrer des erreurs ou des pertes d'informations. Ainsi des règles basées sur le langage Schematron permettent de valider les documents obtenus (lors d'une transformation).

2.5.5 Le langage Schematron

Schematron est un autre formalisme permettant de spécifier la structure d'un document XML. Il permet d'imposer des contraintes sur le document qu'il est difficile, voire impossible, d'exprimer avec les schémas. Un schéma définit la structure globale du document et un schematron la complète en ajoutant des contraintes supplémentaires que doit satisfaire le document pour être valide.

Un schematron est constitué de règles écrites qui expriment la présence ou l'absence de motifs dans le document. Schematron reste cependant très simple car le vocabulaire est restreint. L'écriture d'un schematron requiert l'utilisation de seulement quelques éléments.

Le principe de fonctionnement de schematron est le suivant :

- Un document cible est validé avec des règles schematron en utilisant une application appropriée.
- Un rapport est produit suite à cette validation ; il retrace les différentes règles de la validation.
- Le rapport contient des messages destinés à l'utilisateur. Ces messages peuvent indiquer que le document contient des erreurs ou bien confirmer que le document satisfait bien certaines contraintes.

Le résultat de cette validation par le langage schematron est le rapport indiquant si le document 'XML cible est bien conforme au document XML source ou s'il contient des erreurs.

2.6 Synthèse de l'état de l'art

L'interopérabilité des systèmes d'information dans un milieu collaboratif, est une notion primordiale. Elle permet de satisfaire les exigences des collaborateurs et d'atteindre les objectifs fixés. En outre être interopérable dans un réseau d'entreprise nécessite que l'interopérabilité soit vérifiée au niveau organisationnel, au niveau sémantique et au niveau technique. Ces trois niveaux d'interopérabilité ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et de projets européens qui ont défini des cadres d'interopérabilité comme IDEAS, AIF, INTEROP... Ces travaux ont mis en évidence la nécessité de vérifier l'interopérabilité sur tous les niveaux de l'entreprise. Nous avons montré l'importance de tous les niveaux à l'issue de l'état de l'art. La plupart des travaux de la littérature qui se sont intéressés à la problématique de l'interopérabilité des SI, se sont focalisés sur les problèmes de types sémantiques et techniques. Peu de travaux ont traité les problèmes d'interopérabilité organisationnelle. C'est en partant de ce constat, nous nous sommes positionnés sur l'étude des trois niveaux d'interopérabilité. Nous proposons une nouvelle approche d'interopérabilité basé sur la modélisation et le standard ISA95. Nous présentons une démarche descendante "Buttom-up" commençant par le niveau organisationnel, passant par le niveau sémantique et arrivant au niveau technique. La démarche proposée permet de faire le lien entre les processus métiers, les fonctions liées à ces processus, les applications qui supportent les activités des

processus et les protocoles d'échange technique de l'information.

Pour chaque niveau d'interopérabilité nous avons exposé les outils et méthodes que nous souhaitons implémenter pour faire aux problèmes d'interopérabilité.

Pour le niveau organisationnel, nous allons nous baser sur la modélisation des fonctions et des processus métiers des différents collaborateurs en se basant sur le cadre de modélisation Archi.

Pour le niveau sémantique, nous allons suivre l'approche MDA pour capitaliser la sémantique des systèmes d'informations ERP et MES. Nous allons aussi faire appel au standard ISA95 pour une sémantique commune entre ces deux systèmes.

Pour le niveau technique, nous nous basons sur l'intégration technique du standard ISA95 et l'échange de données sous format XML.

La démarche que nous proposons est une solution globale généralisable. Elle peut s'appliquer sur différents systèmes d'information et en utilisant d'autres standards comme le standard STEP par exemple.

Elle permet aux entreprises collaboratives de vérifier l'interopérabilité sur les différents niveaux. Cette démarche offre un environnement intégré et unifié pour l'interopérabilité des systèmes d'information.

2.7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une étude bibliographique approfondie sur la notion de l'interopérabilité des systèmes d'information.

Nous avons présenté les différentes caractéristiques de l'interopérabilité des systèmes d'information. L'analyse critique de l'état de l'art nous a permis de faire ressortir les problèmes qui restent en suspens et qui constituent des axes d'amélioration.

Compte tenu de l'importance et de la difficulté des travaux nécessaires pour améliorer les approches actuelles, l'expérimentation des concepts que nous proposons est limitée à l'interopérabilité des systèmes d'information impliqués en phase de fabrication, à savoir les systèmes ERP et MES.

Par ailleurs, l'état de l'art présenté dans ce chapitre concerne pour l'essentiel l'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES à différents niveaux (organisationnel, sémantique et technique).

L'analyse de ces travaux nous a permis de positionner nos contributions pour traiter la problématique d'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES.

L'approche défendue dans cette thèse, et qui sera détaillée dans le chapitre

suivant, repose sur une démarche descendante basée sur l'ingénierie des modèles et le standard ISA95.

Troisième partie

Chapitre 3

Chapitre 3

Une approche d'interopérabilité multi-niveaux basée sur l'ingénierie des modèles et les standards PLM

3.1 Introduction

Le contexte général de nos travaux de thèse concerne l'étude des problèmes d'interopérabilité des systèmes d'information ERP et MES dans un environnement collaboratif.

Nous proposons dans ce chapitre, une nouvelle approche d'interopérabilité multi-niveaux permettant d'apporter des solutions pour cette problématique.

L'approche que nous allons présenter est fondée sur le standard ISA95 dont l'objectif est de faire l'intégration des informations échangées entre les systèmes ERP et MES. Notre approche se base aussi sur les approches de modélisation de l'entreprise.

Deux contributions majeures caractérisent notre proposition :

1. La première concerne la façon d'exploiter le standard ISA95 dans la résolution des problèmes d'interopérabilité entre ERP et MES. Nous allons faire une analyse des différentes parties du standard. A travers cette analyse, nous allons montrer la manière d'intégrer le standard ISA sur les différents niveaux de collaboration. En se basant sur le cadre Archimate, nous allons fournir des modèles du standard permettant de capitaliser les informations

nécessaires à l'intégration ERP/MES.

2. La deuxième contribution porte sur la façon d'aborder les problèmes d'interopérabilité ERP/MES sur les différents niveaux (organisationnel, sémantique et technique). Pour chaque niveau, nous allons détailler la manière de procéder pour arriver à une solution.

Ces contributions vont permettre d'améliorer l'interopérabilité des systèmes ERP et MES dans un environnement collaboratif et dynamique d'entreprise.

3.2 Positionnement et contribution au projet SIP

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre du projet SIP (Standards, Interopérabilité, PLM) de l'Institut de Recherche Technologique (IRT) SystemX.

Le projet SIP englobe des partenaires industriels ainsi que des partenaires académiques (3.1).

Le premier cercle représente les investisseurs du projet. Le cercle académique contribue aux connaissances scientifiques et à l'encadrement des thèses au sein du projet. Le deuxième cercle représente les acteurs qui suivent l'avancement du projet et qui auront tendance à rejoindre le premier cercle.

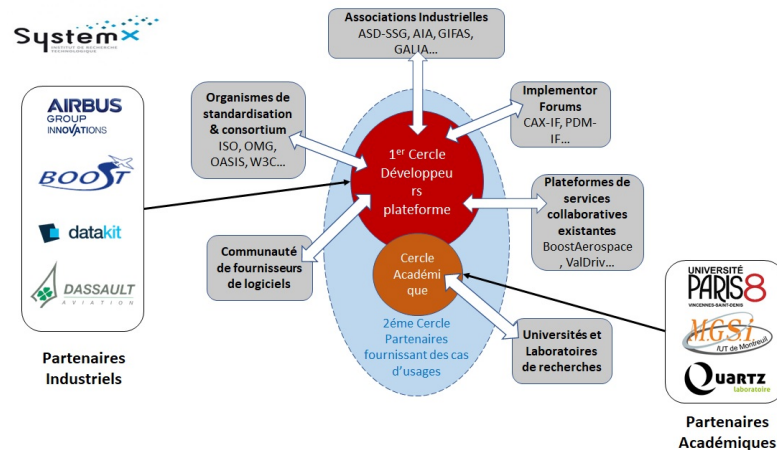


FIGURE 3.1 – Les partenaires du projet SIP

L'objectif de ce projet est de proposer une méthodologie et une plateforme "test-bed" (3.2) pour accélérer l'implémentation des standards et de l'interopérabilité PLM au sein d'un réseau d'entreprise dynamique avec un coût maîtrisé.

C'est une plateforme d'exécution combinant plusieurs portails de collaboration standardisés et supportant différents flux de travail.

Elle s'appuie sur l'utilisation d'un ESB (Enterprise Service Bus) qui fournit les services de bases (annuaire de services, cheminement d'informations, etc.) autour de laquelle des services de test des standards PLM sont déployés. La plateforme fournit également des cas d'utilisation, des scénarios de test et des jeux de données mis à disposition dans un référentiel partagé. L'infrastructure et les processus du banc d'essai SIP permettent un accès contrôlé aux services. Le dépôt peut être public ou restreint à un groupe (communauté ou une entreprise).

La méthodologie SIP permet la génération de référentiels d'implémentation de composants applicatifs basés sur des modèles représentant les différents types d'applications comme le montre la figure 3.2. Ces applications devant être inter connectées pour supporter la démarche collaborative.

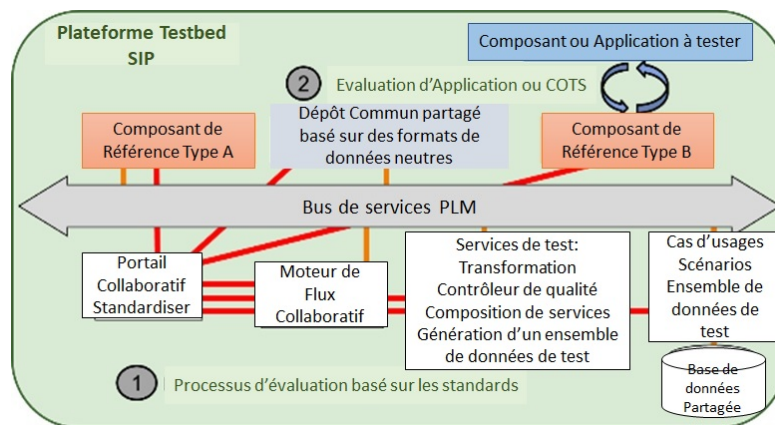


FIGURE 3.2 – Architecture de la plateforme test-bed du projet SIP

Une fois les composants de la plateforme générés, déployés et inter-connectés, la simulation de la collaboration basée sur les standards et l'évaluation des implémentations des standards sont alors possibles. La simulation et l'évaluation de l'interopérabilité permettent de répondre à la question de l'adéquation entre les besoins métiers et le périmètre des standards. Ainsi, la simulation de la collaboration des processus organisationnels permettent de valider les techniques d'échange de données dans la gestion du changement et de la configuration des processus.

La plateforme SIP étant validée, les entreprises seront à même de spécifier par la suite leurs besoins en termes d'interconnexion entre applications aux éditeurs et aux intégrateurs de solutions logiciels. De ce fait, la spécification consolidée des

interfaces applicatives leur permettra à terme de remplacer n'importe quel composant applicatif par d'autres composants avec des interfaces compatibles, leur permettant ainsi d'augmenter l'indépendance aux outils. Des scénarios de test utilisant les mêmes jeux de données pourront être exécutés afin d'évaluer et de qualifier les composants applicatifs à déployer. Comme dans toute démarche logicielle, les jeux de tests permettront de tester les composants de manière unitaire ou intégrée.

Le projet SIP ne prévoit pas d'effectuer tout ce travail, mais le fait d'inviter les partenaires et la communauté à adopter la méthodologie SIP, en l'utilisant et en y contribuant permettra d'enrichir la plateforme de test SIP avec de nouveaux composants open source. L'objectif final étant d'améliorer le niveau de maturité de l'interopérabilité PLM dans un réseau d'entreprise.

Cette méthodologie est subdivisée en plusieurs méthodes, et chacune de ces méthodes est traitée par les différents lots du projet présentés dans la figure 3.3 : conception, fabrication, etc. L'intégration de ces différents lots fait également l'objet d'un lot particulier.

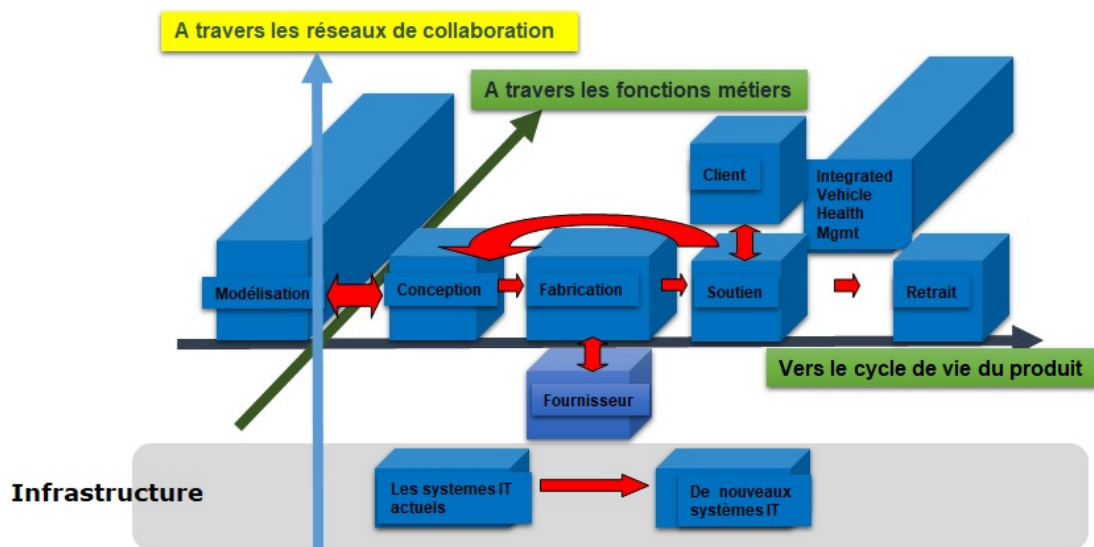


FIGURE 3.3 – Décomposition en lots du projet SIP

Cette thèse s'inscrit dans le lot qui concerne l'interopérabilité dans la phase de fabrication et dans un environnement étendu et dynamique d'entreprise comme le montre la figure 3.4

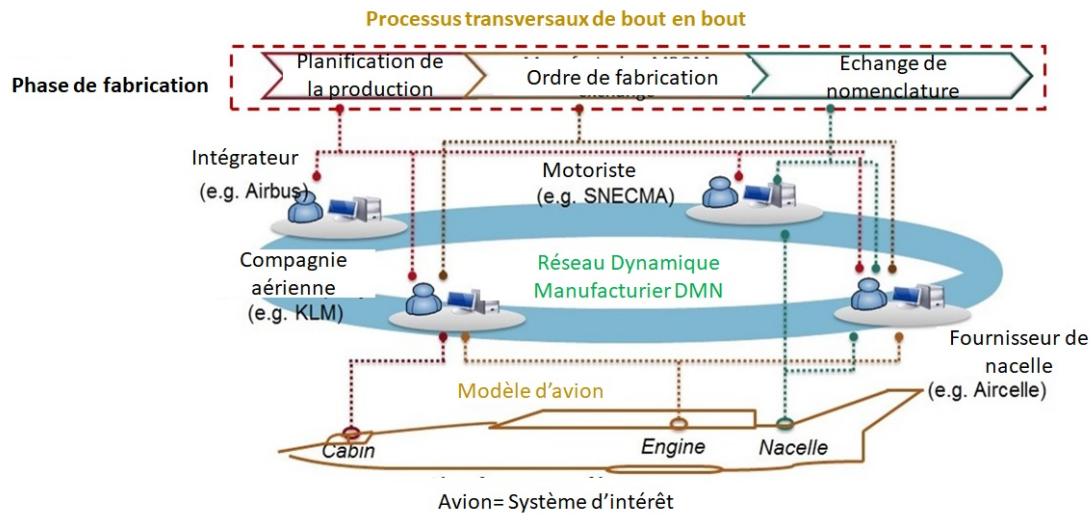


FIGURE 3.4 – Notre positionnement dans un cadre de réseau manufacturier dynamique

Notre contribution au projet SIP est de proposer une approche d'interopérabilité multi-niveaux basée sur l'ingénierie des modèles et l'exploitation du standard ISA95 [Sch07] dans le but d'illustrer la collaboration entre le niveau de la planification et celui de la fabrication.

Cette contribution s'intéresse en particulier, aux systèmes d'informations manufacturiers dans une démarche PLM et sur l'intégration des informations entre les deux systèmes : le système ERP et le système MES.

Notre travail consiste dans ce cadre à déterminer l'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES dans un milieu collaboratif à travers le standard ISA95.

Nous proposons aux entreprises collaboratives une approche d'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES sur plusieurs niveaux basée sur le standard ISA95 et la modélisation d'entreprise. Cette approche permet aux entreprises de répondre efficacement aux exigences de collaboration.

L'approche d'interopérabilité que nous proposons est basée sur le cadre de modélisation Archimate. Ce cadre présente un langage commun à tous les domaines de l'entreprise. Nous avons justifié le choix de ce cadre dans le chapitre précédent (section 2.3.4). Nous allons par la suite l'introduire et expliquer son fonctionnement.

3.3 L'approche proposée

3.3.1 La modélisation Archimate

Le cadre ARCHIMATE est un standard pour la modélisation d'Architecture d'Entreprise. Il permet de modéliser les architectures spécifiques à chaque domaine d'une entreprise (métier, applicatif et données techniques) ainsi que leurs interdépendances et leurs relations.

L'outil de modélisation et de conception Archi a été développé selon le standard Archimate. Il répond aux besoins d'un grand nombre d'architectes d'entreprise qui l'utilisent.

L'outil Archi propose un panel de symboles qui permettent aux architectes de modéliser et représenter l'architecture de leurs entreprises suivant le cadre ARCHIMATE sur trois couches différentes comme le montre la figure 3.5.

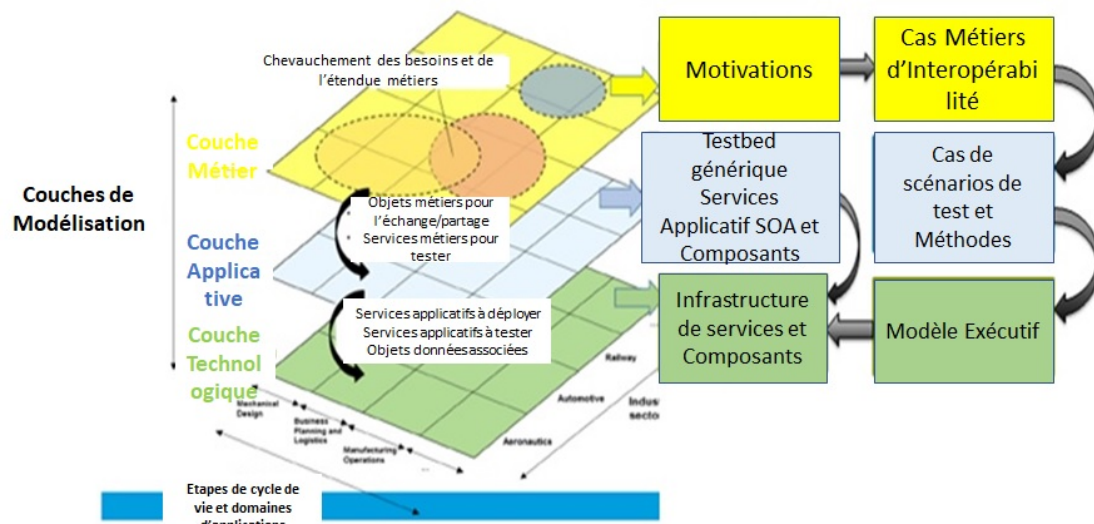


FIGURE 3.5 – Les différentes couches de Archimate

Archimate divise les architectures d'entreprise en trois couches : la couche métier, la couche applicative et la couche technologique. Les trois couches du cadre Archimate sont représentées chacune par une couleur. Ces couleurs sont standardisées par le langage Archimate, elles ont toujours la même signification comme suit :

1. La couche métier "Business" : représentée **en jaune**. Cette couche contient les éléments nécessaires à la représentation des processus métiers collabo-

ratifs des différentes organisations. Les concepts de la couche métier modélisent les produits qu’une organisation propose à ses clients, les fonctions et les processus métiers qui permettent de fournir ces produits, ainsi que les rôles et les départements impliqués dans la mise en œuvre de ces processus et ces fonctions.

2. La couche applicative "Applicative" : représentée **en bleue**. Elle vient en dessous de la couche métier, et elle permet de représenter les applications métiers pour l’exécution des activités des processus collaboratifs des entreprises et la façon dont ils communiquent ensemble. La couche applicative décrit les systèmes et leurs fonctions, de même que les données qui sont créées, utilisées, et mémorisées, par l’organisation.
3. La couche technologique "Technological" : représentée **en vert**. Elle vient en dessous de la couche applicative, elle permet de représenter les technologies de communication qui lient les applications de la couche applicative et qui sont utilisées dans l’échange technique des informations entre les différents partenaires. Les concepts de la couche technologique modélisent les ressources matérielles, les réseaux, et les logiciels qui sont utilisés par l’organisation pour exécuter les processus automatisés.

La force d’Archimate est sa capacité à modéliser les relations entre les éléments situés dans les différentes couches. Archimate permet donc de décrire toutes les relations existantes entre tous les domaines d’une entreprise.

La description des couches décrites par Archimate nous rappelle les différents niveaux d’interopérabilité (processus métiers, applications et données) qui correspondent aux types d’interopérabilité (organisationnelles, sémantiques et techniques) (voir chapitre 2, section 2.2). Ainsi cette comparaison nous permet de faire correspondre les différentes couches d’Archimate et les niveaux d’interopérabilité comme le montre le tableau 3.1 suivant :

Niveaux Couches Archimate	Interopérabilité organisationnelle	Interopérabilité sémantique	Interopérabilité technique
Couche métier	X		
Couche applicative		X	
Couche technologique			X

TABLE 3.1 – Correspondances entre les couches d’Archimate et les niveaux d’interopérabilité

En se basant sur cette correspondance, nous allons présenter dans la section suivante le contenu du cadre d’interopérabilité que nous proposons.

3.3.2 L’approche d’interopérabilité proposée

L’approche que nous proposons permet de traiter les problèmes d’interopérabilité sur les différents niveaux en introduisant le standard ISA95 sur chaque niveau.

Il s’agit d’une démarche descendante ”Top-down” qui a été introduite dans [MEMF⁺16]. Cette démarche traitent les trois niveaux d’interopérabilité comme le montre la figure 3.6.

Nous commençons par le niveau organisationnel, en passant par le niveau sémantique et en allant vers le niveau technique.

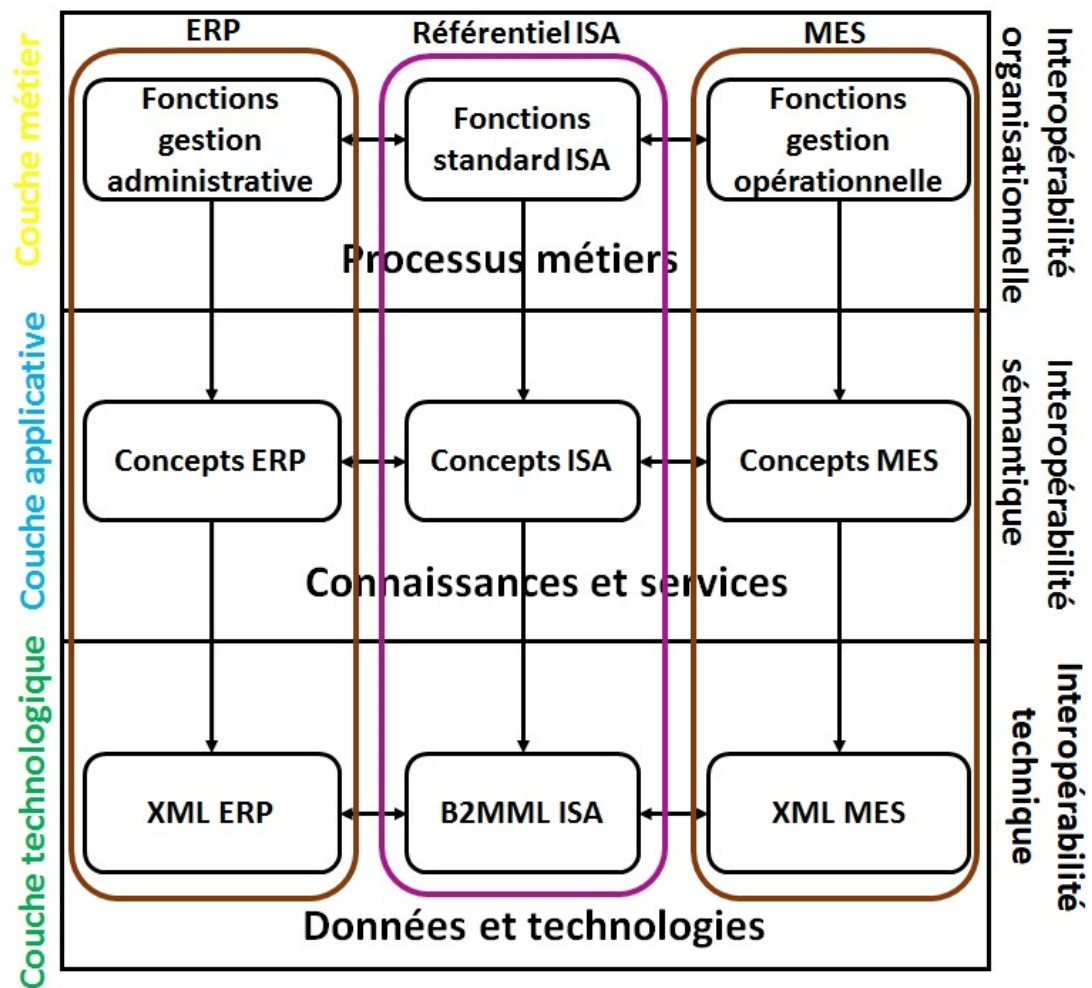


FIGURE 3.6 – L’approche d’interopérabilité proposée [MEMF⁺16]

1. Au niveau de l’interopérabilité organisationnelle, il s’agit d’avoir une représentation du processus collaboratif qui soit compréhensible par tous les partenaires de la collaboration. Ceci en se basant sur l’outil de modélisation Archimate et sur le standard ISA95.
2. Au niveau de l’interopérabilité sémantique, il s’agit d’utiliser une approche dirigée par les modèles. Nous nous intéressons aux concepts des systèmes ERP et MES utilisées sous forme de méta-modèles. Ces derniers seront comparés aux modèles définis par le standard ISA.
3. L’interopérabilité technique est réalisée par le biais d’un convertisseur. Son rôle est de convertir les données extraites du système ERP sous forme XML

au format B2MML. Un second convertisseur permettra de convertir les données B2MML standardisées sous format XML du MES. Cette étape est basée sur des transformations de type XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformation).

La mise à disposition de cette approche se fait sur deux grandes parties.

Dans la première partie, il s'agit d'explorer le standard ISA95 pour le comprendre et savoir l'intégrer sur les différents niveaux d'interopérabilité.

Dans la deuxième partie, il s'agit de définir la méthodologie de résolution des problèmes d'interopérabilité sur les différents niveaux en se basant sur le standard ISA95.

3.4 Présentation du standard ISA95

3.4.1 Le choix et le contenu du standard ISA95

Le standard ISA95 a été défini selon [HB14] comme la norme internationale pour l'intégration des systèmes d'entreprise et de contrôle. En effet [PRE⁺13] présente le standard ISA95 comme un modèle effectif pour une intégration "Business/Manufacturing", qui sert à orchestrer des échanges d'informations entre les systèmes ERP et MES considéré comme un processus assez complexe.

Le standard ISA comprend cinq parties distinctes, à savoir :

1. La partie 1 présente les modèles et les terminologies pour analyser et standardiser l'échange d'informations entre l'administration (niveau 4) et l'atelier (niveau 3).
2. La partie 2 présente un modèle de données pour standardiser la structure et le contenu des flux informationnels définis dans la partie 1 du standard.
3. La partie 3 définit la fabrication sous forme de quatre groupes d'activité : la production, la maintenance, la qualité et l'inventaire.
4. La partie 4 standardise les flux informationnels entre les quatre activités définies dans la partie 3.
5. La partie 5 standardise les messages échangés entre le système ERP et le système MES et présente un modèle transactionnel permettant la circulation des informations entre ces deux systèmes.

A partir de la documentation du standard ISA 95, nous allons analyser et présenter les différentes parties afin de comprendre leur fonctionnement et la façon de les utiliser dans notre travail.

Partie 1 : Modèles et terminologies

Cette partie du standard fournit des modèles standards et la terminologie pour décrire les interfaces entre les systèmes de gestion d'une entreprise et les activités de fabrication et de contrôle.

Ces modèles peuvent être appliqués quel que soit le degré d'automatisation :

Les modèles et la terminologie présentés dans cette partie :

- Ils permettent de mettre l'accent sur les bonnes pratiques d'intégration des systèmes de contrôle avec les systèmes d'entreprise durant la phase de fabrication.
- Ils peuvent être utilisés pour améliorer les capacités d'intégration existante des opérations de fabrication et des systèmes de contrôle avec les systèmes d'entreprise.

ISA-95 a défini un modèle de hiérarchie fonctionnelle qui distingue deux domaines dans une entreprise industrielle. Le domaine relatif à l'administration de l'entreprise (Enterprise Domain) qui fait référence au système ERP. Il est affecté au niveau 4. Le deuxième domaine relatif au pilotage des ateliers de production, à savoir le système MES (niveau 3) et les systèmes de contrôle de la production (niveau 2 et inférieur). Cette architecture est représentée, d'une façon simplifiée dans la figure 3.7.

Les niveaux 4 et 3 sont respectivement représentés par les systèmes ERP et MES. Le niveau 4 représente les fonctions de gestion de l'entreprise, la planification et la logistique. En ce qui concerne le niveau 3 c'est le niveau qui prend en charge la gestion des opérations manufacturières. Ces niveaux sont représentées dans la hiérarchie fonctionnelle de l'entreprise décrite par le standard ISA95 (3.7).

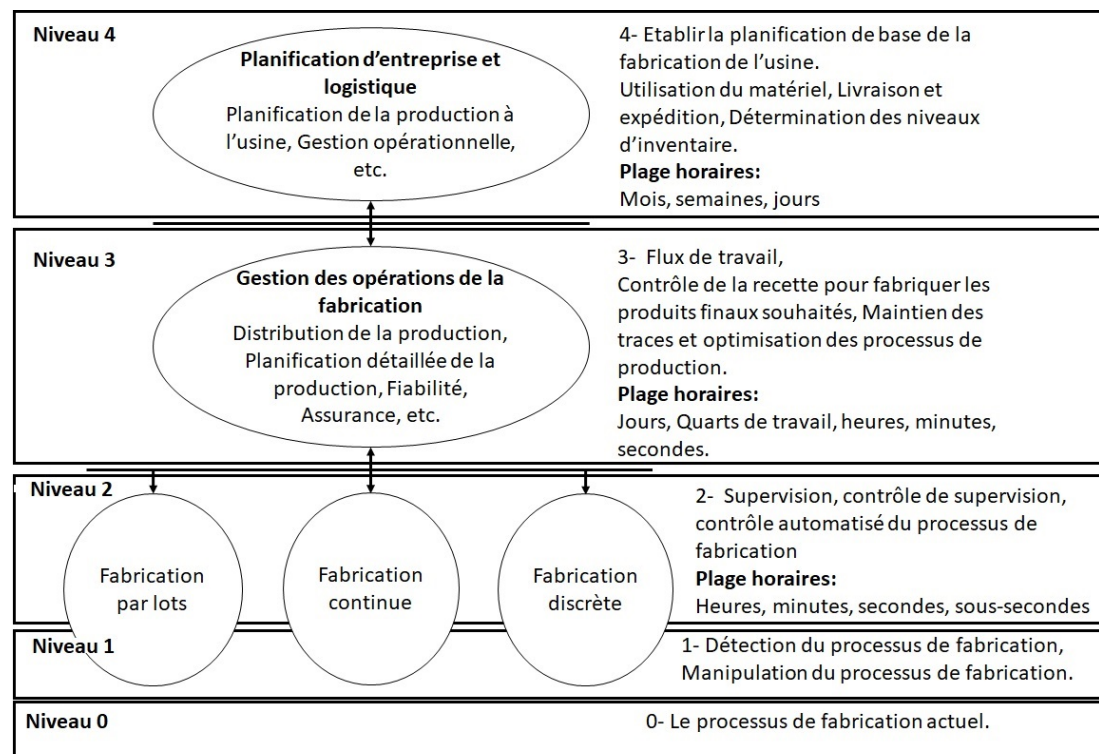


FIGURE 3.7 – Modèle de la hiérarchie fonctionnelle selon le standard ISA95 [ANS10]

Dans sa première partie, le standard définit les fonctions prises en charge par les niveaux d'administration de l'entreprise, les niveaux de contrôle de production et les flux des informations qui sont représentés par le contenu des interfaces d'échange. Le contenu de chaque interface est représenté par des modèles d'objets sous forme de diagramme UML. Ces modèles font l'objet de la deuxième partie du standard.

Partie 2 : Les modèles d'objets UML

Neuf modèles d'objets avec leurs attributs correspondants sont définis dans cette partie (voir annexe II), il s'agit des modèles pour :

1. Le personnel
2. Les équipements
3. Les actifs physiques
4. Le matériel

5. Les segments de processus
6. Les définitions des opérations
7. La planification des opérations
8. La performance des opérations
9. La capacité des opérations

Pour chaque modèle d'objets, des attributs sont décrits dans des tableaux avec leurs descriptions et des exemples correspondants. Ceci va permettre aux utilisateurs de spécifier leurs attributs et les propriétés de leurs informations.

En plus des modèles d'objets, un deuxième concept est défini par la norme ISA fournissant des modèles de références sous forme de modèles d'activités qui peuvent être adaptés et personnalisés selon les besoins de l'entreprise. Ces modèles font l'objet de la partie 3 du standard.

Partie 3 : Les modèles d'activités des opérations de fabrication

Dans cette partie, le standard se focalise sur les activités de fabrication : Production, Maintenance, Qualité et Inventaire.

Dans la Figure 3.8, le standard donne un modèle générique des quatre activités : Pour chaque modèle d'activités nous précisons les points suivants :

1. La gestion des ressources (Resource Management) : RM
2. La gestion des définitions (Definition Management) : DM
3. Le lancement des opérations (Dispatching) : D
4. Le suivi des opérations (Tracking) : T
5. La collecte des données (Data Collection) : DC
6. L'analyse des opérations (Analysis) : A
7. La planification détaillée (Detailed Scheduling) : DS
8. La gestion de l'exécution (Execution Management) : EM

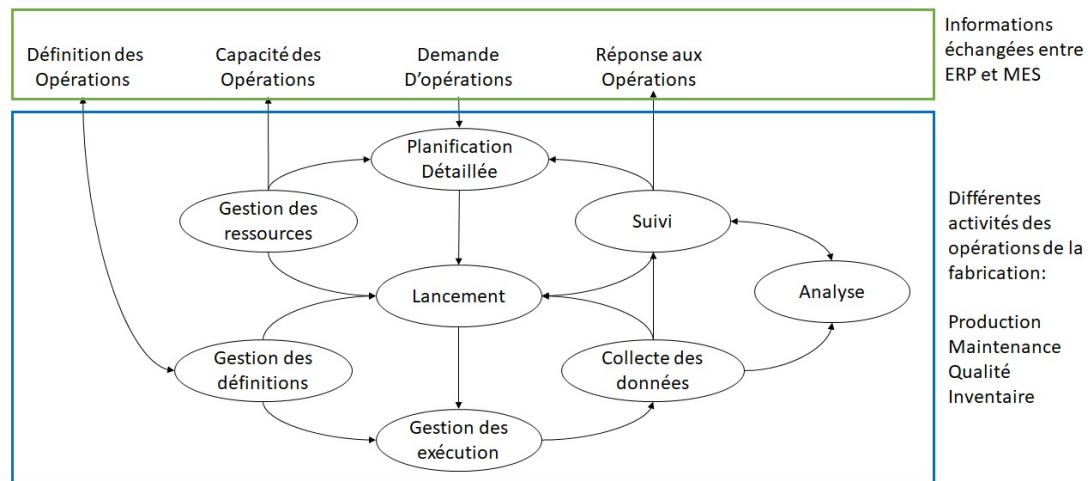


FIGURE 3.8 – Le modèle générique des activités des opérations de fabrication [ANS05]

Ces modèles sont décrits en détail dans l'annexe III.

La standardisation des modèles de données du standard sous forme d'implémentation XML a fait l'objet de la partie 5 qui explique la manière concrète d'échange d'information.

Partie 5 : Transactions et protocole d'échange B2M (Business To Manufacturing)

Pour implémenter les modèles d'objets UML présentés dans la partie 2, le standard ISA95 a défini des fichiers B2MML de type XML pour l'échange de données B2M (Business to Manufacturing). Ces fichiers B2MML traduisent les informations contenues dans les modèles de données de l'ISA95. Ils décrivent alors les différents attributs de chaque modèle.

En se basant sur l'échange de paroles simples entre deux individus, le standard ISA95 a défini son modèle transactionnel.

Une phrase d'un point de vue linguistique est composée impérativement d'un nom et d'un verbe, ainsi le standard ISA95 conserve cette logique et spécifie pour les messages échangés des noms et des verbes. Deux parties composent un message ISA : Une fenêtre "Data Area" avec un verbe (Verb Area) et un nom (Noun Area). Une deuxième fenêtre " Application Identification Area " contenant l'information sur la destination du message. (Figure 3.9)

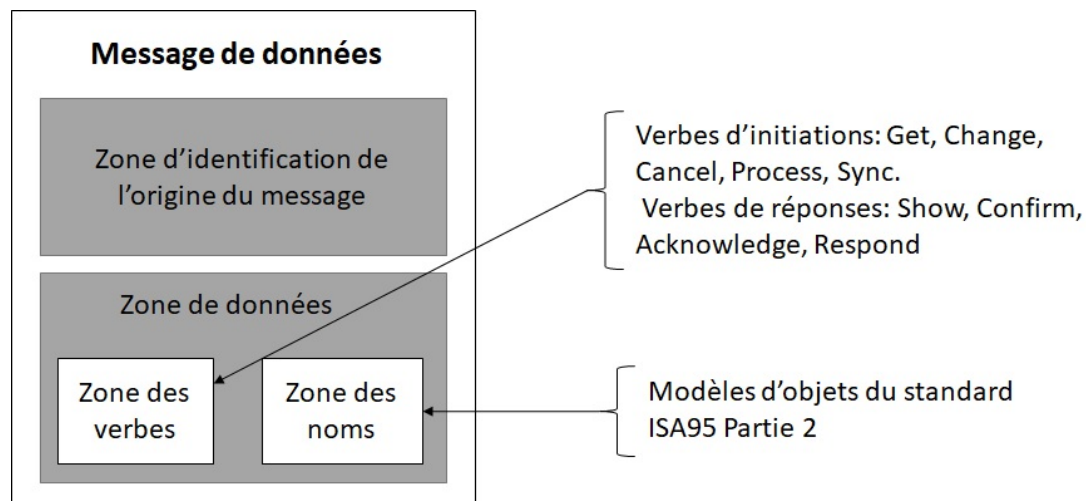


FIGURE 3.9 – Le modèle transactionnel défini par le standard ISA95 [ANS13]

L'échange d'information selon la norme ISA suit trois types de modèles :

1. Un modèle " PULL " où un système demande une information d'un autre système. Comme exemple de verbes qui seront utilisés selon ce modèle, on cite les verbes GET et SHOW.
2. Un modèle " PUSH " où un système envoie de son propre gré une information à un autre système, utilisant par exemple les verbes comme PROCESS, CHANGE ou CANCEL.
3. Le troisième modèle " PUBLISH " où un système envoie une demande d'information à un ou plusieurs systèmes. L'information envoyée est dite publiée (Published). Le destinataire peut se servir ou non de l'information reçue. Les verbes qui peuvent être utilisés sont de type SYNC ADD, SYNC CHANGE.

Les annexes IV et V présentent des exemples d'un fichier B2MML et des verbes qui peuvent être utilisés ainsi que des exemples de transactions selon les modèles Push et Publish.

3.4.2 Proposition de la modélisation du standard ISA95

La tâche de lecture et de compréhension du standard ISA s'est avérée assez consistante. Le contenu du standard est complexe et volumineux. Du temps et des efforts considérables ont été mobilisés pour une bonne maîtrise et une bonne interprétation des fonctionnalités du standard.

Afin de capitaliser toutes les informations que nous avons retenues de cette étude, nous proposons de procéder à une modélisation des différentes parties étudiées du standard ISA95 en utilisant le langage Archimate.

Faire des modèles du standard permet de remplacer la documentation texte, de construire une base de connaissance sur le standard ISA. Cette base de connaissance sera mise à disposition des utilisateurs souhaitant implémenter le standard.

A partir des modèles documentés du standard, les utilisateurs économiseront le temps nécessaire à la lecture et la compréhension du standard. Ils seront capables de les interpréter et les implémenter [MVK⁺15].

En effet, l'utilisation de modèles à la place de la documentation texte du standard, permet de constituer une base de connaissance du standard.

Ces modèles représentent des gabarits (templates) réutilisables dans plusieurs scénarios de collaboration entre ERP et MES [MVK⁺15].

Un standard peut spécifier les processus métiers, ainsi que les modèles des données décrivant les produits et les processus à implémenter. La modélisation du standard avec le langage Archimate, nous permet d'avoir une vue multi-niveaux avec la modélisation des processus (couche métier), les modèles de données (couche applicative) et la spécification des solutions logicielles (couche technologique).

Cette modélisation nous permettra de voir le lien entre les différentes couches ainsi que le flux d'information entre chacune des couches.

Avec l'outil de modélisation Archimate, nous aurons une vue multi-couches (métier, applicatif et technologique) du standard ISA. Nous aurons recours à :

1. La modélisation des fonctions du standard ISA95 (partie 1 du standard) ainsi que les activités de la fabrication (partie 3 du standard) et des flux informationnels au niveau de la couche métier.
2. La modélisation des modèles de données UML (partie 2 de la norme) au niveau de la couche applicative.
3. La modélisation du protocole d'échange de données entre ERP et MES (partie 5 du standard).

Des modèles seront extraits directement du standard ISA95, d'autres modèles seront élaborés suivant notre interprétation de la documentation du standard.

Nous commençons par la représentation du modèle fonctionnel dans la figure 3.10. Ce modèle a été extrait du standard ISA95. Il présente les différentes fonctions du standard ISA et qui sont couvertes par les systèmes ERP et MES. Les flux fonctionnels entre les systèmes ERP et MES sont aussi présents dans ce modèle.

La figure 3.11 représente les flux de données standardisés qui transitent entre les différentes fonctions. Ce modèle est une interprétation de la documentation de la partie 1 du standard. Selon la documentation de ISA95, quatre catégories d'information sont échangées entre les systèmes ERP et MES :

1. Des informations de planification "Schedule Information"
2. Des informations de définition de produit "Product definition information"
3. Des informations sur la performance "Performance Information"
4. Des informations sur la capacité "Product capability information"

Chaque catégorie d'information est divisée en sous-catégories de flux de données correspondant aux informations à la fois générées et consommées par les activités (du niveau 3 (Production, Maintenance, Qualité et Inventaire)).

Par exemple la catégorie des informations de la planification concernant le produit se divise en sous-fonctions : des produits pour la fabrication (Product definition for manufacturing), de maintenance (maintenance definition), des tests pour la qualité (quality test definition) et d'inventaire (inventory definition) selon le standard ISA.

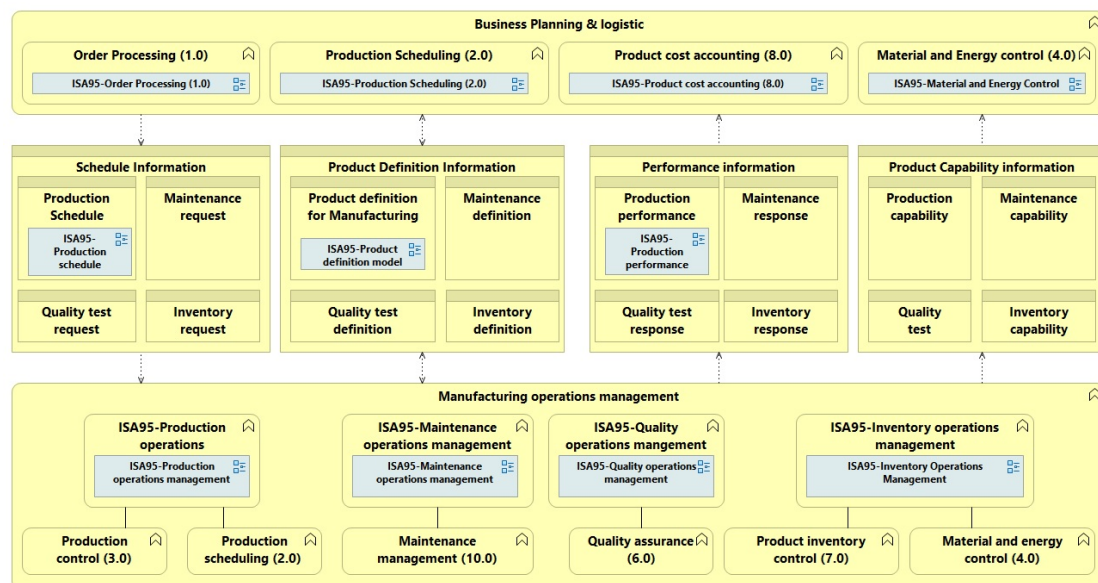


FIGURE 3.11 – Modèle Archimate générique des échanges entre ERP/MES selon ISA95

Le même principe du standard s'applique pour les fonctions de planification de la fabrication, des performances et des capacités de fabrication.(figure 3.11).

Chacune de ces sous-fonctions (par exemple "product definition") est aussi détaillée dans la couche applicative où sont représentés les modèles d'objets UML définis par le standard ISA95 dans la partie 2. La figure 3.12 montre le modèle de la définition du produit à fabriquer selon le standard ISA, ce modèle définit les informations échangées entre la nomenclature de ressources (bill of ressources), la nomenclature (bill of material) et les règles de définition du produit.

Lors de la représentation des modèles de données du standard, nous avons remarqué que le langage Archimate ne permet pas de représenter les relations réflexives existantes dans des classes d'objets UML.

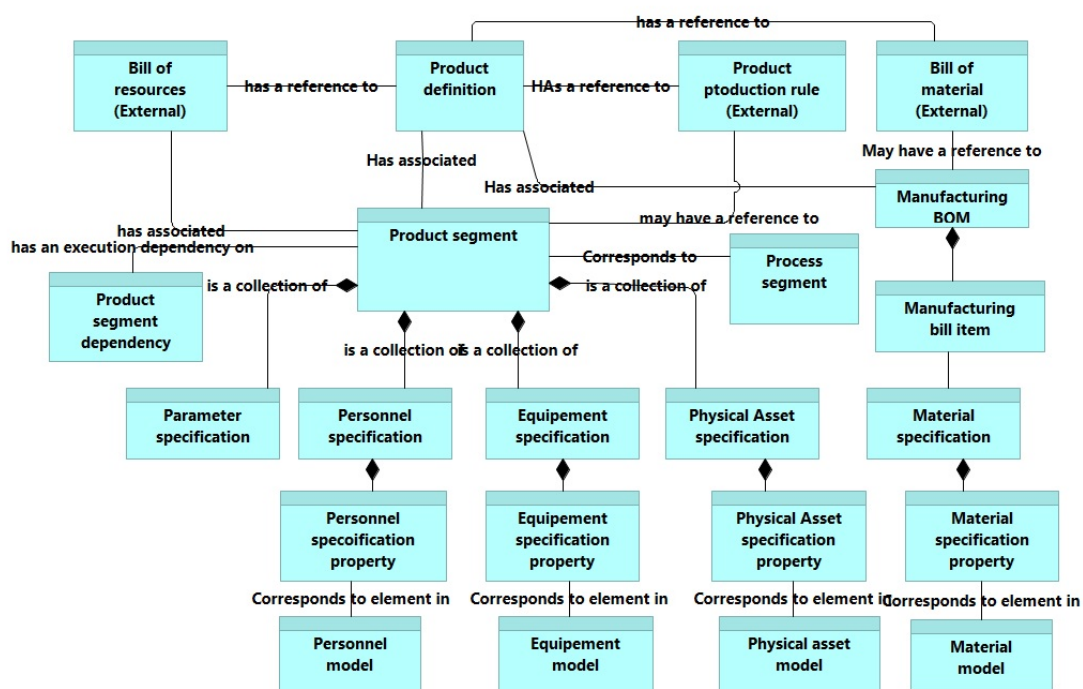


FIGURE 3.12 – Le modèle de données du "Product Definition" de ISA95

Ces modèles d'objets représentent les données à échanger entre les deux systèmes ERP et MES. Cet échange se fait selon le modèle ISA représenté dans la figure 3.13.

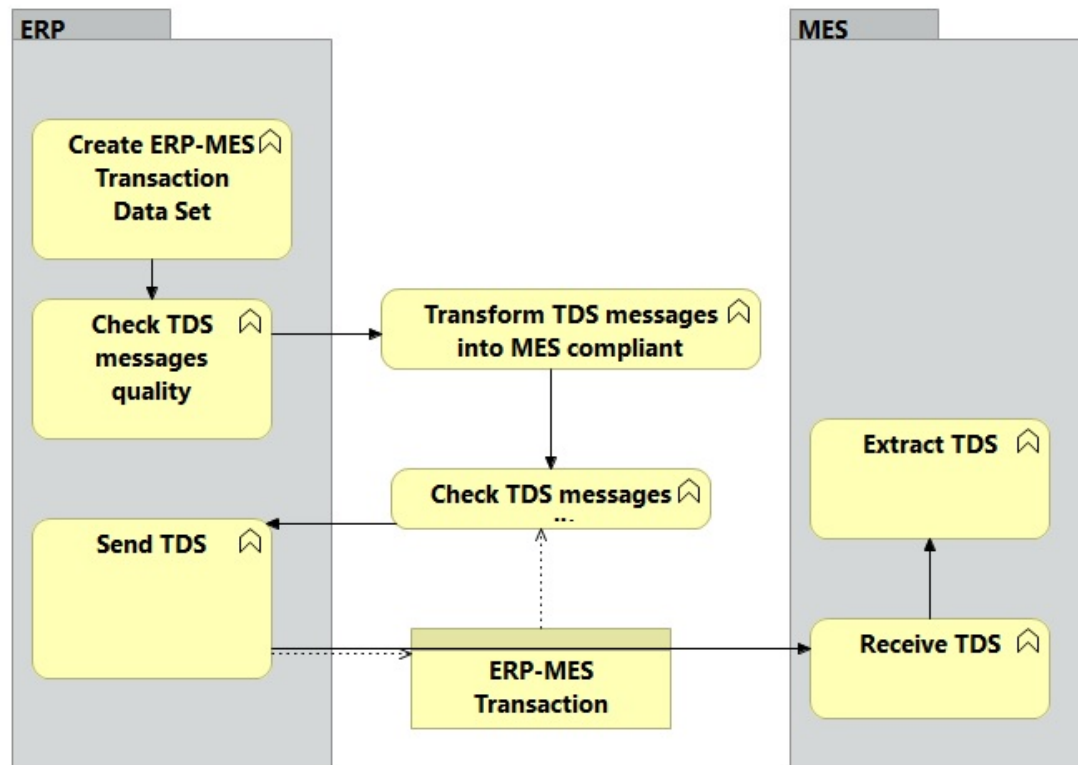


FIGURE 3.13 – Schéma d'échange standardisé entre ERP et MES

L'échange informationnel entre les systèmes ERP et MES selon le standard ISA suit les étapes suivantes :

- Création de la transaction qui contient les données à échanger au sein de l'ERP.
- Vérification de la qualité des messages.
- Transformation en messages compréhensibles par le système MES.
- Deuxième vérification du contenu des messages après transformation.
- Envoi du message du système ERP vers le système MES (ce que nous appelons transaction ERP-MES).
- Réception de la transaction par le système MES.
- Extraction du contenu de la transaction.

Par le mot transaction, nous faisons référence ici à des messages de type ISA95 qui peuvent contenir des informations sur le personnel ou sur le matériel utilisé durant la fabrication. Les différentes sortes de transaction sont représentées dans la figure 3.14, où la manière d'implémentation du protocole d'échange du standard

ISA95 est représenté (partie 5 du standard).

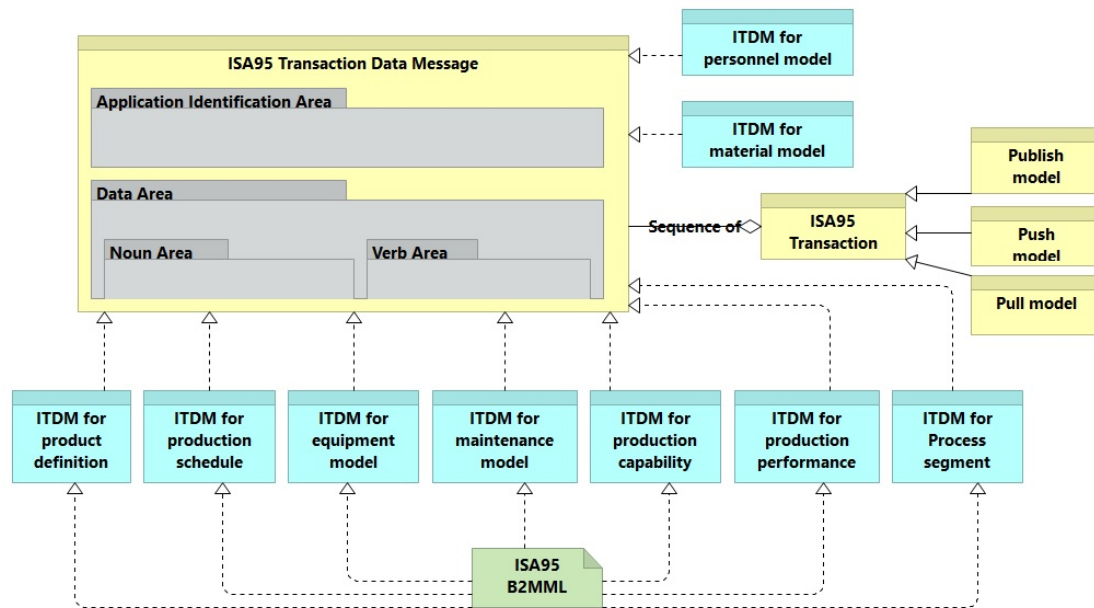


FIGURE 3.14 – Schéma du processus transactionnel du standard ISA

Au sein d'une transaction ISA95 nous spécifions l'origine du message et sa destination dans la zone d'identification de l'origine du message. Une zone qui contient les verbes pour faire une demande (get, change, cancel...) ou les verbes pour répondre à une demande (show, confirm, respond...). (L'annexe IV contient plus de verbes pour des transactions ISA95)

En ce qui concerne la zone des noms nous retrouverons les informations (ITDM : ISA Transaction Data Message) à échanger contenues dans les modèles de données définis dans la partie 2 du standard. Ces informations seront implémentées dans le format B2MML de ISA.

Chaque transaction sera accompagnée d'un type de modèle (pull, push, publish) que nous avons défini dans la section 3.5.1.

Dans la figure 3.15, nous présentons un exemple de transaction entre les systèmes ERP et MES.

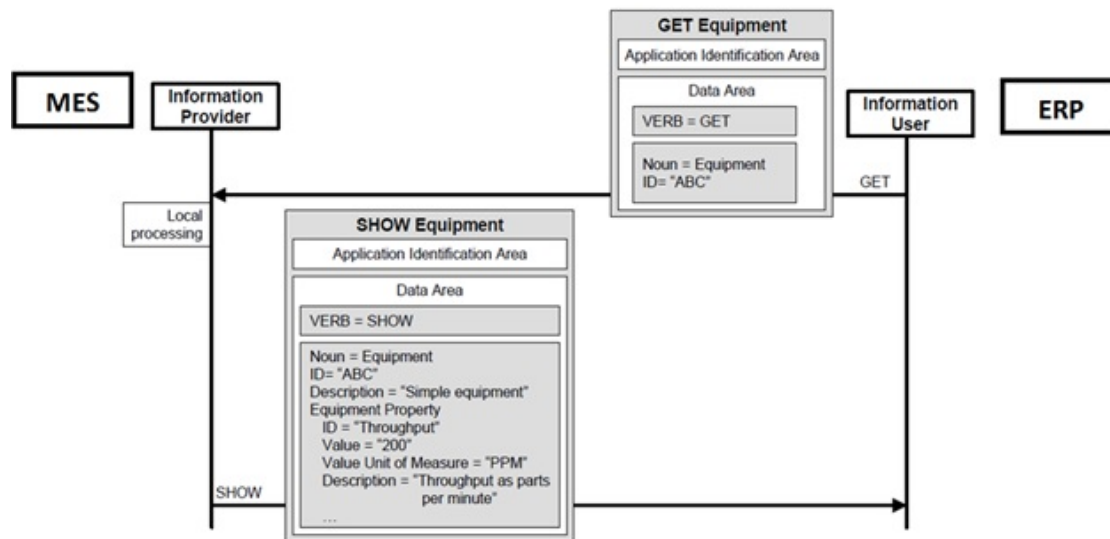


FIGURE 3.15 – Exemple de transaction suivant le modèle PULL du standard ISA95 [ANS13]

Le système ERP envoie une demande d'informations sur un équipement "ABC" au système MES en utilisant le verbe "GET".

Le système MES répond au système ERP en lui fournissant les propriétés de l'équipement "ABC" en utilisant le verbe "SHOW".

3.4.3 Synthèse sur le standard ISA95

Nous avons présenté les parties du standard ISA95, et leurs contenus.

Nous avons par la suite présenté les modèles ISA95 qui vont nous permettre de capitaliser et exploiter les informations du standard ISA95 (les différentes fonctions supportées par les systèmes ERP et MES, les flux d'information échangées, le modèle transactionnel d'échange...).

Ces modèles nous permettront d'implémenter le standard ISA95 que nous allons utiliser pour la construction de notre approche d'interopérabilité ERP/MES.

Les modèles ISA95 sont représentés en utilisant les différentes couches du cadre Archimate.

La couche métier représente les fonctions et les activités décrites par le standard ISA95 (les fonctions de la fabrication et les activités correspondantes).

La couche applicative représente les modèles de données relatives aux activités de la couche métier. Ces modèles contiennent les flux informationnels échangés

entre les systèmes ERP et MES.

Et la couche technologique représente les implémentations B2MML des modèles de données représentés dans la couche applicative.

Afin de mettre en place notre approche d'interopérabilité entre les systèmes ERP et MES, nous nous appuyons sur le standard ISA95 et d'autres méthodes et outils que nous détaillons ci-après.

3.5 Présentation de l'approche globale

Le but de notre approche est de proposer des solutions d'interopérabilité des systèmes d'information permettant ainsi aux différents partenaires de collaborer efficacement.

Afin de réaliser l'interopérabilité entre ces différents systèmes, nous nous appuyons sur le standard ISA95. Dans la section précédente, nous avons détaillé le contenu de ce standard et nous avons présenté les modèles que nous allons exploiter dans la mise en place de notre approche.

Les modèles du standard ISA95 sont réalisés en utilisant les différentes couches du cadre de modélisation Archimate. Nous y représentons aussi les modèles des systèmes d'informations des différents partenaires qui collaborent.

Les modèles des systèmes d'information seront représentés selon le standard ISA95, ce qui permettra d'avoir une vue unifiée des fonctionnalités des systèmes d'information.

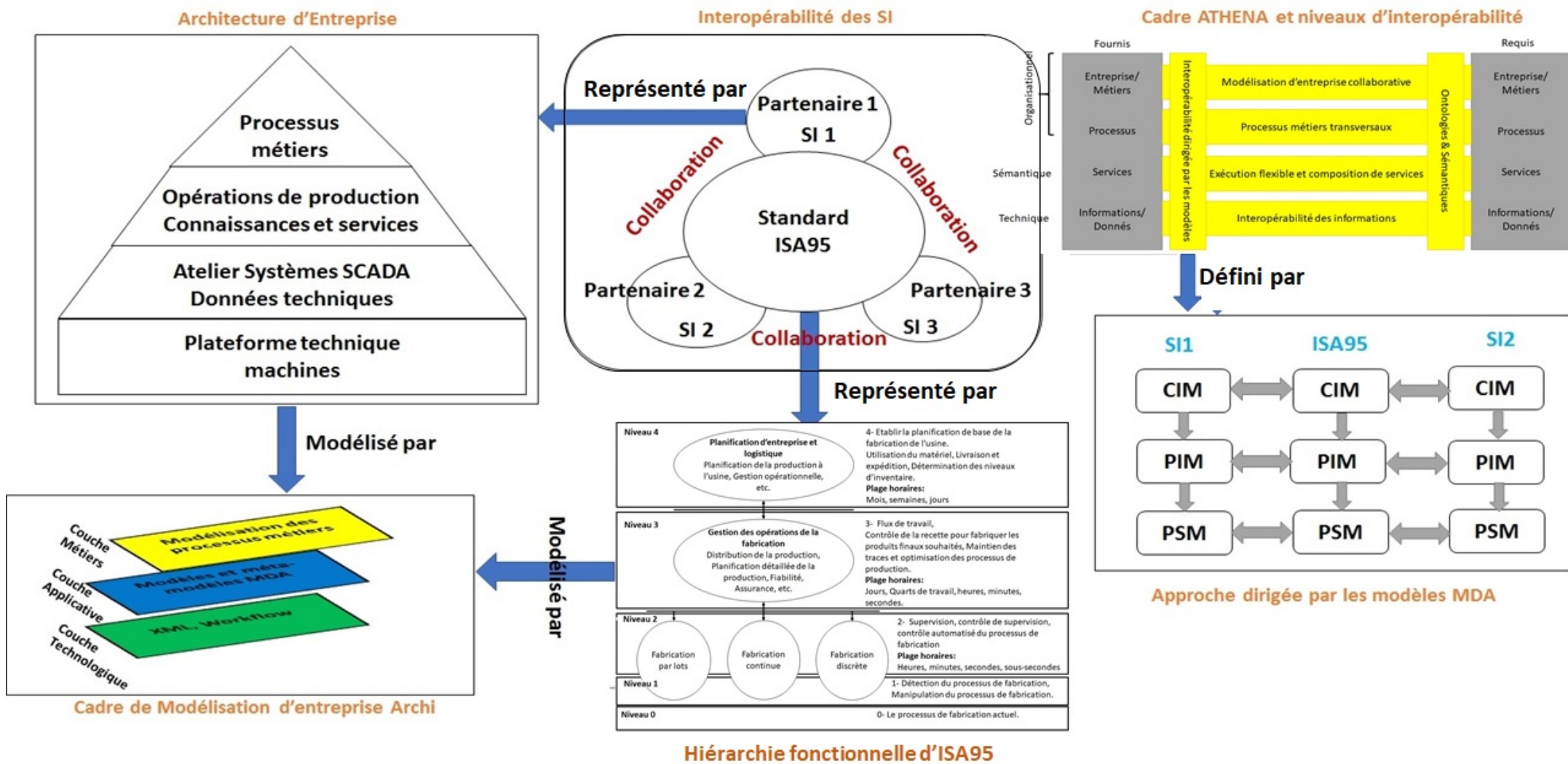
Rappelons que l'approche que nous proposons traite les trois niveaux d'interopérabilité (organisationnel, sémantique et technique).

Les travaux du projet SIP se basent sur celles fournies par le projet ATHENA. Ce dernier présente quatre niveaux d'interopérabilité. Nous considérons dans notre cas et en se basant sur la littérature que le niveau organisationnel englobe les niveaux processus et métiers représentés par ATHENA.

ATHENA repose aussi sur des méthodes comme l'ingénierie dirigée par les modèles (IDM). Cette méthode nous permettra d'explorer les modèles de données des systèmes d'information et de les comparer aux modèles de données du standard ISA95. Ceci dans le but d'avoir une sémantique commune aux différents modèles des SI, ce qui permet leur interopérabilité.

La figure 3.16 représente ainsi une vue globale qui récapitule les méthodes (IDM, modélisation Archimate) et les références (standard ISA95, cadre ATHENA) sur lesquels nous allons nous baser pour la mise en place de notre approche d'interopérabilité multi-niveaux.

Après avoir présenté les méthodes et outils nécessaires à la construction de l'approche d'interopérabilité, nous allons détailler comment nous réalisons l'interopérabilité sur les trois niveaux (organisationnel, sémantique et technique) comme mentionnés dans la section 3.4.



SI = ERP ou MES

FIGURE 3.16 – Approche globale

3.6 La réalisation de l'interopérabilité organisationnelle entre ERP et MES

Notre objectif étant de faire inter-opérer au niveau organisationnel les activités liées à la phase de production des systèmes ERP et MES selon le standard ISA95.

Nous allons donc procéder à la modélisation :

1. Les activités de chaque système d'information.
2. Les acteurs et leurs rôles dans la collaboration.
3. Les flux d'information qui circulent entre ERP et MES.

Par la suite, nous allons instancier les activités des systèmes d'information ainsi que les flux qui y circulent en suivant le standard ISA95.

Nous commençons par la description du processus de fabrication d'un produit.

3.6.1 Le processus de fabrication collaboratif

En se basant sur la littérature, nous décrivons le processus de fabrication de produit dans la figure 3.17. Ce processus suit les étapes suivantes :

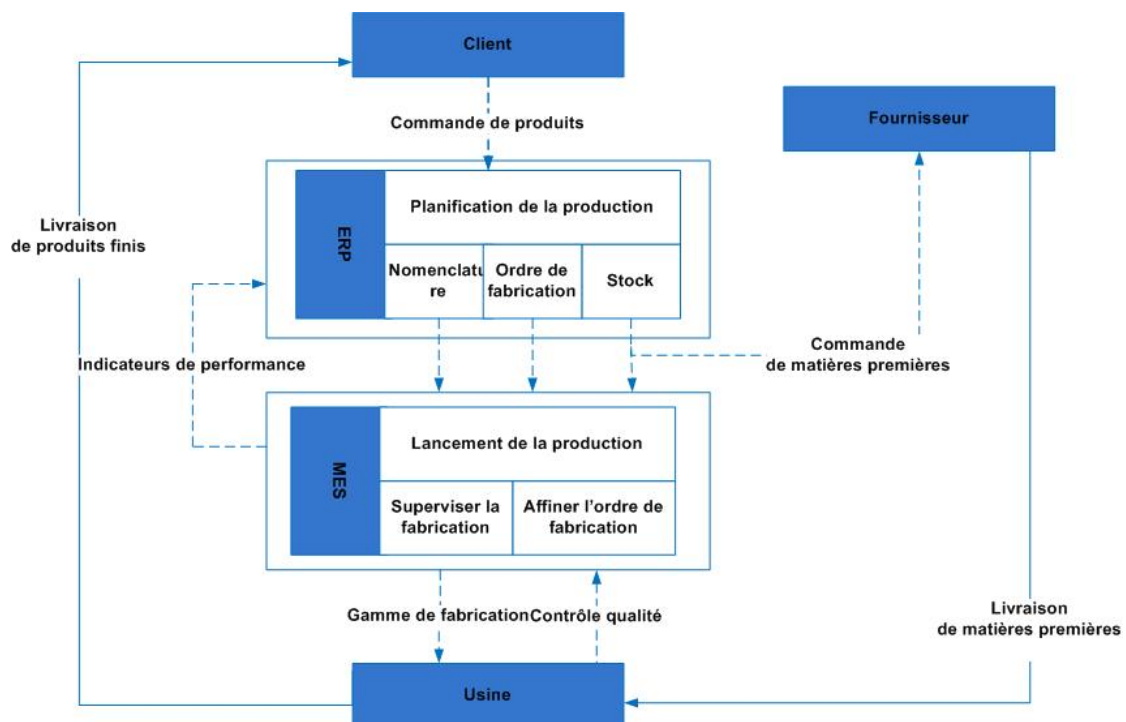


FIGURE 3.17 – Description du processus de fabrication collaboratif

1. Le client envoie une commande de produits (l'événement déclencheur du processus).
2. La commande client est saisie sur le système ERP.
3. Le responsable ERP vérifie le stock de matières premières ou produits semi-finis.
4. Envoi éventuel de bon de commande de matières premières manquantes. Cette activité est facultative, elle n'est appliquée qu'au cas où le stock de matières premières n'est pas suffisant pour lancer la fabrication de toute la commande clients.
5. Une fois le stock est disponible, le responsable fabrication de l'ERP planifie les ordres de fabrication (OF).
6. Envoie des ordres de fabrication de la commande et de la nomenclature par le responsable ERP.
7. Le responsable MES reçoit les OF, il affine le planning selon les disponibilités des machines, les horaires des arrêts prévus pour la maintenance ou autre.
8. Le responsable MES lance alors la production selon le nouveau planning.
9. Lancement de la fabrication dans l'usine et supervision par le système MES.
10. Une fois tout le processus terminé, les produits finis sont livrés aux clients.
11. Le système MES renvoie les indicateurs de performance sur la qualité de la production au système ERP.

Ce processus implique les acteurs suivants :

1. Les clients.
2. Le responsable ERP.
3. Le responsable MES.
4. Les fournisseurs de matières premières éventuels.
5. Les acteurs de la production.
6. Les sous-traitants éventuels.

Afin de réaliser l'interopérabilité organisationnelle, nous avons besoin de modéliser les activités de chaque système d'information ERP et MES, les différents acteurs effectuant ces activités ainsi que les flux informationnels qui sont échangés entre ces deux systèmes.

Ces modèles permettent de capitaliser les différentes informations sur le processus et de répondre aux questions de la modélisation que nous avons soulevées dans la chapitre 2 section 2.3.2. (Acteurs : Qui, Activités : Comment).

Pour ce faire, nous avons besoin de parcourir chaque système afin de capitaliser les informations nécessaires pour la réalisation du processus de fabrication.

3.6.2 Description des informations du système ERP

Dans le système ERP nous nous intéressons au module lié à la production qui comporte les composants suivants :

- Produit ou article : ensemble de propriétés d'un produit (ex : nom du produit, type, prix image...).
- Nomenclatures : ensemble des composants (i.e. produits) d'un produit.
- Entrepôts (ou Stock) : localisation d'un produit dans un entrepôt.
- Ordre de fabrication : ensemble de propriétés d'un ordre de production qui permettent de lancer la fabrication d'un produit.

Après la création des articles souhaités, nous créons les nomenclatures correspondants aux articles renseignés au sein du système ERP (article, quantité, validité...).

Une fois que les nomenclatures sont saisies dans le système, nous créons les ordres de fabrication (OF) nécessaires au lancement de la commande client.

Les OF seront renseignés avec les articles à fabriquer, leur nomenclature, la date de lancement de la fabrication et le nom du responsable de fabrication.

Nous procédons alors à la capitalisation de tous ces éléments qui décrivent le module production du système ERP.

3.6.3 Description des informations du système MES

En ce qui concerne le système MES son module Production est plus riche et il comprend les fonctions de base suivantes :

1. La gestion de production.
2. La gestion des ordres.
3. La gestion des sites.
4. La gestion des centres.
5. La gestion des cycles.
6. La gestion du personnel.

Le module Gestion de Production comprend les concepts suivants :

- Article : ensemble de propriétés d'un article (produit).
- Gamme : ensemble de propriétés des opérations nécessaires pour la fabrication d'un article.
- Nomenclature : ensemble des composants (i.e. produits) d'un article.
- Contrôle opération : ensemble de propriétés de contrôle sur les opérations liées à la gamme d'un article.
- Lien entre les opérations : ensemble de propriétés et des liens entre les opérations d'une gamme d'un article.
- Outil opération : ensemble de propriétés sur les outils des opérations liées à la gamme d'un article.

Le module de Gestion des Ordres comprend le concept :

- Ordre : ensemble de propriétés d'un ordre de fabrication ou de maintenance pour un article.

Le module de la gestion des sites comprend les concepts suivants

- Site : ensemble de propriétés d'un Site.
- Atelier : ensemble de propriétés d'un Atelier.

Le module de Gestion des centres comprend les concepts suivants :

- Centre : ensemble de propriétés d'un centre.
- État de Machine : ensemble de propriétés d'un état d'une machine.
- Type de Machine : ensemble de propriétés d'un type de machine.
- Type d'arrêt : ensemble de propriétés d'un type d'arrêt de machine.

Le module de gestion du cycle comprend le concept :

- Cycle : ensemble de propriétés d'un cycle.

Le module La gestion de personnel comprend le concept :

- Collaborateur : ensemble de propriétés d'un collaborateur.

Vu que le système MES supervise tout le processus de production, en plus des informations concernant les articles, nomenclatures, OF..., il intègre aussi les différents sites, ateliers et centres de production ainsi que les machines qui y existent.

Ce niveau de détail donné par le système MES montre bien son niveau de granularité et de couverture fonctionnelle qui s'avèrent plus approfondis que le système ERP.

Dans ce qui suit nous allons faire une comparaison entre les deux systèmes en intégrant le standard ISA95.

3.6.4 Les hétérogénéités fonctionnelles entre les systèmes ERP et MES

Dans le chapitre 2, nous avons mentionné que les systèmes d'information sont caractérisés par différents types d'hétérogénéité. En exploitant les modules de production fonctionnels des systèmes ERP et MES, nous avons donc soulevé l'existence des hétérogénéités de type fonctionnel (Couverture, Granularité, Perspective). Dans la figure 3.18, nous avons représenté ces trois hétérogénéités en intégrant le standard ISA95 en se basant sur les travaux de [Sak12].

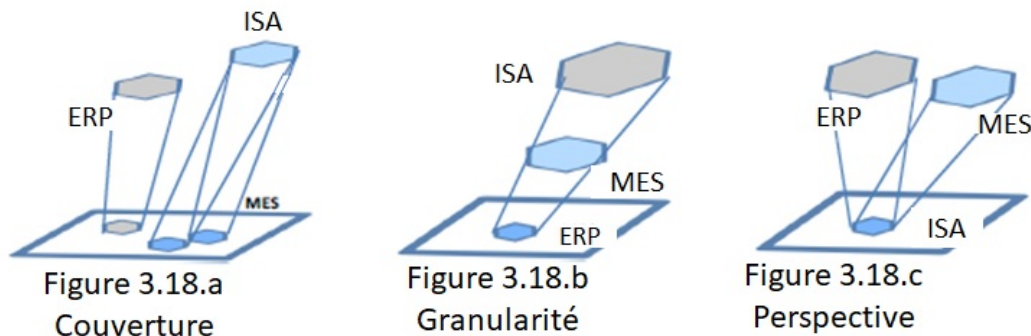


FIGURE 3.18 – Critères de comparaison fonctionnels entre les système ERP et MES

1. Couverture : Les deux systèmes ERP et MES couvrent des parties différentes des fonctionnalités de l'entreprise manufacturière. Le système ERP couvre la partie administrative de l'entreprise alors que le système MES couvre toute la partie production en détail.
2. Granularité : Les deux systèmes ERP et MES décrivent les entités métier liées à la fonction de production à des degrés de granularité différents. Exemple : la définition d'un article au niveau du système ERP et au niveau du système MES est différente.
3. Perspective : Les deux systèmes ERP et MES donnent des points de vue différents sur le module production. Par exemple le système ERP a une vue macro sur le déroulement de la fabrication alors que le système MES présente un point de vue très détaillé de l'ordre des minutes et des secondes au niveau du processus de fabrication.

Le standard ISA95 permet de remédier à ces hétérogénéités, que nous avons soulevées entre les systèmes ERP et MES.

Il couvre le flux informationnel entre les systèmes ERP et MES, ce qui fait le lien entre la partie administrative et manufacturière. (Figure 3.18.a)

Il décrit toutes les informations liées à la production (Figure 3.18.b) et du processus en question (Figure 3.18.c).

Ainsi comme réponse à l'interopérabilité organisationnelle, nous proposons de représenter selon le standard ISA95 :

1. Les fonctions des deux systèmes ERP et MES.
2. Le flux fonctionnel circulant entre les systèmes ERP et MES.

3.6.5 Synthèse

L'interopérabilité organisationnelle en première étape consiste à :

- Une représentation du processus de production collaboratif entre les systèmes ERP et MES selon le standard ISA.
- Une représentation des flux informationnels circulant entre les systèmes ERP et MES.
- Une représentation des acteurs gérant le déroulement du processus.

Ces représentations sont décrites dans le chapitre 4.

En deuxième étape, une exploitation des deux modules de production des systèmes ERP et MES.

Durant cette étape, nous avons remarqué une large différence entre les informations fournies par le système ERP et celles fournies par le système MES.

Le système ERP donne une vue globale de la fabrication en ajoutant des informations sur les articles à fabriquer, leurs nomenclatures ainsi que sur les plannings de production avec les différents ordres de fabrication.

Quant au système MES, il donne plus de détails sur le déroulement de la fabrication des produits. Il spécifie des informations supplémentaires sur les articles, leurs gammes de fabrication, les opérations à effectuer sur les gammes et les liens entre ces opérations, les outils utilisés pour les différentes opérations et les nomenclatures des produits.

Le MES fournit aussi des informations sur le site de production, les ateliers de production de chaque site, les centres contenus dans les différents ateliers, les machines des centres, leurs types, leurs états et les arrêts effectués sur les machines ainsi que les cycles sur chaque machine.

De plus le système MES présente des informations sur les collaborateurs qui contribuent à la fabrication.

Nous avons des différences entre la spécification et la représentation des informations au sein des systèmes ERP et MES. Pour faire face à cette hétérogénéité, nous nous appuyons sur les spécifications fournies par le standard ISA95.

Nous avons besoin de capturer les différents concepts des systèmes ERP et MES afin de les comparer aux concepts décrits par le standard ISA95. Cette capitalisation s'appuie sur la démarche d'ingénierie dirigée par les modèles qui fait l'objet de la section qui suit.

3.7 La réalisation de l'interopérabilité sémantique entre ERP et MES

L'interopérabilité sémantique s'intéresse au sens des mots et des connaissances échangés durant la collaboration.

Cette connaissance se trouve au sein des systèmes d'informations ERP et MES des différentes entreprises. Le but est que toutes les entreprises qui collaborent arrivent à comprendre et interpréter la même information de la même façon.

Vu l'hétérogénéité sémantique contenue dans les systèmes d'information, afin de réaliser cette interopérabilité, nous souhaitons avoir une représentation unique commune des informations échangées. Cette représentation peut être interprétée et comprise de la même manière par tous les partenaires de la collaboration.

Cette homogénéisation se fait à travers le standard ISA95 et ses modèles de données (partie 2) qui représentent les informations à échanger entre les partenaires.

Cette opération nécessite aussi la connaissance des modèles de données conceptuels des systèmes d'information ERP et MES étudiés et utilisés dans le cadre de notre travail.

Il s'agit de modéliser les concepts des systèmes ERP et MES à un haut niveau d'abstraction.

Deux cas de figure se présentent pour l'explicitation de la sémantique des modèles conceptuels de systèmes d'informations collaboratifs [Yah11] :

1. Les modèles conceptuels des applications sont disponibles et nous pouvons exploiter leur sémantique directement.
2. Les modèles conceptuels des applications ne sont pas disponibles. Dans ce cas nous aurons recours à la construction de ces modèles en remontant les concepts utilisant une méthode de rétro-ingénierie [LPA11].

Dans notre cas, nous n'avons pas accès aux modèles de données conceptuels des systèmes utilisés. Ainsi à travers les interfaces de ces systèmes et les bases de données, nous avons eu recours à la construction des modèles conceptuels respectifs en faisant de la rétro-ingénierie des modèles.

3.7.1 L'approche de rétro-ingénierie des modèles

L'étape de rétro-ingénierie consiste à construire des modèles conceptuels de systèmes d'informations en se basant sur les bases de données et le fonctionnement de ces systèmes comme le montre la figure 3.19.

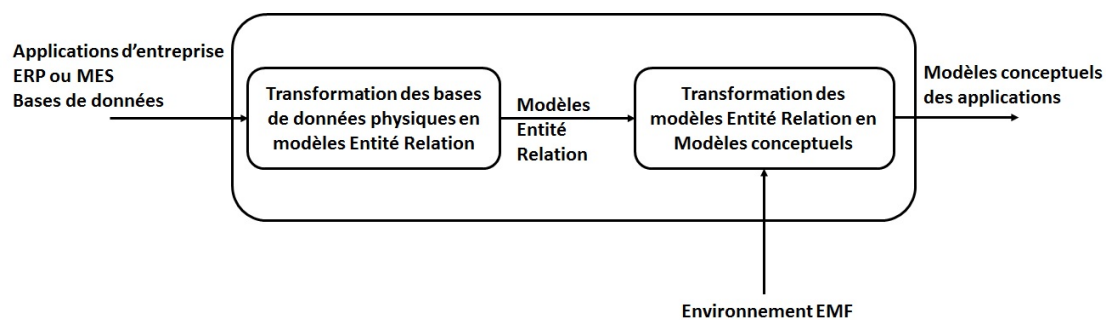


FIGURE 3.19 – L'approche de rétro-ingénierie appliquée pour l'obtention des modèles conceptuels des applications

La transformation de modèles relationnels en modèles conceptuels peut se faire selon des méthodes différentes, parmi lesquelles celles de [CBS94] et [FG92] qui permettent de rétro-dériver un modèle conceptuel à partir du modèle de la base de données. Ces modèles sont, pour la plupart, implémentés dans des outils de modélisation comme MEGA Suite¹ ou Eclipse EMF² qui fournissent des environnements permettant la transformation inverse de modèles relationnels en modèles conceptuels. Nous adoptons dans notre travail l'outil Eclipse EMF vu son accessibilité. A l'aide de cet outil, nous représentons les modèles et méta-modèles des systèmes ERP et MES avec le modèle standard.

3.7.2 La méta-modélisation du système ERP

La méta-modélisation du système ERP consiste en la création des entités dans l'environnement Eclipse qui représentent le module production du système que

1. <http://www.mega.com/fr>

2. <http://www.eclipse.org/modeling/emf/>

nous avons décrit dans la section 3.6.2.

Nous avons construit ce méta-modèle en nous appuyant sur les bases de données du système ERP, les interfaces utilisateurs ainsi que sur la documentation fournie avec le système.

Ceci se traduit alors dans le méta-modèle ERP de la figure 3.20

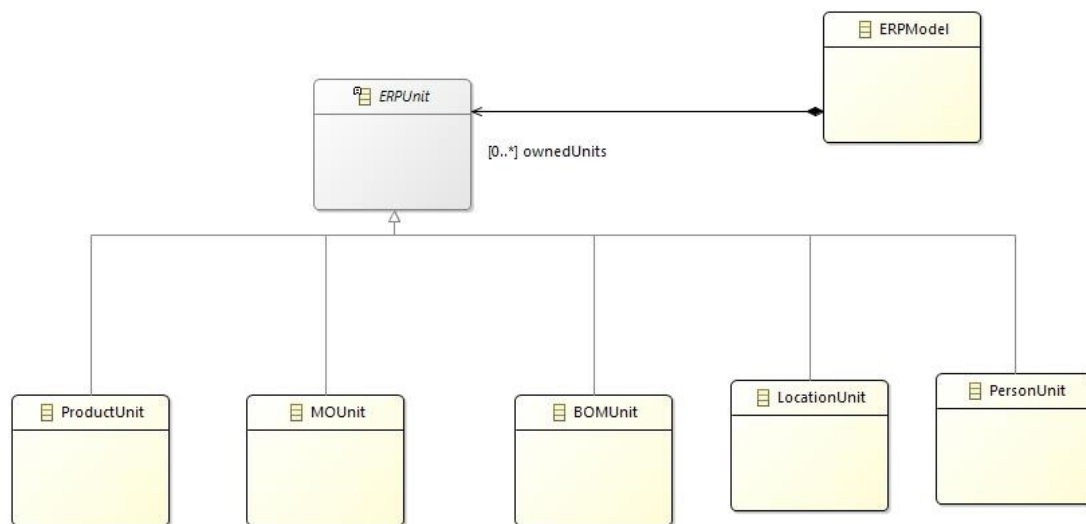


FIGURE 3.20 – Structure de base du méta-modèle ERP

Cette structure représente les méta-modèles de :

1. Gestion du personnel (Person Unit)
2. Gestion du produit (Product Unit)
3. Gestion de la nomenclature (BOM Unit)
4. Gestion des stocks (Location Unit)
5. Gestion des ordres de fabrication (MO Unit)

Afin d'explicitier au mieux les informations de chaque unité du méta-modèle ERP (figure 3.20), nous avons développé dans notre application de la démarche pour chaque unité décrite, le méta-modèle correspondant qui réunit les concepts liés à cette unité. (Voir Annexes VIII).

3.7.3 La méta-modélisation du système MES

Pour le système MES nous suivons la même méthode pour la création des méta-modèles correspondant du système.

Etant donné que le système MES encapsule beaucoup de détails, nous avons choisi de représenter le méta-modèle MES global (figure 3.21) sous deux unités : la gestion des ordres de fabrication (Order Management) et les données techniques (Technical Data).

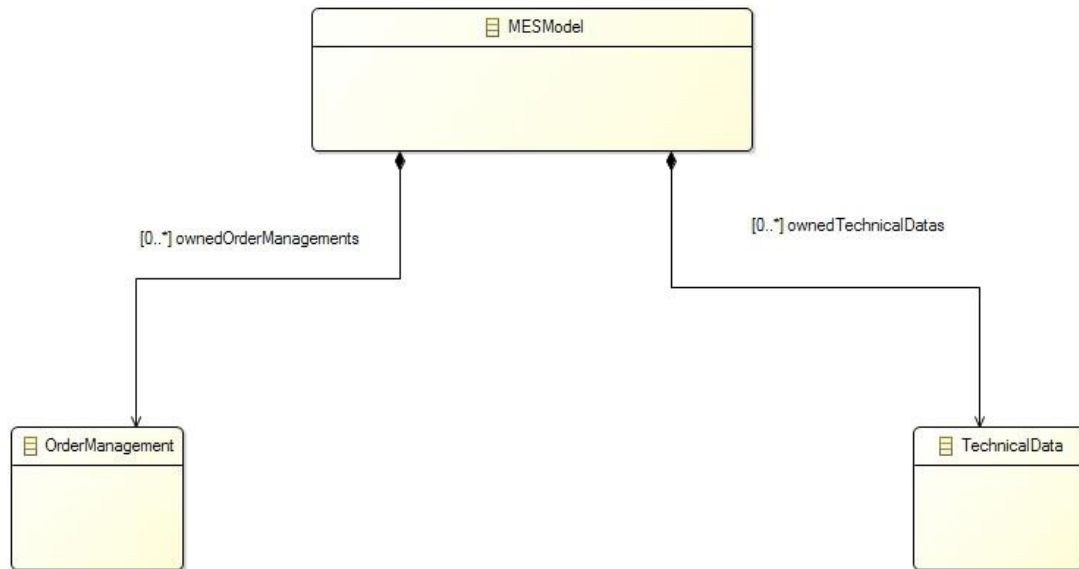


FIGURE 3.21 – Structure de base du méta-modèle MES

Nous avons ensuite décomposé l'unité des données techniques en cinq sous-unités qui sont représentées dans la figure 3.22

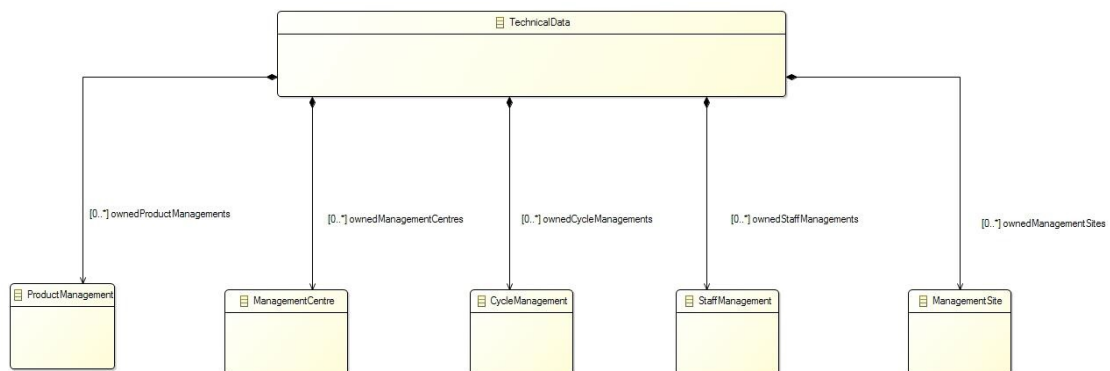


FIGURE 3.22 – Méta-modèle des données techniques de la solution MES

Cette structure (figure 3.22) est composé des méta-modèles de :

1. Gestion du produit (Product Management).
2. Gestion des sites (Management Site).
3. Gestion des centres (Management Center).
4. Gestion des cycles (Cycle Management).
5. Gestion du personnel (Staff Management).

3.7.4 Transformation des méta-modèles

En se basant sur les travaux de [Bai06] et [Yah11], nous avons distingué alors quatre critères de correspondance entre les systèmes d'information comme le montre la figure 3.23.



FIGURE 3.23 – Les types de correspondances entre la sémantique des systèmes d'information

Selon les différents types de correspondances de la figure 3.23, nous définissons le degré d'interopérabilité selon les cas suivants :

1. Cas 1 : Pas d'interopérabilité (disjonction) :
 $SI1 \cap SI2 \equiv \emptyset$
2. Cas 2 : Interopérabilité partielle (intersection) :
 $SI1 \cap SI2 \neq \emptyset$
3. Cas 3 : Interopérabilité partielle avec forte dominance d'un système (inclusion) :
 $SI1 \supset SI2$ ou $SI1 \subset SI2$
4. Cas 4 : Interopérabilité totale (égalité) :
 $SI1 \equiv SI2$

Ces différents cas d'interopérabilité sont aussi liés à des environnements de mapping différents.

Imaginons deux modèles correspondant chacun à un système d'information donné. Si un simple morphisme nous permet de passer d'une instance d'un modèle

à une instance du second modèle, ce morphisme n'est pas nécessairement bijectif [Bai06]. L'interopérabilité sémantique repose sur cette symétrie ; c'est ce qui nécessite l'existence d'une dualité au niveau des mappings des modèles.

Considérons deux systèmes d'informations distincts de types SI1 qui représente un système ERP et SI2 qui représente un système MES.

Nous représentons par MSI1 et MSI2, les deux modèles de données correspondants des systèmes SI1 et SI2.

Chaque modèle possède ses propres instances et souhaite inter-opérer avec le second modèle.

Ainsi deux cas de figure se présentent comme suit :

Premier cas : L'existence d'un mapping bijectif

Il existe un mapping bijectif ou isomorphisme quand chaque élément du modèle MSI1 a un correspondant unique dans le modèle MSI2 et que chaque élément de MSI2 retrouve son correspondant dans le modèle MSI1. 3.24

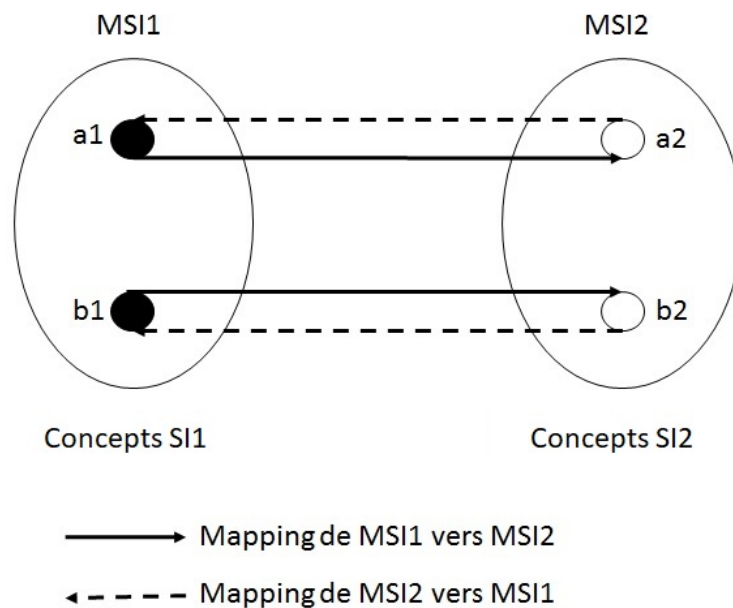


FIGURE 3.24 – Isomorphisme entre les connaissances des modèles des SI

Deuxième cas : L'absence d'un mapping bijectif

Dans ce cas, il n'existe pas de bijection, car nous n'avons pas une conservation de la même sémantique entre les deux modèles. Une instance de MSI1 nous ramène à une instance de MSI2 qui par la suite nous ramène à une nouvelle instance du modèle MSI1. Il s'agit dans ce cas d'un isomorphisme partiel entre les deux modèles. 3.25

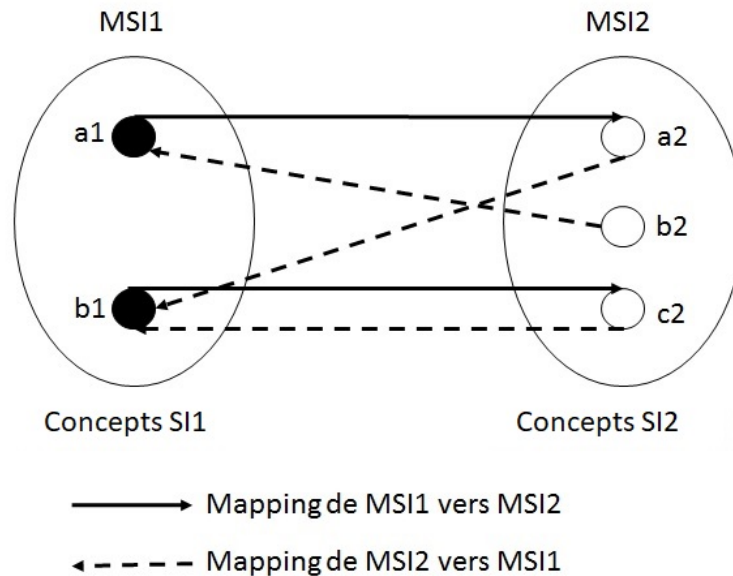


FIGURE 3.25 – Absence d'isomorphisme entre les connaissances des modèles des SI

Nous nous situons dans le cas d'une interopérabilité partielle avec une dominance du système MES au niveau des concepts et des unités liées à la fonction production. Notre but est de tendre vers une interopérabilité totale. Selon les travaux de [Bai06], deux modèles sont totalement interopérables si chaque élément du premier modèle a un équivalent dans le deuxième et vice versa, il s'agit donc d'un mapping bijectif ou isomorphisme.

Nous cherchons à faire correspondre chaque élément du SI1 avec son équivalent dans le SI2, la solution que nous proposons est de faire un mapping composé en passant par le standard ISA95. Ce dernier réunit dans ses modèles sémantiques les deux niveaux de connaissances des systèmes ERP et MES.

Les modèles de données décrits par le standard ISA95 représentent le lien entre les modèles des systèmes ERP et MES. Afin de pouvoir échanger des informations

entre les deux systèmes en conservant leur sens et leur signification, deux mapping sont alors nécessaires.

En premier lieu nous commençons par faire un premier mapping partant du modèle du système ERP (MSI1) vers le modèle du standard ISA95 (MISA). Par la suite nous partons du modèle MISA vers le modèle du système MES (MSI2).

Nous effectuons ainsi un mapping composé de deux sous-mapping (figure 3.26). Le chemin inverse qui représente le passage du modèle du système MES vers celui du système ERP est aussi schématisé dans cette figure 3.26.

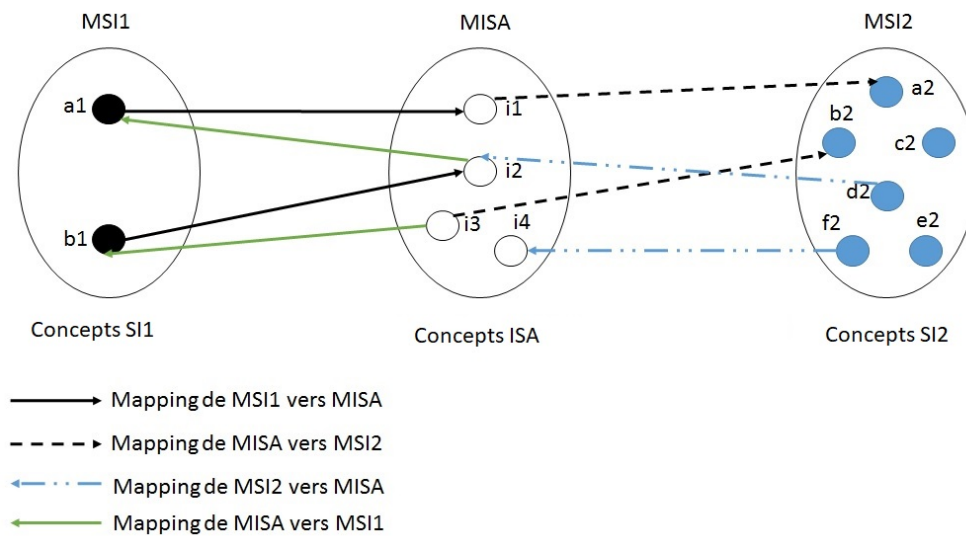


FIGURE 3.26 – Mapping composé entre les modèles des SI à travers le modèle ISA

Dans notre approche, nous abordons l'interopérabilité sémantique en nous appuyant sur le standard ISA95 et pour ceci il faut :

1. Extraire les méta-modèles des données de systèmes ERP et MES.
2. Décrire la sémantique contenue dans les méta-modèles respectifs des deux systèmes.
3. Faire un mapping des modèles des systèmes ERP et MES avec les modèles du standard ISA95.

Ces étapes sont illustrées dans le chapitre 4 sur un cas de collaboration ERP/MES.

3.7.5 Synthèse

Dans cette partie, pour réaliser l'interopérabilité sémantique, nous avons appliqué la méthode de rétro-ingénierie de modèles nous permettant d'extraire les modèles des systèmes ERP et MES à travers les bases de données respectives des deux systèmes.

Nous avons ainsi défini les unités et les concepts généraux des méta-modèles ERP et MES.

Notre démarche pour la réalisation de l'interopérabilité sémantique repose sur l'intégration des modèles du standard ISA entre les modèles des systèmes ERP et MES.

Nous avons présenté dans cette partie les transformations des différents concepts des méta-modèles ERP et MES. Ces derniers sont basés sur l'existence ou non de mapping bijectif.

Pour extraire les informations contenues dans les modèles respectifs des systèmes ERP et MES de façon plus technique, nous passons au niveau suivant.

3.8 La réalisation de l'interopérabilité technique entre ERP et MES

Pour structurer les informations échangées entre les systèmes ERP et MES, nous nous basons sur la technologie XML

A partir des modèles des SI fournis dans l'étude de l'interopérabilité sémantique, un mapping syntaxique permet de faire la mise en œuvre de la correspondance sémantique d'un flux XML sortant du système d'information source et un flux XML entrant dans un système d'information cible.

Au niveau sémantique, nous avons constaté qu'il faut deux mappings afin de pouvoir échanger des informations entre les systèmes ERP et MES. La conversion de données basées sur le standard ISA nécessite le passage par deux transformations comme le montre la figure 3.27

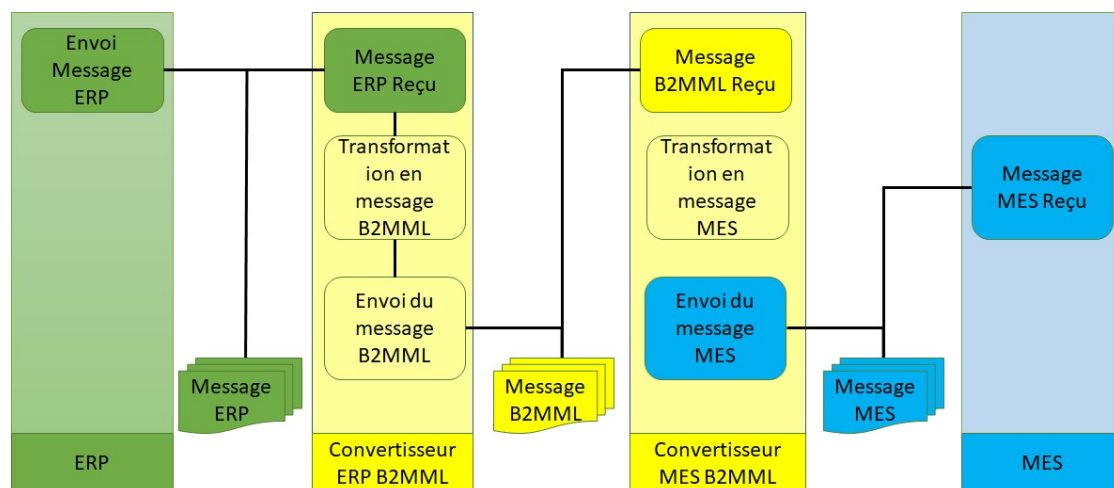


FIGURE 3.27 – Le convertisseur ERP/MES selon ISA95

Deux convertisseurs de type ERP et MES seront développés afin de faire inter-opérer ces deux systèmes à travers le standard ISA 95.

Nous dérivons un ensemble de règles de transformation XSLT à partir des mappings réalisés au niveau sémantique.

Les règles de transformation des fichiers XML correspondants aux systèmes ERP et MES sont formalisés grâce au langage XSLT basé sur le fichier de règles XSD. Un exemple d'un fichier XSD est donné dans la figure 3.28.

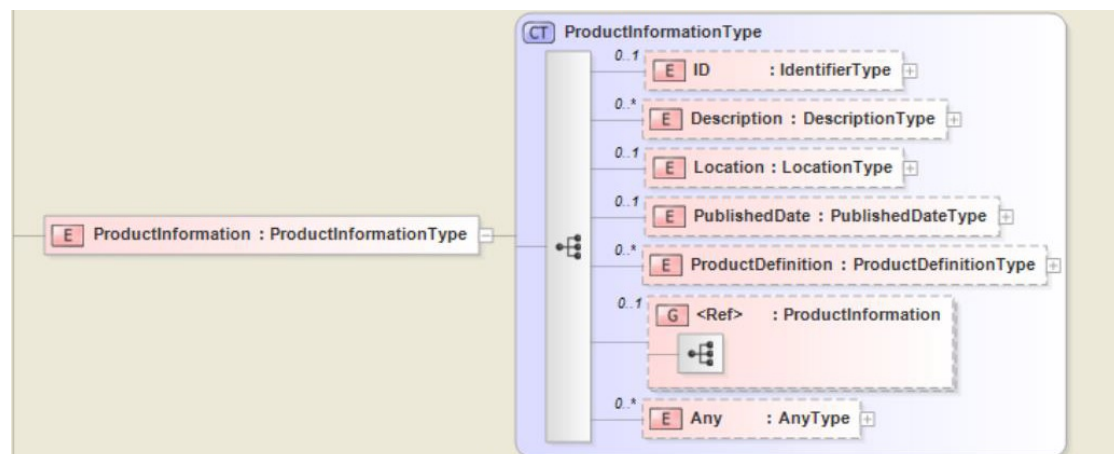


FIGURE 3.28 – Une représentation graphique d'un XSD du standard ISA95

La structure du convertisseur basée sur les règles XSLT est la suivante :

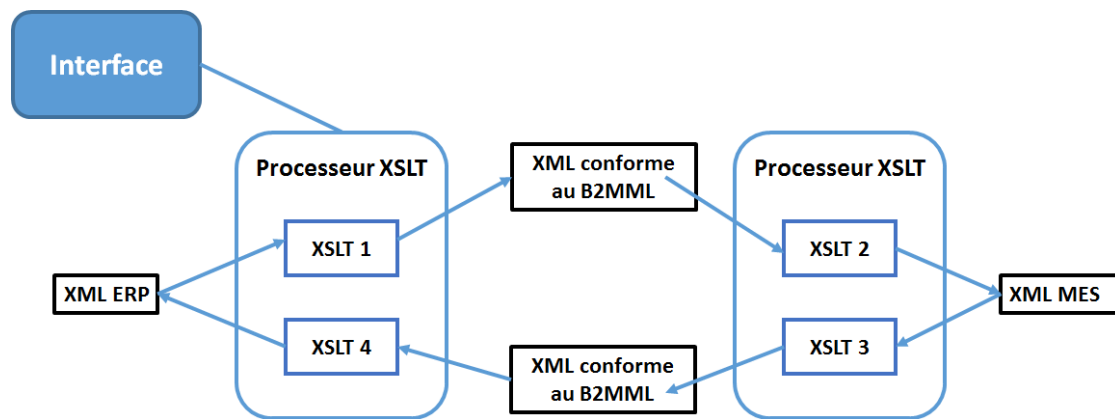


FIGURE 3.29 – La structure du convertisseur basé sur les règles XSLT

Ce convertisseur joue le rôle d'un médiateur [MEMF⁺16]. Sa valeur ajoutée consiste en une approche d'intégration entre le domaine métier (ERP) et atelier (MES).

Deux étapes de transformation nous permettent de faire l'intégration entre les systèmes ERP et MES.

3.8.1 Les convertisseurs ERP et MES

La première étape consiste à transformer le modèle XML de l'ERP selon la syntaxe B2MML de ISA . Une fois que cette transformation est effectuée une deuxième transformation est requise à partir du résultat de la première transformation qui consiste à passer de la grammaire B2MML à la grammaire XML spécifique du système MES (figure 3.27).

Le développement du premier convertisseur qui transforme les données XML sortant du système ERP au format B2MML de l'ISA a fait l'objet de stage de fin d'études de Monsieur Ben Salah Moetez [Moe15] dans le cadre de préparation de son diplôme d'ingénieur en génie industriel.

Au cours de stage, Monsieur Moetez a pu introduire des données concrètes de nomenclature et de planning de production dans le système ERP. Par la suite ces données en étaient extraites du système en format XML et transformé au format B2MML. Ce stage a donné lieu au développement d'une application JAVA à travers laquelle s'effectue les transformation automatiquement des fichiers XML sortant du système ERP vers le format B2MML du standard ISA.

Le détail du fonctionnement de cette application est présenté dans le chapitre 4.

Suivant le même principe, nous avons développé le deuxième convertisseur qui consiste à transformer le fichier B2MML obtenu de la première transformation en fichier XML suivant la grammaire du système MES Alpha3I.

Une fois cette étape franchie, nous procédons à la simulation de l'interopérabilité des systèmes d'information étudiés sur la plateforme "test bed" du projet SIP avec l'implémentation du standard ISA95.

3.8.2 Les composants de références pour la plateforme test-bed SIP

Comme contribution au projet SIP, nous avons aussi développé des composants de référence basés sur nos systèmes ERP et MES. Ces composants constituent des systèmes ERP et MES conforme à la norme ISA. Ils vont alors servir à tester l'interopérabilité ERP/MES à travers le standard ISA95[MFV⁺15].

Le développement de ces composants a fait l'objet du stage de fin d'étude de master de Monsieur Kerkar Arezki [Are16].

A travers les interfaces utilisateurs des systèmes ERP et MES, nous avons développé dans [Are16] des interfaces pour les composants de référence respectifs aux deux systèmes en utilisant le module SIRIUS³ de Eclipse. Il s'agit d'un outil graphique à travers nous pouvons spécifier des interfaces graphiques conforme à celles des systèmes ERP et MES. Ces interfaces représenteront nos composants ERP et MES à intégrer sur notre plateforme de test ERP/MES.

L'outil SIRIUS permet d'instancier les modèles des systèmes ERP et MES développés sur EMF en modèles graphiques plus facilement manipulables par l'utilisateur.

Le détail du développement de ces composants et leurs architectures techniques sont présentés dans le chapitre 4.

3.8.3 Validation des données échangées par les règles Schematron

Valider les données d'un fichier XML veut dire s'assurer que les champs du document XML contiennent bien les bonnes informations (par exemple : un champ ID contient bien un identifiant). Nous pouvons aussi valider la structure d'un fichier XML, ceci peut s'appliquer à une nomenclature de produit connue à l'avance. Afin

3. <https://eclipse.org/sirius/>

de s'assurer de la validité des données échangées entre les systèmes ERP et MES, le projet SIP fournit un moteur de validation basé sur des règles schematron. 3.30

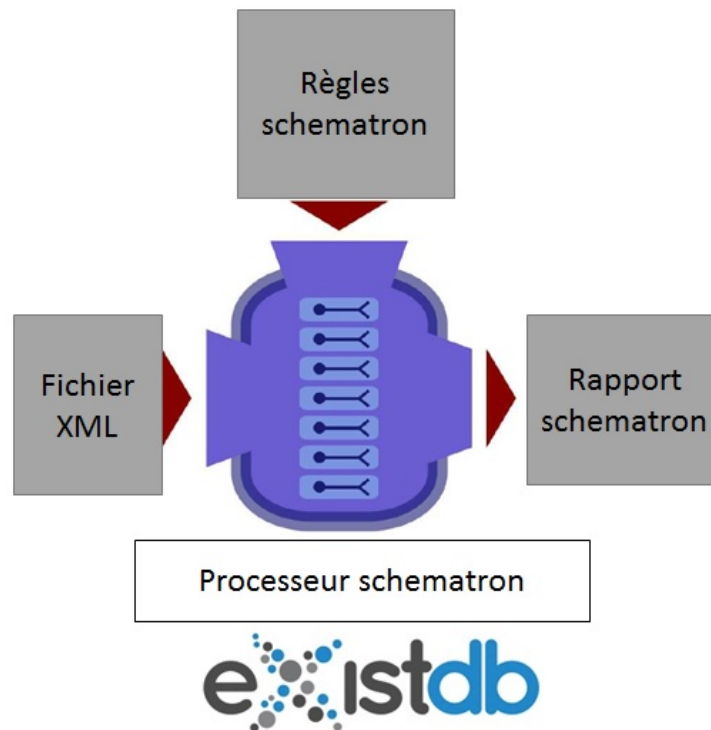


FIGURE 3.30 – Moteur de validation des règles schematron

Le processeur de validation des données techniques suit les étapes suivantes :

1. Introduire en entrée le fichier XML à vérifier.
2. Introduire le fichier de règles liées au fichier XML.
3. Vérifier la correspondance des règles au fichier XML.
4. Fournir le rapport d'erreur en sortie.

Ci-dessous deux exemples de règles pour lesquels nous pouvons vérifier si elles sont respectés ou non pour une nomenclature de produits :

1. La hiérarchie de la nomenclature
2. La cardinalité des composants de la nomenclature

Ces deux règles seront formalisées avec le langage Schematron. En entrée du processeur de validation, nous aurons le fichier XML qui décrit la nomenclature. Le processeur vérifie la validité ou non du fichier et fournit son rapport en fonction du résultat.

3.8.4 Synthèse

Pour réaliser l'interopérabilité technique, notre démarche repose sur le développement de convertisseurs de données ERP et MES. Ces convertisseurs permettent d'implémenter les transformations réalisées lors de l'interopérabilité sémantique.

Par la suite, nous avons présenté la démarche de développement des composants de référence ERP, MES. Ces composants serviront pour la plateforme de test générée par le projet SIP.

A l'aide de ces composants et en les connectant à la plateforme SIP, nous pourrions tester les implémentations du standard ISA95.

Une des étapes de l'interopérabilité technique repose également sur la validation des données basée sur les règles schematron.

Cette étape n'est pas encore finalisée faute de temps mais reste importante à signaler.

3.9 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation et à la justification de notre démarche et de nos contributions.

Notre but est de proposer une approche méthodologique outillée permettant de résoudre les problèmes d'interopérabilité dans un environnement collaboratif.

La démarche que nous avons proposée dans ce chapitre est une démarche "Top-down" qui permet de prendre en compte tous les niveaux d'interopérabilité (organisationnel, sémantique et technique), elle est basée sur l'implémentation du standard ISA95 et sur l'approche dirigée par les modèles.

Ce chapitre a fait l'objet de deux contributions. La première concerne l'exploitation et la capitalisation du standard ISA95 sous forme de modèles réutilisables en utilisant le cadre Archimate.

Ces modèles formeront une base de connaissance du standard ISA95 et serviront comme intermédiaire pour la réalisation de l'interopérabilité multi-niveaux.

La deuxième contribution concerne la démarche d'interopérabilité sur les niveaux organisationnel, sémantique et technique toujours en se basant sur le cadre Archimate.

L'interopérabilité organisationnelle repose sur la modélisation selon le standard ISA95 du processus de fabrication, les acteurs de la collaboration et les flux informationnels entre les systèmes ERP et MES.

Une seconde étape concerne l'exploitation et la présentation des modules de fabrication des deux systèmes ERP et MES.

Quant à l'interopérabilité sémantique, elle repose sur l'approche d'ingénierie des modèles. Il s'agit de définir les modèles conceptuels des systèmes ERP et MES en suivant une approche de rétro-ingénierie des modèles.

Par la suite, il faudra définir les mappings conceptuels entre les modèles ERP, MES et les modèles du standard ISA95 ainsi que les transformations de modèles permettant la communication entre les deux systèmes ERP et MES.

Enfin l'interopérabilité technique vient outiller notre proposition en fournissant des convertisseurs basés sur des schémas XML et permettant d'implémenter les mappings réalisés entre les concepts ERP, MES et le standard ISA95.

Nous fournissons également dans cette étape des composants de référence relatifs aux systèmes ERP et MES dédiées à la plateforme de test SIP dont le but est de tester les implémentations du standard ISA95.

A travers cette démarche, nous nous sommes intéressés à proposer des solutions concernant les problèmes d'interopérabilité sur des niveaux multiples. Nous avons alors défini une approche d'interopérabilité évoquant le lien entre l'organisation d'une entreprise, ses applications et l'environnement technique sur lequel elle repose.

Afin d'outiller notre démarche, nous proposons sa mise en œuvre dans le chapitre suivant sur un cas réel d'une entreprise manufacturière collaborative.

Quatrième partie

Chapitre 4

Chapitre 4

Approche d'interopérabilité multi-niveaux : Application sur un cas d'intégration B2M

4.1 Introduction

Ce chapitre illustre les contributions scientifiques de nos travaux de thèse à travers l'étude de l'interopérabilité dans un environnement collaboratif et dynamique d'entreprise. Nos expérimentations ont abouti à l'implantation d'une approche générique conceptuelle d'interopérabilité ERP/MES multi-niveaux présentée dans le chapitre 3. L'approche proposée repose sur le standard ISA95 et l'approche IDM.

Cette démarche vise à contribuer à l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes d'information au cours de la phase de fabrication du produit dans un DMN collaboratif.

En s'intéressant aux trois niveaux, cette approche permet de s'assurer que les informations sont physiquement échangées (interopérabilité technique), sont comprises (interopérabilité sémantique) et bien utilisées dans l'entreprise pour atteindre le but pour lesquelles elles ont été produites (interopérabilité organisationnelle).

La qualité et l'efficacité de l'approche proposée ont été confirmées par une application sur un cas concret de collaboration entre ERP et MES dans une usine de fabrication de stylos DEKENZ. Les systèmes ERP et MES qui sont utilisés sont respectivement la solution ODOO comme ERP et la solution Alpha3i comme MES déployées au sein de l'usine DEKENZ.

Le choix de la solution ERP ODOO se justifie par le fait qu'elle est open source et disponible sur le web ; ce qui répond à la stratégie du projet SIP. Quant à la solution MES Alpha3i, son choix se justifie essentiellement par le manque de solution MES ouverte.

La première partie de ce chapitre est consacrée à la présentation de l'environnement manufacturier DEKENZ avec ses systèmes d'information, ses postes de travail, son processus de fabrication ainsi que les flux physiques et informationnels.

La deuxième partie consiste à la mise en œuvre de l'approche d'interopérabilité proposée sur les trois niveaux (organisationnel, sémantique et technique).

L'interopérabilité organisationnelle est abordée grâce à la modélisation du processus de fabrication du stylo en se basant sur les modèles du standard ISA95 et le langage de modélisation Archimate. Les SI ODOO et Alpha3i sont aussi présentés.

L'interopérabilité sémantique est abordée grâce à l'utilisation des méta-modèles des deux SI ODOO et Alpha3i ainsi que ceux du standard ISA95 et relatifs à la nomenclature des produits et des ordres de fabrication (OF).

Ces méta-modèles seront par la suite instanciés en suivant la démarche de transformation de modèles. En permettant la restitution intégrale des modèles transformés au sens de la rétro ingénierie, cette étape permet de réaliser une correspondance des modèles ODOO et Alpha3i par rapport au modèle pivot ISA. Ce dernier permet d'assurer une équivalence sémantique entre les modèles.

En ce qui concerne l'interopérabilité technique, nous nous proposons de développer deux convertisseurs ERP/ISA95 et ISA95/MES. Ces derniers vont permettre de faire communiquer nos deux SI ODOO et Alpha3i en passant par le standard ISA.

Nos deux composants de références ODOO et Alpha3i seront intégrés à notre plateforme de "test-bed" du projet SIP.

4.2 Présentation de l'entreprise DEKENZ et de ses Systèmes d'Information

DEKENZ est une société créée en 1998 autour de l'atelier flexible de production de l'IUT de Montreuil (Université Paris 8). Elle est considérée comme une société semi-virtuelle dans la mesure où elle ne possède pas de statut juridique. Cependant, elle évolue comme une entreprise opérationnelle avec une organisation et des ressources humaines (les étudiants) qui gèrent des flux physiques et informationnels réels. DEKENZ conçoit, fabrique et commercialise des stylos de moyenne

gamme. Elle possède la particularité d'être gérée chaque année par une nouvelle équipe d'étudiants qui prend le relais de la promotion précédente.

4.2.1 Description de l'atelier de fabrication et du produit

L'IUT de Montreuil est doté d'un outil industriel, incluant une plateforme flexible de production et un environnement logiciel professionnel, pour la gestion des flux (HARMONY, SAP, Alpha 3i ...) et de simulation des flux (Witness).

Le système de production est constitué de deux ateliers de fabrication (l'un manuel et l'autre automatisé) et d'un atelier de montage et de finition (Figure 4.1). L'atelier automatisé est composé de deux fraiseuses et d'un tour à commandes numériques. Il dispose aussi d'une imprimante 3D avec laquelle les étudiants peuvent réaliser des prototypages. Une activité pédagogique qui leur permet de mettre en pratique certains concepts enseignés. Le projet consiste pour les étudiants à créer une entreprise "fictive" avec ses différents services autour de l'atelier de production. Cet atelier de fabrication est doté de plusieurs machines sur lesquelles sont réalisées les différentes activités de fabrication. Il est composé d'un magasin de stockage des matières premières et des produits finis, de deux machines d'usinage de pièces (C3000 et C4000), d'une machine (TU2+) et d'une machine G2009 (Figure 4.1). Le tout est piloté par le système MES Alphah3i avec des terminaux de supervision et d'acquisition des données saisies ou collectées à travers les postes de travail.

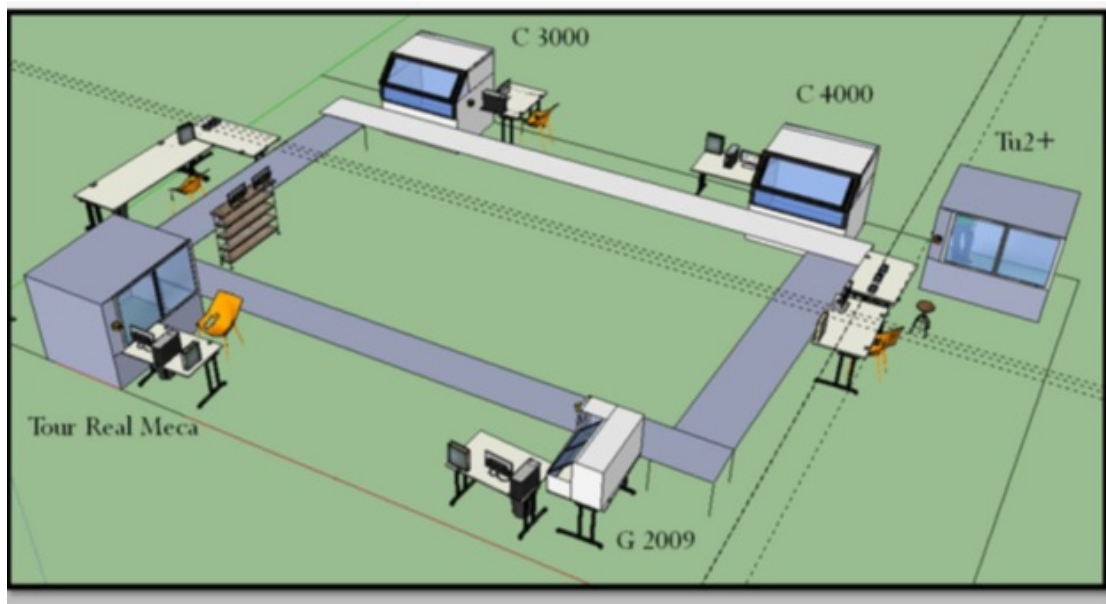


FIGURE 4.1 – La description de l’atelier avec les différents postes de travail

Cette PME (Société DEKENZ) fabrique une gamme de stylos standard (des "Rollers", des plumes et des porte-mines), ou milieu de gamme dans différents coloris. Ces stylos peuvent être personnalisés au niveau de la gravure et de la couleur. Le stylo "Plume", de forme cylindrique, est composé de neuf pièces : un corps, un bouchon, un embout pour le corps, un embout pour le bouchon, un nez, une agrafe, une cartouche, un clip plastique et une plume.

Les étudiants se chargent de la fabrication et de l’assemblage des différentes pièces.

Ces différents composants ainsi que le produit fini assemblé sont représentés dans la Figure 4.2 ci-dessous.

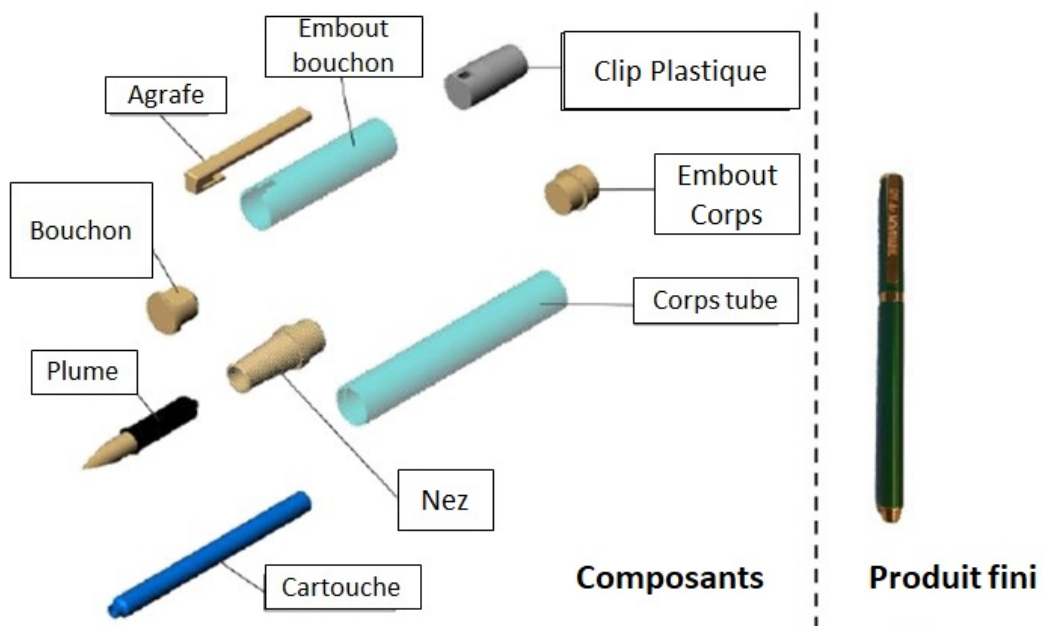


FIGURE 4.2 – Composants et produit fini fabriqués

4.2.2 Processus et flux de fabrication

Pour aboutir au produit fini (Stylo DEKENZ), plusieurs opérations de fabrication, de finition et de montage sont exécutées. Les opérations d'usinage et de gravure s'effectuent par enlèvement de matières. La gravure permet de personnaliser le stylo. La presse à injecter permet de fabriquer le clip qui assure la bonne fermeture du bouchon. La tribofinition est une technique qui permet de polir les éléments bruts. L'opération de contrôle porte sur les côtes spécifiées par le bureau d'études. Le montage est une opération permettant de produire le stylo en assemblant les différents produits semi-finis. Les opérateurs intervenant dans le processus sont le tourneur (T), le monteur (MO) et le magasinier (MA). Le tableau 4.1 résume les différentes activités ainsi que les ressources utilisées pour fabriquer les produits semi-finis du stylo.

TABLE 4.1 – Résumé des activités, produits fabriqués et ressources associées

Activités	Ressources	Produits fabriqués
Usiner le nez	Tour CN	Nez
Usiner l'embout	Tour CN	Embout 1 et 2
Usiner le corps	Tour CN	Corps
Usiner le bouchon	Tour CN	Bouchon
Encocher le bouchon	Fraiseuse C3000 ou C4000	Bouchon encoché
Usiner l'agrafe	Fraiseuse C3000 ou C4000	Agrafe
Graver l'agrafe	Graveuse	Agrafe gravée
Tribofinir	Tribofinition	Produit polis
Fabriquer le clip	Presse à injecter	Clip
Contrôle	Poste de contrôle	Produits semi finis
Montage	Poste de montage	Stylo

Le processus de fabrication est présenté dans la figure 4.3.

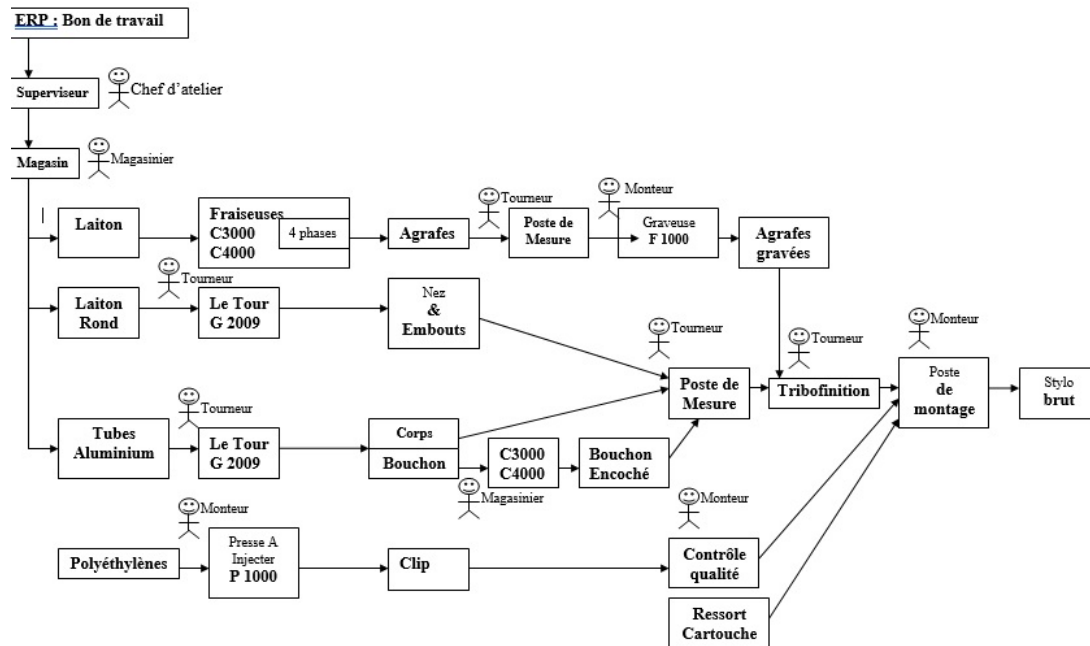


FIGURE 4.3 – Processus de fabrication du stylo DEKENZ

La matrice qui relie les différentes ressources humaines à leurs tâches associées est représentée dans la figure 4.4

Ressources humaines	Taches
 Chef d'atelier	Lancement des OF, Prise de décision
 Magasinier	Préparation des OF,
 Tourneur	Lancement des OF sur le tour, Contrôle des dimensions, Lancement de la tribofinition
 Monteur	Montage du stylo, Fabrication et contrôle de qualité du clip Lancement de l'opération de gravure

FIGURE 4.4 – Matrice Ressources humaines-Tâches

La figure 4.5 ci dessous présente les différents flux physiques et d'information échangés entre les différents postes de la ligne ainsi qu'une zone de bureaux. Les postes informatiques sont utilisés, d'autre part, pour la conception de nouveaux produits et, d'autres part, pour la gestion de la ligne.

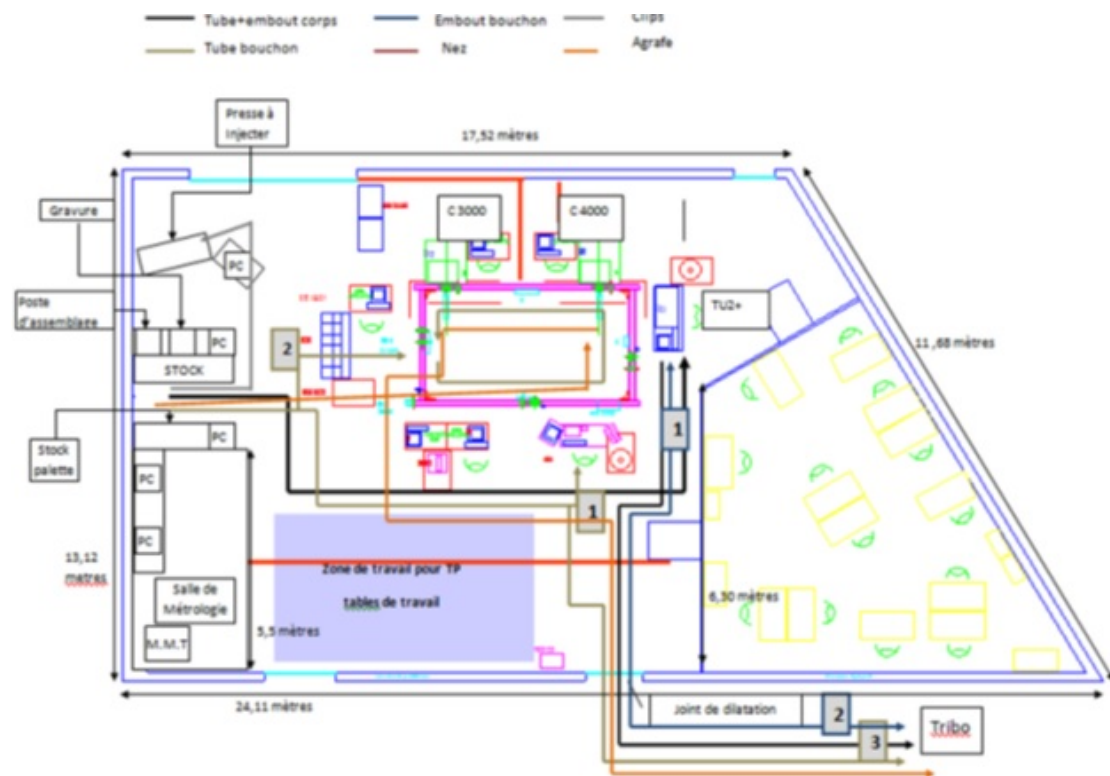


FIGURE 4.5 – Schématisation des flux physiques et informationnels du processus de fabrication

l'origine des flux physiques. Quant aux flux informationnels, ils sont produits par les postes informatiques qui gèrent les lignes de production.

L'équipe qui gère le processus de fabrication est formée par une personne coordinatrice qui supervise les différentes tâches des opérateurs de l'atelier. Ses missions consistent à :

1. Coordonner l'équipe et gérer les flux en respectant la planification,
2. Suivre les opérateurs pour l'utilisation des terminaux d'acquisition d'informations des postes de travail,
3. Effectuer la synthèse des non-conformités diagnostiquées suite au contrôle qualité des pièces.

En ce qui concerne les opérateurs, leurs missions consistent à :

1. Réaliser la production des pièces sur les machines de l'atelier,
2. Utiliser les terminaux d'acquisition pour le suivi de la production,

3. Saisir les données qui concernent le produit sur les terminaux,
4. Compléter les relevés de non-conformité sur chaque poste de travail.

Avant le lancement de la production, chaque opérateur reçoit un badge contenant ses propres informations pour se connecter sur les terminaux du système MES. Des fiches suiveuses sont distribuées et éditées après chaque opération pour suivre les flux de matières (physiques).

4.2.3 Les systèmes d'information dans l'atelier

L'atelier de fabrication DEKENZ dispose de différents systèmes d'information impliqués dans le pilotage de la fabrication. La figure 4.6 illustre l'architecture des systèmes d'information de la société DEKENZ composé d'un MES Alpha3i et un ERP ODOO (OpenERP auparavant).

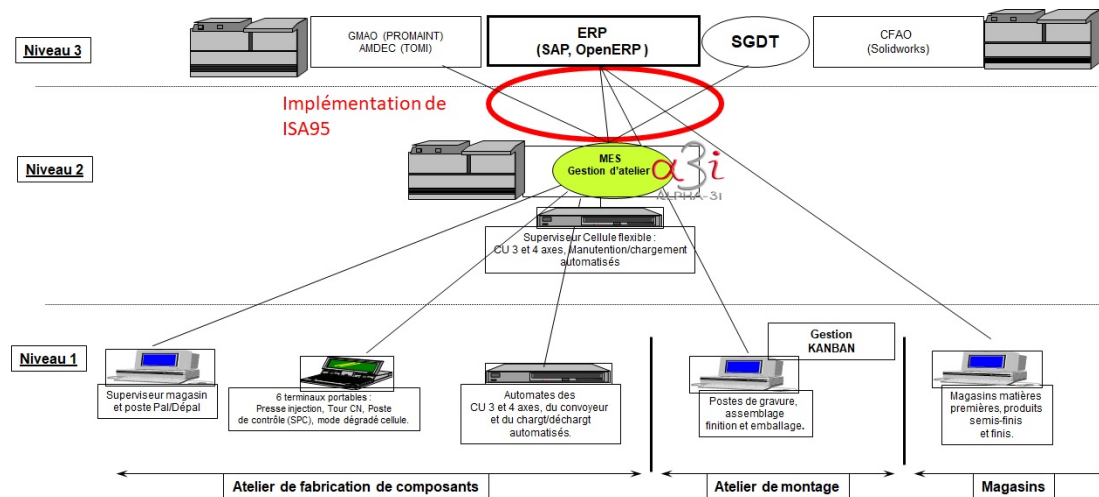


FIGURE 4.6 – Architecture “As-Is” des systèmes d'information de l'atelier

Dans cette architecture, le système MES est relié aux machines de l'atelier, mais la communication avec le système ERP n'est pas encore établie. Nos expérimentations œuvrent dans le sens du support de la communication à travers l'intégration du standard ISA95 entre les deux systèmes d'information ODOO et Alpha3i.

La système ERP ODOO

ODOO¹ est un système ERP open source disponible sur le web. Il présente différents modules pour la gestion de l'entreprise (Fabrication, Comptabilité, Inventaire, ...). Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à l'exploitation du module de production de ODOO.

La système MES Alpha3i

Le système Alpha3i² utilisé dans le cadre de nos expérimentations est un logiciel MES installé dans l'atelier de production de l'IUT de Montreuil. Il s'agit d'un système intégré, temps réel et modulaire couvrant l'ensemble des fonctionnalités attendues d'un système MES.

Après avoir présenté l'étude de cas, la sous-section suivante sera consacrée à la mise en pratique de l'approche proposée sur ce cas d'étude.

4.3 L'interopérabilité organisationnelle

L'interopérabilité organisationnelle se base sur la définition des objectifs métier et la modélisation des processus métier. Elle vise à répondre aux exigences des utilisateurs en rendant les services de l'entreprise disponibles, facilement identifiables, accessibles et axés sur l'utilisateur [Sak12]. Cet aspect de l'interopérabilité impose d'adapter les structures et les moyens d'organisation pour pouvoir construire des organisations dynamiques capables de fournir des réponses appropriées aux différents scénarios de collaboration.

Afin d'appliquer la démarche proposée dans le chapitre 3, nous nous proposons de modéliser les deux niveaux d'entreprise, administratif et métier, selon le standard ISA95 qui fait le lien entre ces deux niveaux comme le montre la figure 4.7.

-
1. <http://www.odoo.com>
 2. <http://www.alpha3i.com/>

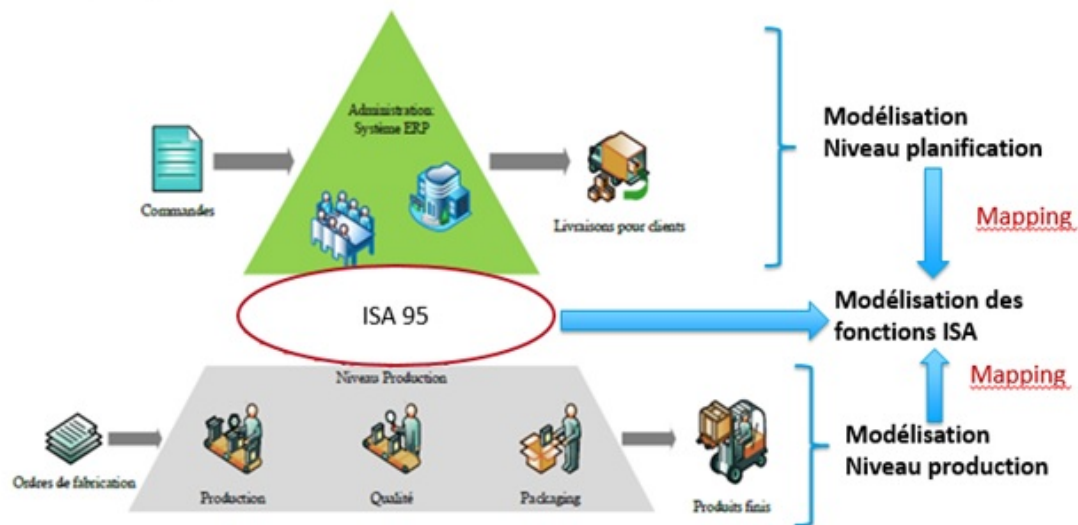


FIGURE 4.7 – L’interopérabilité organisationnelle entre ERP et MES à travers le standard ISA

Tout d’abord, nous allons explorer les modules de production relatifs aux deux SI ODOO et Alpha3i.

Le module production de ODOO

Le module de production³ d’ODOO comprend les concepts de base pour la gestion de la production.

Ce module (figure 4.8) présente une interface qui permet de renseigner les différents articles du stylo DEKENZ (type d’article, prix, code barre, ...).

3. <http://objectif-pi.com/ERP/openerp-production>

The screenshot shows the 'Articles / Nouveau' (Articles / New) interface in ODOO. At the top, there are buttons for 'Sauvegarder' (Save) and 'Annuler' (Cancel). Below this, there's a section for 'Nom de l'article' (Article Name) with a text input field containing 'Nom de l'article'. To the right, there are three icons: 'Nomenclature' (0), 'Fabrication' (0), and 'Traçabilité' (1). Below the name field, there's a checkbox 'Peut être vendu' (Can be sold) which is checked. The interface is divided into several tabs: 'Informations générales' (General Information), 'Inventaire' (Inventory), 'Ventes' (Sales), 'Comptabilité' (Accounting), and 'Notes'. The 'Informations générales' tab is active. It contains fields for 'Type d'article' (Article Type) set to 'Consumable', 'Référence interne' (Internal Reference), 'Code Barre' (Barcode), and 'Politique de facturation' (Billing Policy) with radio buttons for 'Quantités commandées' (Ordered quantities), 'Qtés livrées' (Delivered quantities), and 'Facture basé sur le temps et le matériel' (Invoice based on time and material). To the right, there are input fields for 'Prix de vente' (Selling price) set to '1,00' and 'Coût' (Cost) set to '0,00'.

FIGURE 4.8 – Interface ODOO pour la création d'articles

A l'aide de cette interface, nous renseignons les différentes pièces (Agrafe, Bouchon, Cartouche, ...) du stylo (figure 4.2). Par la suite, nous créons la nomenclature de chaque pièce comme le montre la figure 4.9.

Cette interface nous permet aussi de déclarer la quantité à produire, la date de validité et le type de nomenclature.

The screenshot shows the 'Nomenclature / Agrafe' (BOM / Staple) interface in ODOO. At the top, there are buttons for 'Sauvegarder' (Save) and 'Annuler' (Cancel). Below this, there's a section for 'Article' (Staple) with a dropdown menu set to 'Agrafe'. To the right, there's a 'Référence' (Reference) field. Below the article name, there's a 'Quantité' (Quantity) field set to '1,000'. To the right, there's a 'Type de nomenclature' (BOM Type) section with radio buttons for 'Fabriquer ce produit' (Produce this product) and 'Expédier ce produit comme un ensemble de composants (kit)' (Ship this product as a kit of components). Below this, there's a 'Composants' (Components) section with a table showing the bill of materials. The table has columns for 'Article', 'Quantité d'article', 'Valide du', and 'Valide jusqu'au'. There is one row for 'Barette de laiton' (Brass strip) with a quantity of '2,000', valid from '10/12/2015' to '10/01/2016'. Below the table, there's a button 'Ajouter un élément' (Add element).

Article	Quantité d'article	Valide du	Valide jusqu'au
Barette de laiton	2,000	10/12/2015	10/01/2016

FIGURE 4.9 – Interface ODOO pour la création des nomenclatures des articles

Une fois la nomenclature du produit créée, nous passons à la définition des OF (au sein du système ODOO suivant l'interface de la figure 4.10).

Cette interface nous permet de sélectionner l'article à lancer, sa nomenclature, la date prévue pour la fabrication et la personne responsable du lancement de l'OF correspondant.

FIGURE 4.10 – Interface ODOO pour la création des ordres de fabrication des articles

La nomenclature et les ordres de fabrication sont par la suite transmis du système ODOO vers le système Alpha3i.

Les interfaces du système Alpha3i donnent plus d'éléments de détails concernant le module de production. Prenons par exemple l'interface de renseignement des articles de la figure 4.11, on peut noter que cette interface permet de capturer des attributs plus détaillés comparé au système ODOO (figure 4.8).

The screenshot shows the 'Description des articles' window in the MES Alpha3i system. The window has a tabbed interface with tabs for 'Article', 'Gamme', 'Liens', 'Nomenclature', 'Outils', 'Contrôle', 'Image', 'Complément', and 'Documents'. The 'Article' tab is active, displaying a form for creating a new article.

Article Information:

- Famille:** MP (Matière première)
- Sous famille:** (empty)
- Code produit:** 10000006
- Libellé:** Alu Tube Diam 10x1, Longueur 3m
- Désignation:** (empty)
- Statut:** (empty)
- Code étiquette:** (empty)
- Unité de lancement:** (empty)
- Unité de production:** (empty)
- Unité de stock:** (empty)
- Unité conditionnement 1:** (empty) de 0,0000
- Unité conditionnement 2:** (empty) de 0,0000
- Unité conditionnement 3:** (empty) de 0,0000
- Unité conditionnement 4:** (empty) de 0,0000
- Unité conditionnement 5:** (empty) de 0,0000
- Total:** 0,0000

Other Fields:

- Date de création:** 20/11/2013
- Date de MAJ:** 16/01/2014
- Coef. qté saisie/produite:** 0,0000
- Lancement OF (0/1):** 1
- Zone libre 2:** (empty)
- Zone libre 3:** (empty)
- Zone libre 4:** (empty)
- Zone libre 5:** (empty)
- Zone libre 6:** (empty)
- Zone libre 7:** (empty)
- Zone libre 8:** (empty)
- Zone libre 9:** (empty)
- Zone libre 10:** (empty)

Buttons: Tracé, Périissable, En cascade, Valider.

FIGURE 4.11 – Interface MES Alpha3i pour la création des articles

Les articles sont répertoriés en familles, sous-familles et par type de produit : Matière Première (MP), Produit Fini (PF) ou Produit Semi Fini (PSF) ...

Selon la nature de l'article, il est nécessaire de définir les différentes unités de conditionnement, de stockage, de lancement ou de production.

Le système Alpha3i permet également de détailler les gammes de produit, les liens des opérations effectuées sur les articles, les nomenclatures de chaque article et les OF.

En plus des informations concernant le produit, le système Alpha3i fournit des informations sur les outils utilisés lors des opérations de la fabrication, le contrôle des opérations, les différents sites, ateliers et centres où a lieu la fabrication, et les propriétés des machines de fabrication (les états machines, les temps d'arrêts, ...).

Toutes les interfaces qui englobent ces détails d'informations sont représentées dans l'annexe XIV

En allant dans le détail de chaque système d'information, nous pouvons noter les différences dans la représentation du produit entre les deux systèmes aux différents niveaux comme mentionné dans le chapitre précédent : couverture, degré de granularité et perspective.

Ces différences expliquent bien que les deux systèmes ERP et MES sont complémentaires et qu'ils ont besoin de collaborer pour gérer correctement le cycle de vie du produit.

Le standard ISA95 étant le format pivot entre les deux systèmes ERP et MES, il permet alors d'assurer cette collaboration.

4.3.1 Le processus de fabrication collaboratif DEKENZ

Nous nous intéressons à la fabrication des stylos de types "Plume". Pour cela, nous disposons des nomenclatures nécessaires à la fabrication des différents composants du stylo DEKENZ.

Le processus de fabrication s'effectue en plusieurs étapes :

1. La fabrication du corps du stylo,
2. La fabrication du bouchon du stylo,
3. La sous-traitance de fabrication des équipements du corps et du bouchon du stylo,
4. L'assemblage du corps et du bouchon et des autres composants standards pour obtenir le produit fini.

En se basant sur la nomenclature du stylo, nous avons modélisé le processus de fabrication des deux principaux composants du produit qui sont le corps et le bouchon.

La figure 4.12 illustre le processus de fabrication du corps de stylo effectué selon la nomenclature fournie par les responsables de l'atelier de Montreuil.

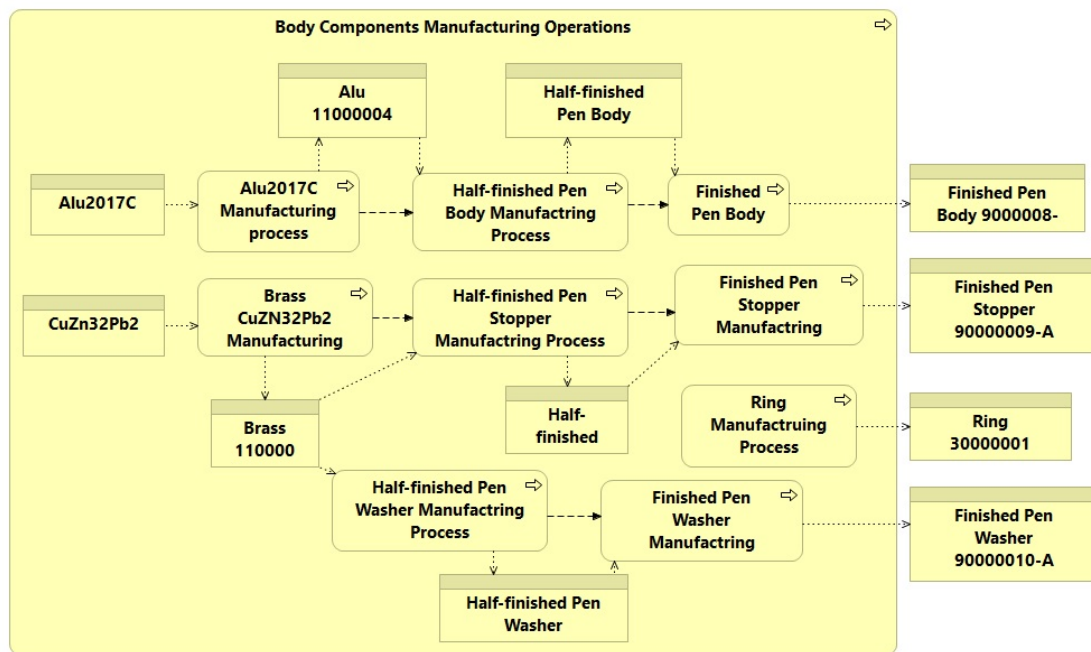


FIGURE 4.12 – Modélisation du processus de fabrication du corps du produit DE-KENZ

J'ai suivi la même procédure pour modéliser le processus de fabrication du bouchon du stylo au sein de l'atelier de production (figure 4.13).

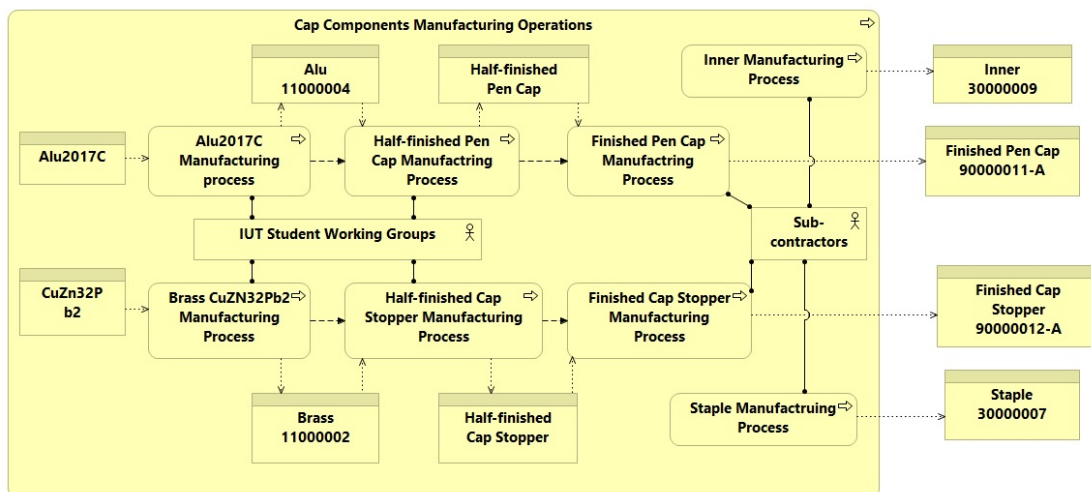


FIGURE 4.13 – Modélisation du processus de fabrication du bouchon du produit DEKENZ

La figure 4.14 montre l'assemblage des différents composants constituant le stylo, que ce soit les parties fabriquées au sein même de l'atelier (corps + bouchon), les composants livrés par les fournisseurs ou les parties prises en charge par les sous-traitants pour produire le produit fini.

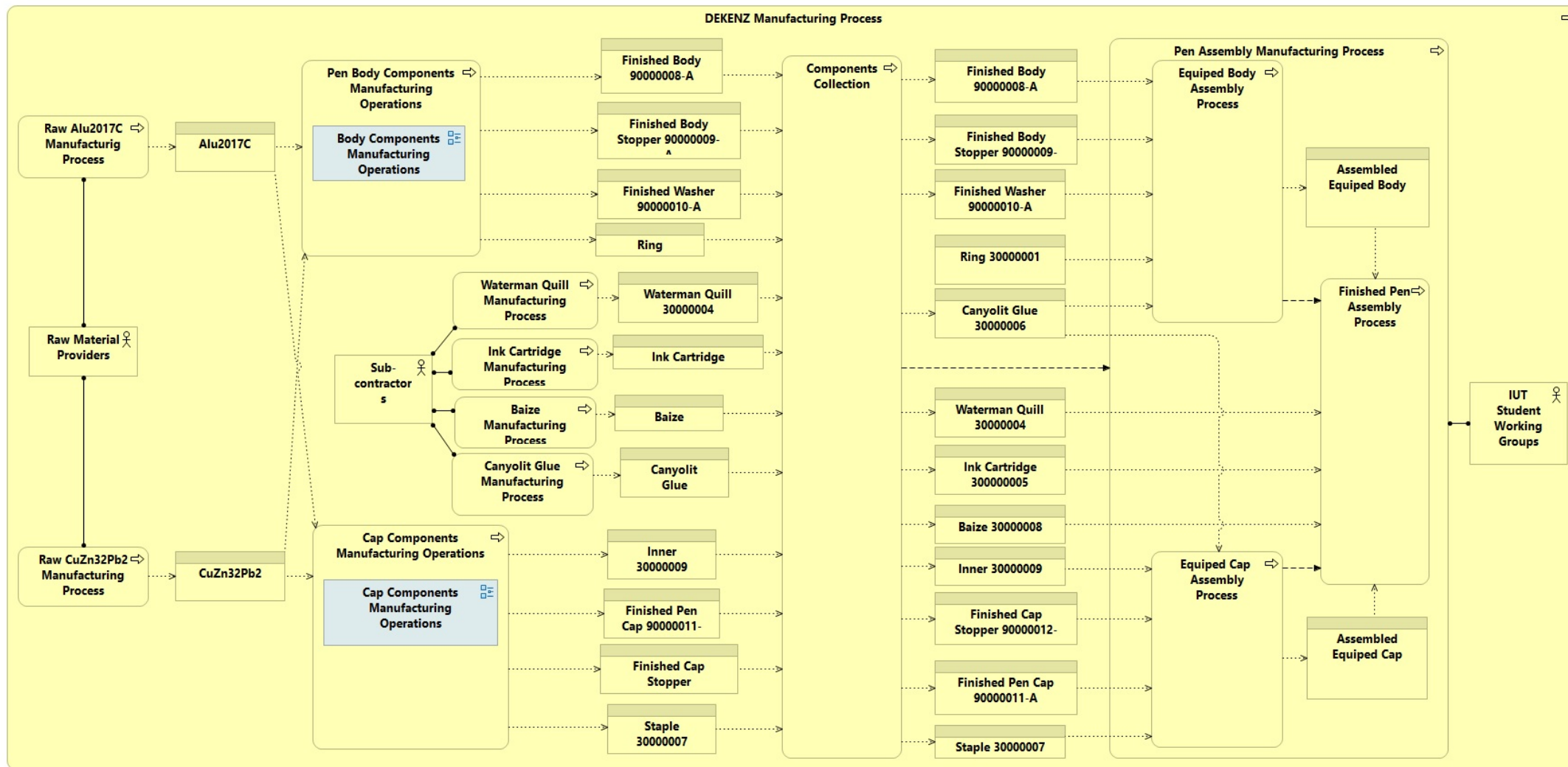


FIGURE 4.14 – Modélisation du processus de fabrication du stylo DEKENZ

Nous avons par la suite modélisé les ordres de fabrication des différentes pièces du produit (figure 4.16). Le traitement des matières premières brutes en découpant les barres d'aluminium et les laiton de cuivres (exemple : passage de barre d'aluminium Alu2017C de longueur 3m aux barres d'aluminium Alu2017C de longueur 300 mm). Ces ordres concernent la fabrication du corps, du bouchon du stylo, et l'assemblage du produit fini.

Ces ordres sont affectés aux différents acteurs qui collaborent pour la réalisation du produit. Pour cela, nous avons décrit un modèle définissant les rôles de chacun des acteurs contribuant à la réalisation du produit manufacturier (figure 4.15). Ces acteurs sont présents soit au sein de l'usine de l'IUT de Montreuil (les étudiants), soit à l'extérieur (les sous-traitants et les fournisseurs des composants standards).

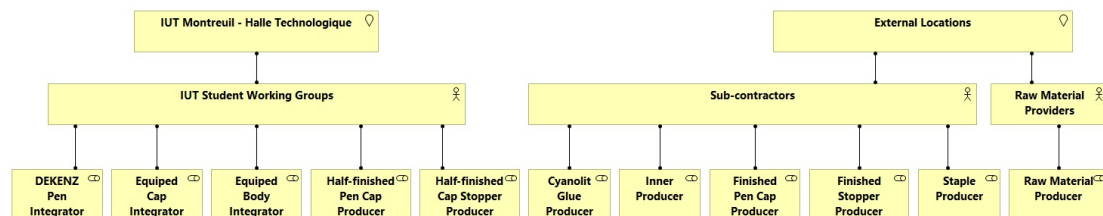


FIGURE 4.15 – Architecture des acteurs et de leurs rôles dans l'entreprise

Dans cette section, nous avons présenté les différents modèles de l'atelier DEKENZ. L'intégration du standard ISA95 au niveau organisationnel passe ensuite par l'instanciation des modèles de fabrication de l'atelier DEKENZ avec les modèles standards décrits dans le chapitre 3. La sous-section suivante décrit le modèle d'intégration du standard avec les modèles de l'atelier.

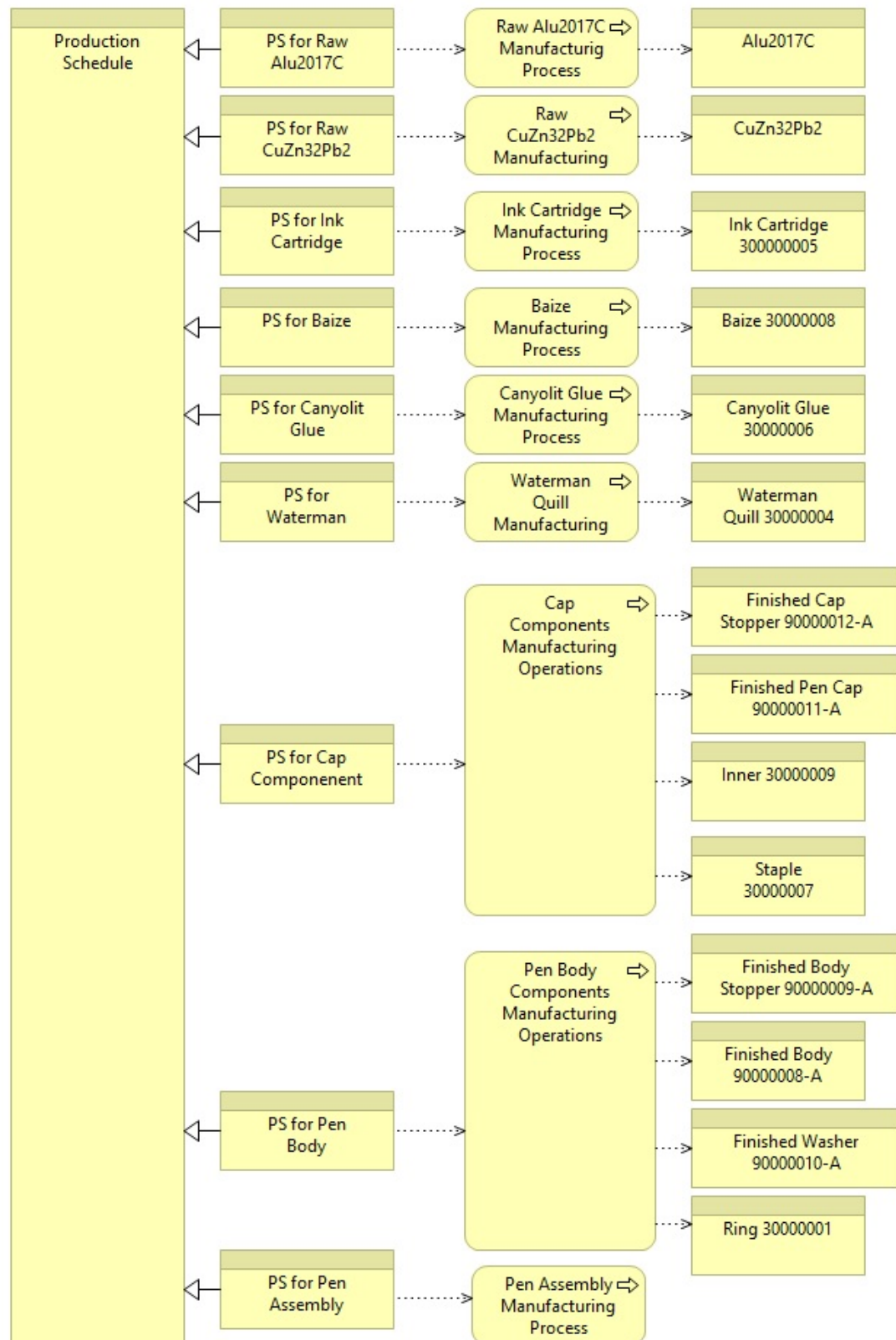


FIGURE 4.16 – Modélisation des OF de l'atelier de fabrication DEKENZ

4.3.2 Modélisation des fonctions et flux de production selon ISA

Après la modélisation du standard ISA95 et de l'atelier de production, cette partie décrit l'instanciation des modèles ISA depuis les modèles DEKENZ.

La figure 4.17 représente la couche métier du scénario d'intégration de données ODOO-Alpha3i de l'étude de cas DEKENZ.

Le bas de la figure représente le processus de fabrication du produit. Le haut de la figure représente les opérations de planification et de logistique du scénario, à savoir :

1. La création des ordres de fabrication du stylo,
2. La création de la planification de la production selon le modèle de fabrication (MBOM),
3. La vérification du niveau d'inventaire (stock) des composants nécessaires au lancement de la fabrication du stylo.

Au milieu de la figure 4.17, le modèle ISA-95 illustré dans le chapitre 3, (figure 3.11) est instancié et réutilisé pour ce scénario. Il permet donc de spécifier les flux de données standardisés entre le système IUT ERP et les systèmes IUT et sous-traitants MES.

Pour cette thèse, nous nous sommes davantage attachée à décrire l'échange des nomenclatures du produit (MBOM) et des ordres de fabrication des stylos DEKENZ depuis le système ODOO de DEKENZ vers les systèmes MES déployés au sein de DEKENZ et chez les sous-traitants.

Le système MES retourne par la suite les informations concernant les performances de production ainsi que les capacités de production vers le système ODOO.

Ce retour d'informations permet au dirigeant administratif d'avoir une vue globale sur le fonctionnement de la fabrication au sein de l'atelier. En se basant sur les indicateurs fournis par le système MES, les collaborateurs peuvent ainsi apporter des améliorations et faire évoluer le processus de fabrication.

En dépit de l'importance de cette étape, celle-ci ne sera pas décrite dans ce travail de thèse car elle n'apporte rien au discours.

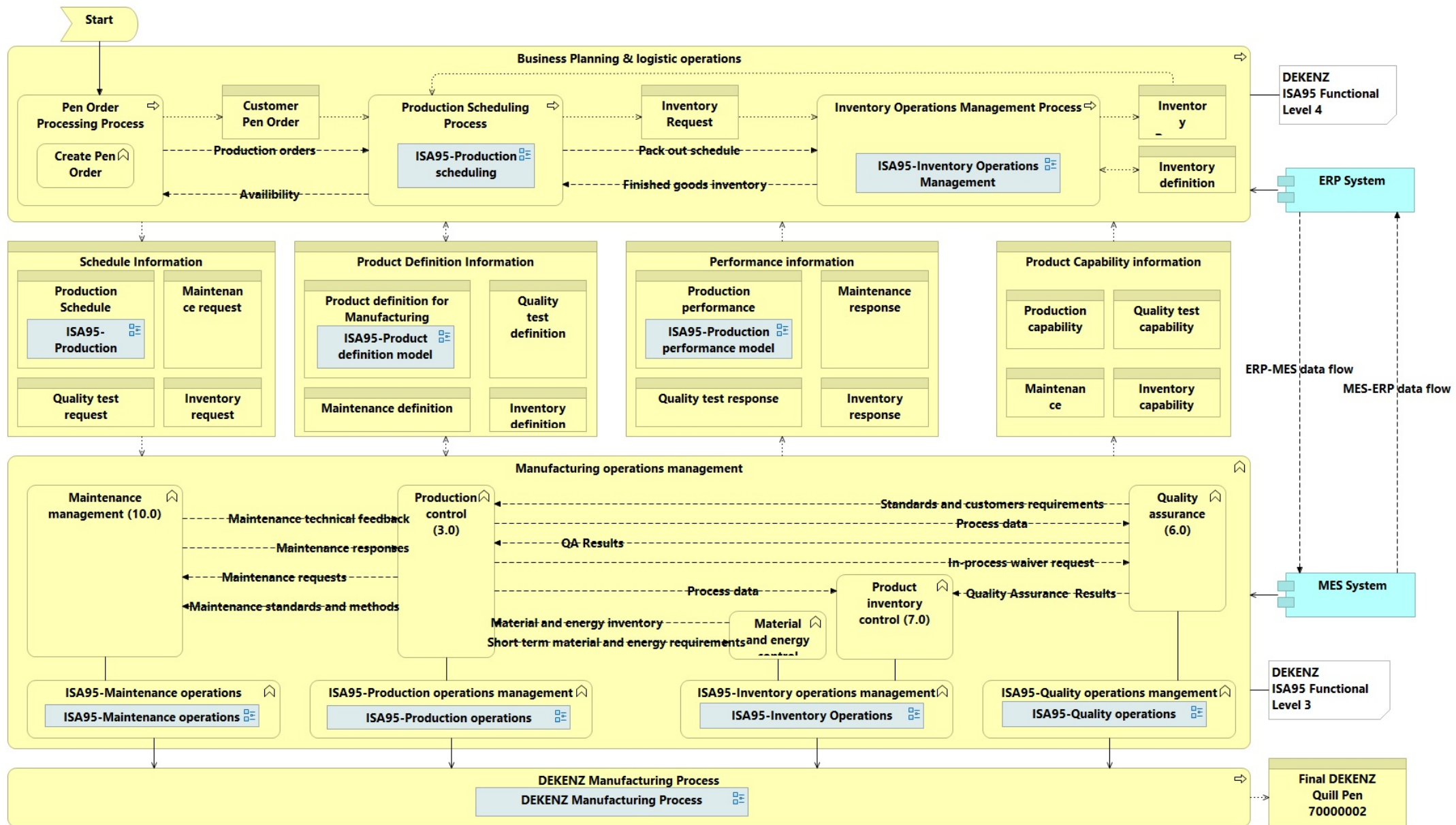


FIGURE 4.17 – Le processus collaboratif d'intégration entre les systèmes ERP et MES pour la gestion de fabrication

La section suivante décrit l'implantation du protocole d'échange du standard ISA95.

4.3.3 Les scénarios d'échange entre ERP et MES de l'atelier DEKENZ selon ISA

La figure 4.18 décrit un scénario d'échange d'informations entre le niveau ERP et le niveau MES. Celui-ci repose sur les verbes et les modèles d'échange du standard ISA décrits dans le chapitre 3 et illustrés par la figure 3.13.

Le haut de la figure représente les opérations effectuées par le système ODOO. Le bas de la figure représente les opérations de fabrication des composants du produit DEKENZ selon le modèle d'activité du standard ISA95 représenté par la figure 3.8 du chapitre 3.

Au milieu de la figure sont représentés les messages envoyés par les deux systèmes en utilisant les verbes du standard ISA95. En effet, chacune de ces transactions se conforme aux verbes du standard ISA (Push, Pull, Publish).

Dans ce scénario, ODOO envoie au système Alpha3i les OF de production du stylo (PROCESS Production Schedule). Il lui demande en retour de renvoyer les performances de productions (GET Production Performance) mesurées à la fin du processus de fabrication.

De son côté, le système Alpha3i demande à ce que le système ODOO lui envoie la nomenclature associée au produit (GET Manufacturing BOM). Le système ODOO répond en renvoyant la nomenclature demandée (Show Manufacturing BOM).

Une fois la fabrication terminée, le système Alpha3i renvoie le planning et relève les performances de production associées.

Ces performances vont permettre au système ODOO de détecter les anomalies s'il y en a (un retard sur le planning proposé, un arrêt machine qui s'est produit suite à une panne ou une maintenance, ou l'existence d'un produit défectueux détecté lors d'un contrôle qualité).

Toutes ces informations retournées par le système Alpha3i au système ODOO vont permettre d'avoir une vue micro sur ce qui se déroule au niveau de l'atelier et favoriser des prises de décision éclairées pour proposer des améliorations afin d'optimiser la fabrication.

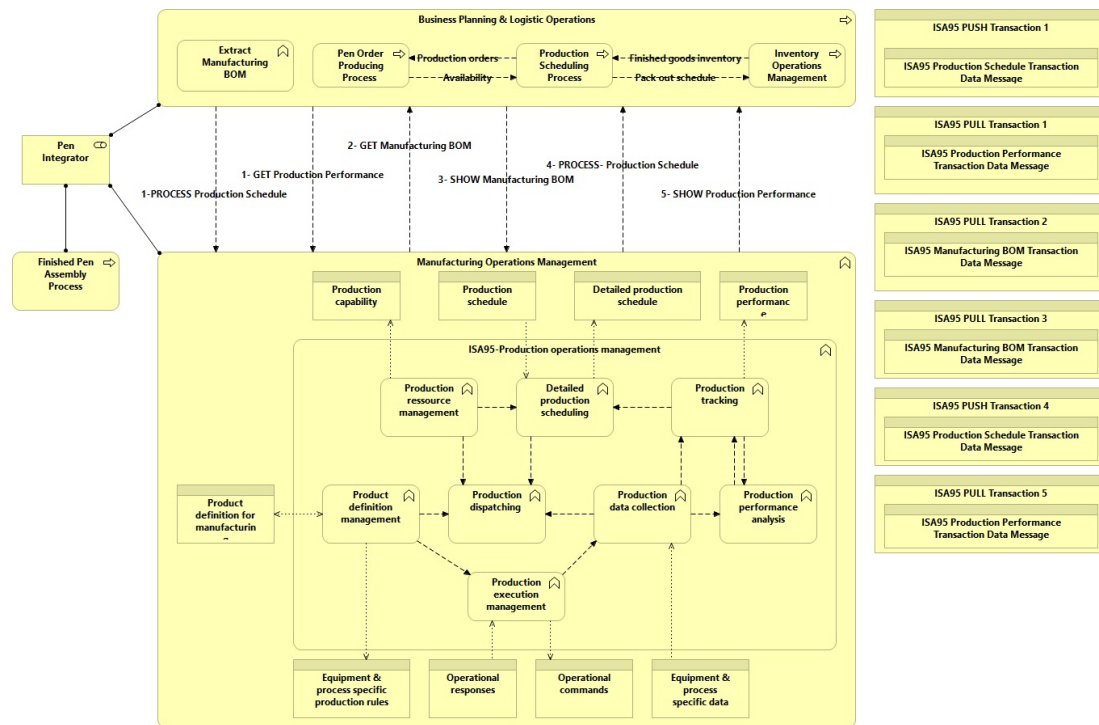


FIGURE 4.18 – Scénario d’échange d’information entre ERP et MES à travers le standard ISA95

Dans cette section, nous réalisons l’interopérabilité organisationnelle en :

1. Instanciant les fonctions, les flux d’échange du standard ISA95 sur notre cas d’étude,
2. Déroulant les scénarios de collaboration en se basant sur la spécification du standard ISA95 (flux, modèles d’activités, protocole d’échange),

4.4 L’interopérabilité sémantique basée sur les modèles

Cet aspect de l’interopérabilité vise à assurer la compréhension de la signification de l’information échangée entre deux systèmes. L’interopérabilité sémantique des systèmes permet de combiner les informations reçues avec d’autres informations et de les traiter d’une manière significative [Sak12].

Pour ce faire, nous réalisons une instanciation des méta-modèles des systèmes ODOO et Alpha3i avec des données du produit DEKENZ. Il s’agit de faire corres-

pondre ces données avec celles décrites dans les modèles du standard ISA95 comme le montre la figure 4.19.

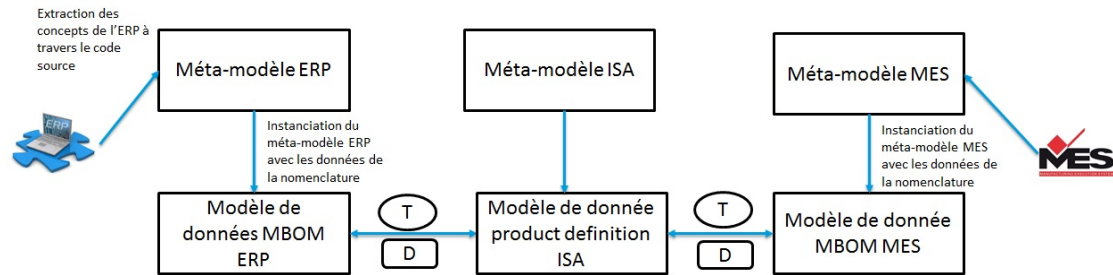


FIGURE 4.19 – L’interopérabilité sémantique entre les systèmes ERP et MES à travers le standard ISA95

Les sous-sections suivantes décrivent le contenu des méta-modèles des deux systèmes ODOO et Alpha3i.

4.4.1 Description des concepts des différents méta-modèles de ODOO

Au niveau des différents méta-modèles conçus, un nombre de concepts est décrit qui permet de renseigner les informations et données nécessaires pour chaque module (personnel, produit, etc).

Pour le module personnel, nous avons renseigné les concepts suivants :

- Nom et Prénom (name),
- Adresse mail (email Adress),
- Image (image),
- Numéro de téléphone fixe (phone),
- Numéro de téléphone mobile (mobile),
- Numéro de fax (fax),
- Mail check (check email), assurant que les mails échangés sont bien reçus et ouverts par les destinataires (partenaires),

En ce qui concerne le module produit, les concepts renseignés sont :

- Nom du produit (name),
- Type du produit (Stockable, consommable, service),
- Image du produit (image),
- Référence interne (internal reference),
- Code à barres (ean13),

- Prix de vente (Sale price),

Les propriétés du produit sont exploitées dans le but de définir leur nomenclature de fabrication. Mais le produit n'est pas une brique élémentaire ; il est constitué d'un ensemble de composants. Et pour arriver à fabriquer le produit fini, il est également nécessaire de spécifier les propriétés des différents éléments qui le composent. Les informations requises pour les nomenclatures sont les suivantes :

- Type de nomenclature (normal, ensemble),
- Séquence de nomenclature (sequence),
- Référence interne (Internal reference),
- Type de ligne de nomenclature par composant (Normal, Phantom),
- Propriété par ligne de nomenclature (Nom, composition à atteindre),
- Une valeur est attribuée pour chaque composant par ligne (value),
- Une séquence est attribuée par ligne (sequence),
- Un prix (attribute price extra),

Au niveau de la nomenclature se rajoutent des informations supplémentaires sur les produits, à savoir :

- Quantité à produire (quantity),
- Efficacité de la production (Manufacturing efficiency),
- Série de produit (product rounding),
- Durée de validité des produits (Valid from, valid until),

Différents types d'entrepôts existent dans le système ODOO, les propriétés suivantes permettent de les spécifier :

- Le nom de l'entrepôt (name),
- Le type de l'entrepôt selon la nature du stockage (Supplier location, Internal location, Customer location, Inventory, Procurement, Production, Transit location),
- Un code est attribué à chaque type d'entrepôt (Location barcode),
- Les dimensions de l'entrepôt définies par des coordonnées x, y, z (corridorX, shelvesY, heightZ),
- L'état de l'activité de l'entrepôt (active ou non),
- L'existence de ferrailles dans les entrepôts (isASrap location).
- Des informations supplémentaires peuvent être ajoutées si nécessaire (additional information),

La figure 4.20 représente un extrait du méta-modèle "Produit" du système ODOO.

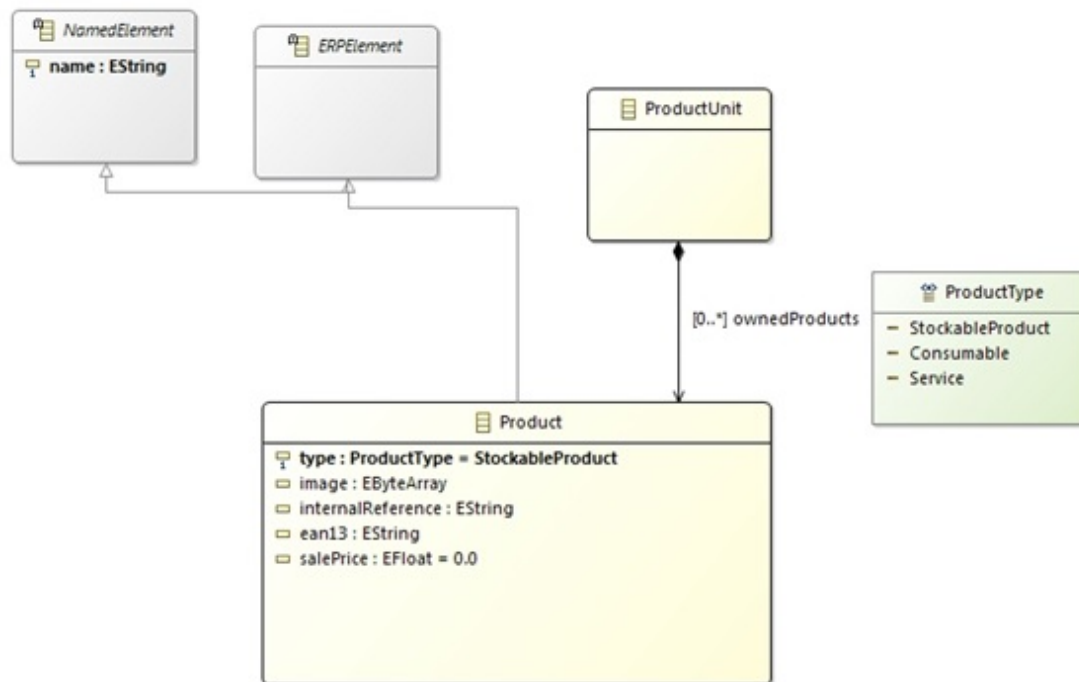


FIGURE 4.20 – Le méta-modèle produit de Odoo

Le reste des méta-modèles est présenté dans l'annexe VIII.

4.4.2 Description des concepts des différents méta-modèles de Alpha3i

Pour Alpha3i, nous avons noté que le module production comporte plus de détails que celui de ODOO. Cela nous a amenée à développer et outiller les méta-modèles de :

- Gestion du produit.
- Gestion des OF.
- Gestion du personnel.
- Gestion des sites de fabrication.
- Gestion des différents centres.
- Gestion des cycles de fabrication.

Dans ce système, nous nous intéressons aux informations liées au méta-modèle de gestion de produit et des OF.

Concernant le produit, les informations présentes dans le méta-modèle de gestion de produit permet de gérer des propriétés clés de ce dernier.

Le méta-modèle des ordres de fabrication n'est constitué que de deux classes : la classe "Article" et la classe "Ordre". Cette dernière représente les ordres de fabrication ainsi que les ordres de maintenance avec une relation d'arité [1..1]. Cela signifie que chaque ordre de fabrication est lié à un unique article.

Les concepts manipulés dans la classe ordres sont les suivantes :

- Le code de l'ordre (Code),
- Le type de l'ordre ; il s'agit dans notre cas d'un OF,
- La quantité à fabriquer (Launched Quantity),
- La date de début (Launched Date),
- La date de fin (End Date),
- Le numéro de série (Serial Production Order),
- La Référence de l'Ordre (Reference),
- Le commentaire (Comment).

Pour la classe "Article", les propriétés correspondant sont les suivantes :

- Le code article (Code),
- Le nom de l'article (Name),
- Sa désignation (Designation),
- Son type de production (Cascade),
- Son commentaire (Comment),
- L'OF correspondant lancé (Order Manufacturing Launch),
- Des zones libres conçues pour rajouter des informations additionnelles si nécessaire (Free Area 1 à 10),
- Une image décrivant l'article en question (Picture),

Le méta-modèle de gestion du produit englobe les concepts et relations contribuant au processus de fabrication. Il a été construit autour de deux grandes classes :

1. La gestion du produit (en lien avec la classe "Article"),
2. La séquence de fabrication représentée par les classes "Opération", "Contrôle" des opérations, "Nomenclature" des composants du produit, "Outil" nécessaire à la fabrication et "Centre" servant à effectuer la fabrication.

Le méta-modèle de gestion du produit concerne également la gestion matérielle de la fabrication (outils, opérations, sites, centres).

Ce travail de thèse s'intéresse en premier lieu à la gestion des ordres des articles et aux nomenclatures correspondantes. Il s'appuie pour cela sur le méta-modèle de gestion du produit et celui de la gestion des OF.

Les méta-modèles relatifs aux différents éléments gérant la fabrication au niveau du système MES sont décrits dans l'annexe XIII.

4.4.3 La correspondance des modèles avec le standard ISA-95 : Application de l'approche MDA

La partie 2 du standard ISA95 présente en format UML tous les modèles de données des informations traitées par le standard.

Afin d'avoir un modèle de référence commun, nous avons repris les modèles UML dans l'environnement Eclipse pour pouvoir les mapper avec les modèles ODOO et Alpah3i.

Le standard ISA95 définit quatre catégories d'information à échanger indépendamment de la fonction étudiée (Production, Maintenance, Qualité et Inventaire). Il définit également quatre catégories de ressources associées aux informations échangées [PM06].

Les informations échangées sont représentées dans les méta-modèles qui concernent :

1. La définition de la capacité et la capabilité : "Capability et Capacity Definition",
2. La définition du produit : "Product Definition",
3. La planification de la production : "Production Schedule"
4. Les performances de production : "Production Performance"

Par contre, les ressources sont représentées dans les méta-modèles concernant :

1. Le personnel : "Personnel",
2. Les équipements : "Equipment",
3. Le matériel : "Material",
4. Les segments de processus : "Process Segments".

Les différents méta-modèles du standard ISA95 sont représentés à un niveau d'abstraction plus élevé que les modèles de données UML décrits dans la partie 2 du standard. Ces méta-modèles sont représentés dans l'annexe XII.

Afin de réaliser une interopérabilité sémantique des systèmes d'information ERP et MES, nous proposons d'utiliser les différents modèles de l'ISA95 pour construire un modèle sémantique commun.

Pour ce faire nous mettons en œuvre la démarche MDA, dans laquelle des transformations de modèles sont appliquées.

décrites dans le chapitre 3.

Cette étape a pour objectif d'implanter les mapping entre les modèles dans l'environnement EMF comme le montre la figure 4.21.

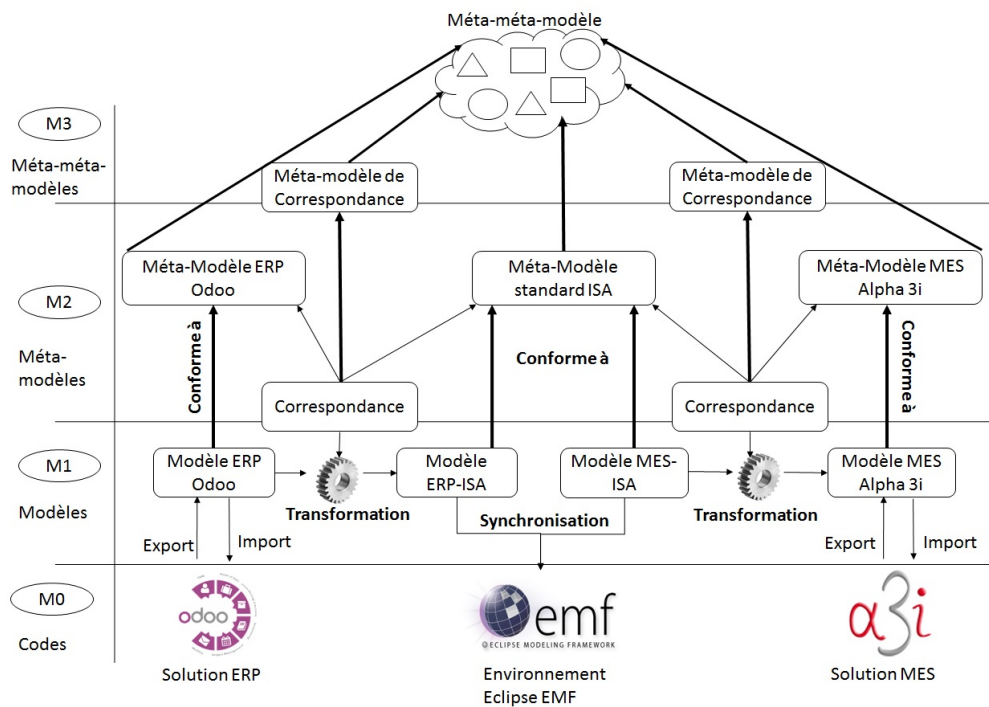


FIGURE 4.21 – L’application de la démarche MDA dans l’environnement EMF

Cette figure (4.21) représente les différents niveaux de la démarche MDA. Chaque niveau est instancié pour obtenir le niveau en dessous.

Dans le niveau M0, nous avons les différents outils (ODOO, Alpha3i et EMF) que nous allons exploiter dans notre application.

Au niveau M1, nous exportons les modèles respectifs des SI ODOO et Alpha3i par la méthode de rétro-ingénierie. Nous disposons aussi des modèles ISA95 dans EMF. Nous réalisons ainsi les correspondances entre les modèles des SI et les modèles ISA95.

Ces différents modèles sont conformes à leurs méta-modèles respectifs représentés dans la couche M2, qui correspondent aussi à un méta-méta-modèle commun qui se trouve dans la couche M3 la plus élevée.

Le modèle de définition du produit “Product Definition” du standard ISA95 rassemble les informations sur les articles à fabriquer, leur nomenclature et les OFs. Les concepts de ce modèle seront utilisés pour réaliser un mapping entre les concepts de ODOO et Alpha3i.

Mapping des concepts ERP et MES avec les concepts ISA

A partir de l’instanciation des méta-modèles “Produit” relatifs au système d’information ODOO, nous avons extrait les concepts décrits dans le tableau 4.2.

Ce tableau résume les transformation de modèles décrits dans la section 3.7.4 ; il s’agit de l’ensemble de correspondances qui ont été établies depuis les concepts du modèle relatif à la définition du produit du standard ISA95.

TABLE 4.2 – Correspondances entre les concepts ERP et ISA

Concepts ERP ODOO	Type de correspondance	Concepts ISA
Code produit	$\equiv$	ID
Nom article	$\equiv$	Description
Nomenclature	$\supset$	Nomenclature de fabrication
Ressource poste de charge	$\supset$	Spécification du personnel
Ordre de fabrication	$\supset$	Définition du produit
Poste de charge	$\supset$	Spécification des équipements
Nom du poste de charge	$\equiv$	Description des équipements
Quantité article	$\equiv$	Quantité
Valide de $\cap$ Valide jusqu’à	$\equiv$	Durée

Mapping des concepts Alpha3i avec le standard ISA

Pour le système Alpha3i, nous avons récupéré les concepts relatifs à une instanciation du méta-modèle de gestion de produit comme décrits dans le tableau 4.3. En se basant sur les transformations décrites dans le chapitre 3 section 3.7.4, nous établissons les correspondances entre les concepts du modèle Alpha3i avec le modèle ISA de définition du produit décrites dans le tableau 4.3.

TABLE 4.3 – Correspondances entre les concepts MES et ISA

Concept MES Alpha3i	Type de correspondance	Concept ISA
Code Produit	$\equiv$	ID
Nom produit	$\equiv$	Description
Date de création	$\equiv$	Date de publication
Nomenclature	$\equiv$	Nomenclature de fabrication
Responsable	$\supset$	Spécification du personnel
Gamme de fabrication	$\supset$	Définition du produit
Unité	$\supset$	Segment de produit
Séquence/Désignation	$\supset$	Spécification matérielle
Quantité	$\equiv$	Quantité
Date de début $\cap$ Date de fin	$\equiv$	Durée

Ces deux tableaux (4.2, 4.3) décrivent respectivement les correspondances entre les informations issues des systèmes ODOO et Alpha3i avec le standard ISA. A travers ces tableaux, nous avons remarqué l'existence de :

1. Concepts polysémiques : La durée est exprimée de deux façons différentes entre les systèmes ODOO et Alpha3i. Pour le système ODOO : La durée = (La date de validité jusqu'à) - (La date de validité depuis). Pour le système Alpha3i : La durée = (La date de fin) - (La date de début).
2. Des synonymes : Le concept description veut dire nom du produit ou article pour les deux systèmes ODOO et Alpha3i. Ou encore le concept ID veut dire code produit pour les deux systèmes.
3. Des homonymes : Le concept de définition de produit représente deux concepts différents au sein des systèmes ODOO et Alpha3i. Pour le système ODOO, il exprime un OF. Pour le système Alpha3i, il exprime la gamme de fabrication du produit.

4.4.4 L'architecture applicative visée de l'entreprise

Afin d'implanter les correspondances sémantiques précédemment définies basées sur le standard, nous proposons de développer l'architecture présentée dans la figure 4.22.

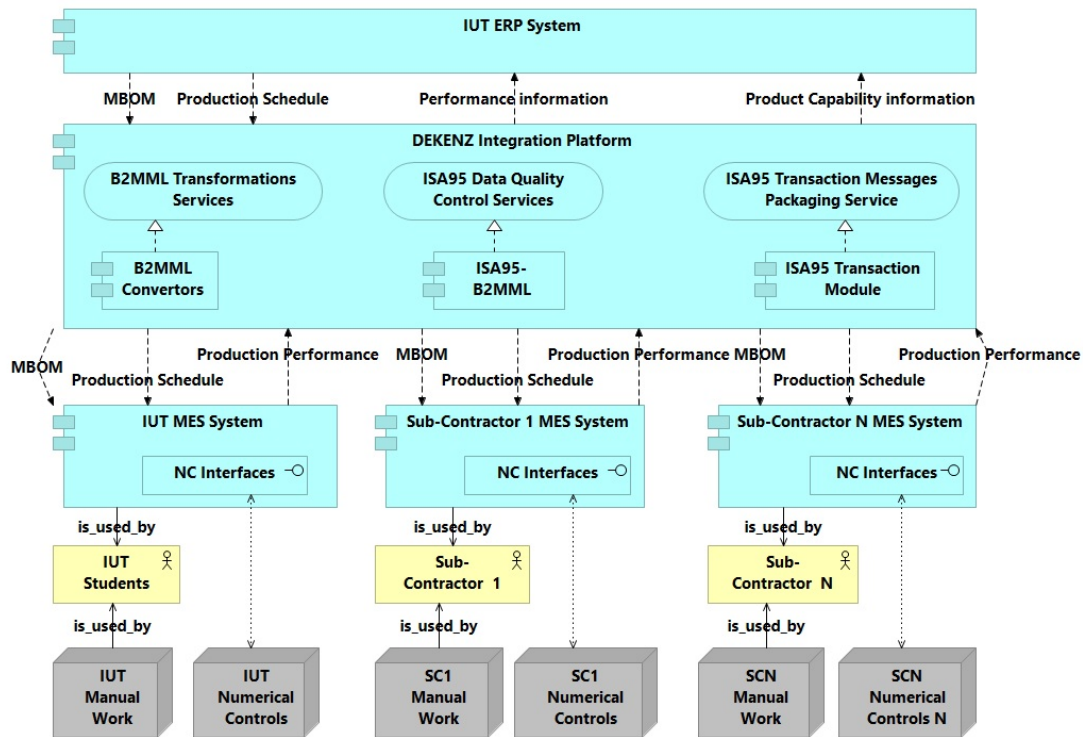


FIGURE 4.22 – Architecture “TO-BE” des systèmes d’information de l’atelier

Cette architecture permet d’intégrer le standard ISA95 entre les niveaux ERP et MES.

Des convertisseurs des informations entre les systèmes ODOO et Alpha3i seront intégrés à l’architecture actuelle de l’atelier DEKENZ.

Dans la section suivante, nous présentons le développement de ces convertisseurs ODOO/ISA et ISA/Alpha3i pour la réalisation de l’interopérabilité technique.

4.5 L’interopérabilité technique

Cette section détaille l’échange de données à travers l’étude d’un cas concret (ordre de fabrication du stylo DEKENZ).

Le travail présenté ici repose sur l’implémentation des correspondances réalisées dans la partie sémantique et comprenant le développement des deux convertisseurs permettant le transfert des données du système ODOO vers le système Alpha3i.

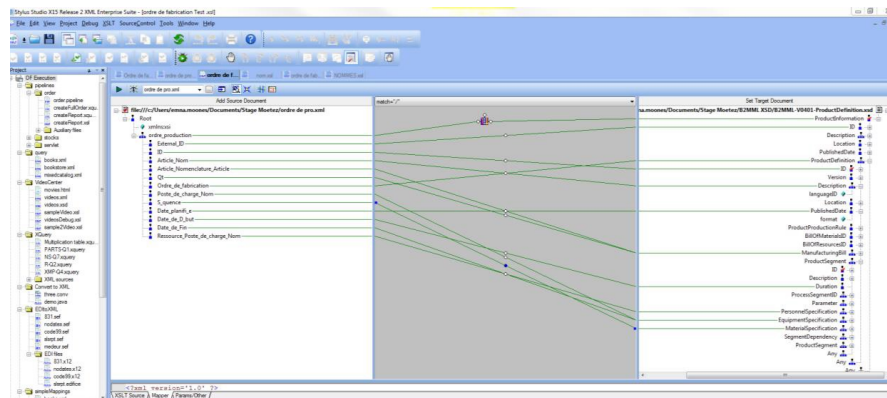


FIGURE 4.25 – Correspondance des données MES Alpha3i avec les données B2MML

Le fichier résultat de cette correspondance est représenté dans la figure 4.26.

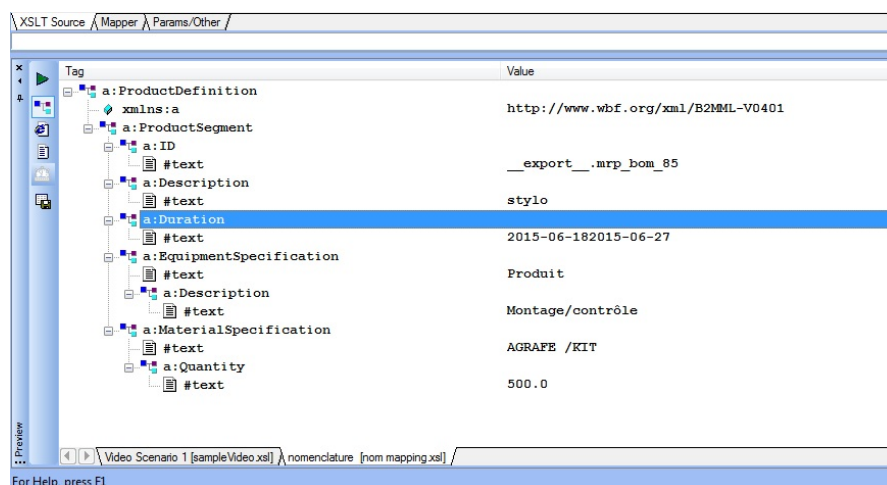


FIGURE 4.26 – Les données MES ALpha3i sous forme B2MML

Nous pouvons remarquer dans les données ERP deux attributs qui concernent la date de début de l'exécution de l'OF et la date de fin. Ces attributs sont traduits par l'attribut durée dans le modèle de données ISA.

Ainsi la durée est calculée par la différence entre la date de fin et la date de début, ceci ne peut pas être réalisé manuellement.

Pour remédier à ce type de problèmes, nous avons développé une application JAVA qui réalise automatiquement la correspondance.

4.5.2 Développement des convertisseurs ERP / ISA et ISA / MES

Pour automatiser ces correspondances, nous avons réalisé des interfaces d'export/import avec des transformations en JAVA qui permettent de :

1. Convertir les messages envoyés par le système ODOO de son langage XML propre au langage standardisé B2MML.
2. Convertir les messages au format B2MML au format XML du système Alpha3i.

De la même manière, nous avons implémenté des transformations dans l'autre sens pour gérer les messages du système Alpha3i vers le système ODOO.

Afin de réaliser ces convertisseurs, nous avons utilisé le langage de programmation orienté objet JAVA avec la plateforme NetBeans pour le développement de l'application.

Nous nous sommes basés sur la bibliothèque Saxon 9.6⁵ qui représente une collection d'outils pour traiter des fichiers XML.

Ses principaux composants sont :

- Le langage XQuery : un langage de requête informatique permettant d'extraire des informations d'un document XML, ou d'une collection de documents XML,
- Le processeur XSLT : un langage de transformation XML de type fonctionnel,
- Le langage XPath : un langage (non XML) pour localiser une portion d'un document XML.

En se basant sur les langages XQuery, XSLT et XPath, nous avons développé une interface de transformation JAVA présentée dans la figure 4.27.

5. <http://www.saxonica.com/html/documentation9.6/documentation.html>



FIGURE 4.27 – Interface graphique pour la conversion des données

Cette interface représente le menu principal où l'utilisateur fait ses choix des outils ERP et MES à implémenter avec le type de transformation à faire (de l'ERP vers le MES ou l'inverse).

Une fois que l'utilisateur a choisi le type de transformation qu'il souhaite effectuer, une deuxième interface apparaît représentée dans la figure 4.28.

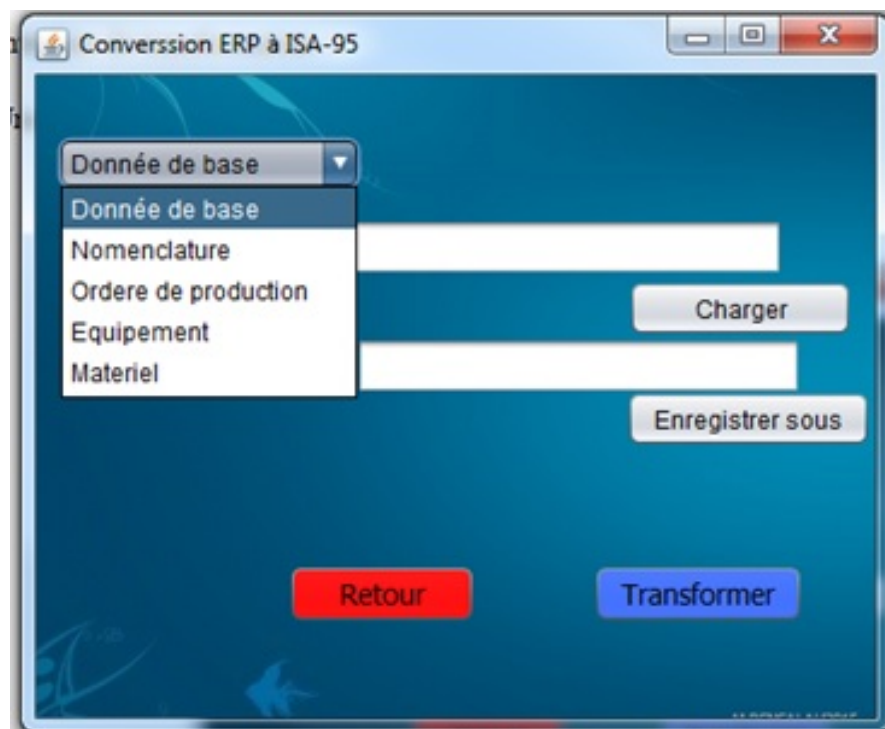


FIGURE 4.28 – Exemple de données à convertir

A l'aide de cette interface, l'utilisateur peut sélectionner le type de données à convertir (Nomenclature ou OF...). Une fois que la sélection des données est effectuée, l'utilisateur choisit son fichier XML à convertir en appuyant sur le bouton " charger " puis il sélectionne l'endroit où il souhaite enregistrer son fichier final transformé en lui attribuant un nom.

Après le choix de fichier et le lieu d'enregistrement, un simple clic sur le bouton " Transformer " permet de lancer la transformation. Le fichier final obtenu va s'enregistrer dans l'emplacement dédié.

Pour garder l'historique de ces transformations nous avons créé un tableau qui permet de récolter les fichiers à convertir et les emplacements des fichiers résultats des transformations.

Un message s'affiche à la fin pour indiquer que la transformation est bien réussie et que le fichier a bien été enregistré avec succès.

Dans le cas du chargement d'un fichier non conforme avec les données de base ou dans le cas d'un oubli de chargement de fichier, si l'utilisateur lance une transformation, un message d'erreur apparaît pour signaler l'anomalie détectée.

La figure 4.29 représente le fichier XML d'un OF extrait du système ODOO.

```

▼<Root xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  ▼<ordre_production>
    <External_ID>__export__.mrp_production_workcenter_line_12</External_ID>
    <ID>12</ID>
    <Article_Nom>AGRAFE</Article_Nom>
    <Article_Nomenclature_Article>[AU] AGRAFE</Article_Nomenclature_Article>
    <Qt>500.0</Qt>
    <Ordre_de_fabrication>contrôle - AGRAFE</Ordre_de_fabrication>
    <Poste_de_charge_Nom>contrôle</Poste_de_charge_Nom>
    <S_quence>1</S_quence>
    <Date_planifi_e>2015-05-05 09:37:03</Date_planifi_e>
    <Date_de_D_but>2015-05-05 09:38:57</Date_de_D_but>
    <Date_de_Fin>2015-05-05 12:37:03</Date_de_Fin>
    <Ressource_Poste_de_charge_Nom>opérateur2</Ressource_Poste_de_charge_Nom>
  </ordre_production>
  ▼<ordre_production>
    <External_ID>__export__.mrp_production_workcenter_line_11</External_ID>
    <ID>11</ID>
    <Article_Nom>AGRAFE</Article_Nom>
    <Article_Nomenclature_Article>[AU] AGRAFE</Article_Nomenclature_Article>
    <Qt>500.0</Qt>
    <Ordre_de_fabrication>usinage - AGRAFE</Ordre_de_fabrication>
    <Poste_de_charge_Nom>usinage</Poste_de_charge_Nom>
    <S_quence>0</S_quence>
    <Date_planifi_e>2015-05-05 09:37:03</Date_planifi_e>
    <Date_de_D_but>2015-05-05 09:38:56</Date_de_D_but>
    <Date_de_Fin>2015-05-05 12:37:03</Date_de_Fin>
    <Ressource_Poste_de_charge_Nom>opérateur1</Ressource_Poste_de_charge_Nom>
  </ordre_production>

```

FIGURE 4.29 – Extraction des données d’un ordre de production du système ODOO sous forme XML

La transformation de ce fichier (4.29) en format B2MML du ”Product Definition” du standard ISA95 nous a fourni le fichier de la figure 4.30.

```

▼<a:ProductInformation xmlns:a="http://www.wbf.org/xml/82MML-V0401">
  <a:ID>__export__.mrp_production_workcenter_line_12</a:ID>
  ▼<a:ProductDefinition>
    <a:ID>12</a:ID>
    <a:Description>AGRAFE</a:Description>
    <a:PublishedDate>2015-05-05 09:37:03</a:PublishedDate>
    ▼<a:ManufacturingBill>
      <a:Description>[AU] AGRAFE</a:Description>
      <a:Quantity>500.0</a:Quantity>
    </a:ManufacturingBill>
    ▼<a:ProductSegment>
      <a:Description>controle - AGRAFE</a:Description>
      <a:Duration>2015-05-05 09:38:572015-05-05 12:37:03</a:Duration>
      ▼<a:PersonnelSpecification>
        <a:Description>opérateur2</a:Description>
      </a:PersonnelSpecification>
      ▼<a:EquipmentSpecification>
        <a:Description>controle</a:Description>
      </a:EquipmentSpecification>
      ▼<a:MaterialSpecification>
        <a:Description>1</a:Description>
      </a:MaterialSpecification>
    </a:ProductSegment>
  </a:ProductDefinition>
  ▼<a:ProductDefinition>
    <a:ID>11</a:ID>
    <a:Description>AGRAFE</a:Description>
    <a:PublishedDate>2015-05-05 09:37:03</a:PublishedDate>
    ▼<a:ManufacturingBill>
      <a:Description>[AU] AGRAFE</a:Description>
      <a:Quantity>500.0</a:Quantity>
    </a:ManufacturingBill>
    ▼<a:ProductSegment>
      <a:Description>usage - AGRAFE</a:Description>
      <a:Duration>2015-05-05 09:38:562015-05-05 12:37:03</a:Duration>
      ▼<a:PersonnelSpecification>
        <a:Description>opérateur1</a:Description>
      </a:PersonnelSpecification>
      ▼<a:EquipmentSpecification>
        <a:Description>usage</a:Description>
      </a:EquipmentSpecification>
      ▼<a:MaterialSpecification>
        <a:Description>0</a:Description>
      </a:MaterialSpecification>
    </a:ProductSegment>
  </a:ProductDefinition>
  ►<a:ProductDefinition>...</a:ProductDefinition>
  ▼<a:ProductDefinition>

```

FIGURE 4.30 – Les données d'un ordre de production sous forme B2MML

Dans le fichier B2MML obtenu à la figure 4.30, nous retrouvons bien les informations du fichier 4.29. Il s'agit d'une interprétation selon le standard ISA95 du fichier XML du système ODOO.

Le fichier de la figure 4.30 représente :

- "Manufacturing Bill" pour la nomenclature,
- "Prodcut definition" pour les OFS,
- "Personnel specification" pour les opérateurs,
- "Equipement specification" pour les équipements utilisés,
- "Duration" pour le calcul de la durée des opérations,

Nous remarquons une conservation des informations du fichier 4.29.

Nous souhaitons par la suite intégrer les solutions ODOO et Alph3i sur la plateforme de test du projet SIP et implémenter le protocole d'échange du standard ISA95. Ce travail est présenté dans la section suivante.

4.5.3 Développement des composants de référence ERP et MES

Pour réaliser notre démonstrateur de test ERP/MES qui implémente le standard ISA-95, nous avons développé les composants de référence conformes aux SI ODOO et ALPHA3i.

Ces composants sont basés sur les modèles ERP et MES développés dans la partie sémantique de la démarche en se basant sur le module Sirius de EMF (Figure 4.31).

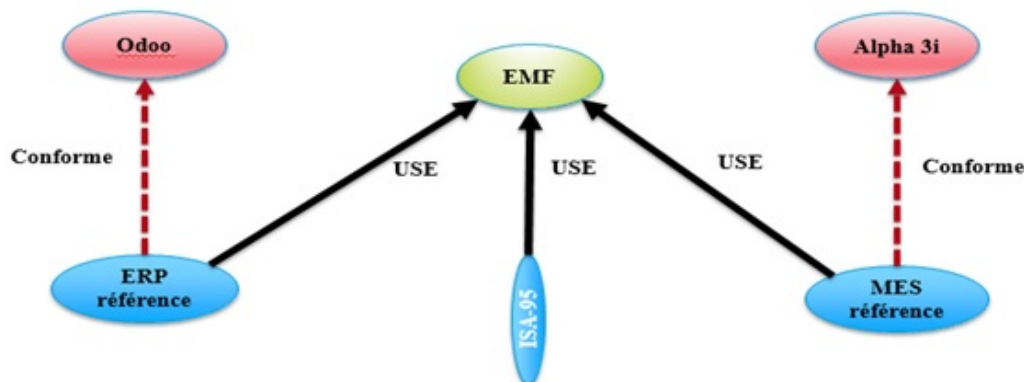


FIGURE 4.31 – Les composants de référence ODOO et Alpha3i

L'architecture technique des composants ODOO et Alpha3i est représenté dans la figure 4.32.

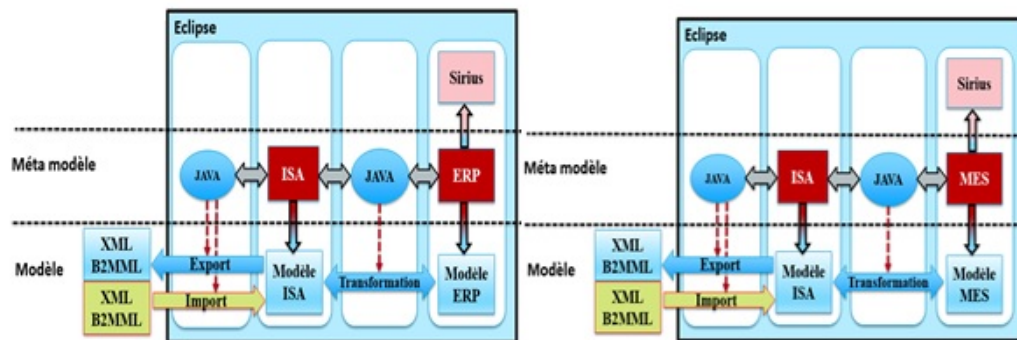


FIGURE 4.32 – Architecture technique des composants de référence ODOO et Alpha3i

La figure 4.33 montre un exemple d’une interface de saisie des propriétés d’un produit pour le composant ODOO.

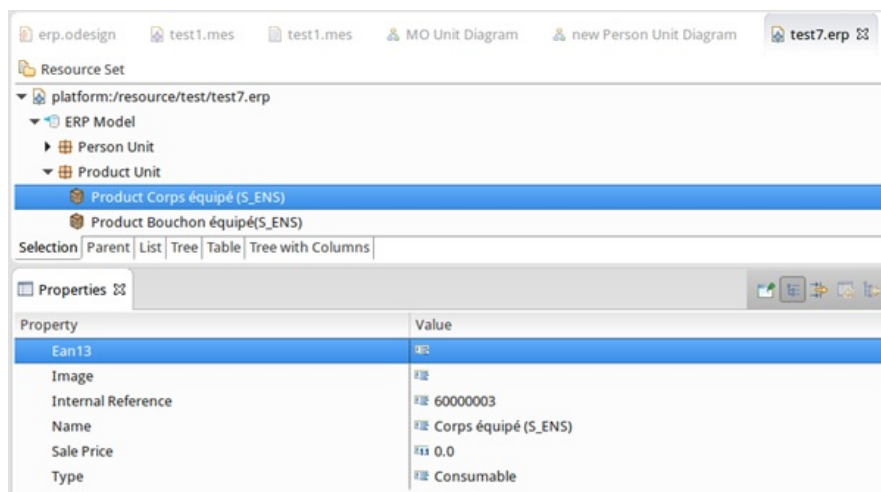


FIGURE 4.33 – L’interface utilisateur pour la saisie des propriétés d’un produit

Pour le composant Alpha3i, nous représentons dans la figure 4.34, l’interface de définition des OFs des produits.

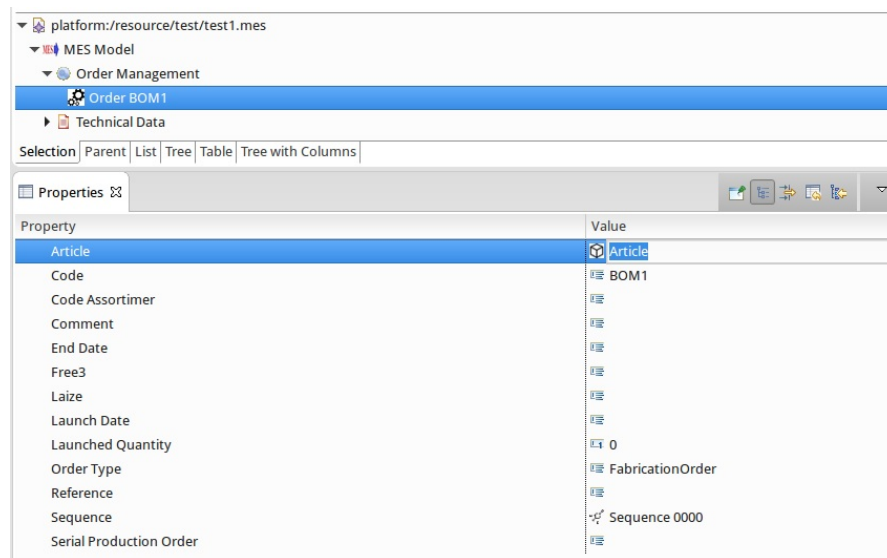


FIGURE 4.34 – Interface utilisateur pour spécifier les OFs

En se basant sur les transactions d'échange définies par le standard et dans le but d'implémenter le standard ISA95, la figure 4.35 représente notre solution technique de l'implantation spécifique à la norme ISA95.

Nous avons choisi de nous appuyer sur le protocole TCP/IP afin d'assurer la communication entre les composants ERP et MES. Les messages échangés sont représentés sous le format transactionnel d'ISA95, ceci en se basant sur les verbes permettant à chaque système de demander ou de recevoir l'information requise.

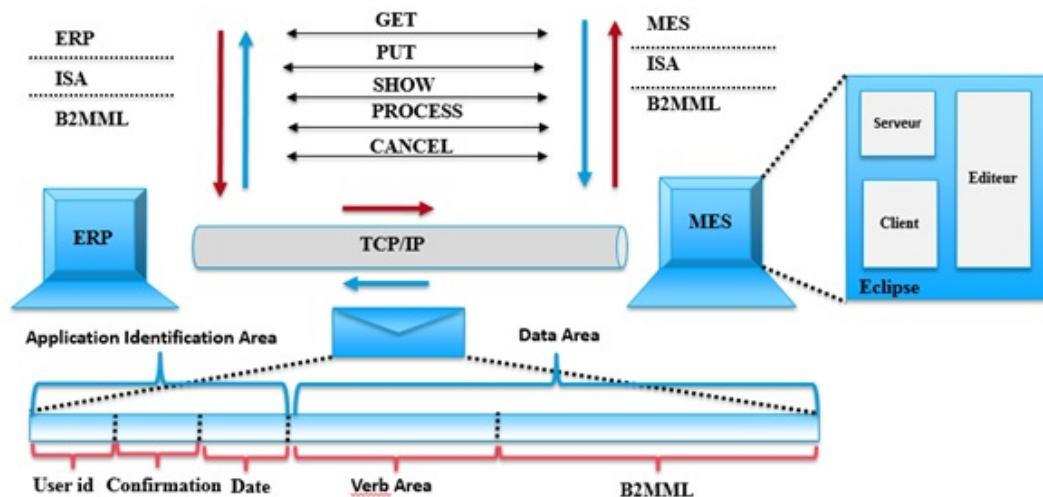


FIGURE 4.35 – Implémentation du protocole d'échange ISA avec les composants ODOO et Alpha3i

Cette interface permet d'implémenter le scénario d'échange de la figure 4.18 des données DEKENZ basées sur le standard.

Pour tester les implantations du standard ISA95, les composants de référence des systèmes ODOO et Alpha3i seront intégrés dans la plateforme "testbed" ERP / MES.

4.5.4 Intégration des composants ODOO/Alpha3i dans la plateforme "testbed" ERP/MES

Le projet SIP ayant pour objectif de tester des implantations des standards PLM, et étant membre du projet et responsable de la phase de fabrication du cycle de vie, nous nous sommes alors intéressée à tester les implantations du standard ISA.

La figure 4.36 représente notre plateforme de test ERP/MES (Virtual Test Bed). Sur cette plateforme, nous intégrons nos deux composants relatifs aux systèmes ODOO et Alpha3i que nous avons développés.

Cette plateforme intègre aussi les convertisseurs ERP/MES basés sur le langage B2MML du standard ISA. Dans le cas où d'autres collaborateurs souhaitent tester leurs systèmes, ERP et MES étant différents des systèmes ODOO et Alpha3i, les composants de référence seront remplacés par les nouveaux systèmes à tester.

Par ailleurs, les convertisseurs que nous avons développés sont spécifiques aux SI ODOO et Alpha3i qui à la base n'implémentent pas le standard ISA95. Ainsi les différents collaborateurs possédant des SI différents de nos systèmes seront amenés à apporter des modifications au niveau des convertisseurs.

Il s'agit donc d'une plateforme générique implémentant le standard ISA95 et qui permet de tester différents systèmes de type ERP et MES.

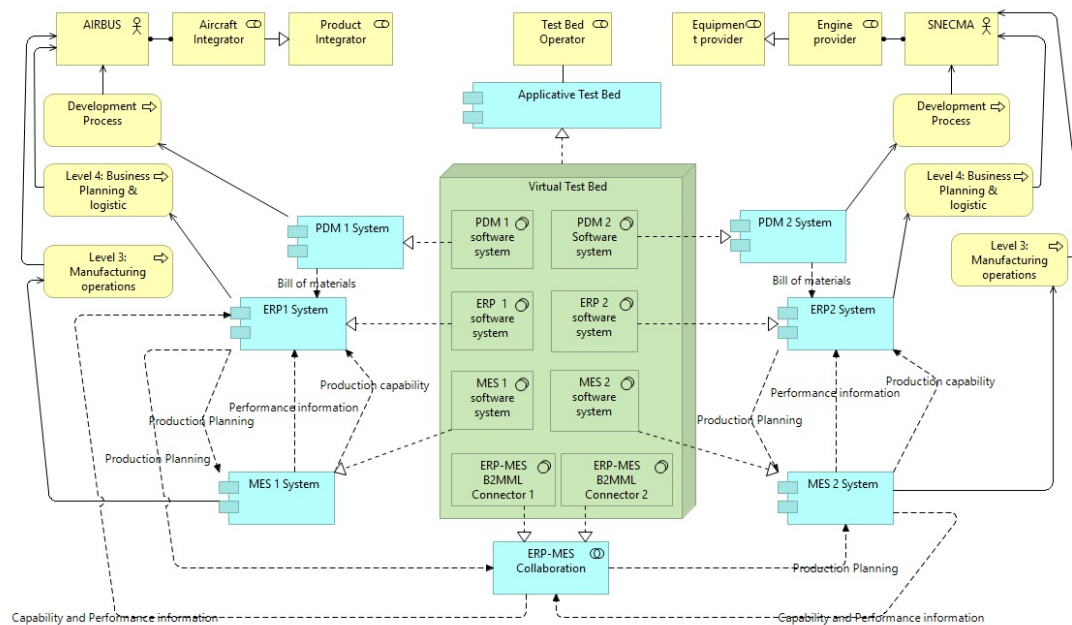


FIGURE 4.36 – Intégration des composants ERP et MES dans la plateforme test bed ERP/MES

La figure 4.37 représente une vue globale du scénario "Top-down" d'intégration des SI ERP/MES.

La partie supérieure représente le modèle du scénario collaboratif entre un "planificateur de commande client" et un "gestionnaire des commandes fournisseur"

représentés par le cadre en gris.

Le responsable de la planification des commandes clients transmet à son fournisseur un planning de production avec les différents ordres et les nomenclatures de fabrication à partir du système ERP.

Le fournisseur intègre toutes ces informations dans son système MES afin de définir la planification détaillée de la production.

Ce scénario est modélisé sur les trois couches. La couche métier (jaune) spécifie la séquence des activités commerciales et les objets métier connexes. La couche applicative (bleu) spécifie les composants applicatifs prenant en charge ces activités et les objets de données réalisant les objets métier. La couche technologique (vert) spécifie les systèmes logiciels réels et les fichiers de données réalisant respectivement les composants applicatifs et les objets de données.

La partie inférieure représente le modèle du banc de test. C'est-à-dire l'application (boîtes bleues sur le côté droit) et l'infrastructure technologique (cases vertes du côté gauche) pour simuler le scénario de collaboration et évaluer les séquences d'échange et les implantations du standard ISA95.

Dans la couche technologique (la plate-forme de virtualisation), nous avons modélisé et distingué le cluster virtuel en spécifiant les nœuds d'infrastructure. Cette infrastructure décrit un ensemble de machines virtuelles et le banc d'essai virtuel composé de ces dernières.

Ces machines virtuelles hébergent les applications / implantations simulées et les périphériques de stockage physique hébergent les ensembles de données de test générés ou consommés.

La figure 4.36 met en lumière non seulement la complexité de la modélisation d'un tel scénario de collaboration sur les trois couches, mais aussi la difficulté de définir des limites système qui peuvent être préservées entre les couches métier, applicatives et TIC d'un modèle DMN complexe.

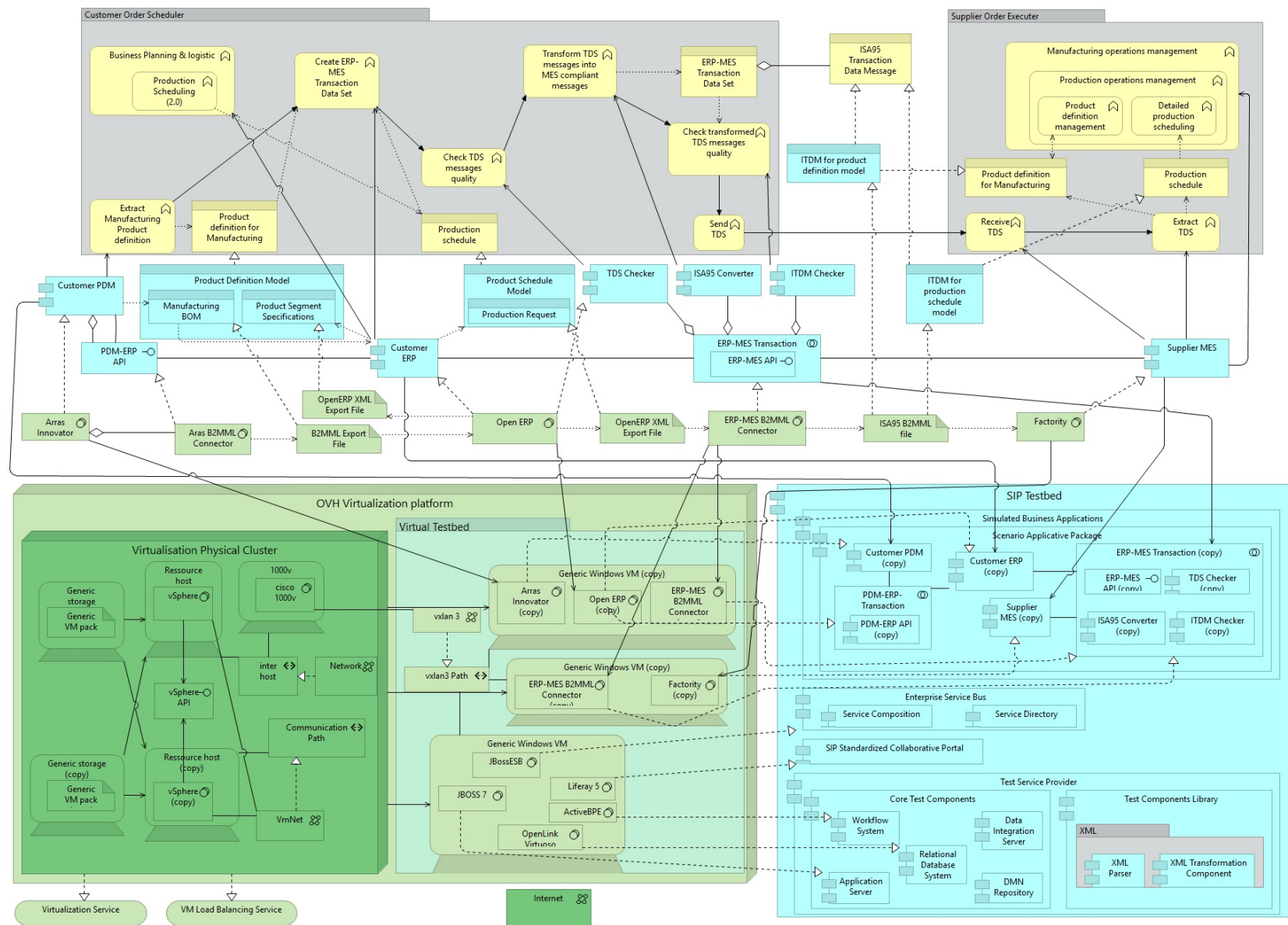


FIGURE 4.37 – Une vue globale sur le scénario top-down d'intégration ERP/MES

4.6 Validation des données de nomenclature en utilisant les règles schematron

Pour tester le processeur de validation des données XML par les règles schematron, nous avons défini une nomenclature simplifiée de notre stylo DEKENZ. Cette nomenclature est constituée de quatre composants comme le montre la figure 4.38 :

1. Le produit fini : "S" (Stylo)
2. L'agrafe "A" et le kit "K"
3. Les barrettes laiton "BL"

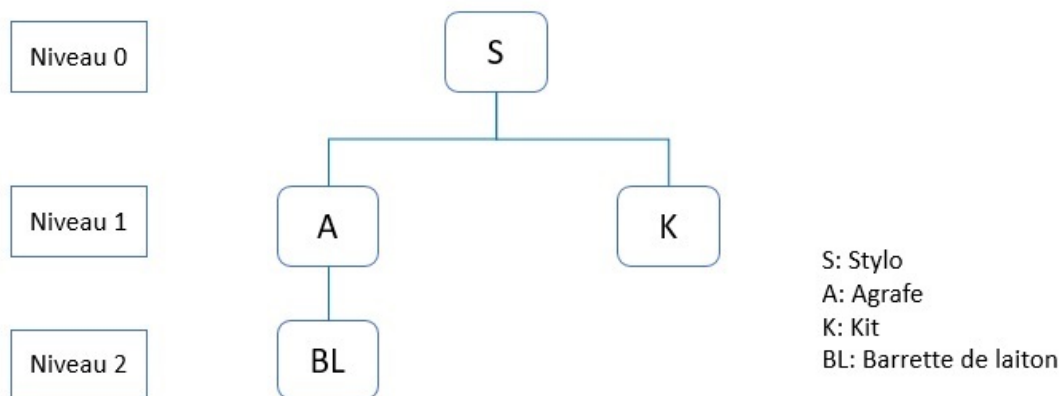


FIGURE 4.38 – Nomenclature simplifiée du stylo DEKENZ

Nous introduisons cette nomenclature au niveau du système ODOO pour générer par la suite le fichier XML correspondant représenté dans la figure 4.39.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<Root xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <nomenclature>
    <External_ID>_export_.nrp_bon_85</External_ID>
    <Article_Nom>style </Article_Nom>
    <Gamme_Nom>Produit </Gamme_Nom>
    <Gamme_Postes_de_charge_Nom>Montage/contrôle</Gamme_Postes_de_charge_Nom>
    <Lignes_de_nomenclature_Article_Nom>AGRAFE /KIT </Lignes_de_nomenclature_Article_Nom>
    <Valide_du>2015-06-18</Valide_du>
    <Valide_jusqu_au>2015-06-27</Valide_jusqu_au>
    <Quantit_d_article>500.0</Quantit_d_article>
  </nomenclature>
  <nomenclature>
    <External_ID>_export_.nrp_bon_38</External_ID>
    <Article_Nom>AGRAFE </Article_Nom>
    <Gamme_Nom>agrafe </Gamme_Nom>
    <Gamme_Postes_de_charge_Nom>psinage /contrôle</Gamme_Postes_de_charge_Nom>
    <Lignes_de_nomenclature_Article_Nom>Barrette de laiton </Lignes_de_nomenclature_Article_Nom>
    <Quantit_d_article>500.0</Quantit_d_article>
  </nomenclature>
</Root>

```

FIGURE 4.39 – Le fichier XML de la nomenclature simplifiée issu du système ODOO

Pour vérifier la structure de cette nomenclature nous avons défini les règles suivantes :

1. Respecter les trois niveaux hiérarchiques de la nomenclature.
2. Respecter les cardinalités de chaque composant de la nomenclature.

En appliquant ces règles à la nomenclature de la figure 4.38, elle se traduisent par :

1. "S" doit contenir au moins un composant "A" et un composant "K".
2. "A" doit contenir au moins un composant "BL".
3. "A" et "K" sont des composants de "S".
4. "BL" est une composante de "A".

Par la suite l'ensemble de ces règles sera défini dans le langage schematron. Les deux fichiers XML ODOO et le fichier schematron qui contient les règles seront alors introduits dans le processeur Existdb qui se charge de la validation du fichier en se basant sur les règles.

La validation des données à travers le langage Schematron permet de parcourir le fichier XML et de détecter les différentes anomalies qui peuvent être présentes, et qui peuvent engendrer des erreurs dans la transformation des fichiers.

4.7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'appliquer notre démarche proposée dans le chapitre 3 sur un cas d'étude réel d'une usine de fabrication.

Même si le cas que nous avons implémenté reste un cas d'école, nous avons pu montré à travers lui l'efficacité de notre proposition.

Cette usine étant déjà pilotée par un système MES Alpha3i et un système ERP ODOO, nous avons implémenté le standard ISA95 entre ces deux systèmes sur les différents niveaux d'interopérabilité.

Au niveau de l'interopérabilité organisationnelle, nous avons modélisé en utilisant l'outil Archi et selon le standard ISA95 :

1. Le processus de fabrication collaboratif des produits de l'usine DEKENZ.
2. Les flux échangés entre les systèmes ODOO et Alpha3i
3. Un vrai scénario d'échange concernant la définition du produit DEKENZ.

Pour aller plus en détails au niveau du contenu des systèmes ODOO et Alpha3i, nous avons attaqué le niveau sémantique, dans lequel nous avons :

1. Capitalisé sous forme de méta-modèle les concepts des systèmes ERP et MES liés à la gestion de la fabrication.
2. Instancié ces méta-modèles sous forme de modèles respectifs pour les systèmes ERP et MES.
3. Mappé les concepts générés des systèmes ODOO et Alpha3i avec les concepts du modèle de définition de produit du standard ISA95.

Ensuite afin d'automatiser les correspondances réalisées durant l'interopérabilité sémantique, nous sommes passés au niveau technique où nous avons :

1. Développé des convertisseurs des informations à échanger entre le système ODOO et le système Alpha3i. Ces convertisseurs permettent de traduire les

informations extraites de l'ERP afin qu'elles soient compréhensibles par le système MES. Ceci par le biais des règles de transformation XSLT et en se basant sur le langage B2MML du standard ISA95.

2. Développé des composants de références identiques aux systèmes ODOO et Alpah3i. Ces composants seront implémentés sur notre plateforme de test ERP/MES du projet SIP. Ils permettront ainsi de tester les implémentations du standard ISA95. A travers ces tests sur la plateforme SIP, nous fournissons des recommandations d'usage du standard ISA95 aux collaborateurs qui souhaitent l'implémenter. Ceci représente l'un des objectifs du projet et du développement de la plateforme "Test-Bed".

Conclusion et perspectives

Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans le cadre du projet de recherche SIP qui a pour objectif de fournir une plateforme adaptative dont le but est de valider par l'expérimentation un certain nombre de standards du PLM. Notre contribution à ce projet pour proposer une solution aux problèmes d'interopérabilité nous a amené à considérer les questions scientifiques suivantes au cœur de la thèse :

1. Comment améliorer l'interopérabilité entre les systèmes d'information ERP et MES à travers le standard ISA95 dans un milieu collaboratif et dynamique d'entreprise ?
2. Comment aborder et traiter les problèmes d'interopérabilité à travers les niveaux technique, sémantique et organisationnel ?

Pour bien faire comprendre au lecteur l'importance de ce problème, nous avons tout d'abord présenté le contexte de nos travaux et la définition des principales notions de la collaboration. Nous avons ensuite mis en perspective le rôle de ces concepts dans la gestion du cycle de vie du produit (PLM) et dans l'interopérabilité dans l'entreprise.

L'état de l'art nous a permis de définir et caractériser l'interopérabilité des systèmes d'information en général et des systèmes de type ERP et MES en particulier. Pour les besoins du projet, nous nous sommes en particulier focalisée sur les méthodes permettant de faire face aux problèmes d'interopérabilité entre ERP et MES sur les niveaux organisationnel, sémantique et technique.

En examinant les limites soulevées dans l'état de l'art, nous avons proposé une approche d'interopérabilité entre ERP et MES multi-niveaux basé sur le standard ISA95. Cette approche a été instancié à travers l'outil de modélisation Archimate.

La démarche que nous avons proposé nous a permis de fournir :

1. Une proposition pour les barrières organisationnelles basée sur une représentation commune du processus collaboratif, centrée sur la modélisation du processus de fabrication.

Il s'agit ici d'aboutir à une représentation du processus collaboratif qui soit compréhensible par tous les partenaires de la collaboration. Nous avons pour cela utilisé l'outil de modélisation Archimate en suivant les recommandations du standard ISA95.

L'étude présentée dans cette thèse est centrée en particulier sur les fonctions et les flux du processus. Pour implémenter le standard ISA95 à ce niveau, nous avons modélisé les fonctions et les flux conformément à ce qui est décrit dans le standard. Ces modèles du standard représentent des "templates" réutilisables pour différents scénarios de collaboration.

2. Une proposition pour les barrières sémantiques fondée sur l'approche dirigée par les modèles. Nous avons pour cela capturé sous la forme de méta-modèles, les concepts relatifs aux solutions ERP et MES. Cette réification des concepts du standard nous a permis ensuite de spécifier des transformations dans le but de réaliser des correspondances entre les systèmes ERP et MES en passant par le standard ISA95.
3. Une dernière proposition permettant de faire face aux barrières de l'interopérabilité technique. Celle-ci permet d'assurer une interopérabilité par le biais de deux convertisseurs ERP / ISA et ISA / MES. Le rôle du premier est de convertir les données extraites du système ERP sous forme XML au format B2MML. Le second convertisseur permet ensuite de convertir les données B2MML standardisées sous format XML du MES. Du point de vue technique, cette conversion bi-directionnelle s'appuie sur des transformations de type XSLT. Cette étape a donné lieu à l'implémentation de composants de référence pour les systèmes ERP et MES pour un déploiement sur la plateforme de test ERP/MES du projet SIP.

Notre approche a été illustré sur un cas réel B2M de collaboration de l'usine de fabrication DEKENZ. L'atterrissage technique de nos travaux a donné lieu à une réalisation basée sur les systèmes ODOO et Alpha3i présents au sein de l'atelier de fabrication.

Ce travail de thèse a dû prendre en compte et respecter les demandes du projet SIP dans lequel il s'inscrit. Par ailleurs, des travaux complémentaires sont d'ores et déjà identifiés. Les résultats obtenus par nos expérimentations nous ont conduit à considérer l'ensemble des perspectives de recherche suivant :

1. Au niveau organisationnel, il peut être intéressant d'associer avec le standard ISA le référentiel SCOR traitant la notion des processus au sein des entreprises. L'orchestration et la gestion des processus métiers permettra

-
- à terme d'influencer les prises de décisions stratégiques des dirigeants et partenaires du réseau d'entreprise. Cette tâche est ardue dans la mesure où elle touche des intérêts plus économiques et politiques pour les entreprises.
2. Au niveau sémantique : pour faire suite aux travaux initiés dans cette thèse, nous proposons de mesurer l'interopérabilité sémantique. Cette mesure peut être réalisée soit par des méthodes quantitatives en formalisant des métriques qui permettent de mesurer et quantifier le degré de l'interopérabilité sémantique entre les systèmes d'informations ERP et MES, soit par des méthodes qualitatives en se basant sur les modèles de maturité qui définissent des critères d'évaluation.
 3. Au niveau technique : il serait intéressant d'investiguer la validation des données échangées à travers les règles schematron. Nous pouvons également envisager d'automatiser les flux informationnels à travers l'implémentation des moteurs de Workflow en se basant sur la technologie XPDL.
 4. Au niveau de la démarche, il est nécessaire de consolider l'échange d'informations entre les systèmes ERP et MES en assurant une bi-bidirectionnalité totale. Les expérimentations associées permettraient d'assurer que le système MES renvoie des informations pertinentes sur les performances de production et la qualité des produits fabriqués en vue de mettre en place des stratégies d'amélioration au sein de l'environnement de collaboration.

Bibliographie

- [AATV08] Marco Alemanni, Grimaldi Alessia, Stefano Tornincasa, and Enrico Vezzetti. Key performance indicators for plm benefits evaluation : The alcatel alenia space case study. *Computers in Industry*, 59(8) :833–841, 2008.
- [ABH⁺10] Victor Anaya, Giuseppe Berio, Mounira Harzallah, Patrick Heymans, Raimundas Matulevičius, Andreas L Opdahl, Hervé Panetto, and Maria Jose Verdecho. The unified enterprise modelling language—overview and further work. *Computers in Industry*, 61(2) :99–111, 2010.
- [AD⁺02] Benoit A Aubert, Aymeric Dussart, et al. *Systèmes d’information inter-organisationnels*. CIRANO, 2002.
- [ADZ⁺16] Carlos Agostinho, Yves Ducq, Gregory Zacharewicz, João Sarraipa, Fenareti Lampathaki, Raul Poler, and Ricardo Jardim-Goncalves. Towards a sustainable interoperability in networked enterprise information systems : trends of knowledge and model-driven technology. *Computers in Industry*, 79 :64–76, 2016.
- [ÅFBE16] Magnus Åkerman, Åsa Fast-Berglund, and Sven Ekered. Interoperability for a dynamic assembly system. *Procedia CIRP*, 44 :407–411, 2016.
- [AMI93] ESPRIT Consortium AMICE. *ECIMOSA : open system architecture for CIM*, volume 1. Springer, 1993.
- [ANS05] ANSI/ISA. Ansi/isa—95.00.03—2005 enterprise control system integration part 3 : Activity models of manufacturing operations management. Technical report, ISA, 2005.
- [ANS10] ANSI/ISA. Ansi/isa-95.00.01-2010 (iec 62264-1 mod) enterprise-control system integration — part 1 : Models and terminology approved 13 may 2010. Technical report, ISA, 2010.

-
- [ANS13] ANSI/ISA. Ansi/isa-95.00.05-2013 enterprise-control system integration - part 5 : Business-to-manufacturing transactions. Technical report, ISA, 2013.
- [Are16] Kerkar Arezki. Etude de l'interopérabilité entre les systèmes d'informations erp et mes en se basant sur le standard isa95 et développement d'un démonstrateur de test des implémentations de ce standard. Technical report, 2016.
- [Auz09] Jean-Philippe Auzelle. *Proposition d'un cadre de modélisation multi-échelles d'un système d'information en entreprise centré sur le produit*. PhD thesis, Université Henri Poincaré-Nancy I, 2009.
- [Baï06] Salah Baïna. *Interopérabilité dirigée par les modèles : Une Approche Orientée Produit pour l'interopérabilité des systèmes d'entreprise*. PhD thesis, 2006.
- [Bax07] Pamela Baxter. The ccare model of clinical supervision : Bridging the theory–practice gap. *Nurse education in practice*, 7(2) :103–111, 2007.
- [BB02] Jean Bézin and Xavier Blanc. Mda : Vers un important changement de paradigme en génie logiciel. *Développeur référence v2*, 16 :15, 2002.
- [BDF⁺99] Edward Barkmeyer, Peter Denno, Shaw Feng, Al Jones, and Evan Wallace. Nist response to mes request for information. *NIST Response to RFI-3 MES Models*, pages 2–4, 1999.
- [BEF⁺07] A-J Berre, Brian Elvesæter, Nicolas Figay, Claudia Guglielmina, Svein G Johnsen, Dag Karlsen, Thomas Knothe, and Sonia Lippe. The athena interoperability framework. In *Enterprise interoperability II*, pages 569–580. Springer, 2007.
- [Ber03] Nemes Bernus. Schmidt : Handbook on enterprise architecture, 2003.
- [Béz03] Jean Bézin. La transformation de modèles. *INRIA-ATLAS & Université de Nantes*, 13, 2003.
- [BGB⁺05] JP Bourey, R Grangel, A Berre, G Doumeingts, K Kalampoukas, M Bertoni, L Pondrelli, and N Daclin. Dtg2. 1 : Report on model establishment. *Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software Network of Excellence, n IST*, pages 508–011, 2005.
- [BLDC09] Alain Bernard, Florent Laroche, and Catherine Da Cunha. Models and methods for knowledge formalisation in a plm context. In *3rd*

-
- International Congress Design and Modelling of Mechanical Systems CMSM'2009*, pages 9–pages, 2009.
- [BLE⁺07] Gorka Benguria, Xabier Larrucea, Brian Elvesæter, Tor Neple, Anthony Beardsmore, and Michael Friess. A platform independent model for service oriented architectures. In *Enterprise interoperability*, pages 23–32. Springer, 2007.
- [BLL95] Jean Bezivin, JEROME Lanneluc, and Richard Lemesle. snets : The core formalism for an object-oriented case tool. *Object-Oriented Technology for Database and Software Systems*, pages 224–239, 1995.
- [BMMD05] Denis Berthier, Chantal Morley, and Michel Maurice-Demourieux. Enrichissement de la modélisation des processus métiers par le paradigme des systèmes multi agents. *Systèmes d'information et management*, 10(3) :25, 2005.
- [BN96] Peter Bernus and Laszlo Nemes. A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 9(3) :179–191, 1996.
- [BTRP06] Frédéric Bénében, Jihed Touzi, Vatcharaphun Rajsiri, and Hervé Pingaud. Collaborative information system design. In *AIM conference*, pages 281–296, 2006.
- [Bus03] Christoph Bussler. Semantic web services : Reflections on web service mediation and composition. In *Web Information Systems Engineering, 2003. WISE 2003. Proceedings of the Fourth International Conference on*, pages 253–260. IEEE, 2003.
- [CBS94] Roger HL Chiang, Terence M Barron, and Veda C Storey. Reverse engineering of relational databases : Extraction of an eer model from a relational database. *Data & Knowledge Engineering*, 12(2) :107–142, 1994.
- [CD03] David Chen and Guy Doumeingts. European initiatives to develop interoperability of enterprise applications—basic concepts, framework and roadmap. *Annual reviews in control*, 27(2) :153–162, 2003.
- [CD⁺06] David Chen, Nicolas Daclin, et al. Framework for enterprise interoperability. In *Proc. of IFAC Workshop EI2N*, pages 77–88. sn, 2006.
- [CDLDE15] HECTOR CORTES, JOANNA DAABOUL, JULIEN LE DUIGOU, and BENOIT EYNARD. Intégration d'indicateurs lean dans la stratégie d'entreprise pour le pilotage des performances. 2015.

-
- [CDV08] David Chen, Guy Doumeingts, and François Vernadat. Architectures for enterprise integration and interoperability : Past, present and future. *Computers in industry*, 59(7) :647–659, 2008.
- [Cha04] David Chappell. *Enterprise service bus*. ” O’Reilly Media, Inc.”, 2004.
- [Che05] Pin Chen. Architecture-based interoperability evaluation in evolutions of networked enterprises. In *International Conference on Business Process Management*, pages 293–304. Springer, 2005.
- [Che08] Hanène Chettaoui. *Interopérabilité entre modèles hétérogènes en conception coopérative par des approches d’Ingénierie Dirigée par les Modèles*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 2008.
- [CK16] Mihyun Chung and Jaehyoun Kim. The internet information and technology research directions based on the fourth industrial revolution. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 10(3), 2016.
- [CMA08] Luis M Camarinha-Matos and Hamideh Afsarmanesh. *Collaborative networks : Reference modeling*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [COM06] COM. communication de la commission au conseil et au parlement européen- l’interopérabilité des services paneuropéens d’administration en ligne. 45 final, bruxelles, belgique,. Technical report, 2006.
- [Com08] Benoît Combemale. Ingénierie dirigée par les modèles (idm)—état de l’art. 2008.
- [CV04] David Chen and François Vernadat. Standards on enterprise integration and engineering—state of the art. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(3) :235–253, 2004.
- [Dan15] Christophe Danjou. *Ingénierie de la chaîne numérique d’industrialisation : proposition d’un modèle d’interopérabilité pour la conception-fabrication intégrées*. PhD thesis, Compiègne, 2015.
- [DEC07] Guillaume Ducellier, Benoit Eynard, and Emmanuel Caillaud. Infrastructure plm pour la capitalisation et la réutilisation de données en conception mécanique. *18ème Congrès Français de Mécanique (Grenoble 2007)*, 2007.

-
- [DLC10] Samba Diaw, Redouane Lbath, and Bernard Coulette. État de l'art sur le développement logiciel basé sur les transformations de modèles. *Technique et Science Informatiques*, 29(4-5) :505–536, 2010.
- [Dou84] Guy Doumeingts. *Méthode GRAI*. PhD thesis, 1984.
- [Duc07] Yves Ducq. Evaluation de la performance d'entreprise par les modèles. Technical report, 2007.
- [DVZC92] G Doumeingts, B Vallespir, M Zanettin, and D Chen. Gim, grai integrated methodology, a methodology for designing cim systems. *LAP/GRAI-Version*, 1, 1992.
- [EIF04] EIF. European interoperability framework for pan-european egovernment services, interoperable delivery of european egovernment services to public administrations, businesses and citizens (idabc). Technical report, 2004.
- [EIF10] EIF. European interoperability framework (eif) for european public services. Technical report, 2010.
- [ERI04] ERISA. A guide to interoperability for regional initiatives. Technical report, The European Regional Information Society Association, Brussels, 2004.
- [FG92] MM Fonkam and WA Gray. An approach to eliciting the semantics of relational databases. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, pages 463–480. Springer, 1992.
- [Fig09] Nicolas Figay. *Interopérabilité des applications d'entreprise dans le domaine technique*. PhD thesis, Lyon 1, 2009.
- [FKT17] Marco Franke, Konstantin Klein, and Klaus-Dieter Thoben. Interoperable information exchange as enabler of nff related tes. *Procedia CIRP*, 59 :240–245, 2017.
- [For99] IFIP-IFAC Task Force. Geram : Generalised enterprise reference architecture and methodology. *IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration March Version*, 1(3), 1999.
- [For13] Virginie Fortineau. *Contribution à une modélisation ontologique des informations tout au long du cycle de vie du produit*. PhD thesis, Paris, ENSAM, 2013.
- [Fow04] Martin Fowler. Uml 2.0 : initiation aux aspects essentiels de la notation, 2004.

-
- [Gar13] Stéphane Garredu. *Approche de méta-modélisation et transformations de modèles dans le contexte de la modélisation et simulation à évènements discrets : application au formalisme DEVS*. PhD thesis, Université Pascal Paoli, 2013.
- [GFM03] Susan L Golicic, James H Foggin, and John T Mentzer. Relationship magnitude and its role in interorganizational relationship structure. *Journal of business logistics*, 24(1) :57–75, 2003.
- [GOP02] Michael P Gallaher, Alan C O’Connor, and Thomas Phelps. ‘economic impact assessment of international standard for the exchange of product model data step in transportation equipment industries. *NIST Planning Report*, pages 02–5, 2002.
- [GSB⁺07] Reyes Grangel, Ramzi Ben Salem, Jean-Pierre Bourey, Nicolas Dacclin, and Yves Ducq. Transforming grai extended actigrams into uml activity diagrams : A first step to model driven interoperability. In *Enterprise Interoperability II*, pages 447–458. Springer, 2007.
- [GT02] François Geffroy and René Tijou. *Le management des compétences dans les entreprises européennes : les différentes approches*. Insep Editions, 2002.
- [Gus98] Remigijus Gustas. Integrated approach for modelling of semantic and pragmatic dependencies of information systems. In *International Conference on Conceptual Modeling*, pages 121–134. Springer, 1998.
- [GVLH08] Diego M Giménez, Marcela Vegetti, Horacio P Leone, and Gabriela P Henning. Product ontology : Defining product-related concepts for logistics planning activities. *Computers in Industry*, 59(2) :231–241, 2008.
- [Has00] Wilhelm Hasselbring. Information system integration. *Communications of the ACM*, 43(6) :32–38, 2000.
- [HB14] Iiro Harjunkoski and Reinhard Bauer. Sharing data for production scheduling using the isa-95 standard. *Frontiers in Energy Research*, 2 :44, 2014.
- [Him01] Arthur T Himmelman. On coalitions and the transformation of power relations : Collaborative betterment and collaborative empowerment. *American journal of community psychology*, 29(2) :277–284, 2001.
- [IDE03] IDEAS. project deliverables (wp1-wp7). technical report,. Technical report, 2003.

-
- [IEE90] IEEE. "standard computer dictionary - a compilation of ieee standard computer glossaries." standard computer dictionary - a compilation of ieee standard computer glossaries. new york, 1990. Technical report, 1990.
- [INT07] INTEROP. "enterprise interoperability-framework and knowledge corpus - final report ". interop noe, fp6 – contract n° 508011, deliverable di.3. Technical report, 2007.
- [ISO00a] ISO ISO. *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2000.
- [ISO00b] NFEN ISO. 9001 : Systèmes de management de la qualité-exigences. *Édition Afnor, décembre*, 2000.
- [JLTD⁺06] Henk Jonkers, Marc M Lankhorst, Hugo WL ter Doest, Farhad Arbab, Hans Bosma, and Roel J Wieringa. Enterprise architecture : Management tool and blueprint for the organisation. *Information Systems Frontiers*, 8(2) :63–66, 2006.
- [Jos11] Andrew Josey. *TOGAF® Version 9.1-A Pocket Guide*. Van Haren, 2011.
- [Jou00] Fabrice Jouanot. Un modèle sémantique pour l'interopérabilité de systèmes d'information. *XVIIIe congrès INFORSID*, pages 347–364, 2000.
- [JT01] Harinder S Jagdev and K-D Thoben. Anatomy of enterprise collaborations. *Production planning & control*, 12(5) :437–451, 2001.
- [Kad05] Hubert Kadima. *MDA : Conception orientée objet guidée par les modèles*. Dunod, 2005.
- [Kas01] Mark Kasunic. Measuring systems interoperability : Challenges and opportunities. Technical report, DTIC Document, 2001.
- [KM03] Hubert Kadima and Valérie Monfort. *Les Web services : techniques, démarches et outils XML, WSDL, SOAP, UDDI, RosettaNet, UML*. Dunod, 2003.
- [KTS13] Botond Kádár, Walter Terkaj, and Marco Sacco. Semantic virtual factory supporting interoperable modelling and evaluation of production systems. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 62(1) :443–446, 2013.

-
- [KZ02] A Kochhar and Y Zhang. A framework for performance measurement in virtual enterprises. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Performance Measurement*, pages 6–7, 2002.
- [Lan04] Marc M Lankhorst. Enterprise architecture modelling—the issue of integration. *Advanced Engineering Informatics*, 18(4) :205–216, 2004.
- [Lan09] Marc Lankhorst. Enterprise architecture at work : Modelling, communication and analysis (the enterprise engineering series). 2009.
- [LB98] Linda L Lindeke and Derryl E Block. Maintaining professional integrity in the midst of interdisciplinary collaboration. *Nursing Outlook*, 46(5) :213–218, 1998.
- [LD10] Julien Le Duigou. *Cadre de modélisation pour les systemes PLM en entreprise étendue. Application aux PME mécaniciennes*. PhD thesis, Ecole Centrale de Nantes (ECN)(ECN)(ECN)(ECN), 2010.
- [Lem98] Richard Lemesle. Transformation rules based on meta-modeling. In *Enterprise Distributed Object Computing Workshop, 1998. EDOC’98. Proceedings. Second International*, pages 113–122. IEEE, 1998.
- [Lem12] Youness Lemrabet. *Proposition d’une méthode de spécification d’une architecture orientée services dirigée par le métier dans le cadre d’une collaboration inter-organisationnelle*. PhD thesis, Ecole Centrale de Lille, 2012.
- [LHBJ06] Denivaldo Lopes, Slimane Hammoudi, Jean Bézivin, and Frédéric Jouault. Mapping specification in mda : From theory to practice. In *Interoperability of enterprise software and applications*, pages 253–264. Springer, 2006.
- [LJ06] Sang-Ho Lee and Yeon-Suk Jeong. A system integration framework through development of iso 10303-based product model for steel bridges. *Automation in construction*, 15(2) :212–228, 2006.
- [LM94] Jean-Louis Le Moigne. *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. jeanlouis le moigne-ae mcx, 1994.
- [LMTV08] SG Lee, Y-S Ma, GL Thimm, and J Verstraeten. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in industry*, 59(2) :296–303, 2008.

-
- [Lop05] Denivaldo Cicero Pavao Lopes. *Étude et applications de l'approche MDA pour des plates-formes de Services Web*. PhD thesis, Citeseer, 2005.
- [LPA11] Mario Lezoche, Hervé Panetto, and Alexis Aubry. Conceptualisation approach for cooperative information systems interoperability. In *13th International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2011*, pages 101–110, 2011.
- [MCF⁺95] Richard J Mayer, John W Crump, Ronald Fernandes, Arthur Keen, and Michael K Painter. Information integration for concurrent engineering (iice) compendium of methods report. Technical report, DTIC Document, 1995.
- [Mei02] Jean-Pierre Meinadier. *Le métier d'intégration de systèmes*. Hermès science publ., 2002.
- [MEMF⁺16] Emna Moones, Abderrahman El Mhamedi, Nicolas Figay, A Kourdi, et al. Interoperability improvement in a collaborative dynamic manufacturing network. In *13th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM16)*, 2016.
- [MFG11] Chantal Morley, Marie Bia Figueiredo, and Yves Gillette. *Processus métiers et systèmes d'information : gouvernance, management, modélisation*. Dunod, 2011.
- [MFV⁺15] Emna Moones, Nicolas Figay, Thomas Vosgien, Lyes Kermad, François Stephan, Abderrahman El Mhamedi, et al. Towards an extended interoperability systemic approach for dynamic manufacturing networks : Role and assessment of plmstandards. In *Complex Systems Design & Management*, pages 59–72. Springer, 2015.
- [Mil08] Pierre-Alain Millet. *Une étude de l'intégration organisationnelle et informationnelle. Application aux systèmes d'informations de type ERP*. PhD thesis, INSA de Lyon, 2008.
- [MIR07] Samieh MIRDAMADI. Pilotage d'un atelier de production en temps réel à base de simulation de flux à événements discrets, 2007.
- [MM⁺03] Joaquin Miller, Jishnu Mukerji, et al. Mda guide version 1.0. 1, 2003.
- [Moe15] Ben Salah Moetez. Etude de l'interopérabilité technique dans le plm : Application à un cas d'échange erp/mes. Technical report, 2015.

-
- [MSYR14] Emna Moones, Esma SIOUD-YAHIA, and Lionel Roucoules. Design process and trace modelling for design rationale capture. *Major topics of the full argumentations are the following*, page 105, 2014.
- [MVK⁺15] Emna Moones, Thomas Vosgien, Lyes Kermad, Abderrahman El Mhamedi, Nicolas Figay, et al. Plm standards modelling for enterprise interoperability : A manufacturing case study for erp and mes systems integration based on isa-95. In *International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability*, pages 157–170. Springer, 2015.
- [NDBC16] Frâncila Weidt Neiva, José Maria N David, Regina Braga, and Fernanda Campos. Towards pragmatic interoperability to support collaboration : A systematic review and mapping of the literature. *Information and Software Technology*, 72 :137–150, 2016.
- [Neg14] Amir Pirayesh Neghab. *Évaluation basée sur l’interopérabilité de la performance des collaborations dans le processus de conception*. PhD thesis, Ecole nationale supérieure d’arts et métiers-ENSAM, 2014.
- [Pan06] Hervé Panetto. Méta-modèles et modèles pour l’intégration et l’interopérabilité des applications d’entreprises de production. Technical report, 2006.
- [Pan07] Hervé Panetto. Towards a classification framework for interoperability of enterprise applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(8) :727–740, 2007.
- [Pav10] Thomas Paviot. *Méthodologie de résolution des problèmes d’interopérabilité dans le domaine du Product Lifecycle Management*. PhD thesis, École Centrale Paris, 2010.
- [PB06] Joniarto Parung and Umit S Bititci. A conceptual metric for managing collaborative networks. *Journal of Modelling in Management*, 1(2) :116–136, 2006.
- [Pla13] Jean-Michel Plane. *Théorie des organisations-4ème édition*. Dunod, 2013.
- [PM06] Costantino Pipero and Kishen Manjunath. Isa 95 implementation best practices workflow descriptions using b2mml. In *WBF North American Conference, Atlanta, GA*, 2006.
- [PRE⁺13] L Prades, F Romero, A Estruch, A Garcia-Dominguez, and J Serrano. Defining a methodology to design and implement business

- process models in bpmn according to the standard ansi/isa-95 in a manufacturing enterprise. *Procedia Engineering*, 63 :115–122, 2013.
- [PZJG⁺16] Hervé Panetto, Milan Zdravkovic, Ricardo Jardim-Goncalves, David Romero, Joe Cecil, and István Mezgár. New perspectives for the future interoperable enterprise systems. *Computers in Industry*, 79 :47–63, 2016.
- [RAM⁺17] Suvi Remes, Miika Alonen, Patrik Maltusch, Mikael af Hällström, and Stina Westman. Say, “s”(as) semantics—and mean it! path to semantically interoperable digital research services. *Procedia Computer Science*, 106 :329–334, 2017.
- [RB07] Stephan Roser and Bernhard Bauer. Improving interoperability in collaborative modelling. In *Enterprise Interoperability II*, pages 139–150. Springer, 2007.
- [RFKR11] Robert Reix, Bernard Fallery, Michel Kalika, and Frantz Rowe. *Systèmes d’information et management des organisations*. Vuibert, 2011.
- [RP02] François Dominique Rivard and Thomas Plantain. *L’EAI par la pratique*. Eyrolles, 2002.
- [RSB⁺08] Sudarsan Rachuri, Eswaran Subrahmanian, Abdelaziz Bouras, Steven J Fenves, Sebti Foufou, and Ram D Sriram. Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management : Role of standards. *Computer-Aided Design*, 40(7) :789–800, 2008.
- [RVdV92] Peter Smith Ring and Andrew H Van de Ven. Structuring cooperative relationships between organizations. *Strategic management journal*, 13(7) :483–498, 1992.
- [Sak12] Omar Sakka. *Alignement sémantique entre référentiels d’entreprise : Application aux systèmes d’exécution de la fabrication (MES)*. PhD thesis, INSA de Lyon, 2012.
- [Sch07] Bianca Scholten. *The road to integration : A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing*. Isa, 2007.
- [Sek98] Yutaka Seki. Information unification between enterprise resource planning system and production control system. *YOKOGAWA TECHNICAL REPORT-ENGLISH EDITION-*, 25 :17–22, 1998.
- [SFSW05] Rachuri Sudarsan, Steven J Fenves, Ram D Sriram, and Fujun Wang. A product information modeling framework for product lifecycle management. *Computer-aided design*, 37(13) :1399–1411, 2005.

-
- [SGEK⁺16] Navid Shariatzadeh, Didem Gurdur, Jad El-Khoury, Lars Lindberg, and Gunilla Sivard. Using linked data with information standards for interoperability in production engineering. *Procedia CIRP*, 41 :502–507, 2016.
- [Sie13] L Siegfried. Industrie 4.0–l’usine connectée-executive summary, 2013.
- [ŠK11] Ana Šaša and Marjan Krisper. Enterprise architecture patterns for business process support analysis. *Journal of Systems and Software*, 84(9) :1480–1506, 2011.
- [Sol00] Richard Soley. Model driven architecture (mda), draft 3.2. object management group. *Inc.*, novembre, page 31, 2000.
- [Sta05] J Stark. Maturity model for pdm,[w:] product lifecycle management : 21st century paradigm for product realization, 2005.
- [SZ92] John F. Sowa and John A. Zachman. Extending and formalizing the framework for information systems architecture. *IBM systems journal*, 31(3) :590–616, 1992.
- [TBB⁺08] S Terzi, PD Ball, A Bouras, D Dutta, M Garetti, B Gurumoorthy, S Han, and D Kiritsis. A new point of view on product lifecycle management. In *Proc. of 5th International Conference on Product Lifecycle Management, Seoul, Korea*, pages 11–13, 2008.
- [Ter05] S Terzi. Elements of product lifecycle management : Definitions. *Open Issues and Reference Models*, page 1, 2005.
- [The02] Franck Theroude. *Formalisme et système pour la représentation et la mise en oeuvre des processus de pilotage des relations entre donneurs d’ordres et fournisseurs*. PhD thesis, Grenoble, INPG, 2002.
- [Tou07] Jihed Touzi. *Aide à la conception de Système d’Information Collaboratif, support de l’interopérabilité des entreprises*. PhD thesis, 2007.
- [Tur09] Angela Tursi. *Ontology-Based approach for Product-Driven interoperability of enterprise production systems*. PhD thesis, Université Henri Poincaré-Nancy I; Politecnico di Bari, 2009.
- [TYB02] J Michael Tarn, David C Yen, and Marcus Beaumont. Exploring the rationales for erp and scm integration. *Industrial Management & Data Systems*, 102(1) :26–34, 2002.

-
- [Val03] Bruno Vallespir. Modélisation d'entreprise et architecture de conduite des systèmes de production. *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Bordeaux*, 1 :19, 2003.
- [VANA15] C Vila, JV Abellán-Nebot, JC Albiñana, and G Hernández. An approach to sustainable product lifecycle management (green plm). *Procedia Engineering*, 132 :585–592, 2015.
- [VBCC03] Bruno Vallespir, Christian Braesch, Vincent Chapurlat, and Didier Crestani. L'intégration en modélisation d'entreprise : les chemins d'ueml. In *MOSIM03-3ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Toulouse*, 2003.
- [Ver96] François Vernadat. *Enterprise modeling and integration*. Boom Koninklijke Uitgevers, 1996.
- [Ver03] FB Vernadat. Enterprise modelling and integration : From fact modelling to enterprise interoperability. *Enterprise Inter-and-Intra Organisational Integration, Building International Consensus. Kluwer Academic Publishers*, 2003.
- [Weg96] Peter Wegner. Interoperability. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(1) :285–287, 1996.
- [WG95] Gio Wiederhold and Michael R Genesereth. The basis for mediation. In *CoopIS*, pages 140–157, 1995.
- [WGN16] Georg Weichhart, Wided Guédria, and Yannick Naudet. Supporting interoperability in complex adaptive enterprise systems : A domain specific language approach. *Data & Knowledge Engineering*, 105 :90–106, 2016.
- [Whi04] Stephen A White. Introduction to bpmn. *IBM Cooperation*, 2(0) :0, 2004.
- [Wie92] Gio Wiederhold. Mediators in the architecture of future information systems. *Computer*, 25(3) :38–49, 1992.
- [Wil92] Theodore Joseph Williams. *The Purdue enterprise reference architecture : a technical guide for CIM planning and implementation*. Instrument Society of America, 1992.
- [WS08] Ingo Weisemöller and Andy Schürr. Formal definition of mof 2.0 metamodel components and composition. *Model Driven Engineering Languages and Systems*, pages 386–400, 2008.

-
- [Yah11] Esma Yahia. *Contribution à l'évaluation de l'interopérabilité sémantique entre systèmes d'information d'entreprise : Application aux systèmes d'information de pilotage de la production*. PhD thesis, Université Henri Poincaré-Nancy I, 2011.
- [YAP12] Esma Yahia, Alexis Aubry, and Hervé Panetto. Formal measures for semantic interoperability assessment in cooperative enterprise information systems. *Computers in Industry*, 63(5) :443–457, 2012.
- [YGW16] Shuo Yang, Jingzhi Guo, and Ran Wei. Semantic interoperability with heterogeneous information systems on the internet through automatic tabular document exchange. *Information Systems*, 2016.
- [Zac87] John A Zachman. A framework for information systems architecture. *IBM systems journal*, 26(3) :276–292, 1987.
- [Zai05] Ali Zaidat. *Spécification d'un cadre d'ingénierie pour les réseaux d'organisations*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2005.
- [ZMTT13] Novica Zarvić, Benedikt Martens, Oliver Thomas, and Frank Teuteberg. Supporting entrepreneurial venturing of smes in collaborative cloud computing environments : a dependency-driven construction of scenario maps. *International Journal of Entrepreneurial Venturing* 1, 5(3) :272–291, 2013.

Annexes

Annexes I : Les modèles de fabrication du standard ISA95

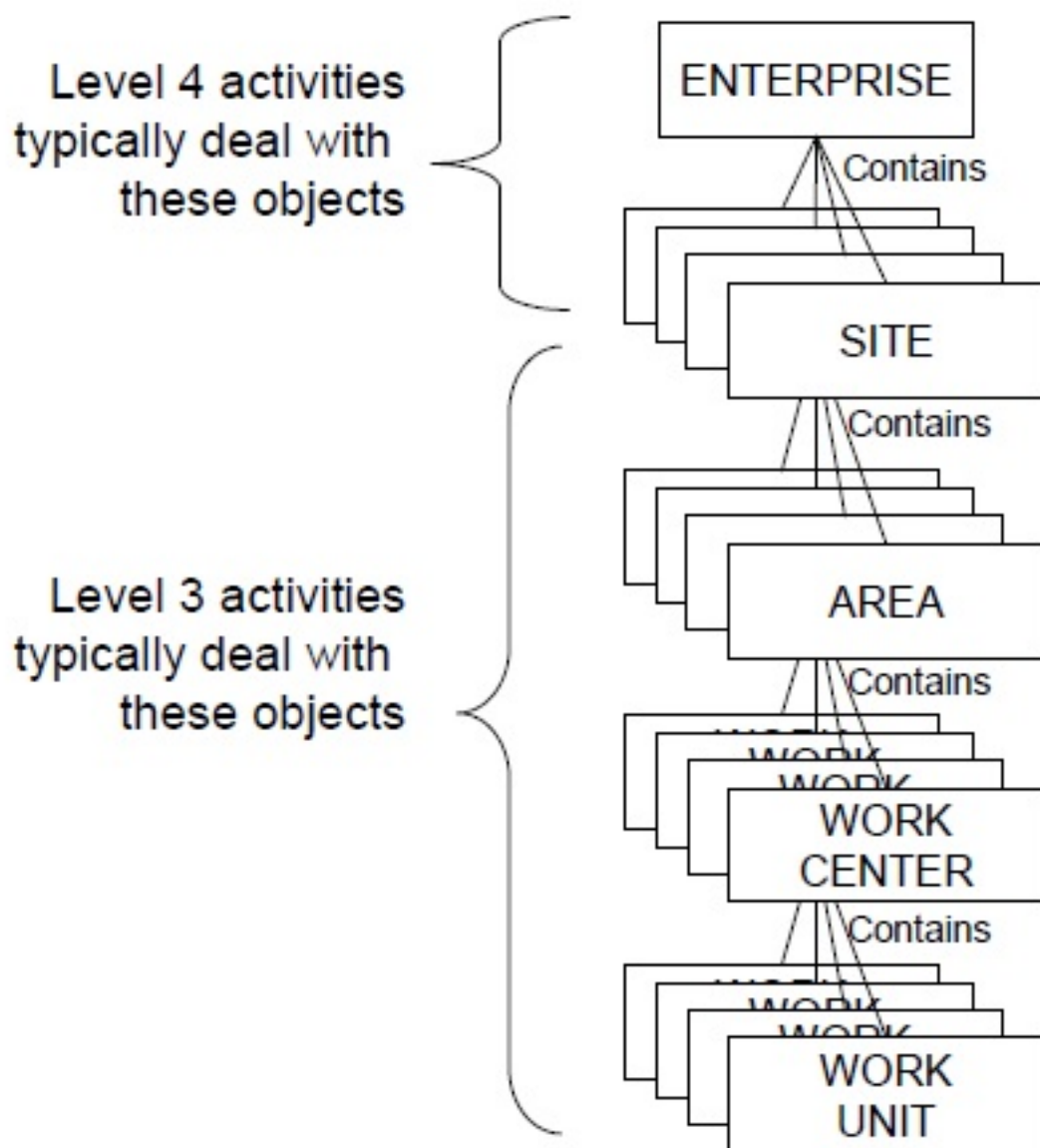


FIGURE 6.40 – Décomposition de l'entreprise et rôle des équipement selon le standard ISA95 (ref partie 1)

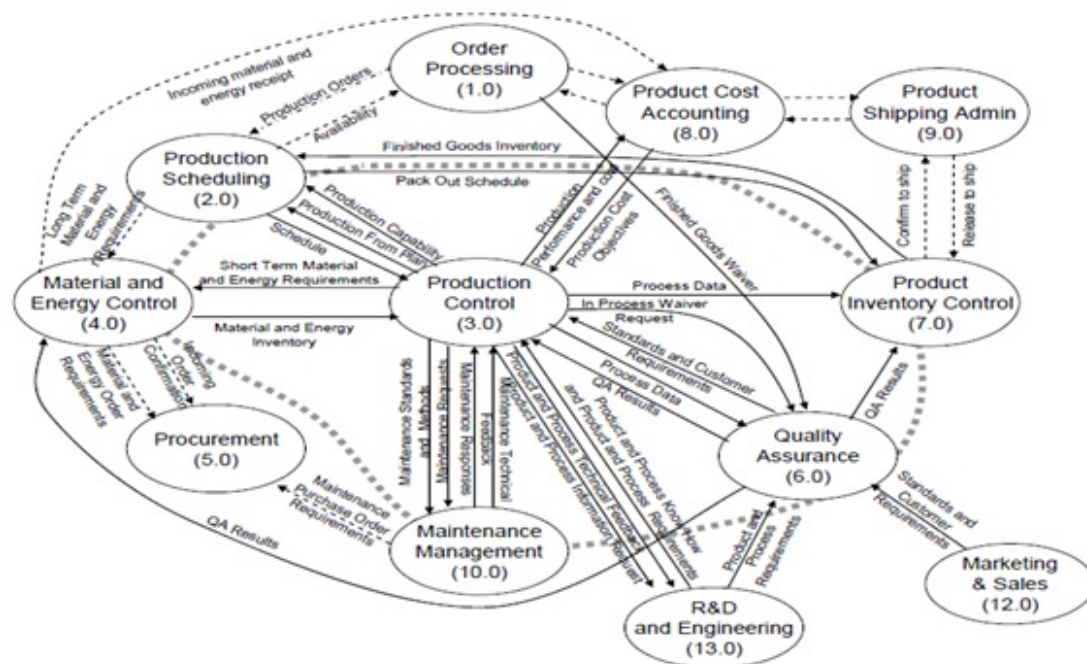


FIGURE 6.41 – Modèle fonctionnel selon le standard ISA95

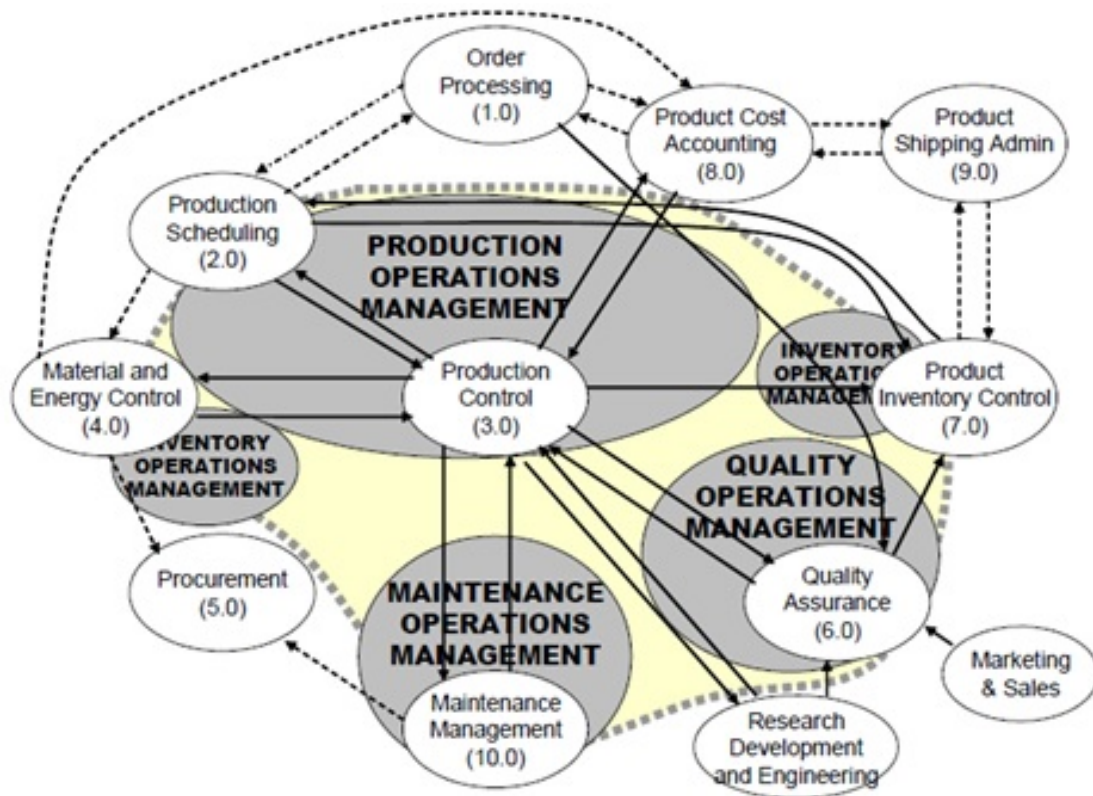


FIGURE 6.42 – Modèle des opérations de fabrication selon le standard ISA95

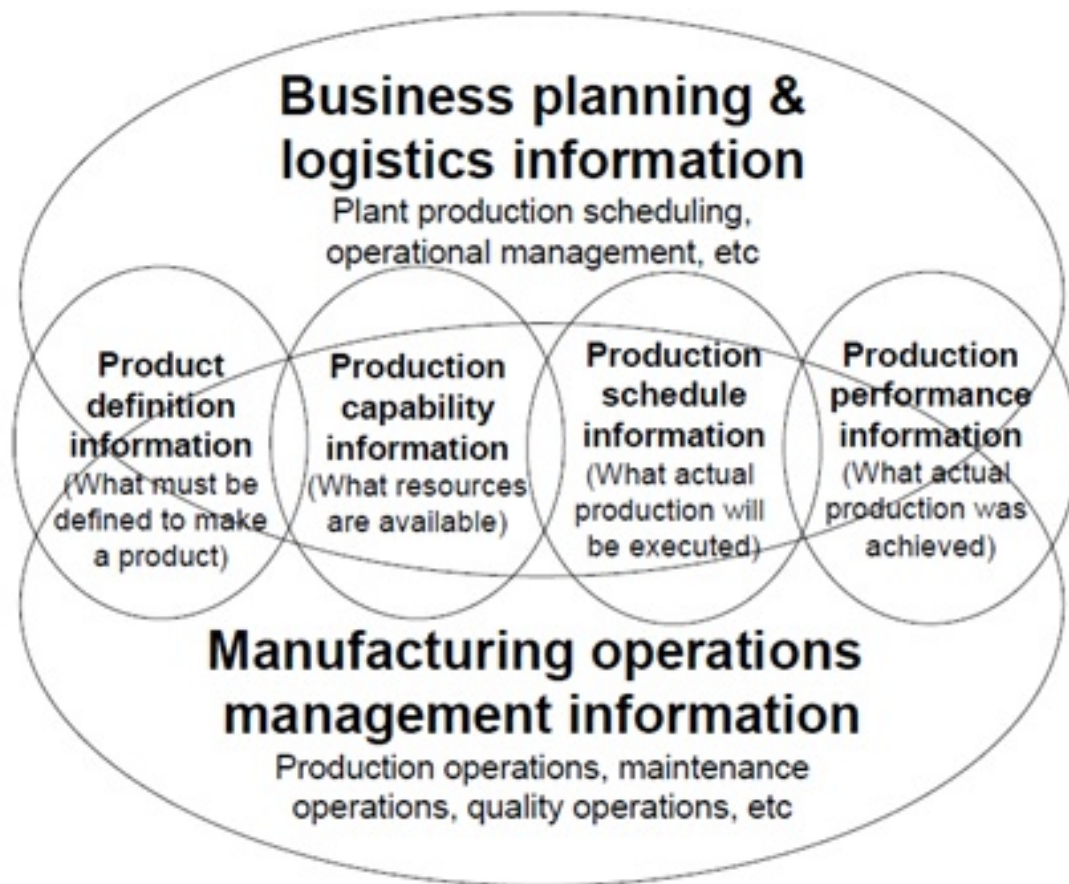


FIGURE 6.43 – Catégories d'information échangées entre le niveau contrôle de production et le niveau administration

Annexes II : Les modèles d'objets du standards ISA

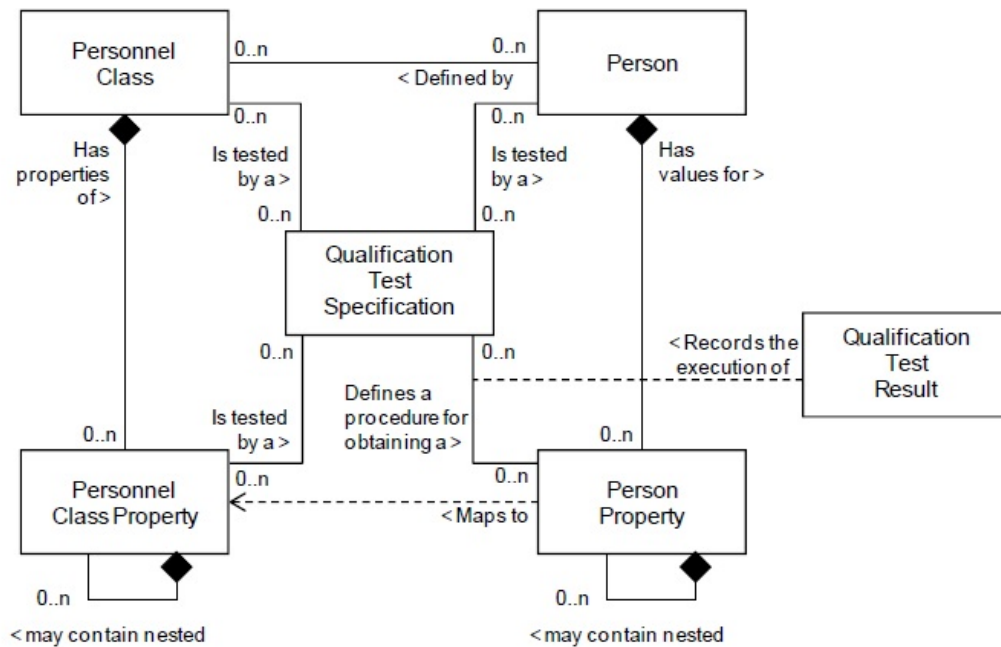


FIGURE 6.44 – Modèle d'objets du personnel

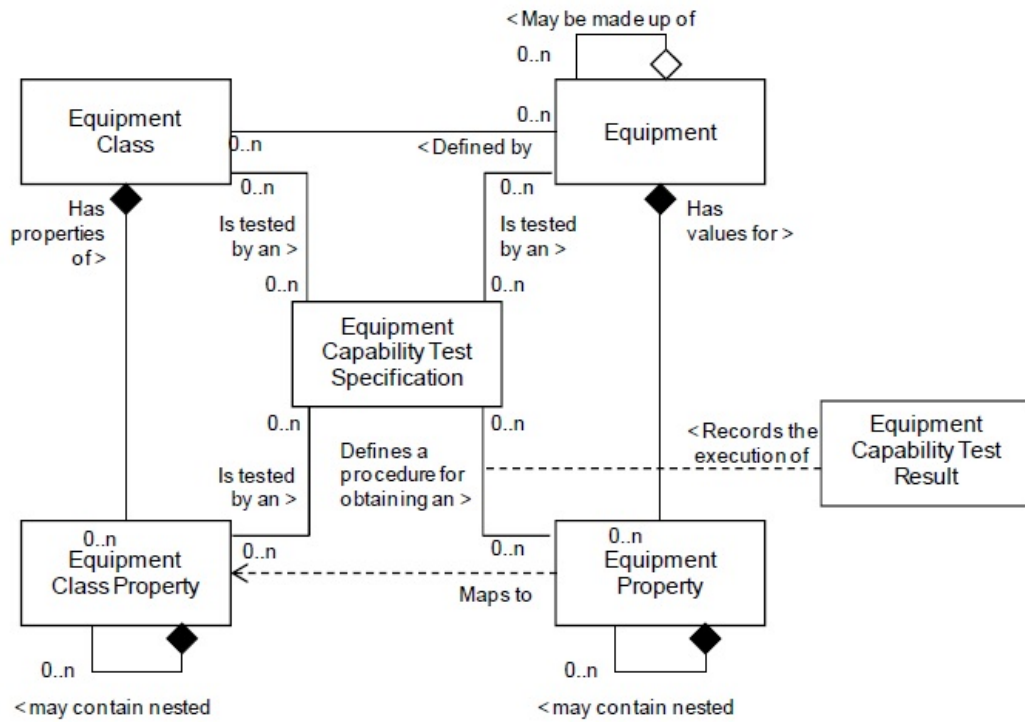


FIGURE 6.45 – Modèle d'objets des équipements

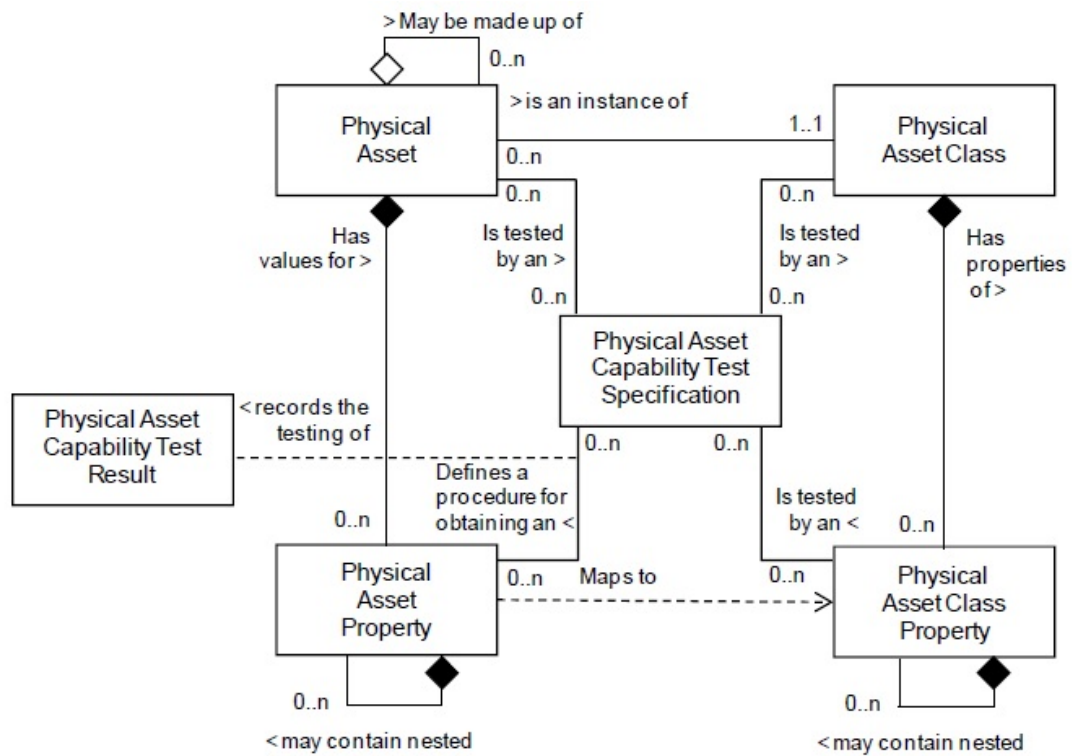


FIGURE 6.46 – Modèle d'objets des actifs physiques

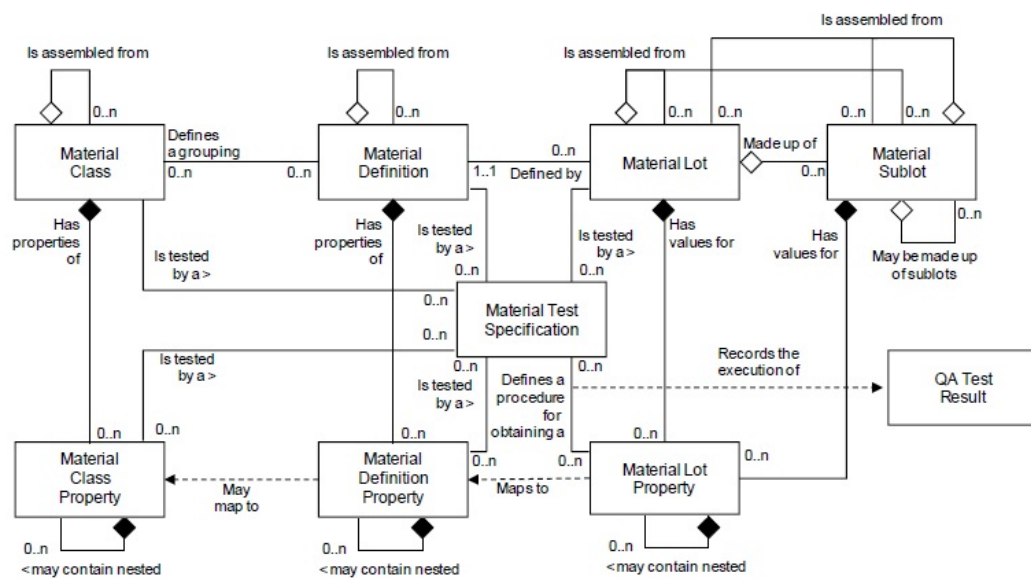


FIGURE 6.47 – Modèle d'objets des matières

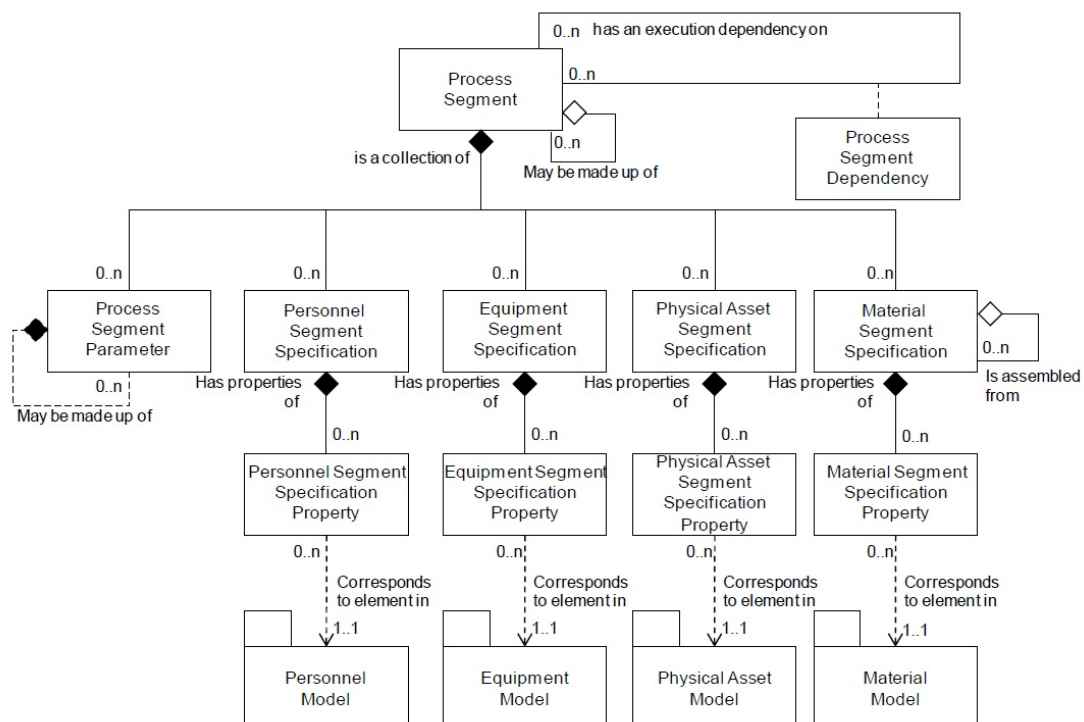


FIGURE 6.48 – Modèle d'objets des segments des processus

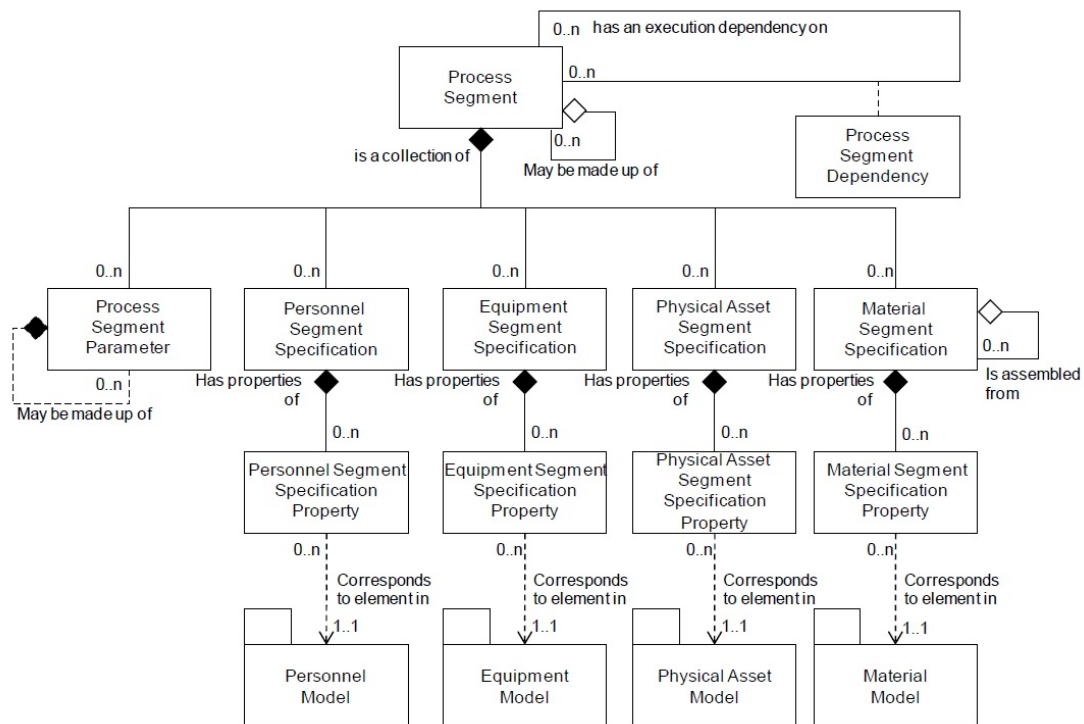


FIGURE 6.49 – Modèle d'objets des segments des processus

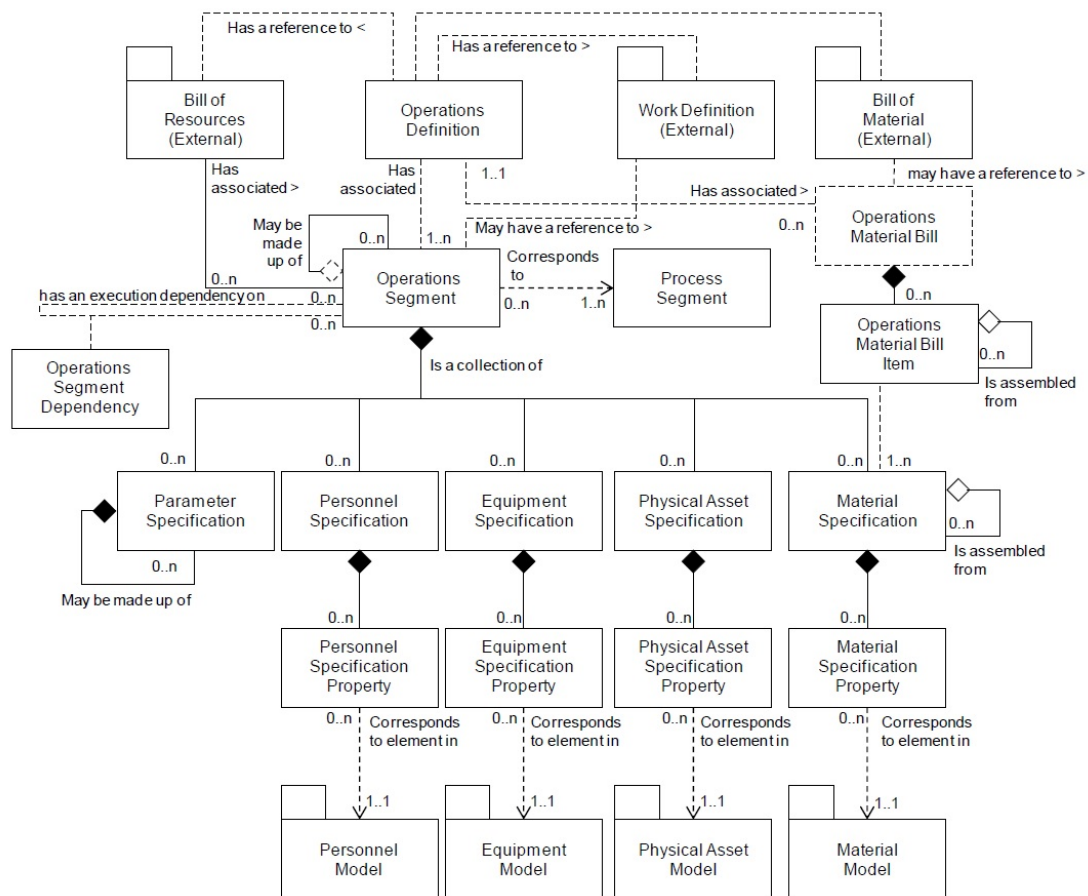


FIGURE 6.50 – Modèle d'objets des définitions des opérations

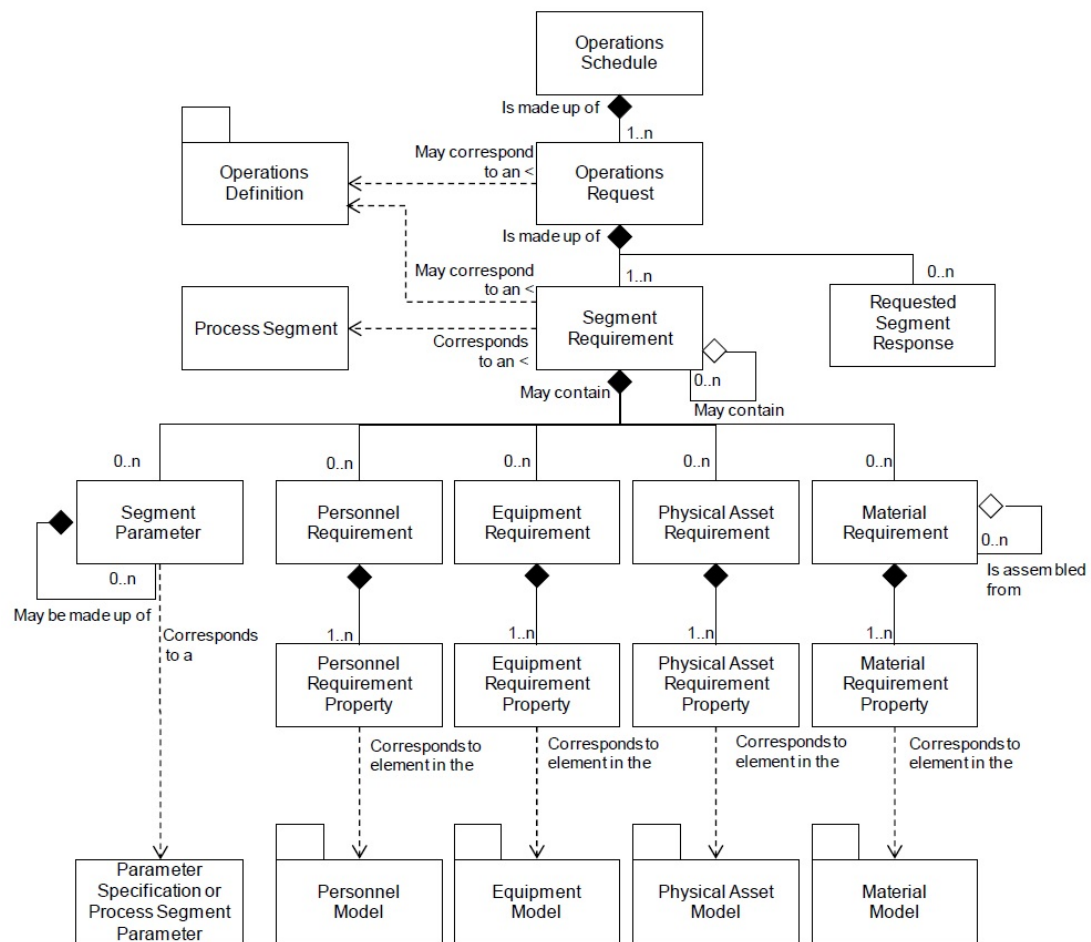


FIGURE 6.51 – Modèle d'objets de la planification des opérations

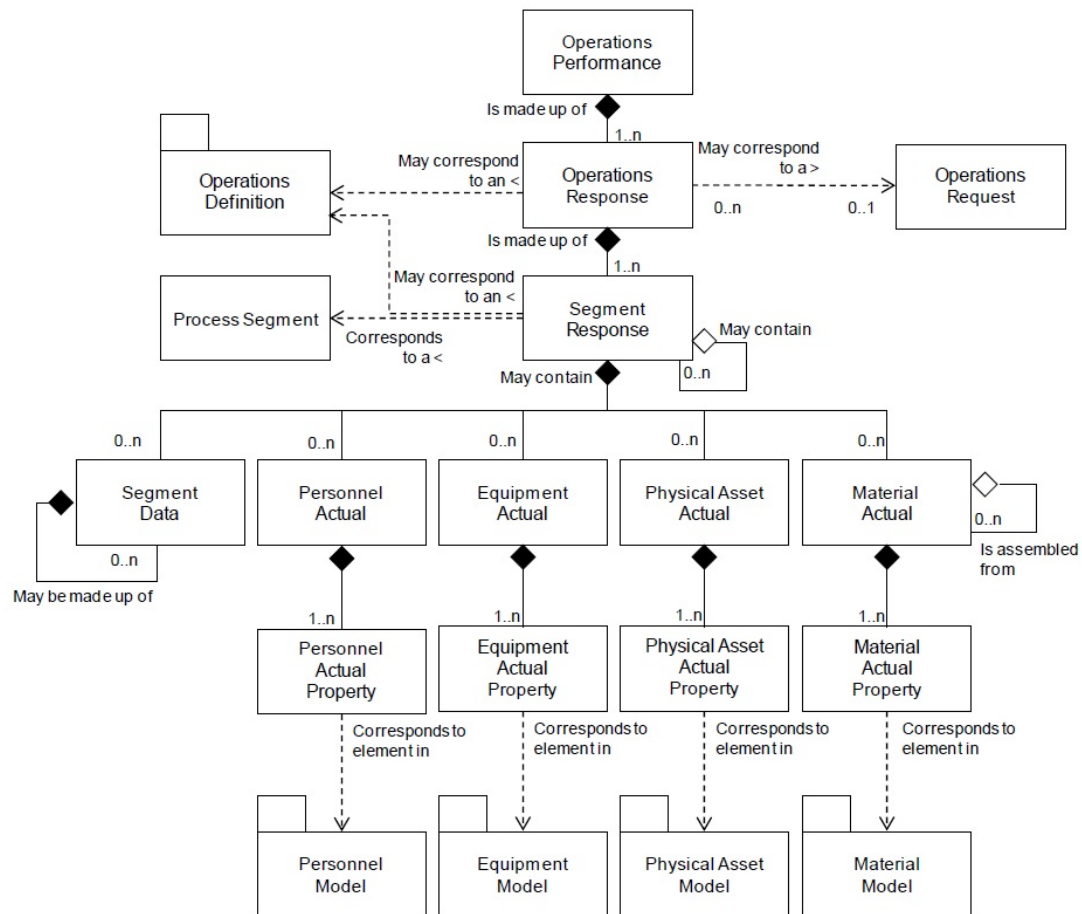


FIGURE 6.52 – Modèle d'objets de la performances des opérations

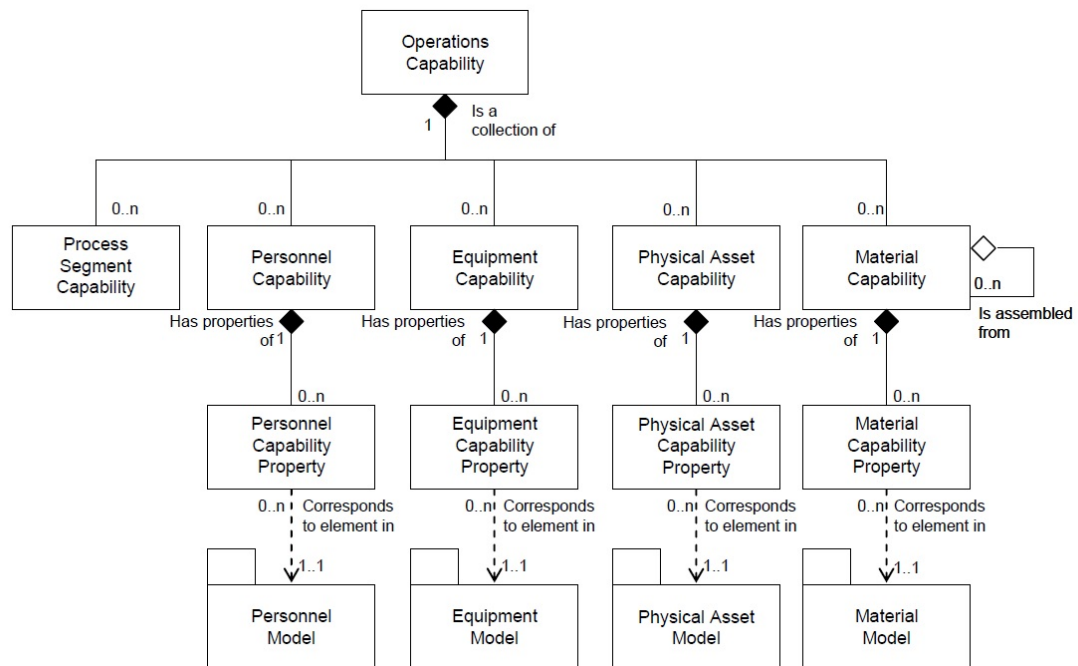


FIGURE 6.53 – Modèle d'objets de la capacité des opérations

Annexes III : Les modèles des activités de la production du standard ISA

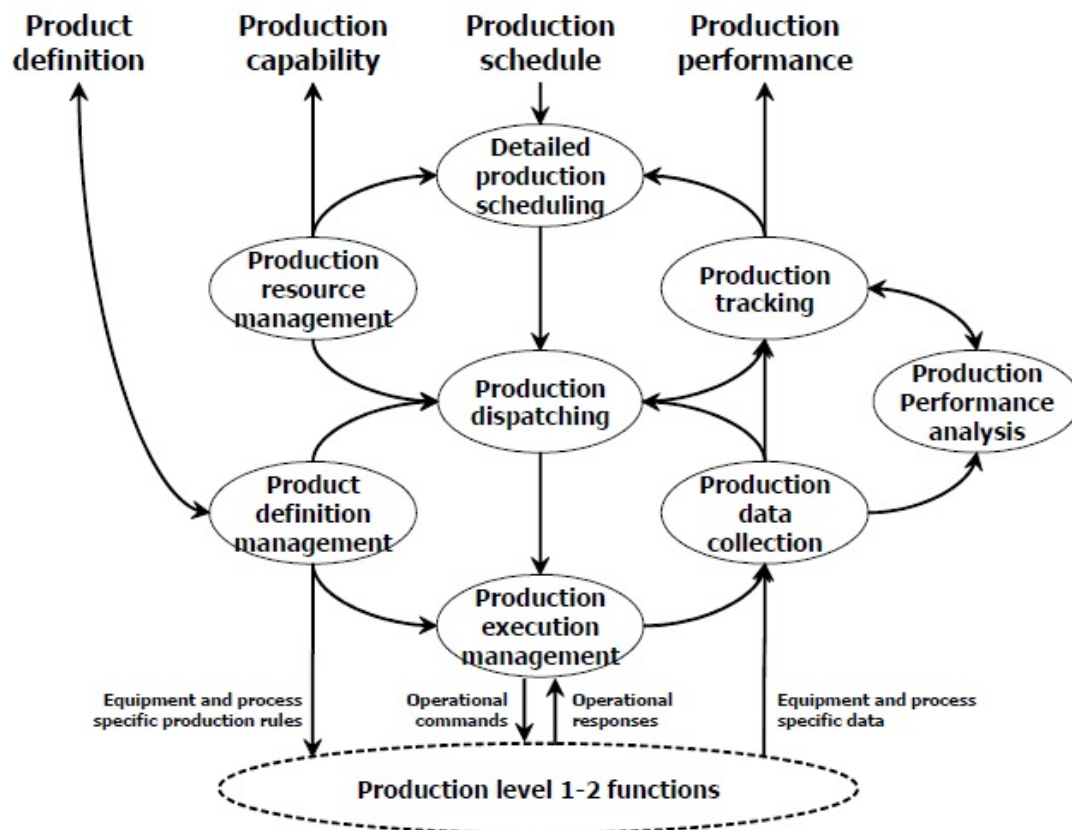


FIGURE 6.54 – Modèle d'activités de la fonction production

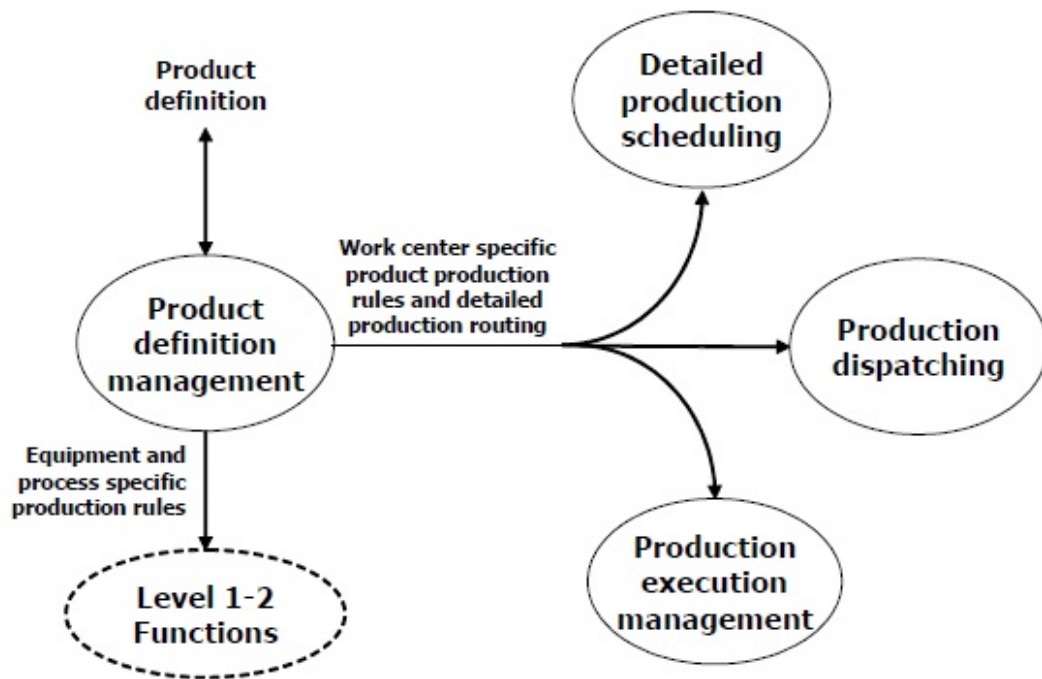


FIGURE 6.55 – Modèle d'activités de la définition du produit

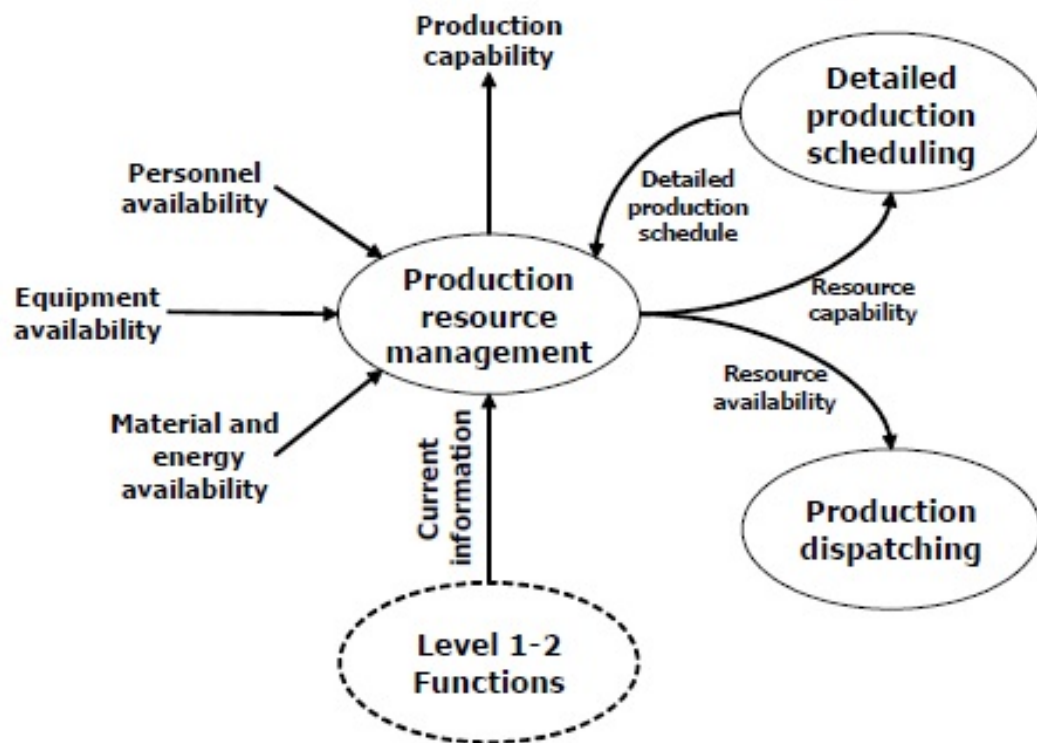


FIGURE 6.56 – Modèle d'activités de la gestion des ressources

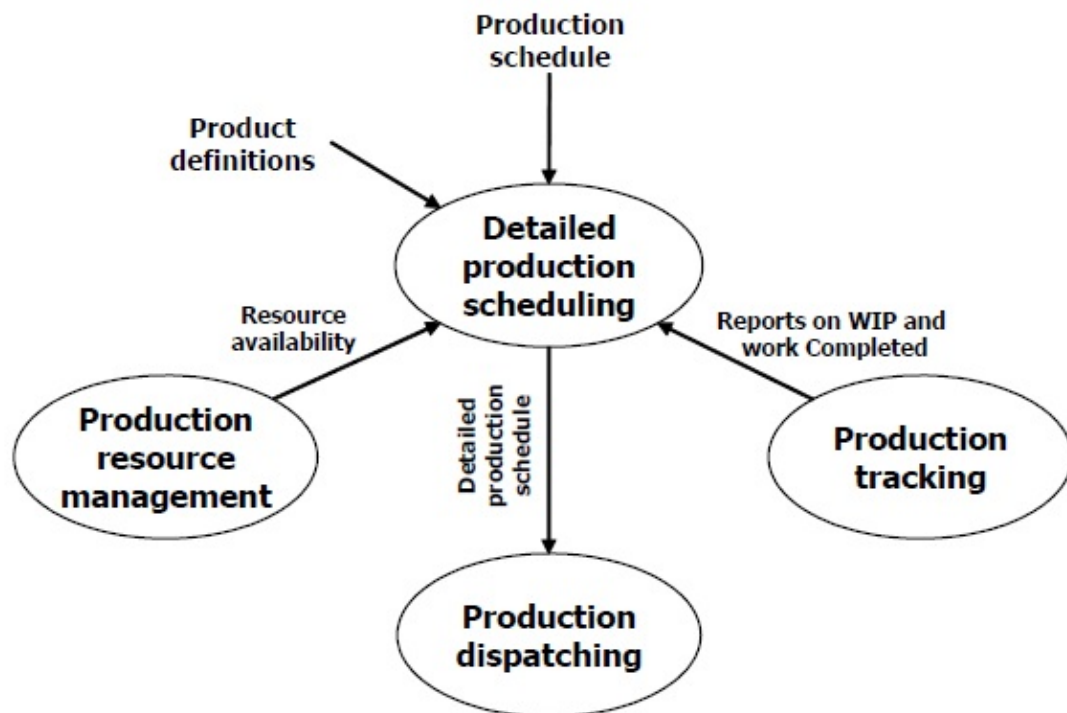


FIGURE 6.57 – Modèle d'activités de la planification détaillé de la production

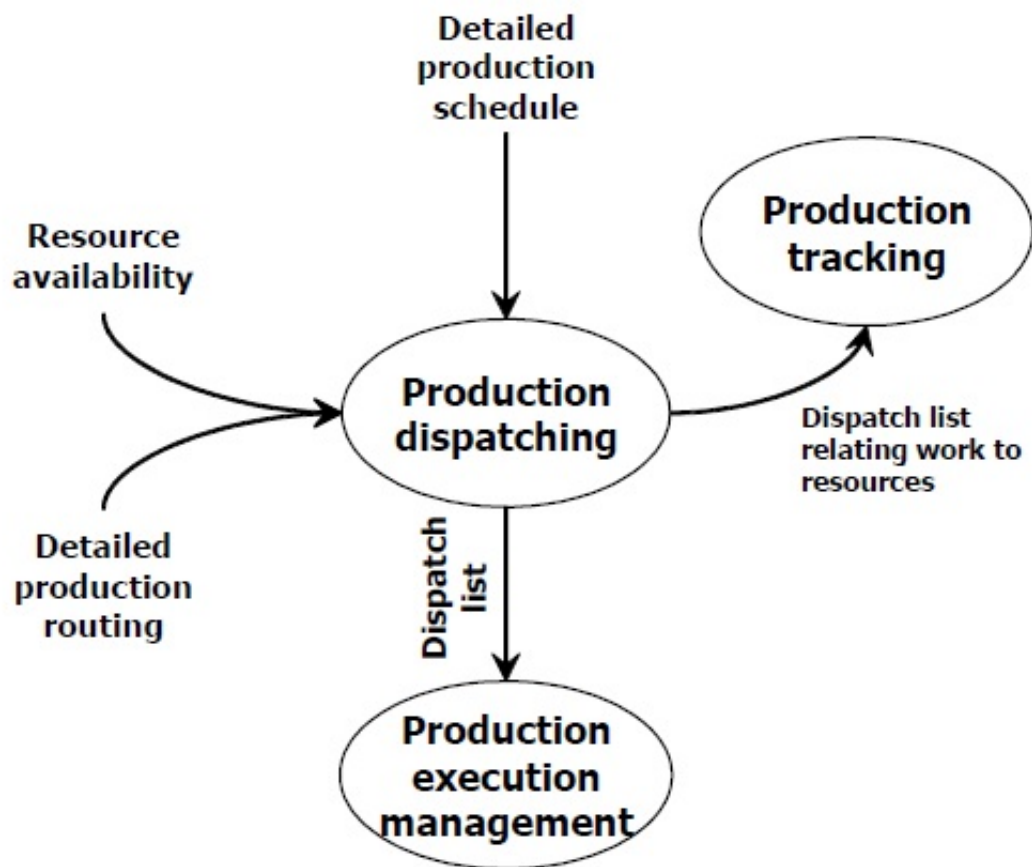


FIGURE 6.58 – Modèle d'activités pour le lancement de la production

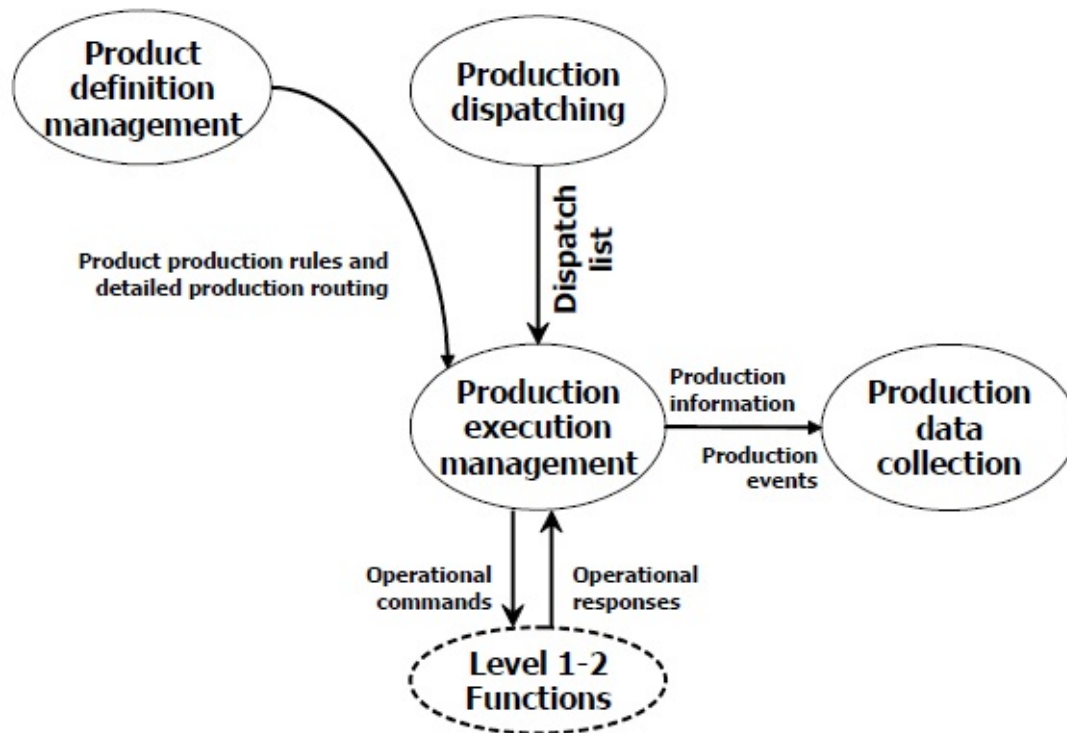


FIGURE 6.59 – Modèle d'activités pour la gestion de l'exécution de la production

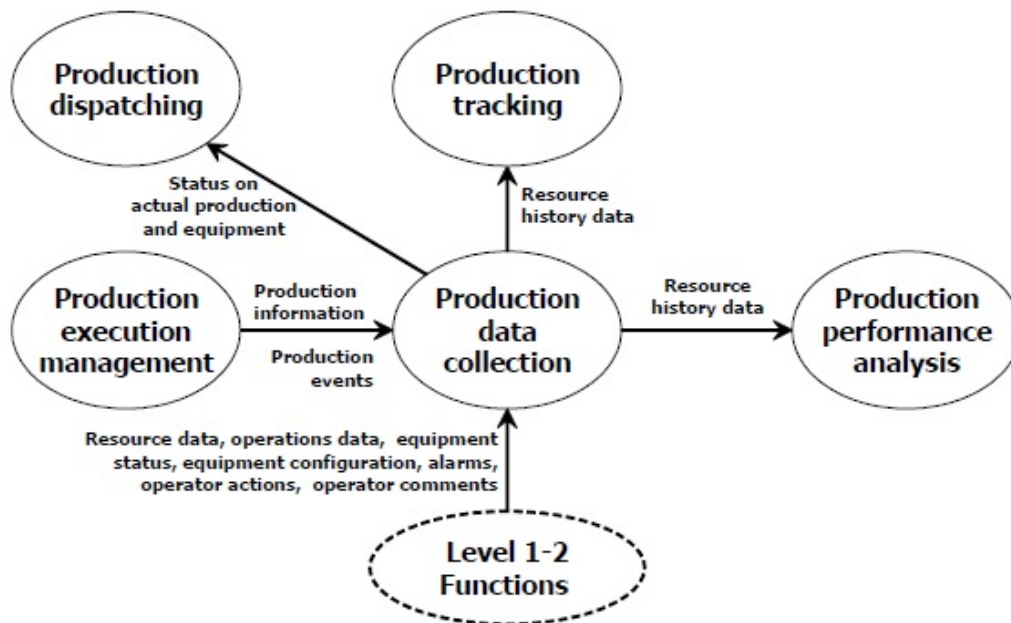


FIGURE 6.60 – Modèle d'activités pour la collection des données de la production

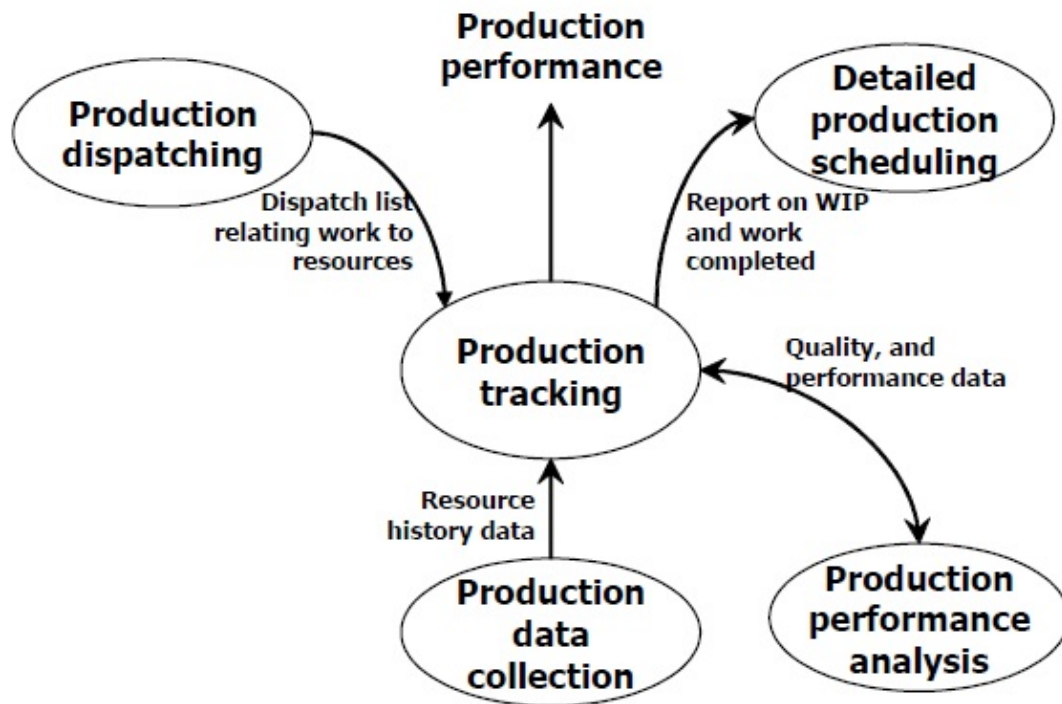


FIGURE 6.61 – Modèle d'activités pour le suivi de la production

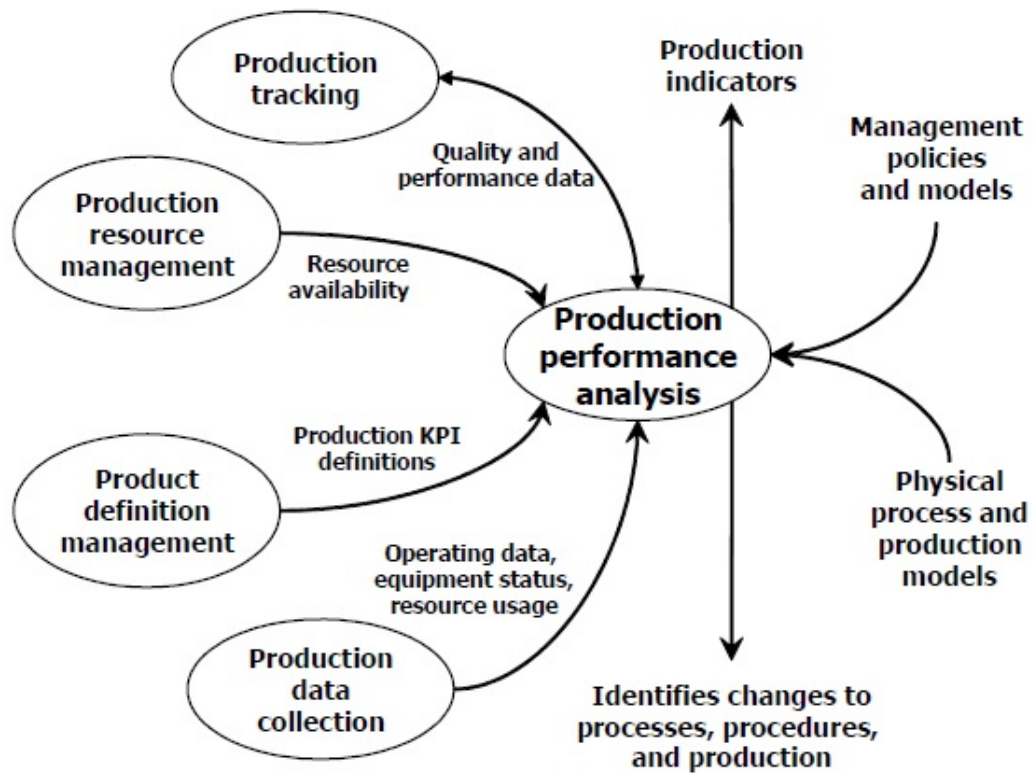


FIGURE 6.62 – Modèle d'activités pour l'analyse des performances de la production

Annexes IV : Protocole transactionnel du standard ISA95

```

148 <xsd:complexType name = "ProductionRequestType">
149   <xsd:sequence>
150     <xsd:element name = "ID" type = "IdentifierType"
151       minOccurs = "0"/>
152     <xsd:element name = "Description" type = "DescriptionType"
153       minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded"/>
154     <xsd:element name = "ProductProductionRuleID" type = "ProductProductionRuleIDType"
155       minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded"/>
156     <xsd:element name = "Location" type = "LocationType"
157       minOccurs = "0"/>
158     <xsd:element name = "StartTime" type = "StartTimeType"
159       minOccurs = "0"/>
160     <xsd:element name = "EndTime" type = "EndTimeType"
161       minOccurs = "0"/>
162     <xsd:element name = "Priority" type = "PriorityType"
163       minOccurs = "0"/>
164     <xsd:element name = "SegmentRequirement" type = "SegmentRequirementType"
165       minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded"/>
166     <xsd:element name = "SegmentResponse" type = "SegmentResponseType"
167       minOccurs = "0" maxOccurs = "unbounded"/>
168     <!-- Modified for V04 -->
169     <xsd:element name = "RequestState" type = "RequestStateType"
170       minOccurs = "0"/>
171     <xsd:group ref = "Extended:ProductionRequest" minOccurs = "0" maxOccurs = "1"/>

```

FIGURE 6.63 – Extrait d'un fichier B2MML avec les attributs correspondants aux "operations request"

Verb	Description	Transaction Model
ACKNOWLEDGE	Acknowledgement of a PROCESS request. The noun may contain assigned IDs and other information to inform the sender of the PROCESS message the IDs of any created objects. Example: A PROCESS message sent with a Material Lot may return the ID assigned to the lot by the receiving system.	PUSH
CANCEL	Request to a receiver to remove information. The specified noun shall be canceled. If contained elements IDs are specified, then only the specified contained elements for the specified noun shall be canceled, not the noun. NOTE — Not all objects have contained elements. Examples of contained elements are properties, specifications, actuals, etc.	PUSH
CHANGE	Request to a receiver to change information. The specified attributes and contained elements of the noun shall be changed. If no IDs of contained elements are specified, only the specified attributes shall be changed.	PUSH
CONFIRM	Confirmation response to a request.	PUSH, PULL, PUBLISH

FIGURE 6.64 – Tableau des verbes et des modèles d'échange

CONFIRM	Confirmation response to a request.	PUSH, PULL, PUBLISH
GET	Request to a receiver for information on one or more objects. The receiver shall return a SHOW message containing all the specified attributes and all the specified contained elements of the specified nouns. If no attribute or contained element is specified in the noun area, then all attributes and/or contained elements shall be returned. When wildcards are applied to the noun and property IDs, it shall be possible to further filter the information to be returned by specifying a value for one or more attributes of the noun. Only objects whose attributes match the specified value (out of the list of objects matching the wildcards applied to noun and property IDs) shall be returned. Example: To get all the Material Lots with <i>Status</i> = "New", the wildcard "*" would be specified for the Material Lot ID and the "New" value would be specified for the <i>Status</i> attribute.	PULL

FIGURE 6.65 – Tableau des verbes et des modèles d'échange

PROCESS	Request to a receiver to process new information. A new noun shall be added. If the specified noun already exists, only the specified contained elements shall be added.	PUSH
RESPOND	Response to a CHANGE message request. The noun may contain proposed or alternate information that was used in place of the CHANGE noun information. Example: A CHANGE message sent with an updated Material Lot status of "OK" may return a RESPOND with a different status of "OUT OF SPEC" because of business rules in the receiver of the CHANGE message.	PUSH
SHOW	Response to a GET message.	PULL

FIGURE 6.66 – Tableau des verbes et des modèles d'échange

SYNC ADD	Request from the owner of the object to add information. A new noun shall be added. If the specified noun already exists, only the specified contained elements shall be added.	PUBLISH
SYNC CHANGE	Request from the owner of the object to change information. The specified attributes and contained elements of the noun shall be changed. If no IDs of contained elements are specified, only the specified attributes shall be changed.	PUBLISH
SYNC DELETE	Request from the owner of the object to delete information. The specified noun shall be canceled. If contained elements IDs are specified, then only the specified contained elements for the specified noun shall be canceled.	PUBLISH

FIGURE 6.67 – Tableau des verbes et des modèles d'échange

Annexes V : Exemple d'échange d'information entre ERP et MES avec le protocole transactionnel de ISA

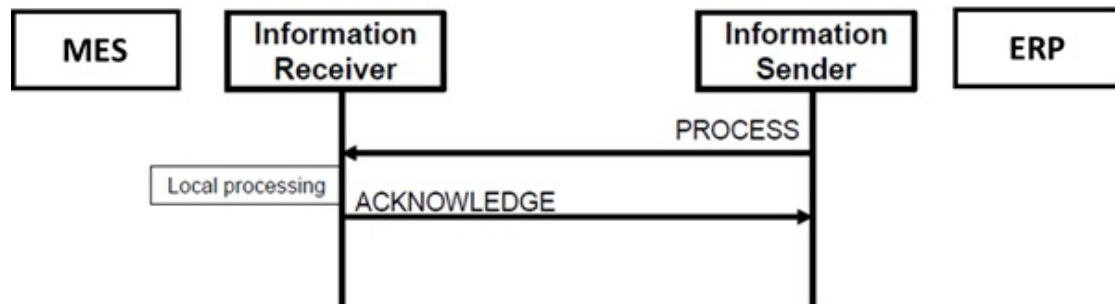


FIGURE 6.68 – Exemple d'un échange d'information suivant le modèle PUSH du standard ISA95

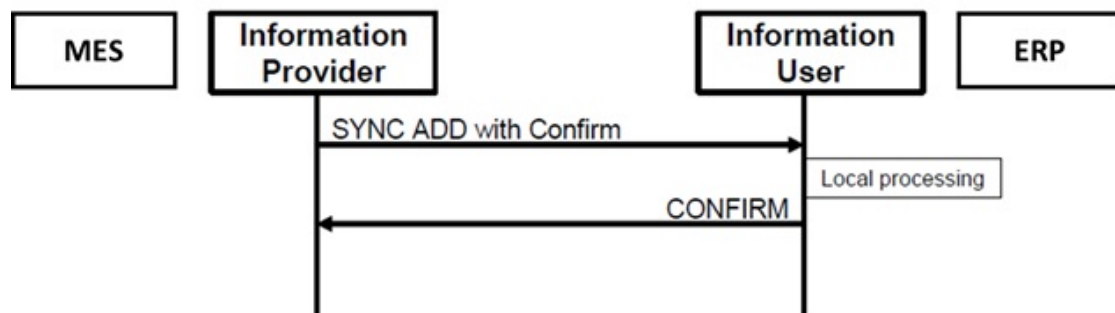


FIGURE 6.69 – Exemple d'un échange d'information suivant le modèle PUBLISH du standard ISA95

Annexes VI : Les modèles Archi du standard ISA95

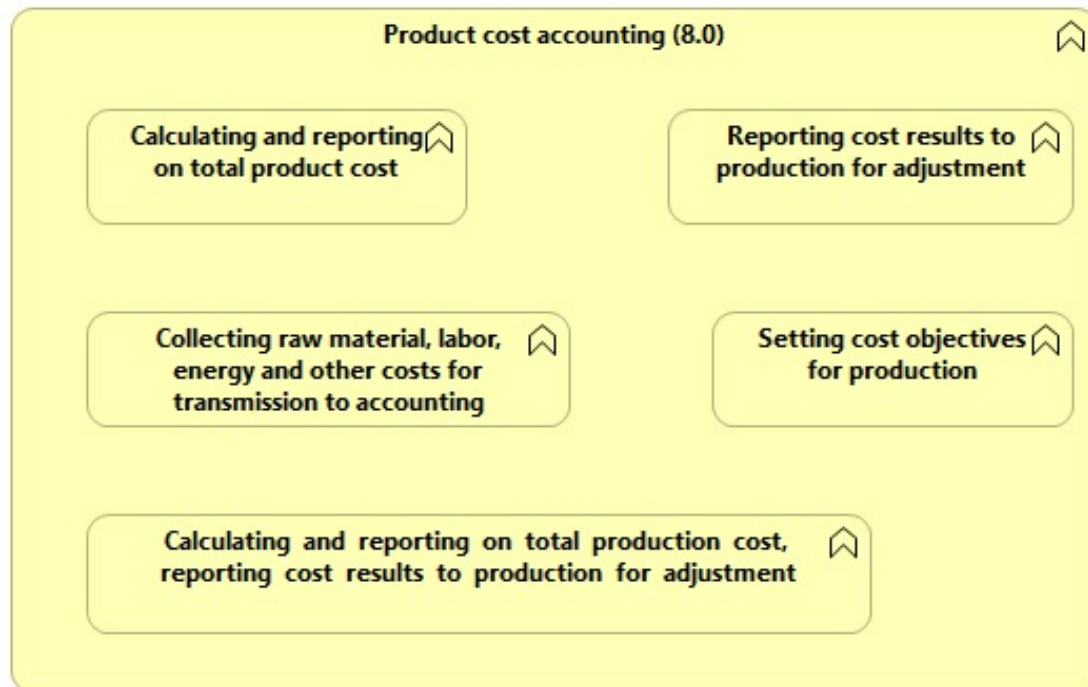


FIGURE 6.70 – Modèle ISA95 de la comptabilité des produits

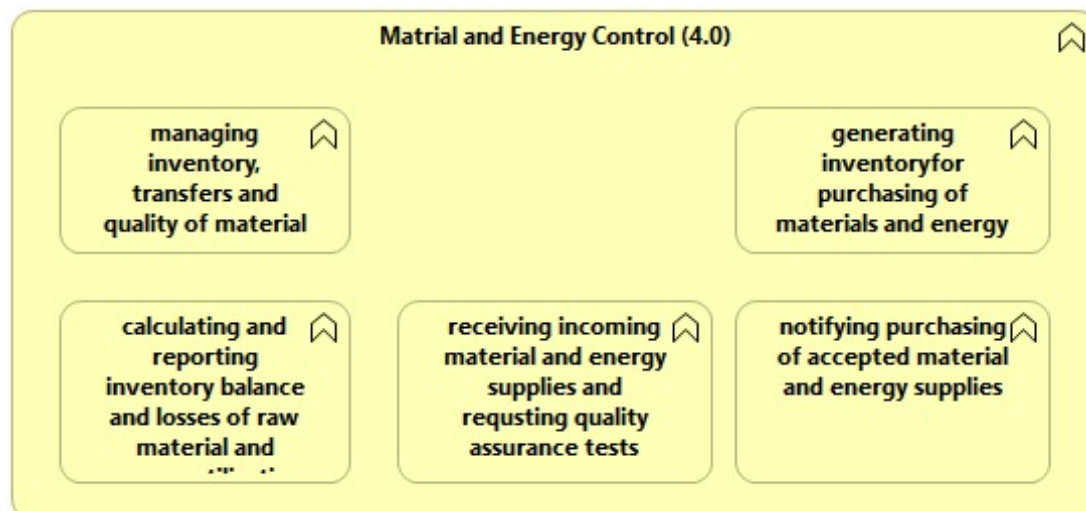


FIGURE 6.71 – Modèle ISA95 de contrôle des matériaux et de l'énergie

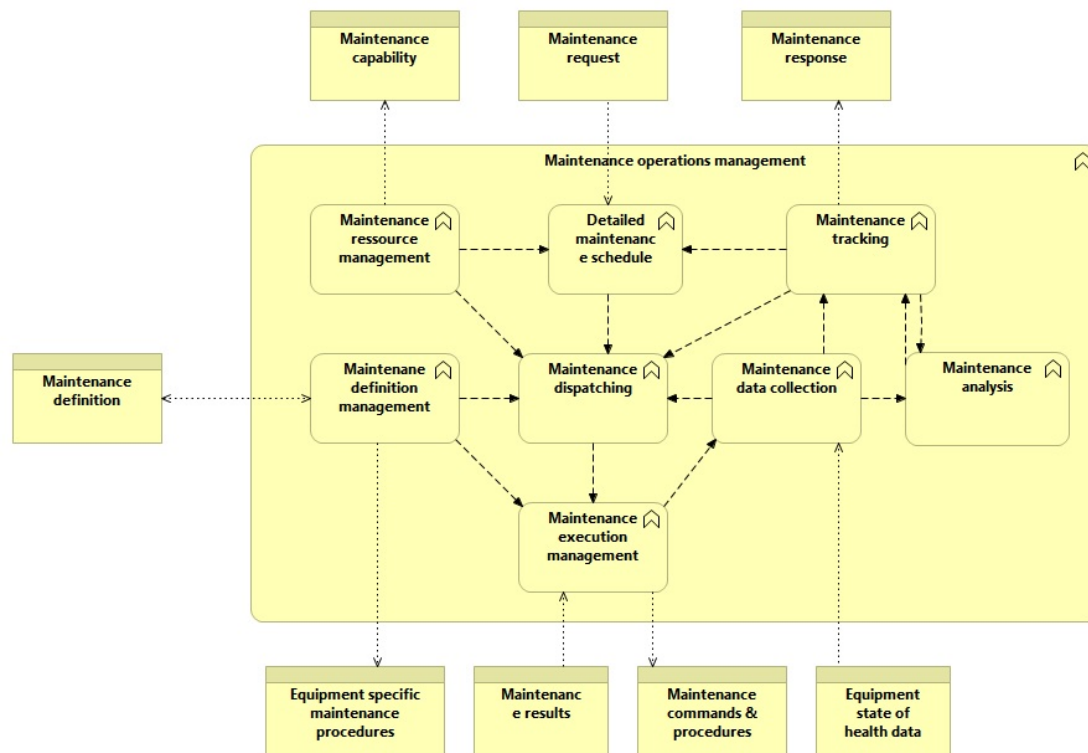


FIGURE 6.74 – Modèle des activités "Maintenance Operations" de ISA95

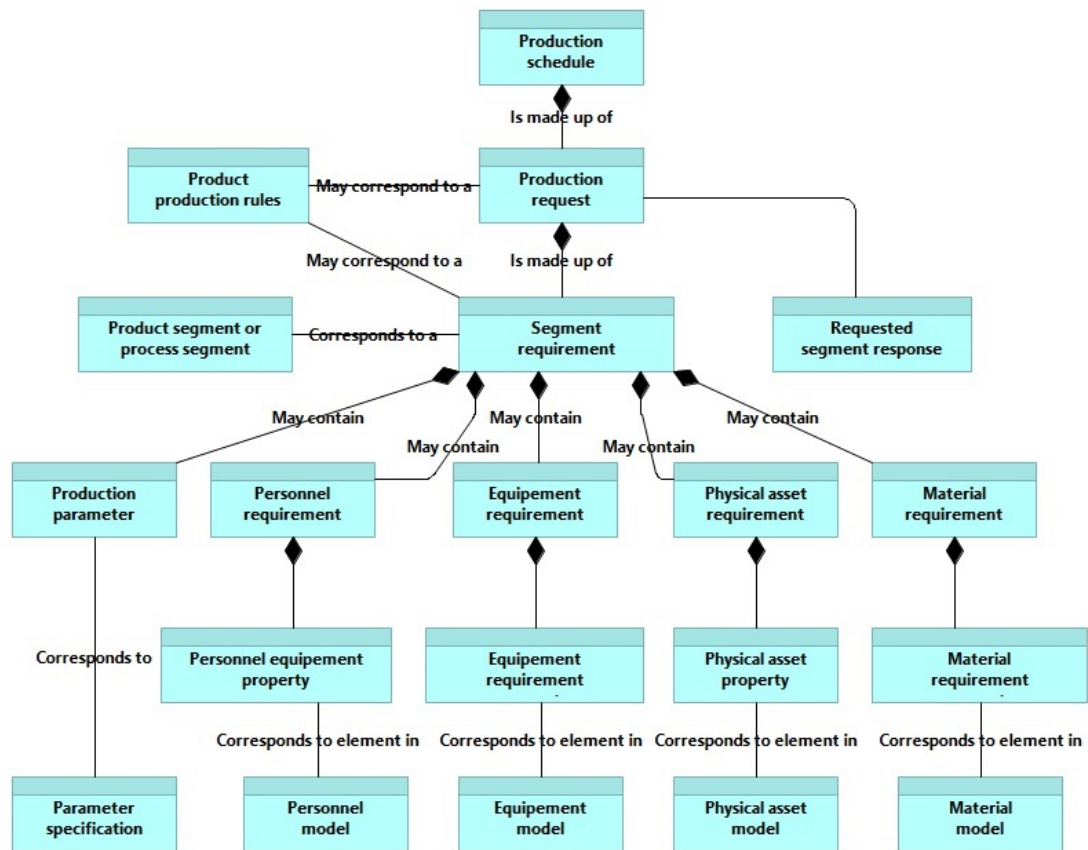


FIGURE 6.75 – Le modèle de données du "Production Schedule" de ISA95

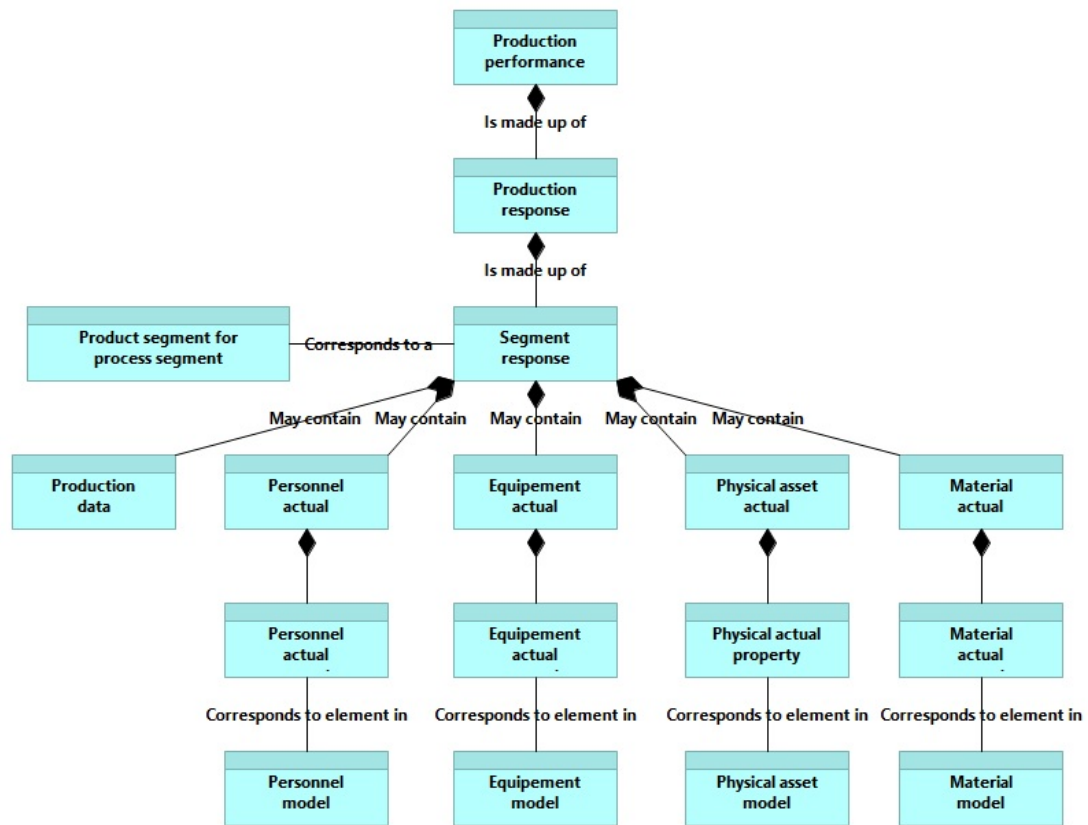


FIGURE 6.76 – Le modèle de données du "Production Performance" de ISA95

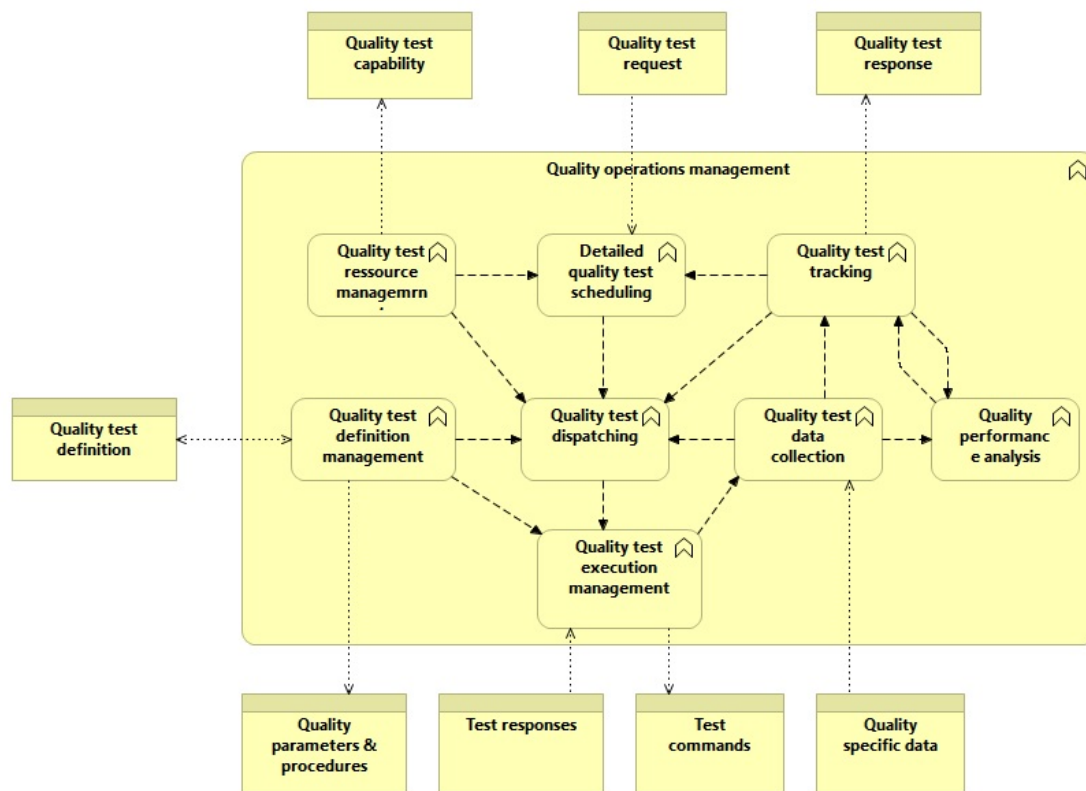


FIGURE 6.77 – Modèle des activités "Quality Operations" de ISA95

Annexes VIII : Les méta-modèles de la solution Odoo

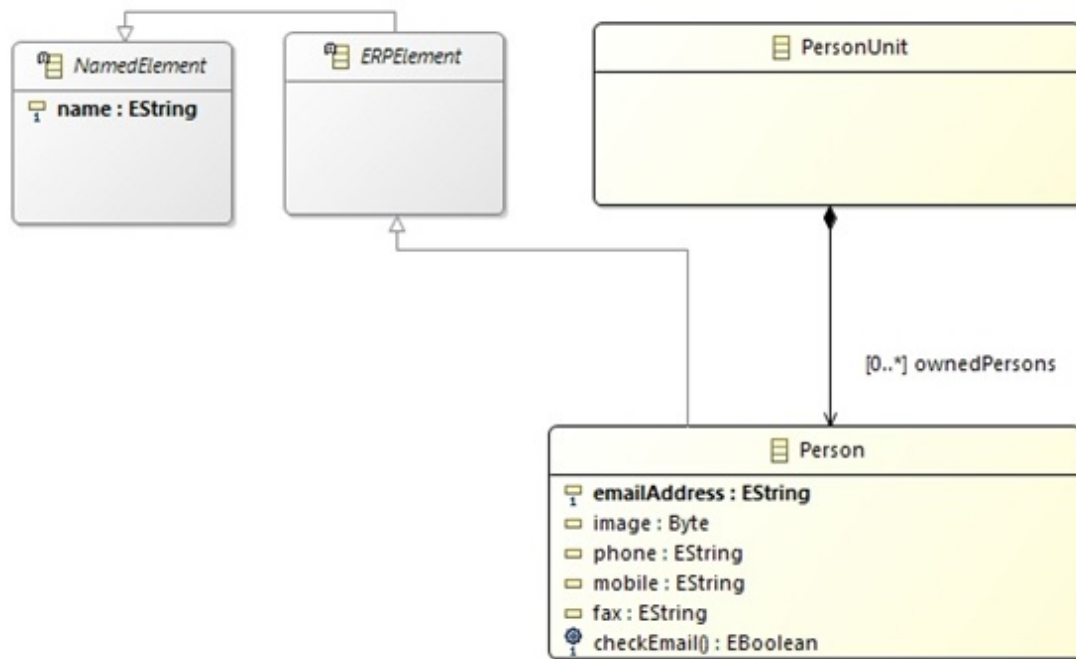


FIGURE 6.78 – Le méta-modèle personnel de Odoo

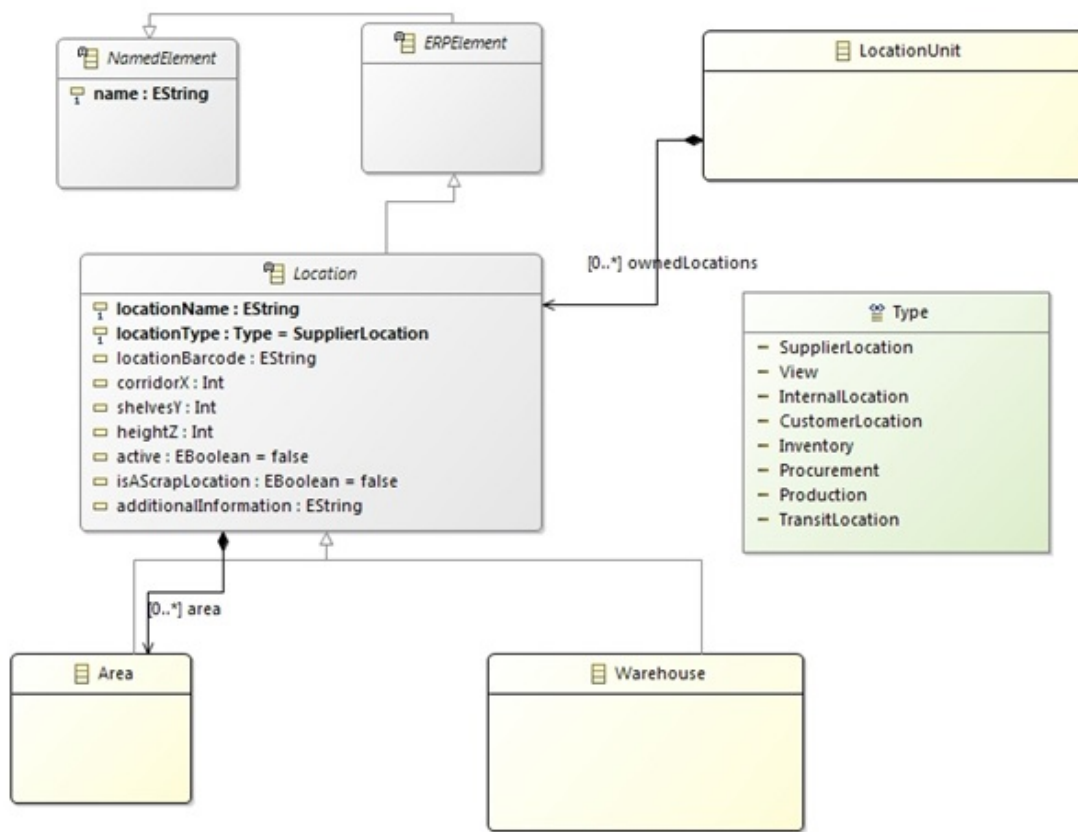


FIGURE 6.80 – Le méta-modèle des entrepôts de Odoo

Annexes X : Les interfaces utilisateurs de la solution Odoo

FIGURE 6.81 – L'interface utilisateur pour la saisi des articles

Article	Quantité d'article	Valide du	Valide jusqu'au
Barette de laiton	2,000	10/12/2015	10/01/2016

FIGURE 6.82 – L'interface utilisateur pour la saisi des nomenclatures des articles

Ordres de fabrication / Nouveau

Sauvegarder Annuler

Confirmer la fabrication Annuler la production Nouveau Prêt à fabriquer La production a démarré Terminé

Référence
MO00018

Article [dropdown]
Quantité d'article 1,000
Date prévue 09/08/2016 17:38:25 [calendar icon]

Nomenclature [dropdown]
Responsable Administrator [dropdown] [icon]
Document Source [text input]

Articles consommés Produits finis Articles prévus Informations supplémentaires

Priorité Normal [dropdown]
Attribution libre du n° de série ☐

Référence de la vente
Nom de la vente

FIGURE 6.83 – L'interface utilisateur pour la saisi des ordres de production

Annexes XI : Les interfaces utilisateurs du composant de référence Odoo

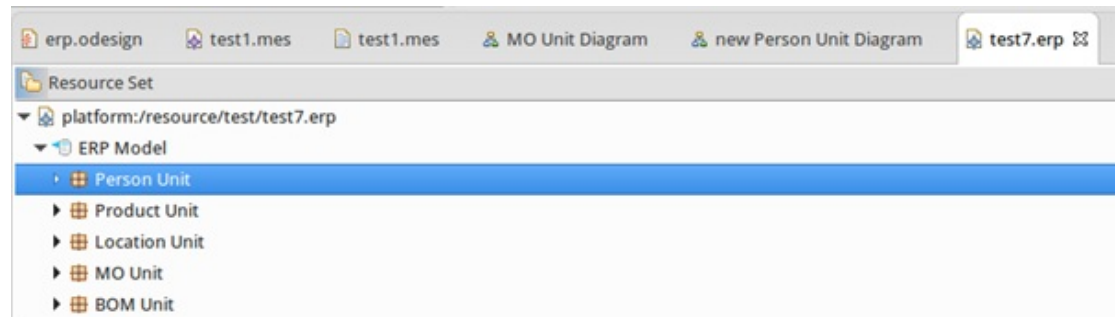


FIGURE 6.84 – L’interface utilisateur spécifiant les unités du composant ODOO

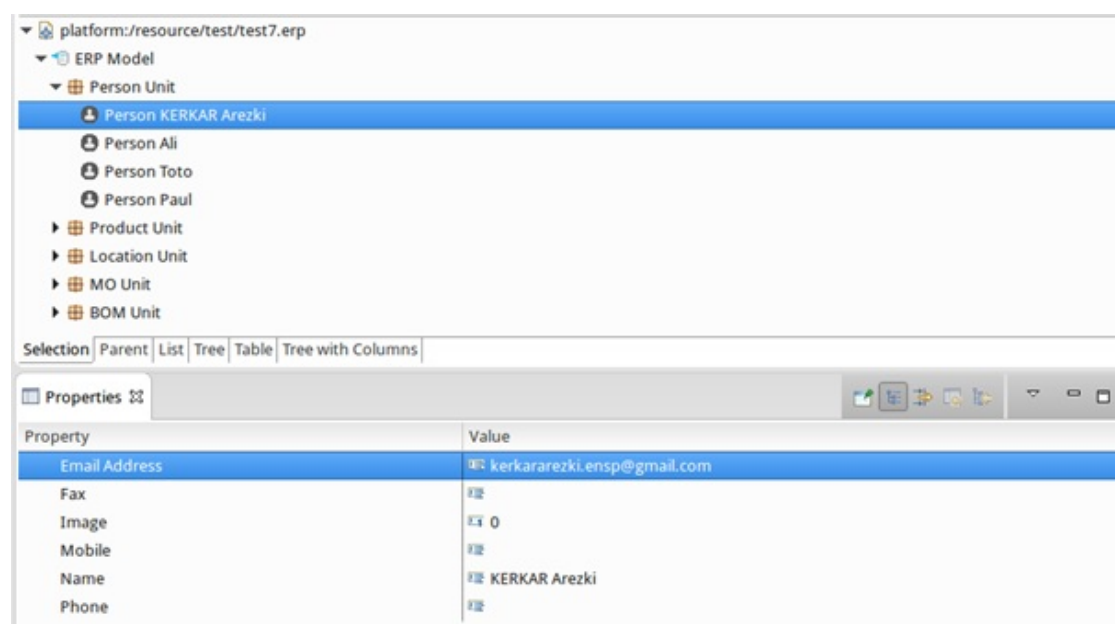


FIGURE 6.85 – L’interface utilisateur pour la saisi des propriétés d’un personnel

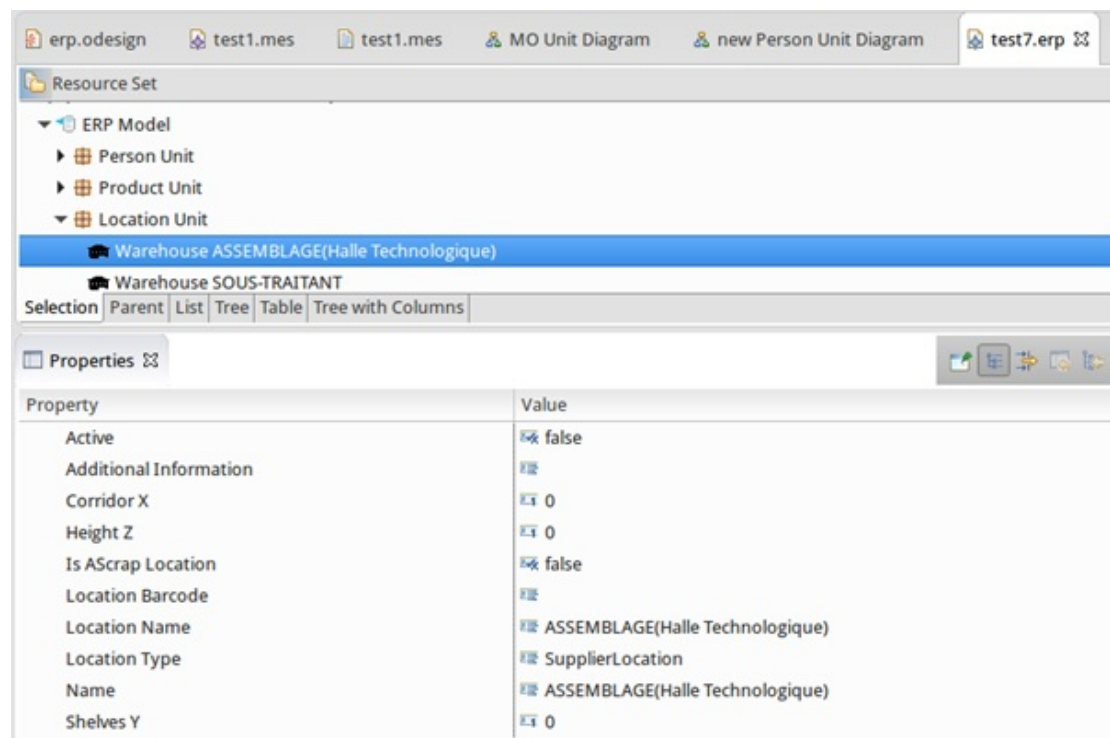


FIGURE 6.86 – L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un entrepôt

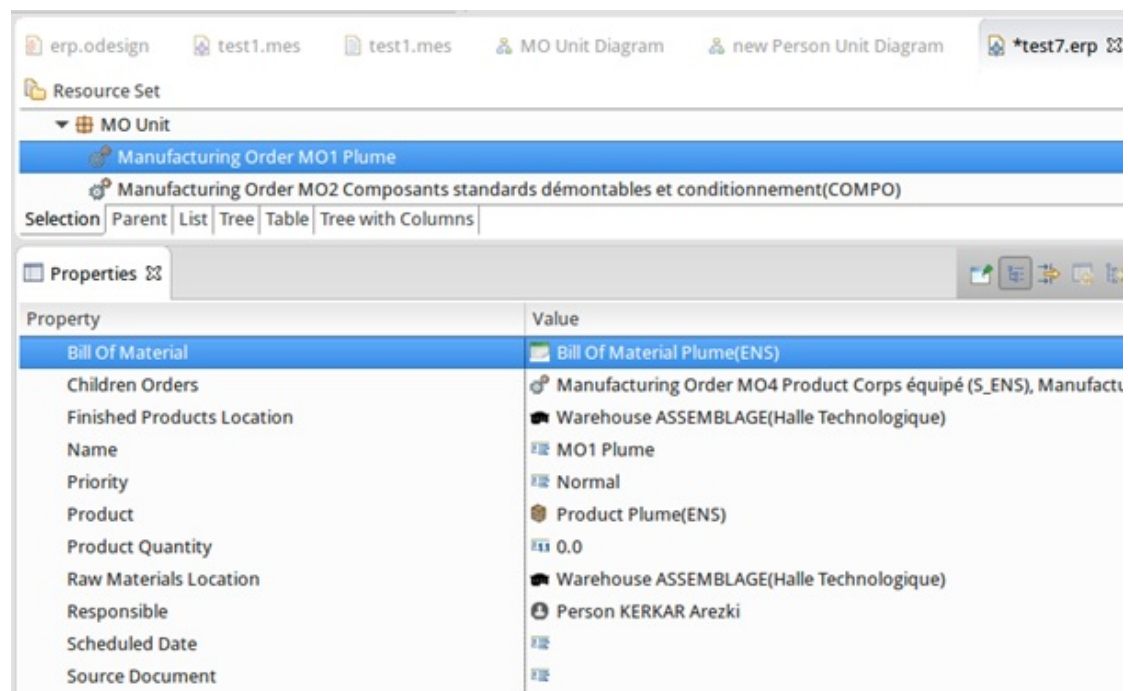


FIGURE 6.87 – L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'un ordre de production

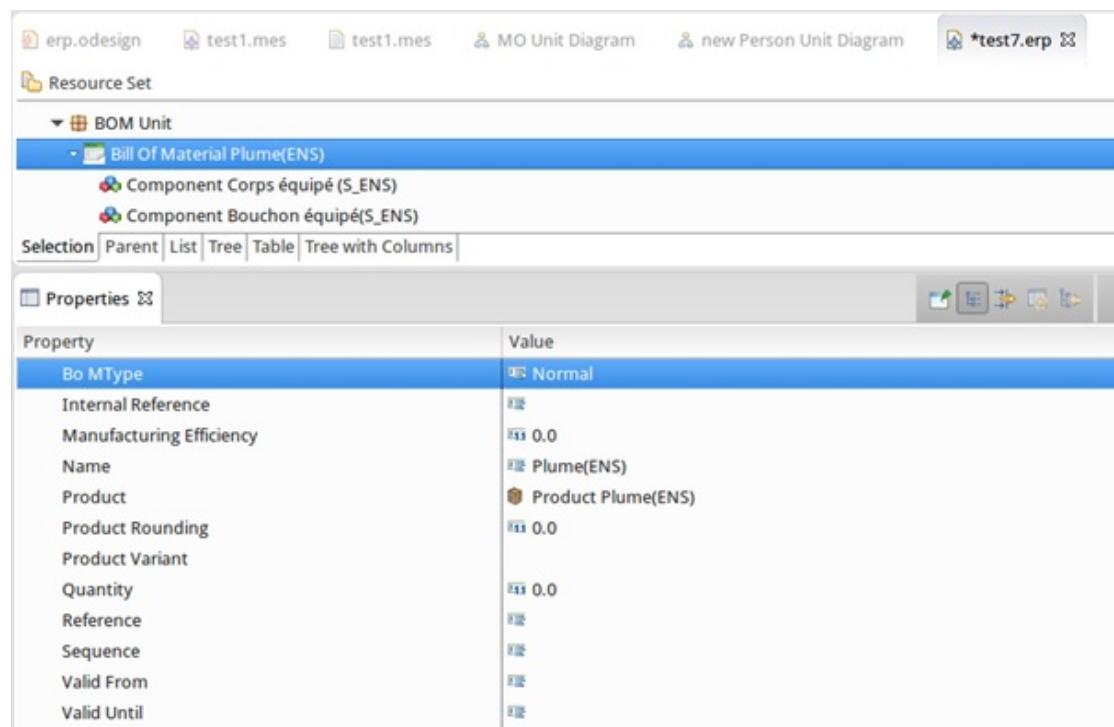


FIGURE 6.88 – L'interface utilisateur pour la saisi des propriétés d'une nomenclature de produit

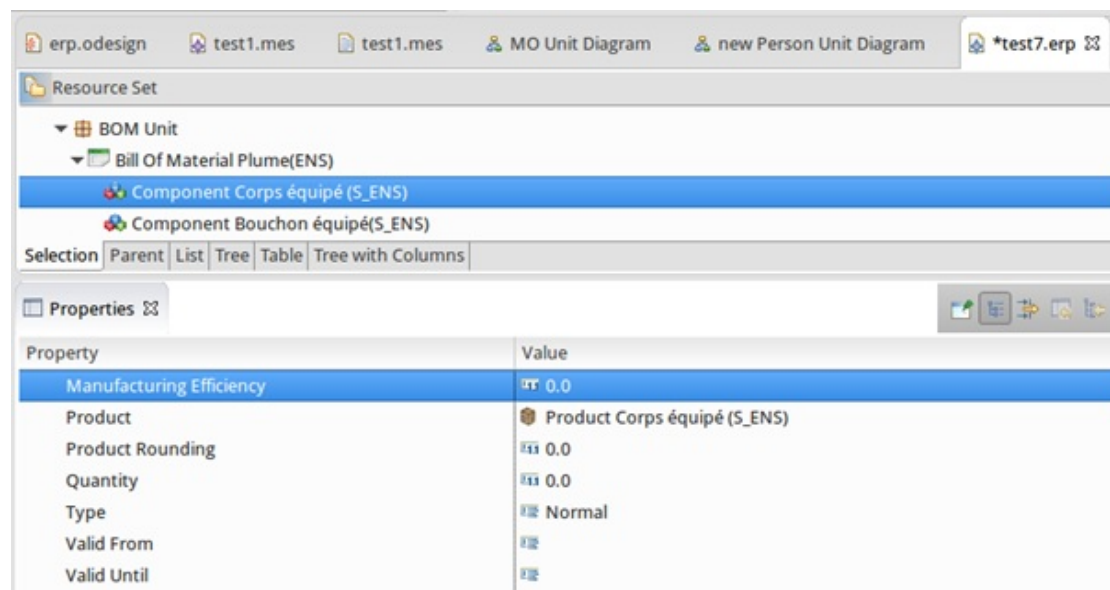


FIGURE 6.89 – L'interface utilisateur pour la saisie des propriétés d'un composant de nomenclature de produit

Annexes XII : Les méta-modèles du standard ISA95

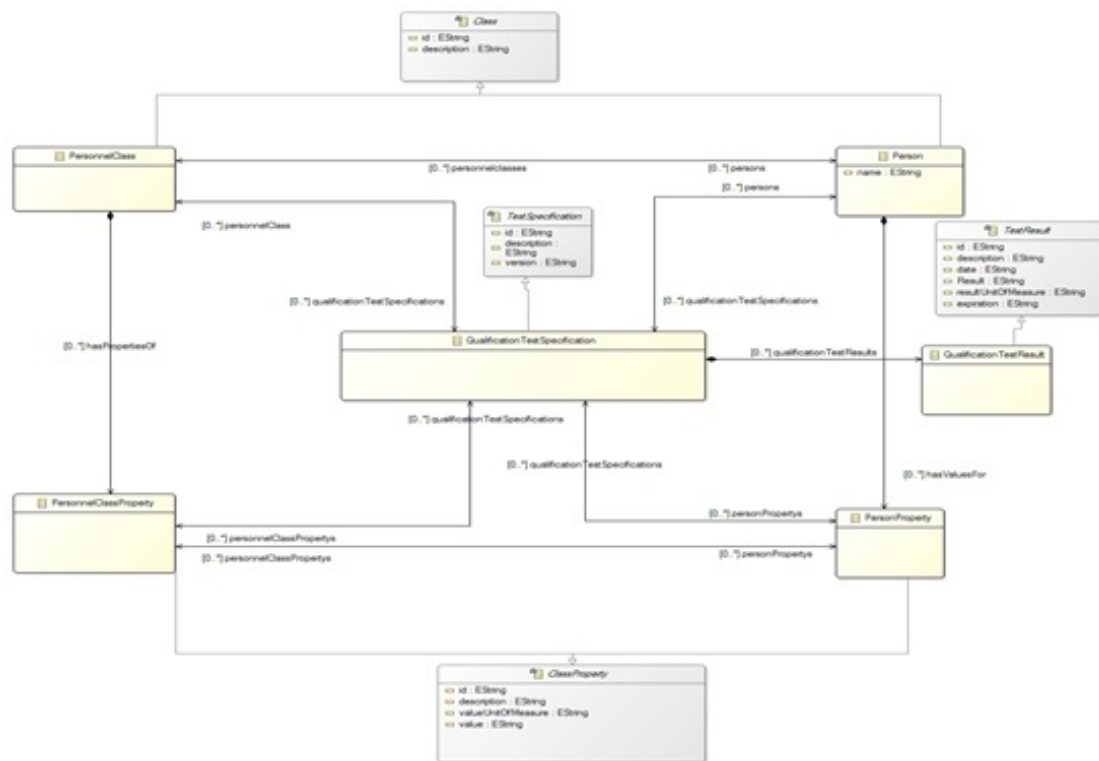


FIGURE 6.90 – Le modèle personnel

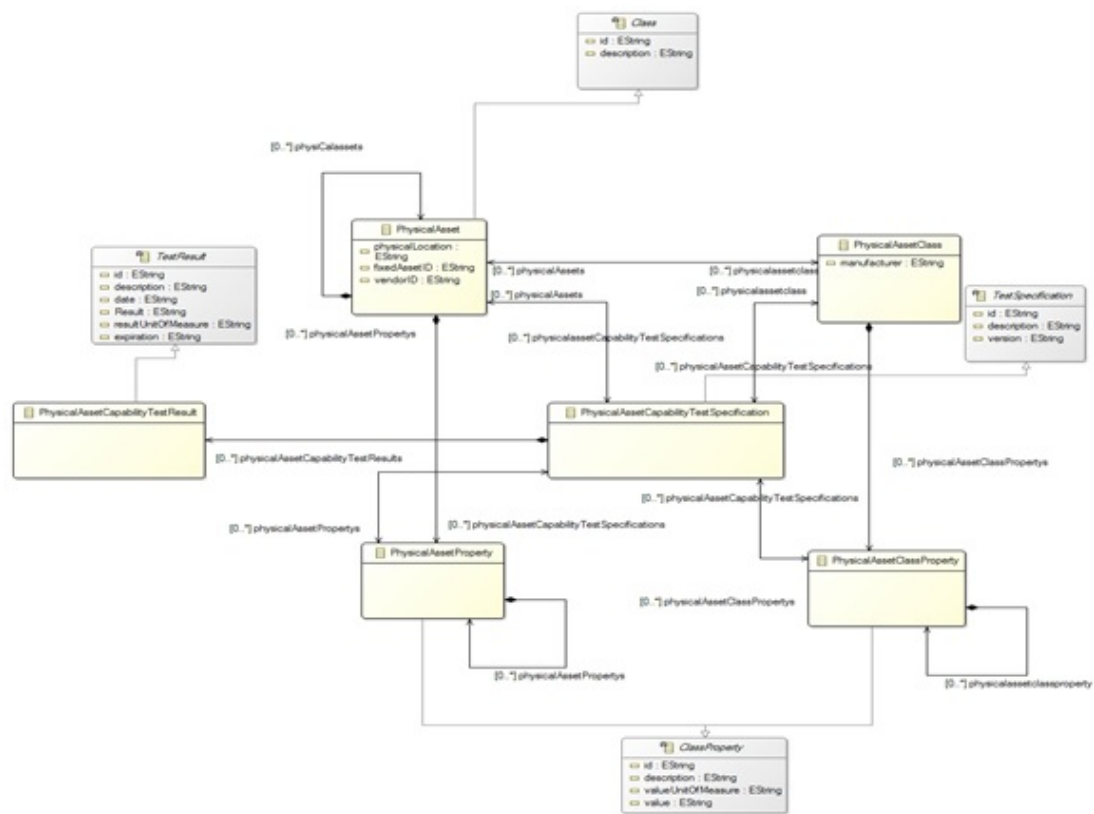


FIGURE 6.92 – Le modèle des atouts physiques

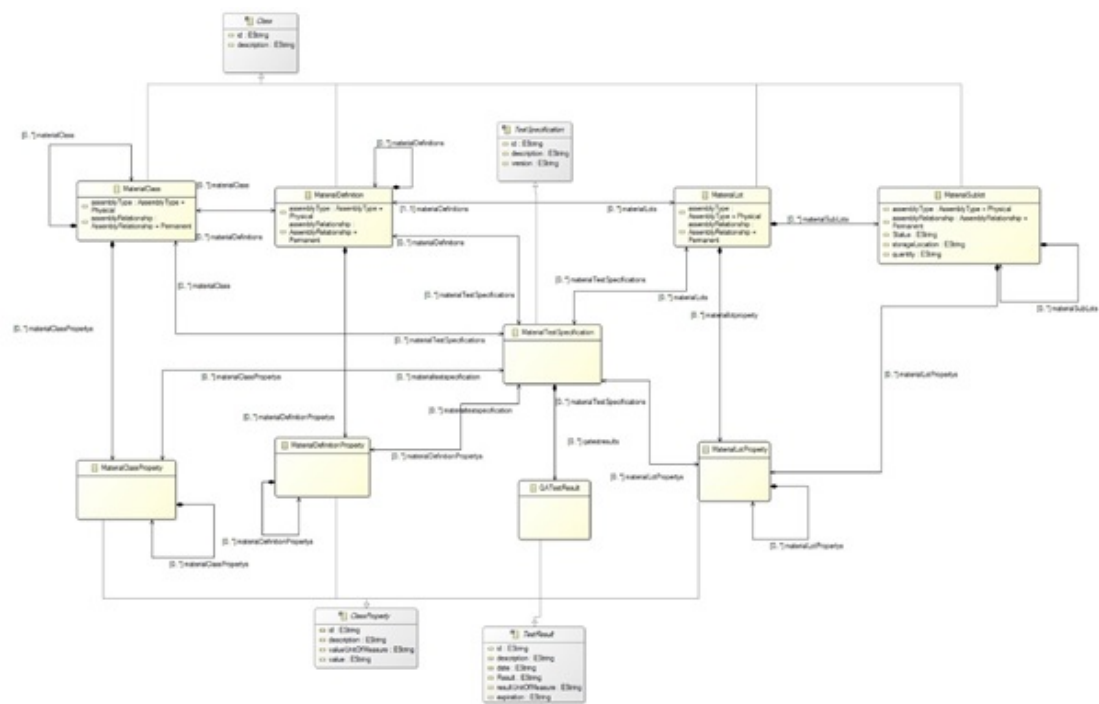


FIGURE 6.93 – Le modèle matériel

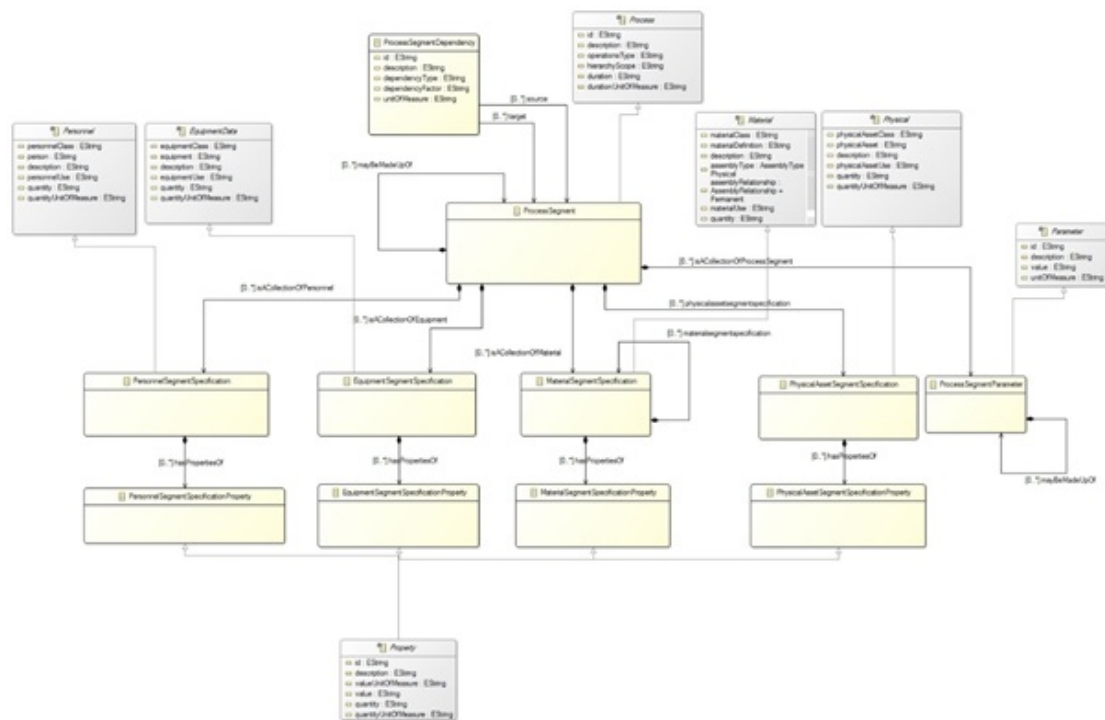


FIGURE 6.94 – Le modèle de segment des processus

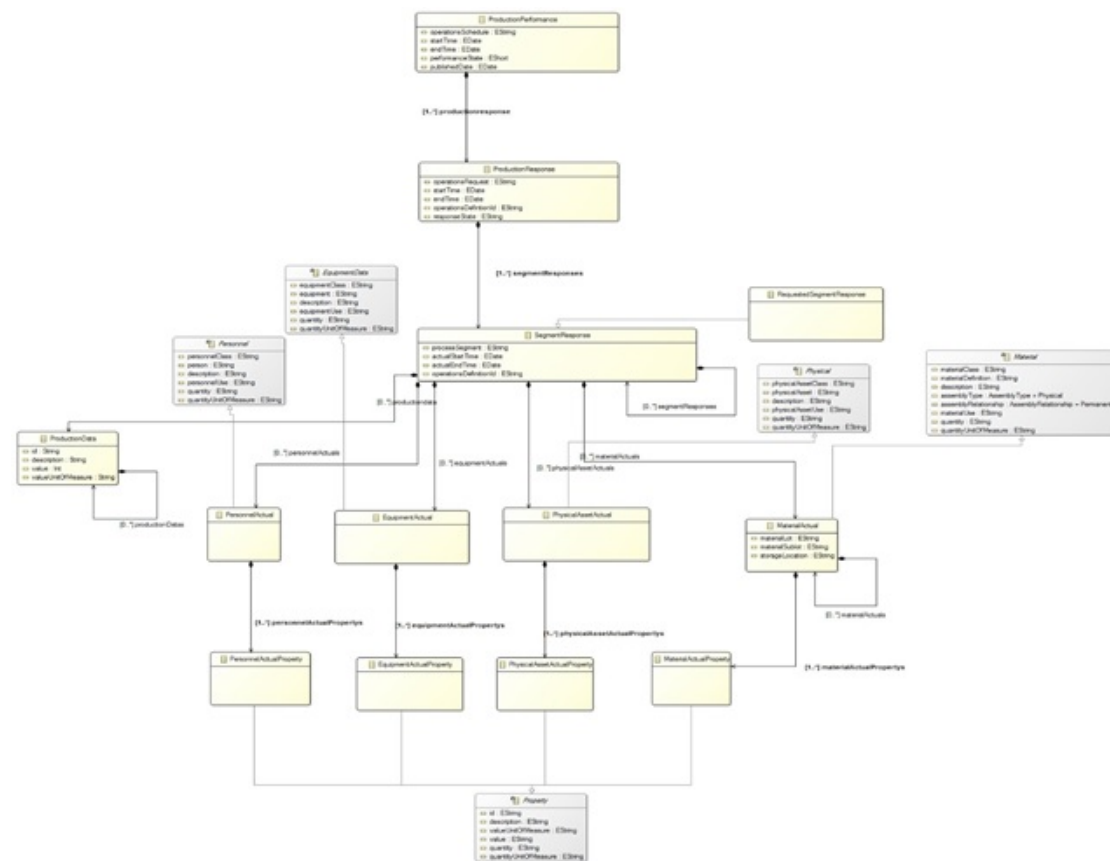


FIGURE 6.97 – Le modèle de la performance de production

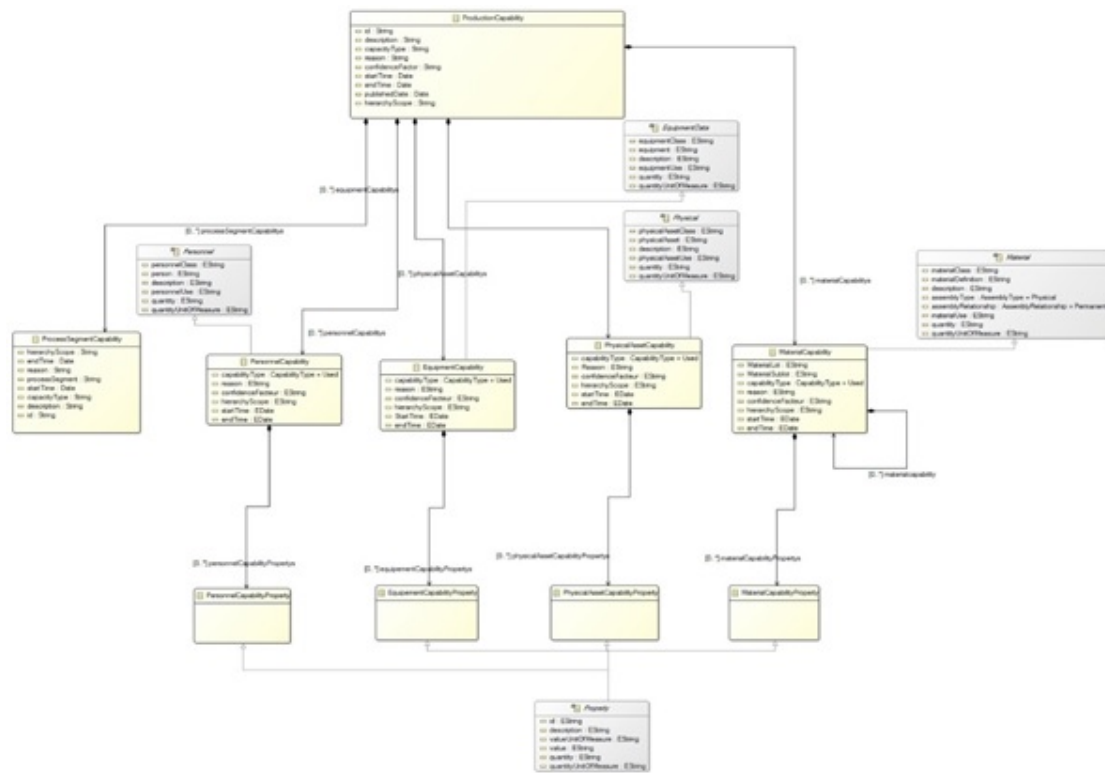


FIGURE 6.98 – Le modèle des capacités de production

Annexes XIII : Les méta-modèles de la solution MES Alpha3i

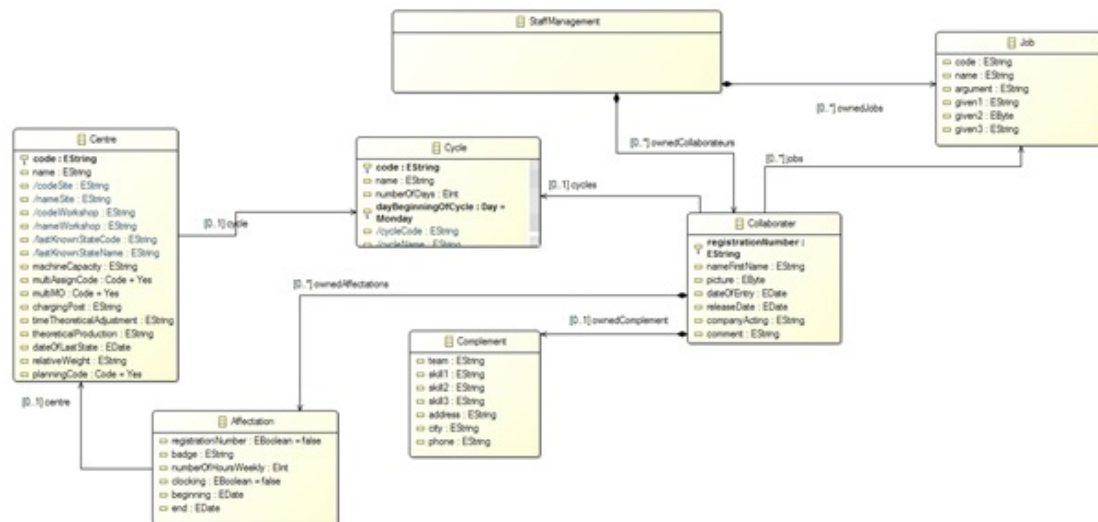


FIGURE 6.99 – Méta-modèle du personnel

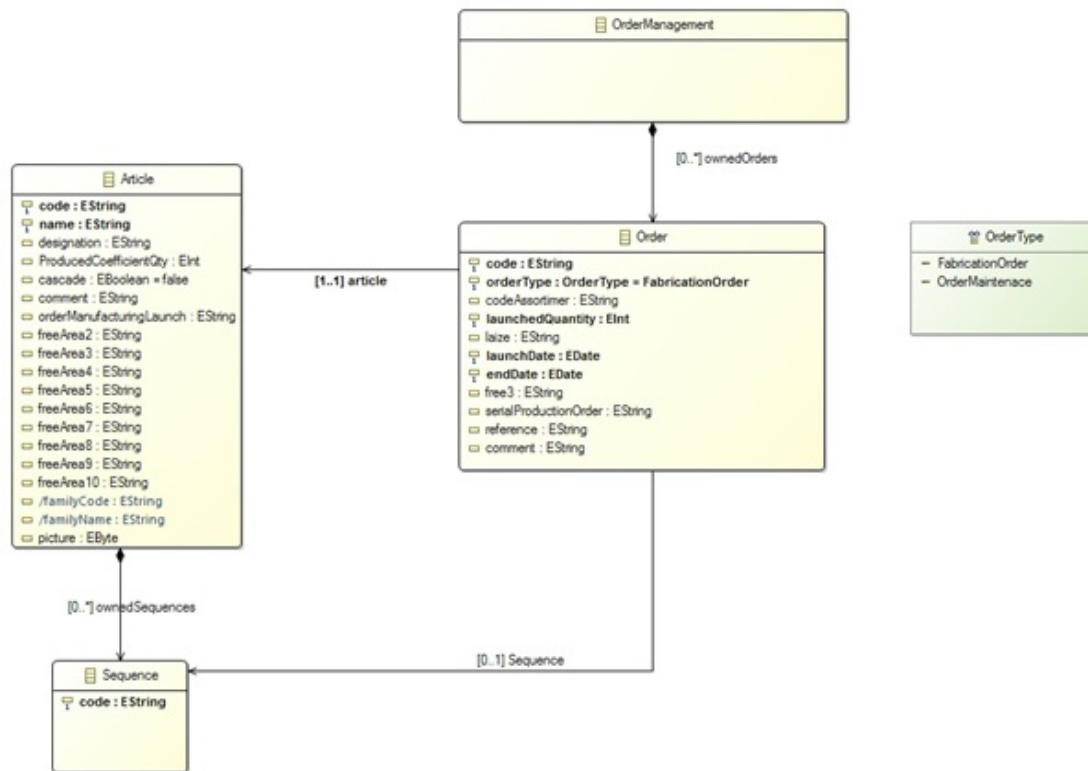


FIGURE 6.100 – Méta-modèle des ordres de fabrication

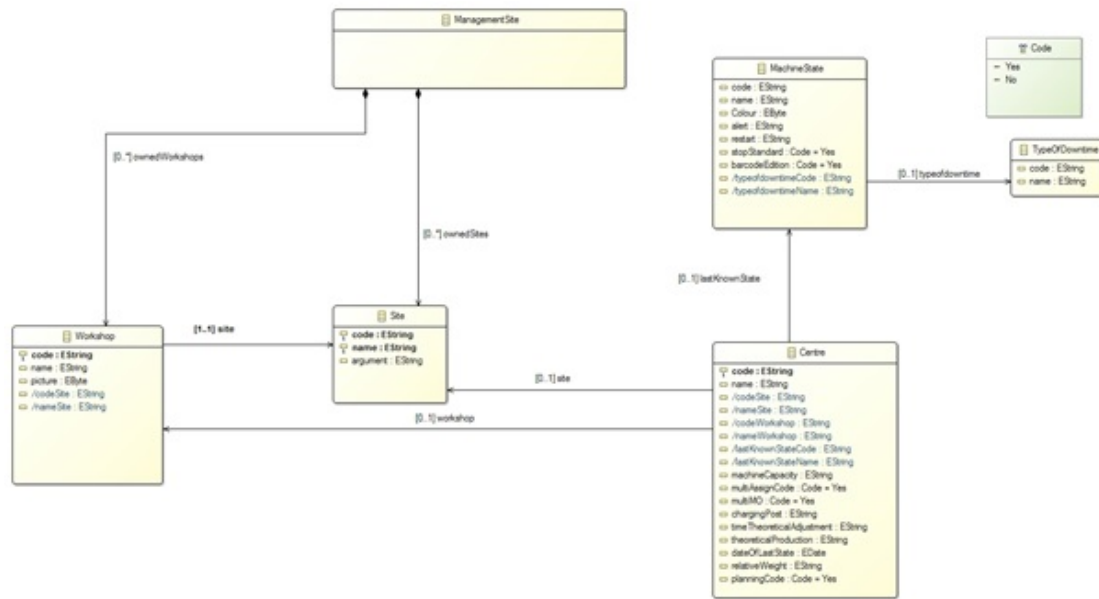


FIGURE 6.101 – Méta-modèle de gestion des sites de production

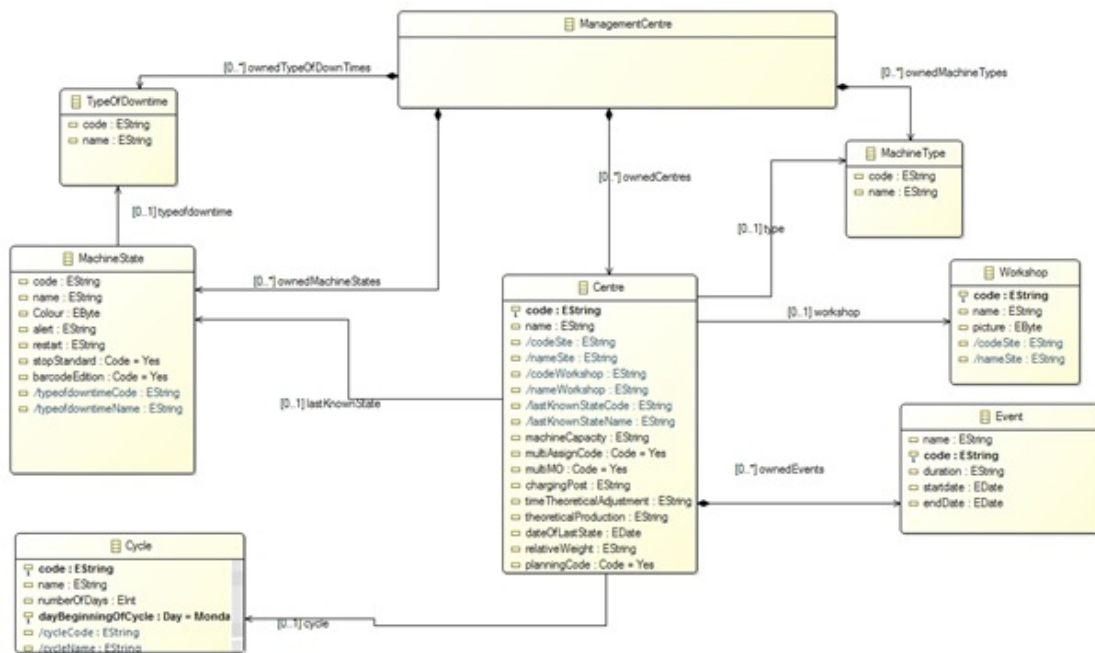


FIGURE 6.102 – Méta-modèle de gestion des centres de production

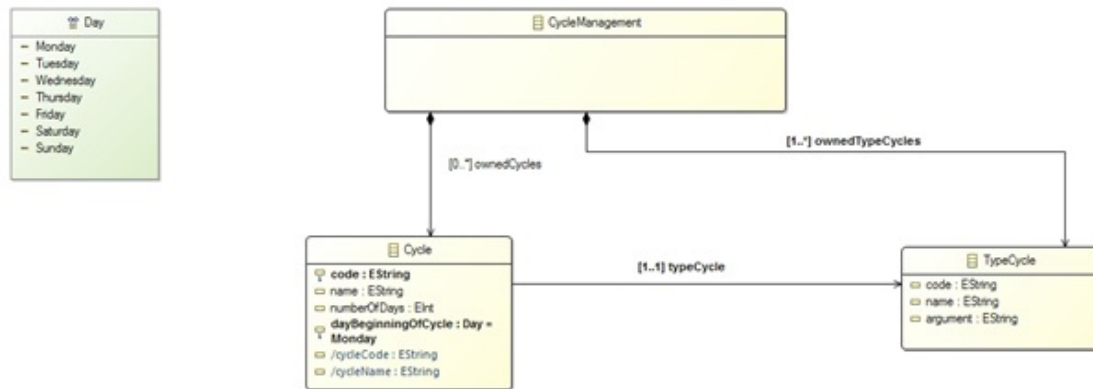


FIGURE 6.103 – Méta-modèle de gestion des cycles de production

Annexes XIV : Les interfaces utilisateurs de la solution MES Alpha3i

Modification/Création d'un enregistrement TABLES

Détail

Identifiant TABLES: 671

Code: PD1

Argument: COMPO

Libellé: Composants

Donnee1:

Donnee2:

Donnee3:

Valider

FIGURE 6.105 – Interface utilisateur de saisie d'une famille d'un article

Modification/Création d'un enregistrement TABLES

Détail

Identifiant TABLES: 1112

Code: UNI

Argument:

Libellé: Pas d'unité

Donnee1:

Donnee2:

Donnee3:

Valider

FIGURE 6.106 – Interface utilisateur de saisie d'une unité d'un article

Séquence: 0000

Article: Gamme

Liens: Nomenclature: Outils: Contrôle: Image: Complément: Documents

Valider: Nouveau: Dupliquer: Supprimer: Complément

Date de création: 20/11
Date de MAJ: 21/10

Operation	Libellé	Centre	Réglage	Démontage	Cadence MC	Unité	Cadence MO	Unité	Coeff qte	Nbre fiches	Commentaire	Zone libre 1	Programme de proc
0020	Ebauche + Finition	TU2=A	0,19	0,09	15,00	1,00	0,00	1,00	1,0000	0,00	TU2=A#TU2=B		
0030	Meulage protuberance	MEULE	0,05	0,05	60,00	1,00	0,00	1,00	1,0000	0,00	MEULE		

FIGURE 6.107 – Interface utilisateur de saisie de gamme d'un article

Séquence 0000

Article	Gamme	Liens	Nomenclature	Outils	Contrôle		
Valider Nouveau Dupliquer Supprimer							
Opération	Libellé	Type	Libellé du type	Opération antérieure	Libellé	Tps jalonnement	% jalonnement
0020	Ebauche + Finition	1	Opération indépendante			0,00	0,00
0030	Meulage protuberance	3	Opération successive à	0020	Ebauche + Finition	0,00	0,00

FIGURE 6.108 – Interface utilisateur de saisie des liens entre les opérations d'un article

Description des nomenclatures

Séquence 0000

Article	Gamme	Liens	Nomenclature	Outils	Contrôle	Image	Complément	Documents
Valider Nouveau Dupliquer Supprimer Complément								
Opération	Composant/matière	Libellé	Qté de composant ... par qté produit	Qté Divisible	mmenta	Date de création	Date de MAJ	Zone Libre1
0020	110000001	Laiton Rond Diam 12, Longueur 300mm	0,0500	1,0000	☒	16/01/2014	21/10/2014	
0030	500000002	ROLLER_Embout Corps_Semi Fini	1,0000	1,0000	☒	09/03/2015	09/03/2015	

Date de création 16/01/2014
Date de dernière maj 21/10/2014

FIGURE 6.109 – Interface utilisateur de saisie de la nomenclature d'un article

Code OF 0000000001

Quantité lancée 100 000,0000

Date lancement 05/01/2009

Séq de l'OF

Commentaire

Code article 00000001

Séquence 0000

Ordre de fabrication

Ordre de maintenance

Altère

Libre 1

Libre 2

Libre 3

Libre 4

Libre 5

Impression de la fiche suivrap

MAJ article/gamme/nomenclature

Pour la gamme/nomenclature

Description

Unités

Caract

Nomenclature

Liens opérations

FIGURE 6.110 – Interface utilisateur de saisie des OF d'un article

Description des outils

Séquence 0000

Article Gamme Liens Nomenclature Outils Contrôle

Valider Nouveau Supprimer

Opération	Code outil	Assemblé	Libellé outil	Quantité	Commentaire
0020	80000030	☐	Jauge de Profondeur	1	
0020	80000005	☐	Calibre à Coulisse	1	
0020	80000006	☐	T1 Outil à contourner	1	
0020	80000017	☐	T7 Outil tronçonner (sur machine)	1	
0020	80000019	☐	Clé BTR	1	
0020	80000020	☐	Clé à mandrin	1	
0020	80000021	☐	Mors Durs	1	
0020	80000002	☐	Souflette	1	
0030	80000044	☐	ROLLER_Corps nu outillage meule	1	

FIGURE 6.111 – Interface utilisateur de saisie les outils des opérations d'un article

Description des contrôles

Séquence 0000

Article Gamme Liens Nomenclature Outils Contrôle Image Complément Documents

Gamme Importer depuis gamme Importer depuis article

Valider Nouveau Dupliquer Supprimer

Date de création
Date de MAJ 19/07/20

Opération	Code caract.	Libellé	Centre	Type	Nominal	Max	Min	Echantillon	Fréquentiel	Type	Fréquence	Enchaînement	Déb. opér.	Fin opér.	Déb. poste	Fin poste	Chit outil	t
0020	DIAM01	Diamètre 10	TU2-A	MESUR	10,0000	10,0500	9,9500	1			0	PCS	Pi	☐	☒	☐	☐	☐
0020	DIAM02	Diamètre 8,10	TU2-A	MESUR	7,8000	7,8500	7,7500	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	
0020	COTE01	Cote 1,00	TU2-A	MESUR	1,0000	1,0500	0,9500	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	
0020	COTE02	Cote 1,0	TU2-A	MESUR	10,0000	10,1000	9,9000	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	
0020	ASPE	Contrôle visuel	TU2-A	ATTRIB	0,0000	0,0000	0,0000	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	
0020	COTE03	Cote 4,00	TU2-A	MESUR	4,0000	3,9000	4,1000	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	
0030	ASPE	Contrôle visuel	MEULE	ATTRIB	0,0000	0,0000	0,0000	1			0	Auci	☐	☐	☐	☐	☐	

FIGURE 6.112 – Interface utilisateur du contrôle des opérations d'un article

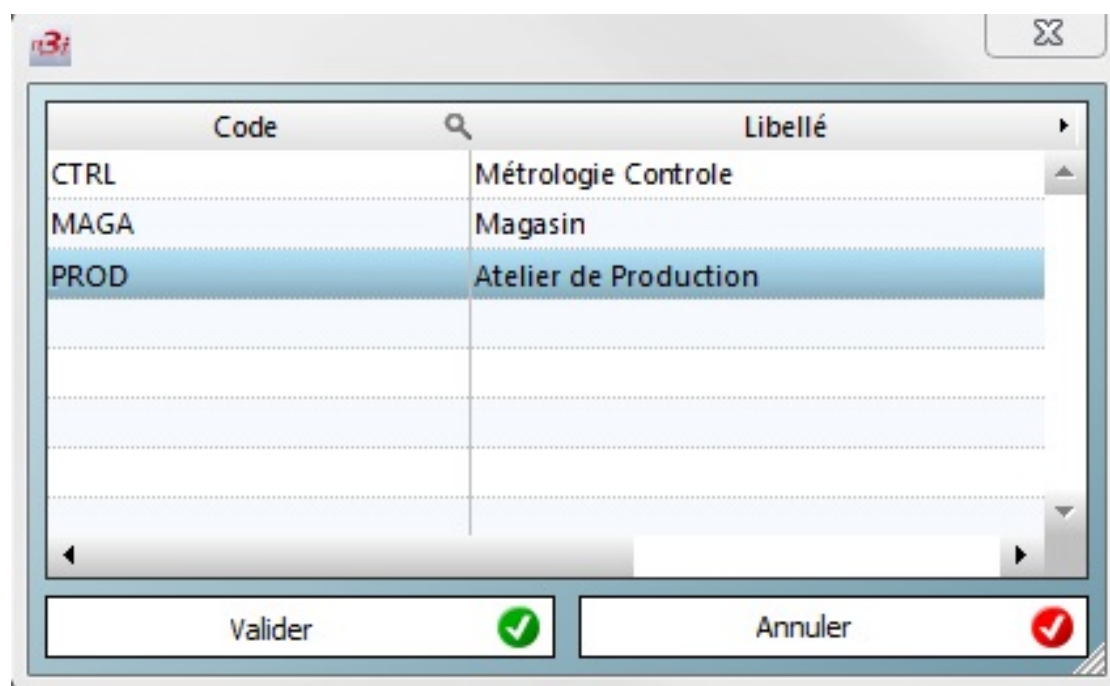


FIGURE 6.113 – Interface utilisateur pour spécifier les types de sites

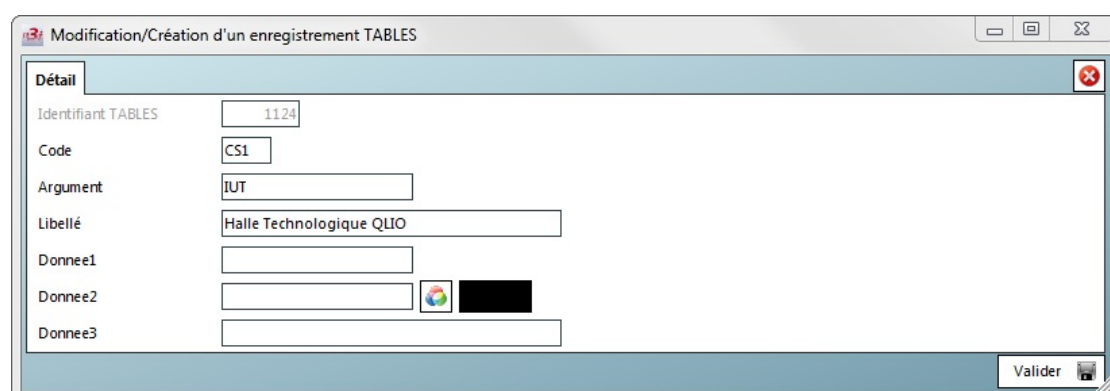


FIGURE 6.114 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un site

Modification/Création d'un enregistrement ATELIER

Détail Liens documentaire

Identifiant ATELIER

Code du site Halle Technologique QLIO

Code atelier

Libellé

Image

Valider

FIGURE 6.115 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un atelier

Modification/Création d'un enregistrement CENTRE

Détail Complément Liens documentaire

Identifiant CENTRE

Code centre

Libellé

Type Machine de production

Code atelier Atelier de Production

Poste de charge ERP

Code supervision OUI

Gestion manuelle Centre affiché dans l'activité journa...

Temps de réglage théo.

Production théorique

Dernier état connu Disponible

Date dernier état

Code multi-affect. OUI

Multi MO OUI

Centre Pondere NON

Code planning OUI

Suivi/Analyse OUI

Calendrier machine

Poids relatif

Capacité machine

Ordre d'affichage

Valider

FIGURE 6.116 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un centre

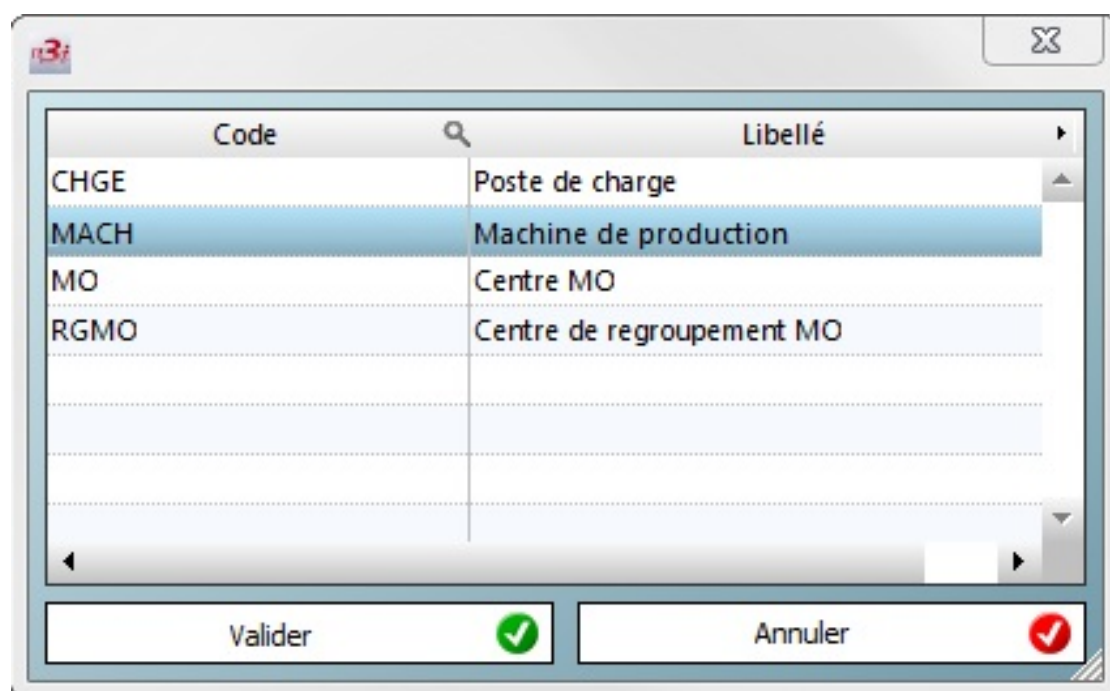


FIGURE 6.117 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'une machine

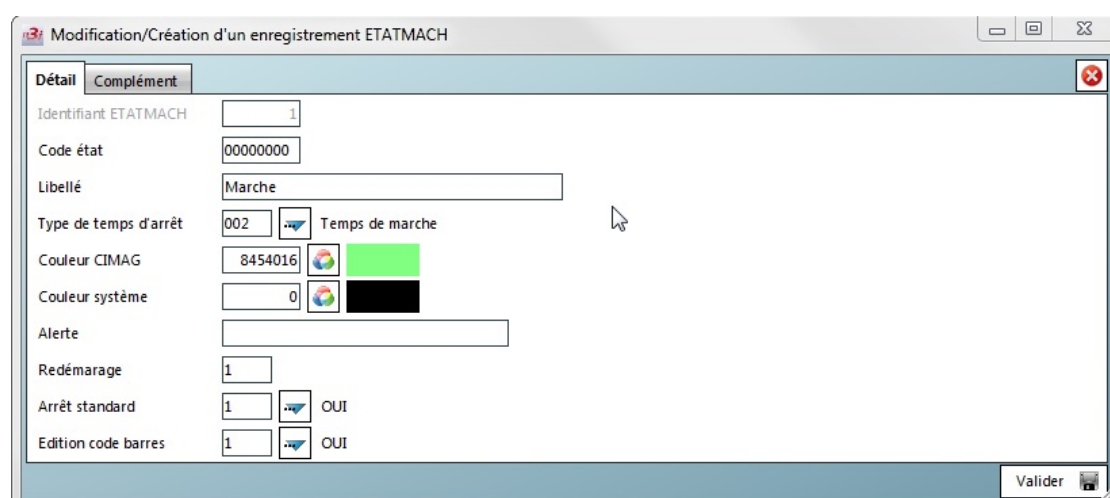


FIGURE 6.118 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un état d'une machine

Modification/Création d'un enregistrement ETATMACH

Détail Complément

Identifiant ETATMACH: 1

Code état: 00000000

Libellé: Marche

Type de temps d'arrêt: 002 Temps de marche

Couleur CIMAG: 8454016

Couleur système: 0

Alerte:

Redémarrage: 1

Arrêt standard: 1 OUI

Edition code barres: 1 OUI

Valider

FIGURE 6.119 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des temps d'arrêt d'une machine

Type Libellé

MACH	Horaire machine
MO	Horaire main d'oeuvre

Valider Annuler

FIGURE 6.120 – Interface utilisateur pour spécifier les types d'un cycle machine

Généralités					Valider 	Nouveau 	Dupl 
Détail cycle							
Code cycle	M321	Libellé	Main d'Œuvre 21J Nuit				
Type cycle	MO						
Nombre de Jours			21				
Jour de début du cycle	Lundi						

FIGURE 6.121 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un cycle machine

Modification/Création d'un enregistrement TABLES		
Détail		
Identifiant TABLES	117	
Code	EMP	
Argument	03	
Libellé	Régleur	
Donnee1	REGL	
Donnee2	0	 
Donnee3		
		Valider 

FIGURE 6.122 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un travail

Liste d'un collaborateur

Généralités | Cycle horaire | Complément

Fiche personnel

Matricule: 000226 | Nom prénom: KONTE Ali

Badge	Centre	Multictr	Std hebdo	Badgeage	Début	Fin
000226	ASSEM	☒	0,00	☒	05/01/2009	31/12/2099

Date d'entrée: 01/01/2000 | Date de sortie:

Fichier photo: | Equipe: EQUIPE 41

Commentaire:

Valider

FIGURE 6.123 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un collaborateur

Généralités | Cycle horaire | **Complément**

COMPLEMENT MATRIC : 000226

Equipe:

Compétence 1:

Compétence 2:

Compétence 3:

Adresse:

Ville:

Téléphone:

Valider

FIGURE 6.124 – Interface utilisateur pour spécifier des compléments sur les propriétés d'un collaborateur

Annexe XV : Les interfaces utilisateur du composant de référence ERP

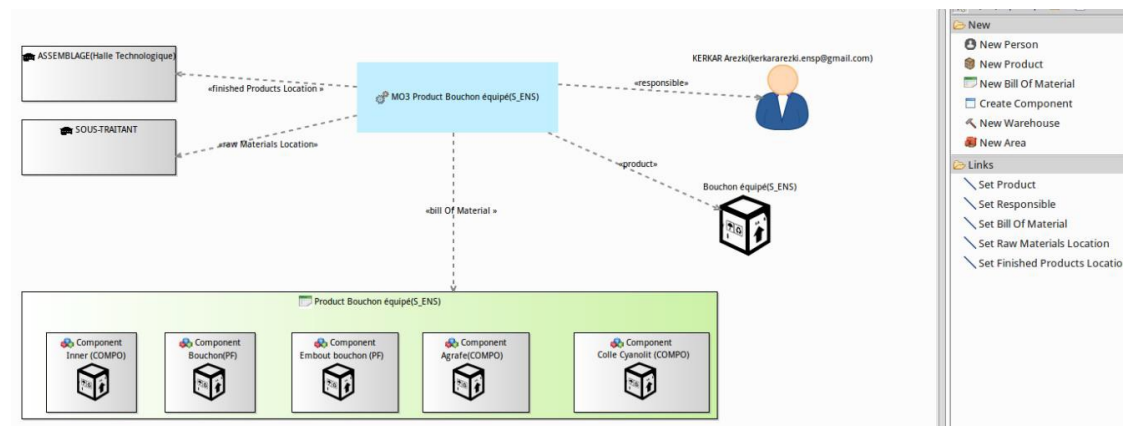


FIGURE 6.125 – Interface utilisateur pour représenter les ordres de production sous la forme graphique

BOM Unit Diagram new Manufacturi new Manufacturi new Manufacturi new Manufacturi new Manufacturi	
	Name
Manufacturing Order	MO1 Plume
Manufacturing Order	MO2 Composants standards démontables et conditionnement(COMPO)
Manufacturing Order	MO3 Product Bouchon équipé(S_ENS)
Manufacturing Order	MO4 Product Corps équipé (S_ENS)
Manufacturing Order	MO5 Product Corps(PF)
Manufacturing Order	MO6 Product Corps(SF)
Manufacturing Order	MO7 Alum 2017C (Rond Ø 14 L=300mm)
Manufacturing Order	MO8 Product Embout bouchon (PF)
Manufacturing Order	MO9 Embout bouchon (SF)
Manufacturing Order	MO10 Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=300 mm)
Manufacturing Order	MO11 Product Rondelle (PF)
Manufacturing Order	MO12 Rondelle (SF)
Manufacturing Order	MO13 Bouchon(PF)
Manufacturing Order	MO14 Bouchon(SF)
Manufacturing Order	MO15 Embout bouchon (PF)
Manufacturing Order	MO16 Embout bouchon (SF)

FIGURE 6.126 – Interface utilisateur pour représenter les ordres de production sous la forme de tableau

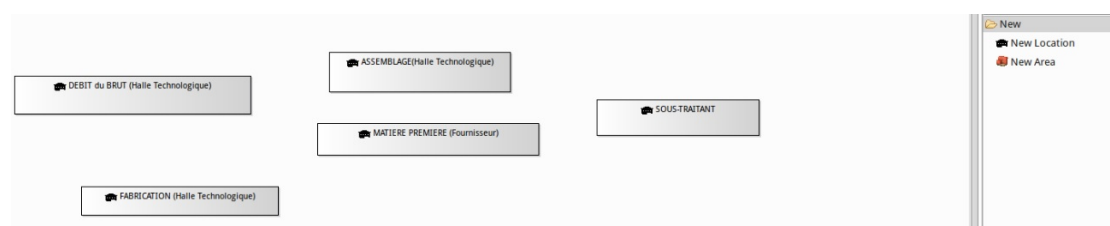


FIGURE 6.127 – Interface utilisateur pour représenter les entrepôts sous la forme graphique

 new Location Un

 new Manufacturi

 new Manufacturi

 new Manufacturi

		Name
 Warehouse		ASSEMBLAGE(Halle Technologique)
 Warehouse		SOUS-TRAITANT
 Warehouse		FABRICATION (Halle Technologique)
 Warehouse		DEBIT du BRUT (Halle Technologique)
 Warehouse		MATIERE PREMIERE (Fournisseur)

FIGURE 6.128 – Interface utilisateur pour représenter les entrepôts sous la forme de tableau

*Location Unit		*new Location U		*new Manufactur		*new Manufactur	
		Name		Email			
 Person		KERKAR Arezki		kerkararezki.ensp@gmail.com			
 Person		Ali		Ali			
 Person		Toto		Toto			

FIGURE 6.129 – Interface utilisateur pour représenter la liste des collaborateurs sous la forme de tableau

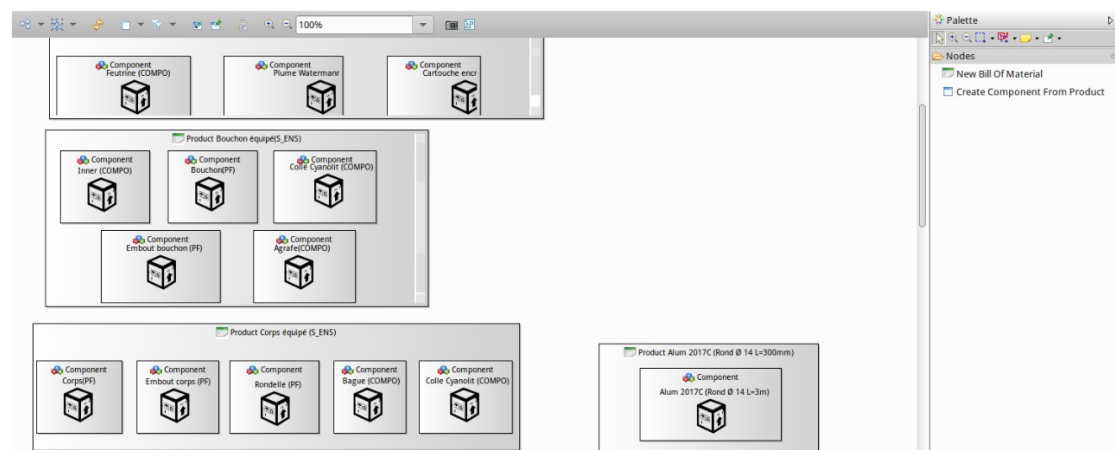


FIGURE 6.130 – Interface utilisateur pour représenter les nomenclatures sous la forme graphique

*new Person Uni *Location Unit *new Location U *BOM Unit Diag *new Manufactur *new Manufactur *new MO Unit Ta	
	Name
Bill Of Material Plume(ENS)	Plume(ENS)
Bill Of Material Composants standards démontables et conditionnement(COMPO)	Composants standards démontables et conditionnement(COMPO)
Bill Of Material Product Bouchon équipé(S_ENS)	Product Bouchon équipé(S_ENS)
Bill Of Material Product Corps équipé (S_ENS)	Product Corps équipé (S_ENS)
Bill Of Material Product Corps(PF)	Product Corps(PF)
Bill Of Material Product Corps(SF)	Product Corps(SF)
Bill Of Material Product Alum 2017C (Rond Ø 14 L=300mm)	Product Alum 2017C (Rond Ø 14 L=300mm)
Bill Of Material Product Embout bouchon (PF)	Product Embout bouchon (PF)
Bill Of Material Product Product Bouchon(SF)	ProductProduct Bouchon(SF)
Bill Of Material Product Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=300 mm)	Product Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=300 mm)
Bill Of Material Product Rondelle (PF)	Product Rondelle (PF)
Bill Of Material Product Rondelle (SF)	Product Rondelle (SF)
Bill Of Material Product Bouchon(PF)	Product Bouchon(PF)
Bill Of Material Product Bouchon(SF)	Product Bouchon(SF)
Bill Of Material Product Embout bouchon (PF)	Product Embout bouchon (PF)
Bill Of Material Product Embout bouchon (SF)	Product Embout bouchon (SF)

FIGURE 6.131 – Interface utilisateur pour représenter les nomenclatures sous la forme de tableau

*new Person Uni *Location Unit *new Location U *BOM Unit Diagr *new MO Unit Ta *new Person Tab *new BOM Unit T *Product Unit		
Product	Name	Reference
Product	Corps équipé (S_ENS)	60000003
Product	Bouchon équipé(S_ENS)	60000004
Product	Plume(ENS)	70000002
Product	Corps(PF)	90000008-A
Product	Corps(SF)	50000007
Product	Alum 2017C (Rond Ø 14 L=300mm)	11000004
Product	Alum 2017C (Rond Ø 14 L=3m)	10000004
Product	Embout corps (PF)	90000009-A
Product	Embout corps (SF)	50000008
Product	Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=300 mm)	11000002
Product	Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=300 mm)	11000002
Product	Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=3 m)	10000002
Product	Laiton CuZn32Pb2 (Rond Ø 14 L=3 m)	10000002
Product	Rondelle (PF)	9000010-A
Product	Rondelle (SF)	50000009
Product	Bague (COMPO)	30000001
Product	Colle Cyanolite (COMPO)	30000006
Product	Plume Watermann (COMPO)	30000004
Product	Cartouche encre (COMPO)	30000005
Product	Feutrine (COMPO)	30000008
Product	Inner (COMPO)	30000009
Product	Bouchon(PF)	90000011-A
Product	Bouchon(SF)	50000010
Product	Alum 2017C (Rond Ø 14 L=300mm)	11000004
Product	Alum 2017C (Rond Ø 14 L=3m)	10000004

FIGURE 6.132 – Interface utilisateur pour représenter les produits sous la forme de tableau

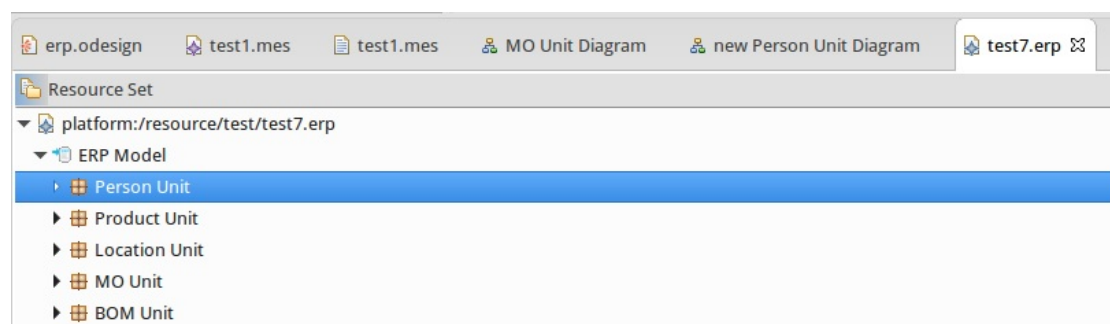


FIGURE 6.133 – Interface utilisateur pour spécifier les unités du composant de référence ODOO

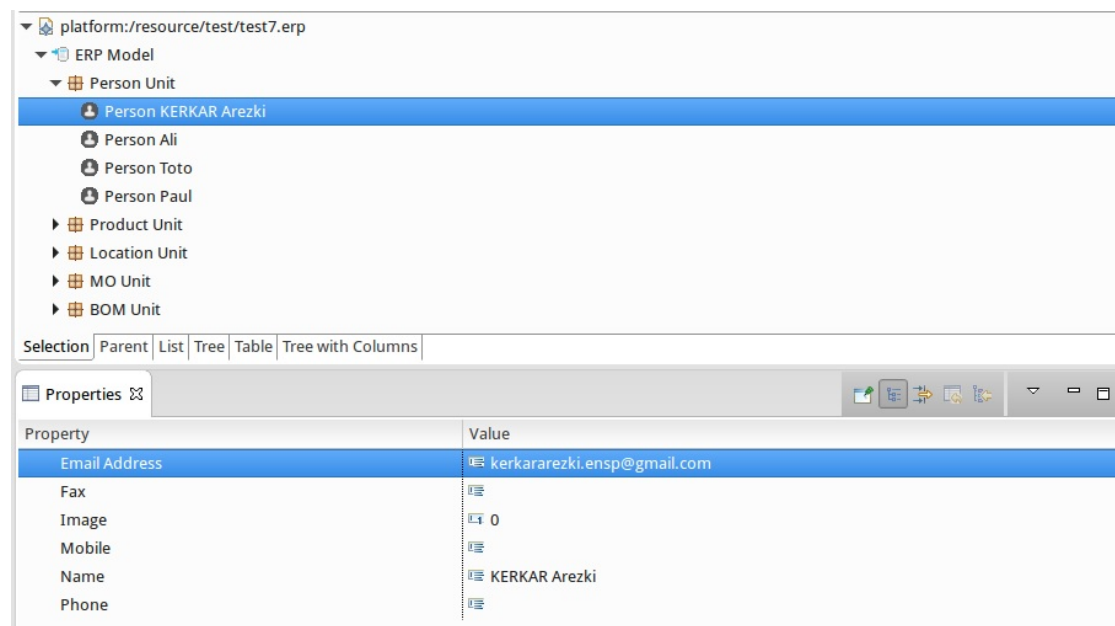


FIGURE 6.134 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des collaborateurs

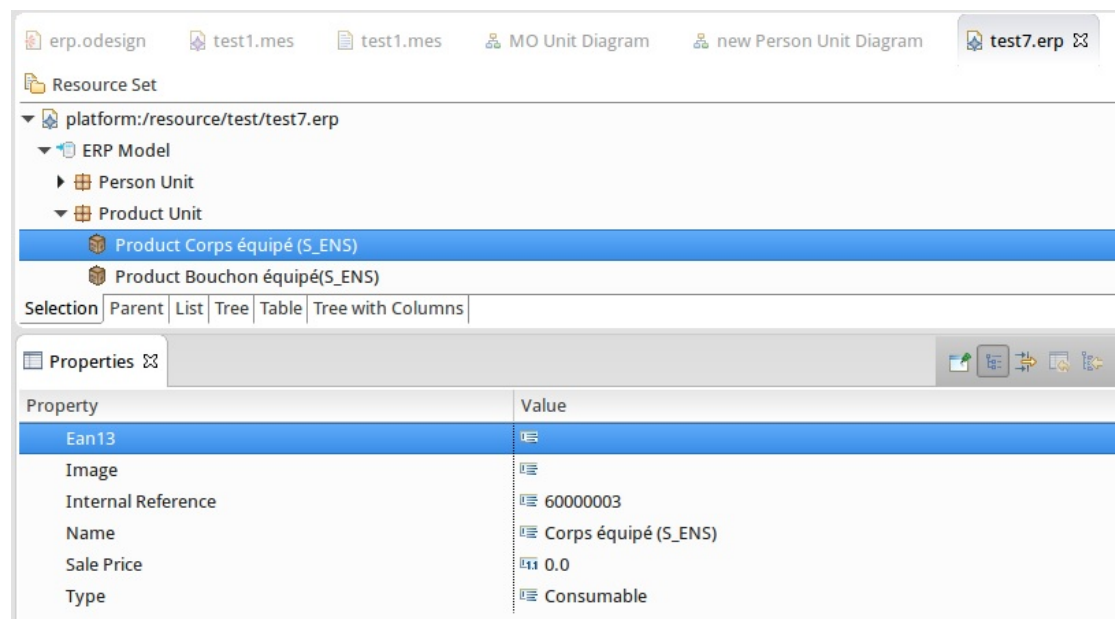


FIGURE 6.135 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un produit

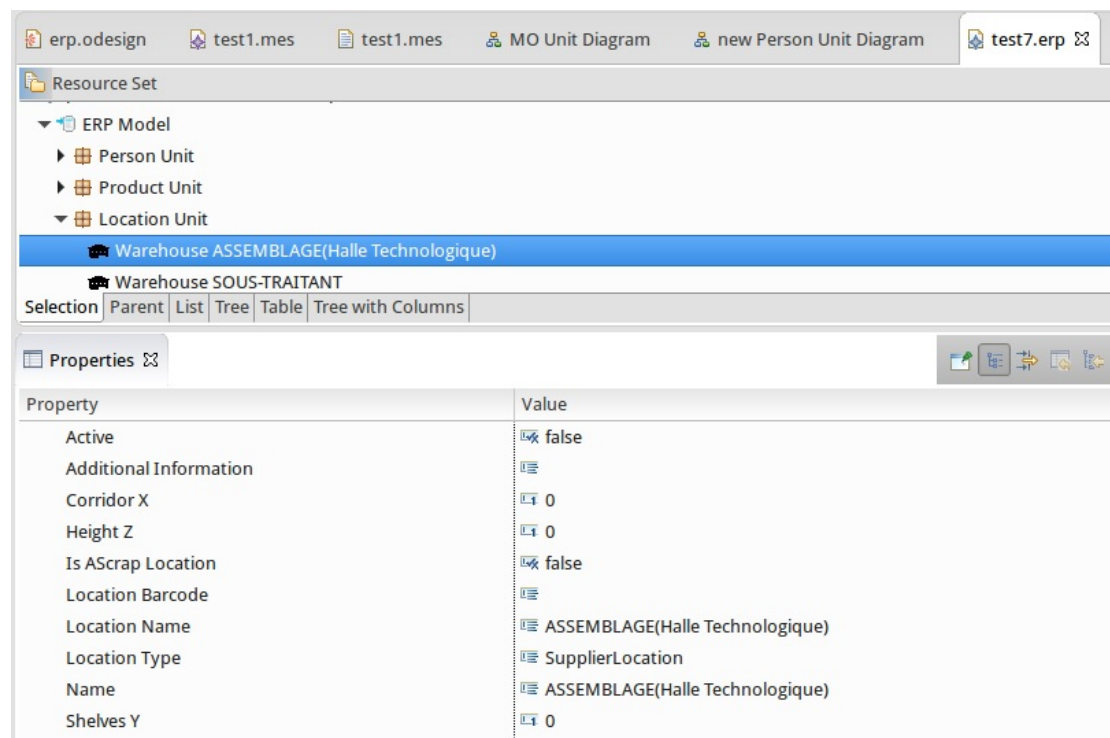


FIGURE 6.136 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des entrepôts

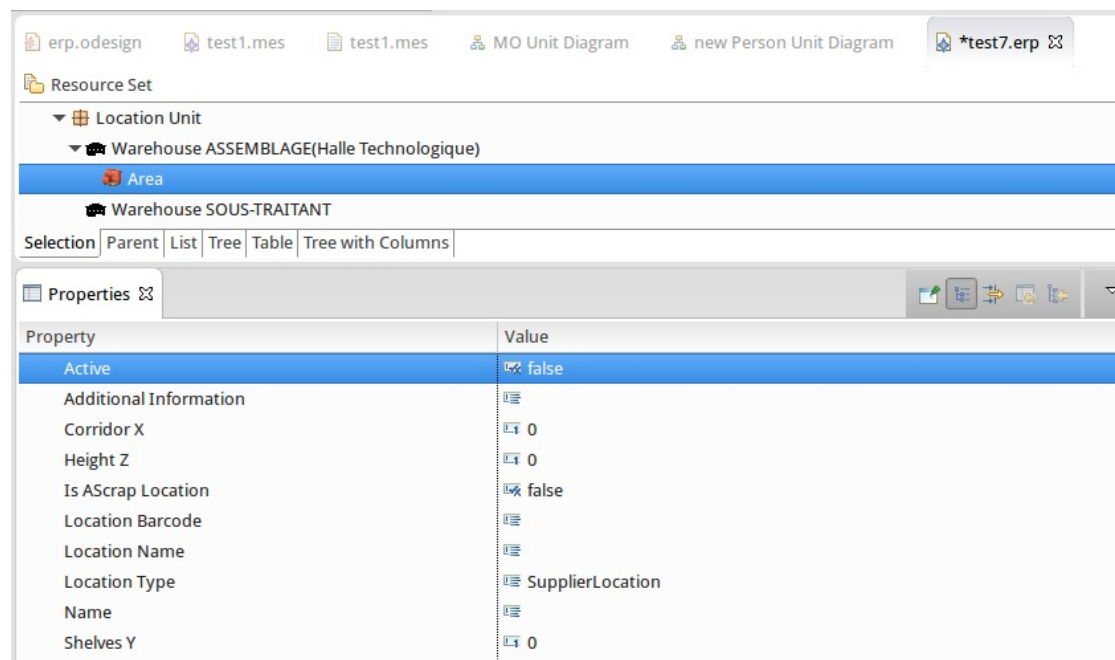


FIGURE 6.137 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des sous entrepôts

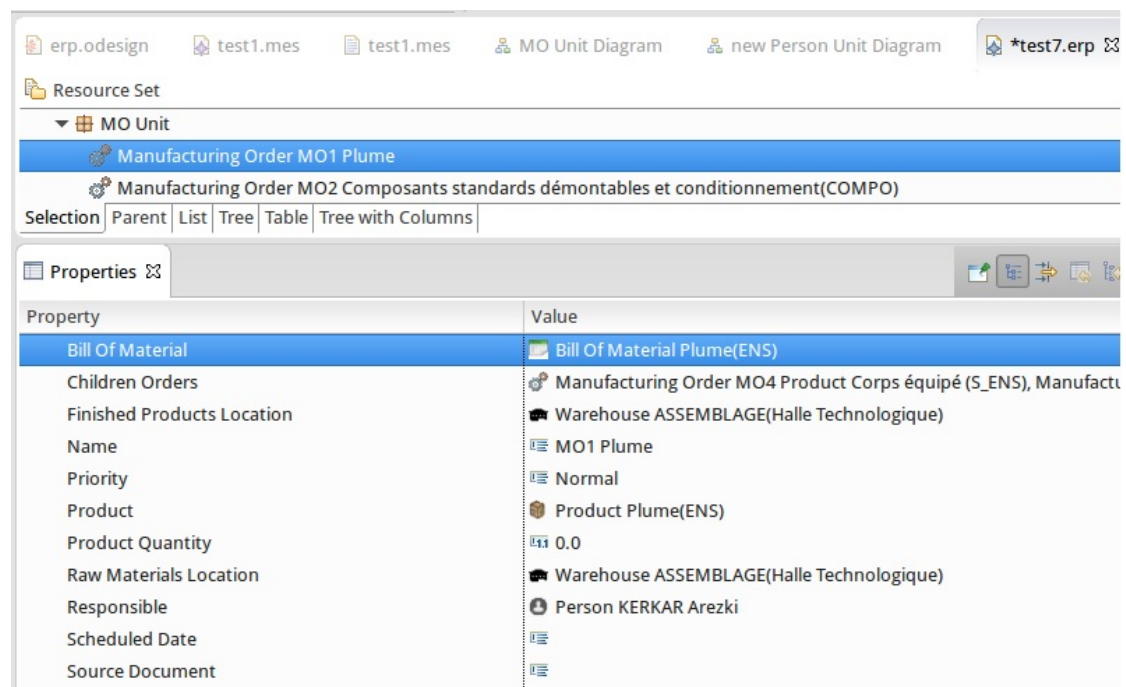


FIGURE 6.138 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des ordres de fabrication

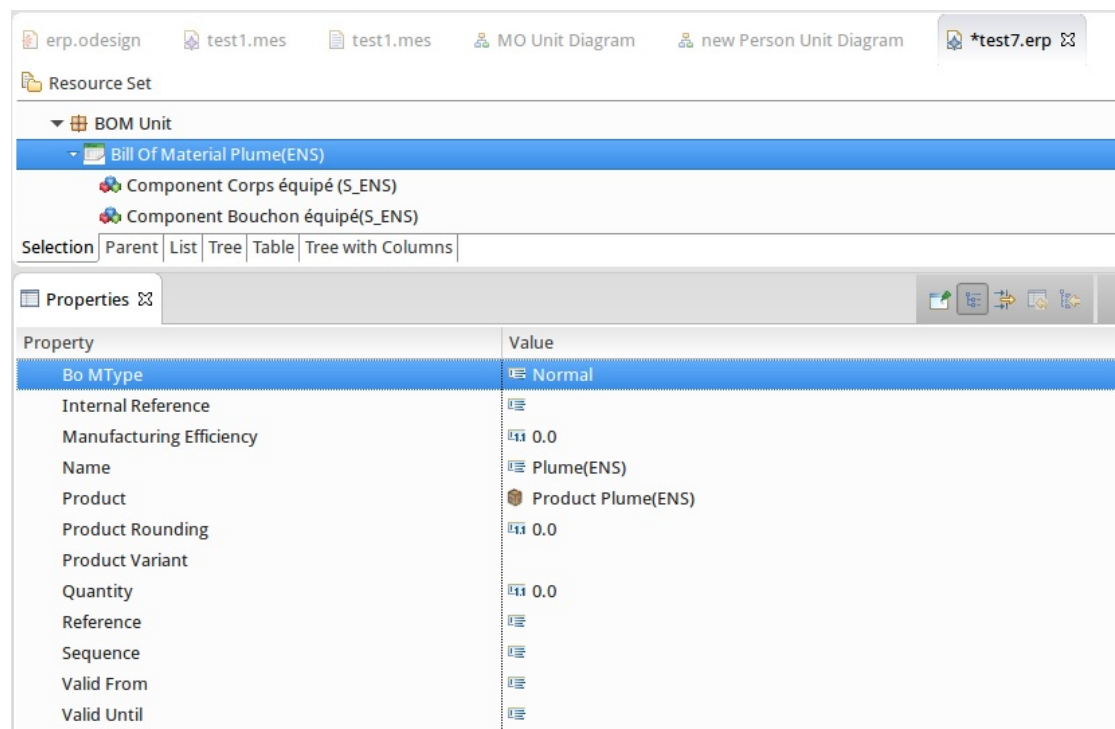


FIGURE 6.139 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des nomenclatures

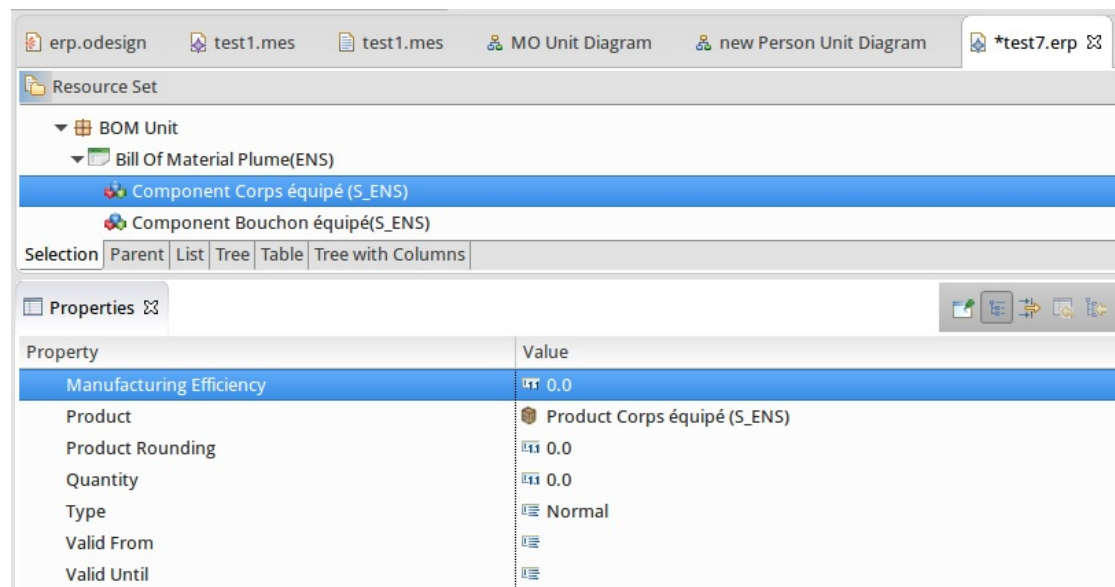


FIGURE 6.140 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés de composants de nomenclature

Annexes XVI : Les interfaces utilisateur du composant de référence MES

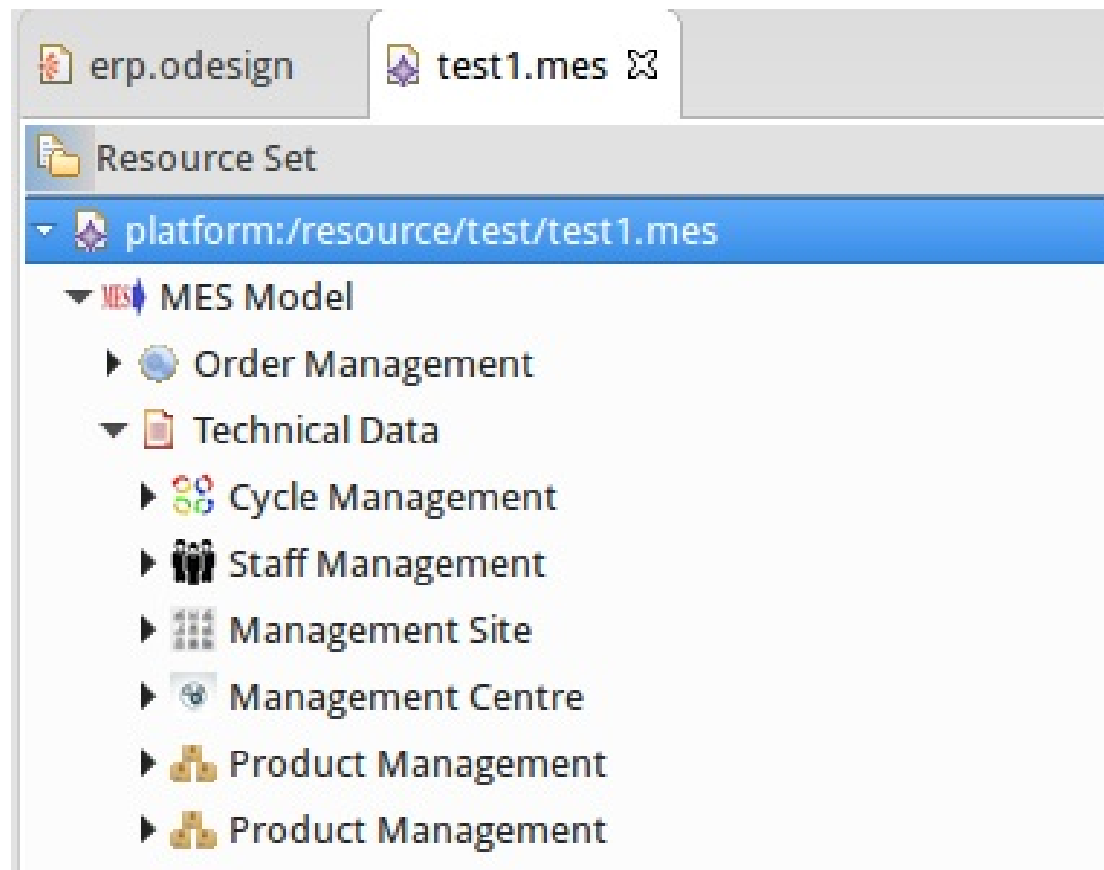


FIGURE 6.141 – Interface utilisateur pour les éléments du composant MES

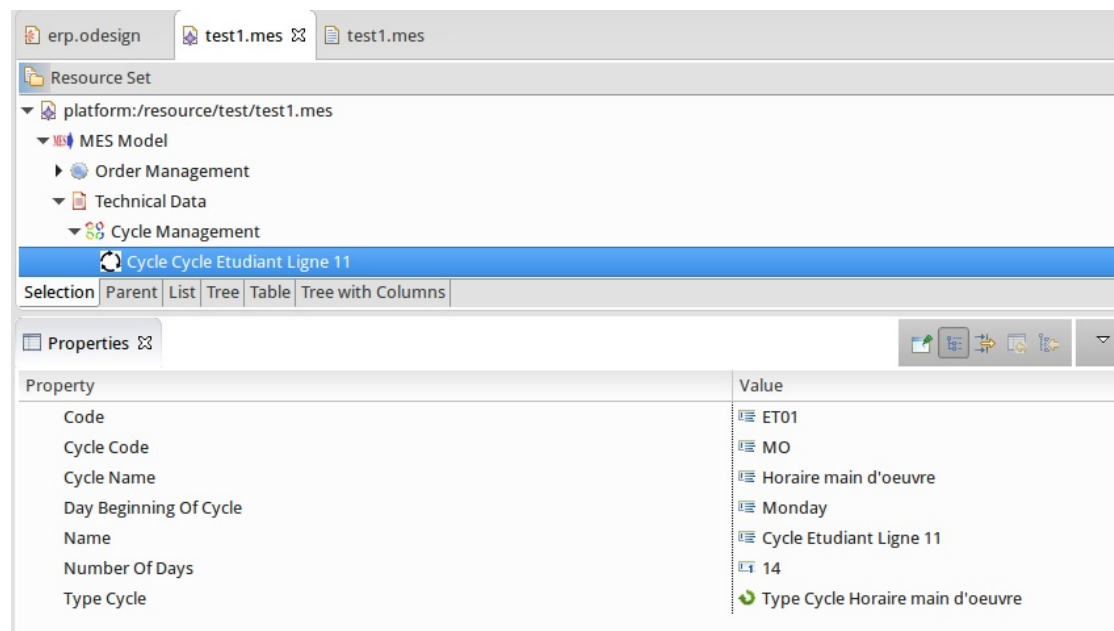


FIGURE 6.142 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un cycle

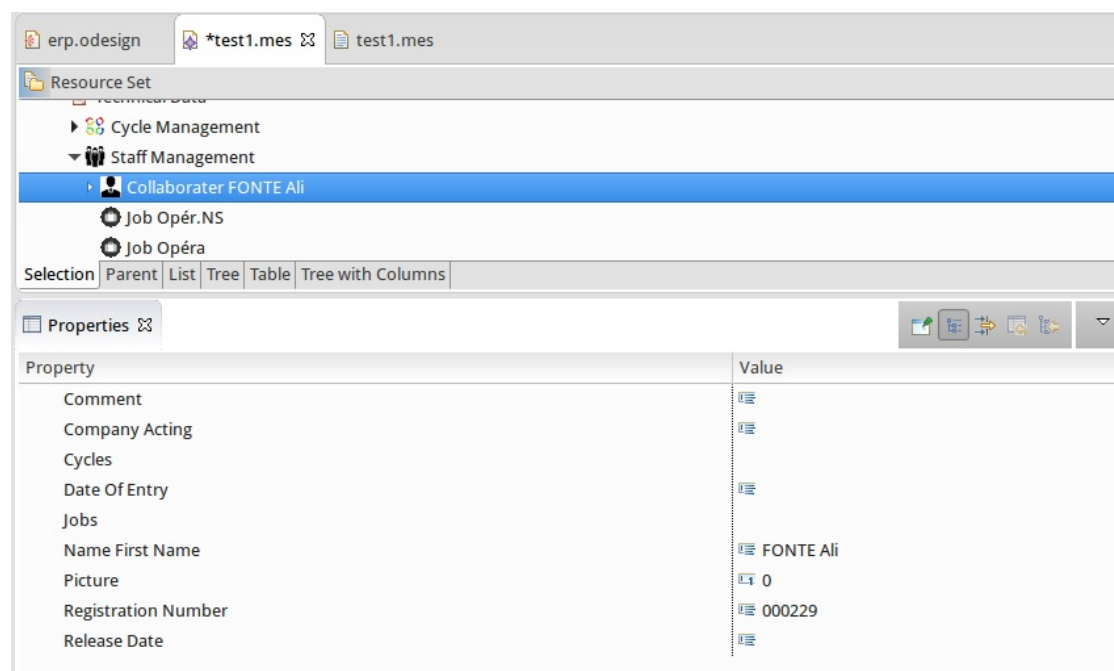


FIGURE 6.143 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un collaborateur

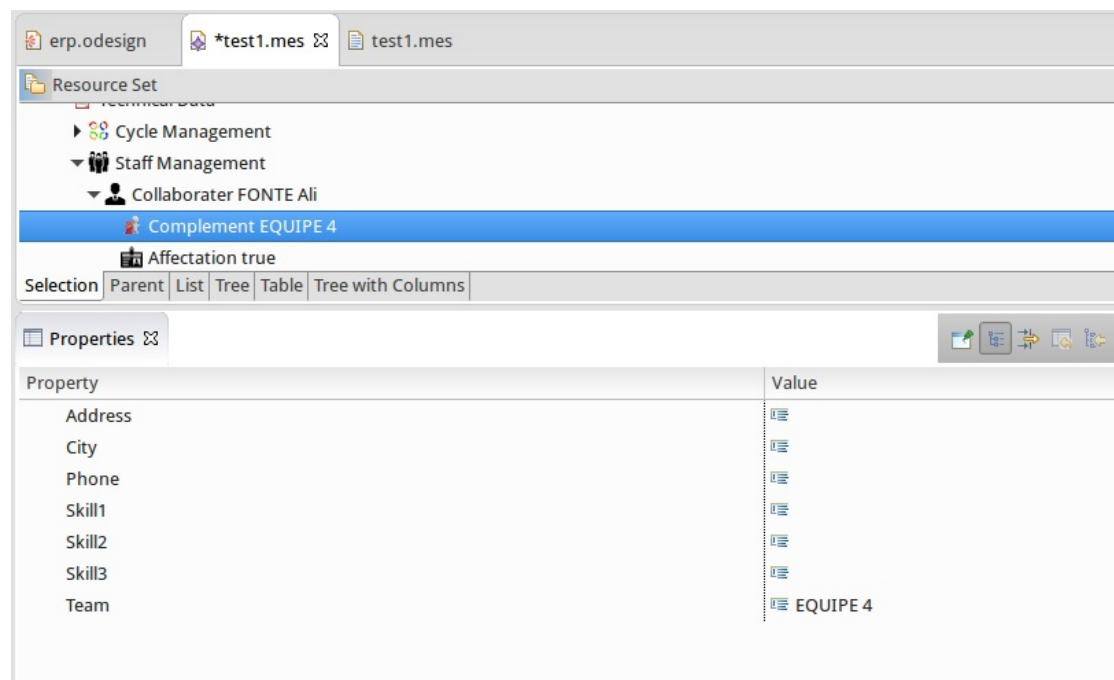


FIGURE 6.144 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'affectation d'un collaborateur

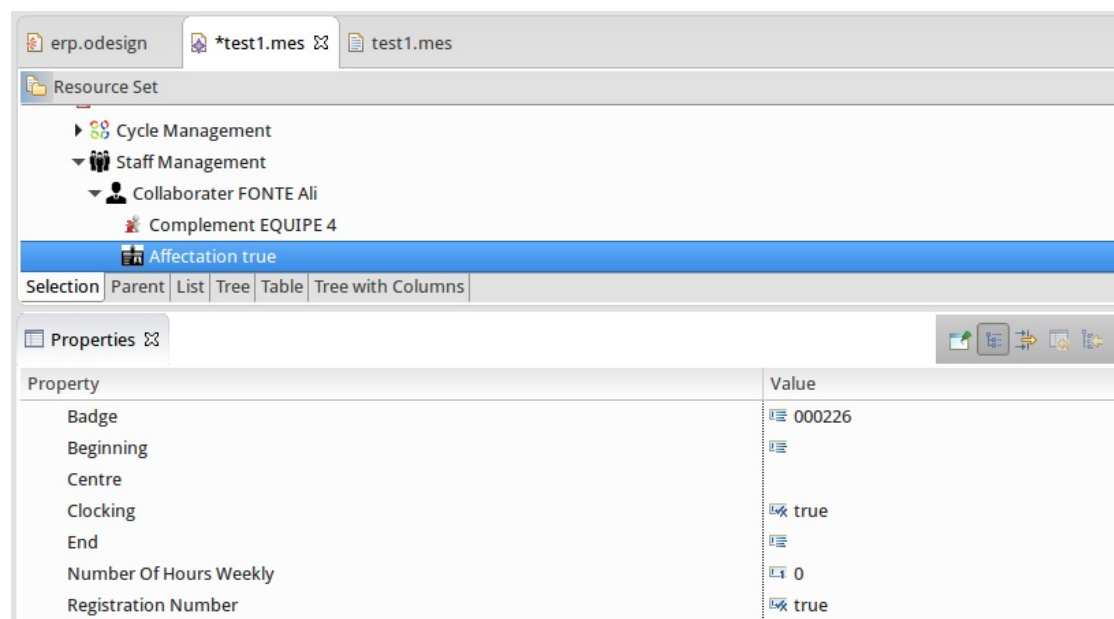


FIGURE 6.145 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés des opérations d'un travail

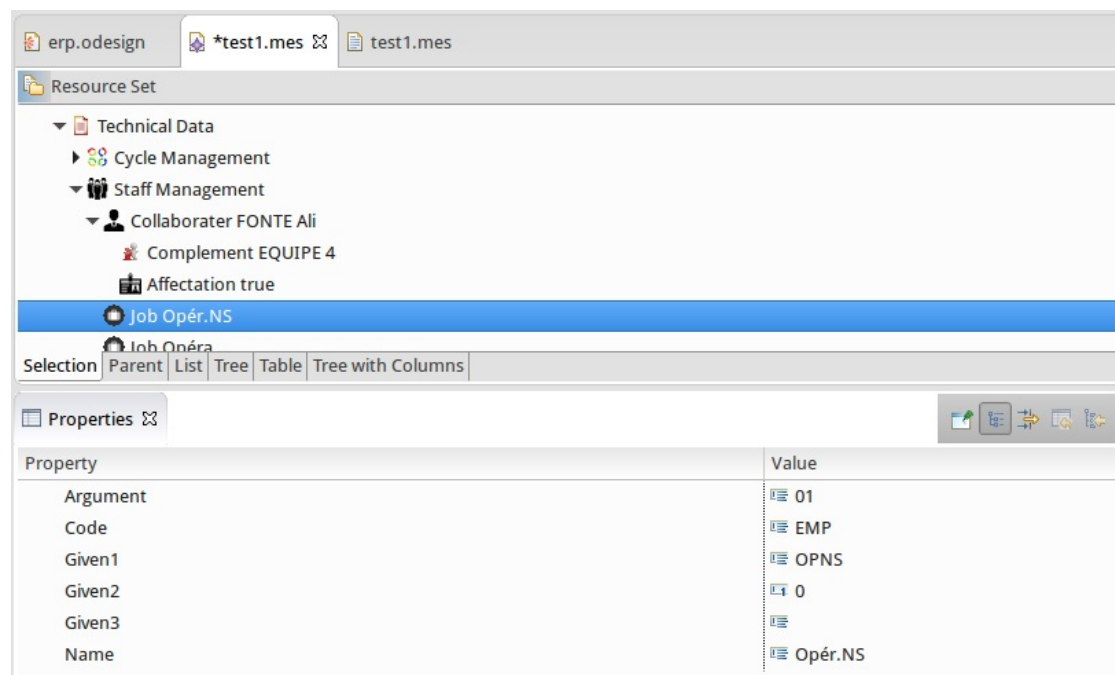


FIGURE 6.146 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un site

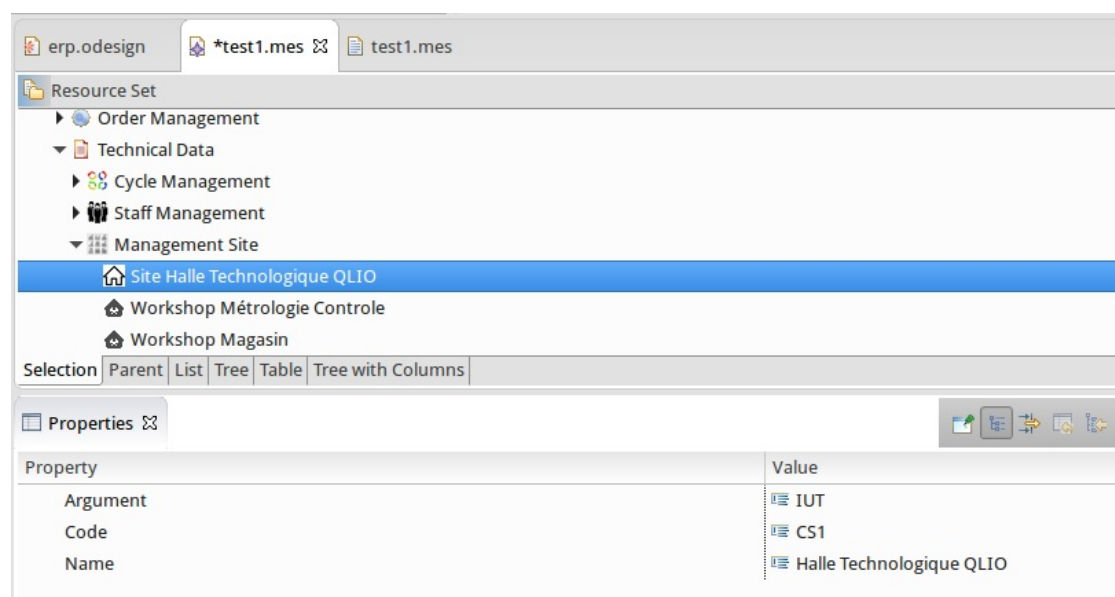


FIGURE 6.147 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un atelier

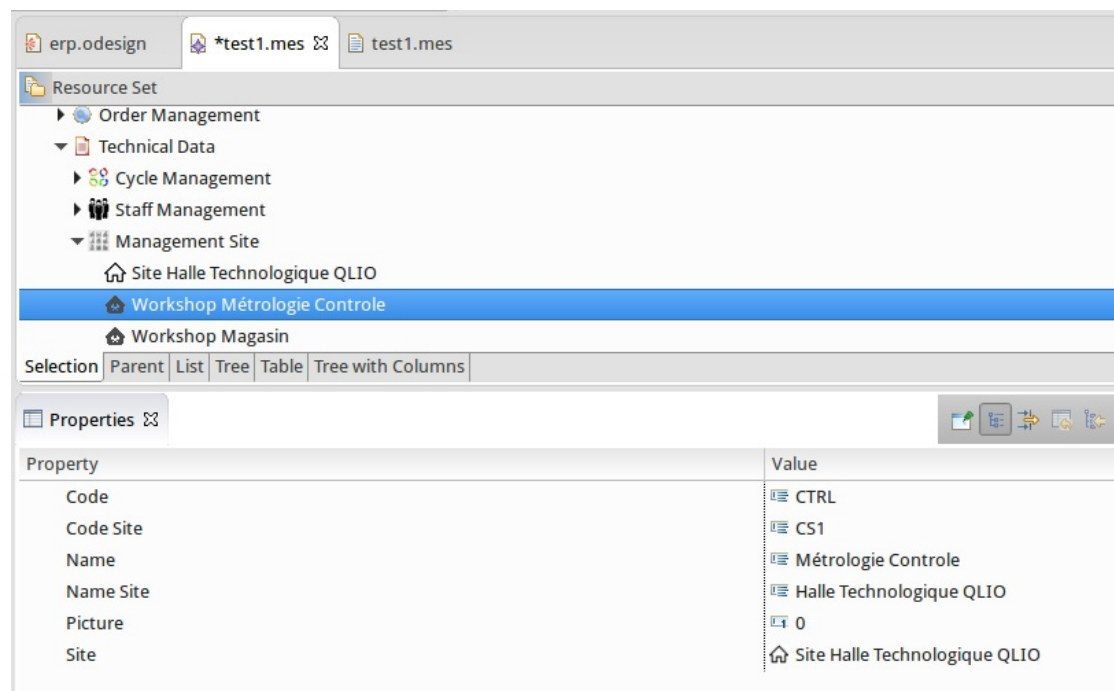


FIGURE 6.148 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés d'un centre

Resource Set

- Management Site
 - Management Centre
 - TU2+A**

Selection Parent List Tree Table Tree with Columns

Properties

Property	Value
Charging Post	
Code	TU2+A
Code Site	CS1
Code Workshop	PROD
Cycle	
Date Of Last State	
Last Known State	Machine State Disponible
Last Known State Code	11111111
Last Known State Name	Disponible
Machine Capacity	1
Multi Assign Code	Yes
Multi MO	Yes
Name	Tour CN RENAL MECA A
Name Site	Halle Technologique QLIO
Name Workshop	Atelier de Production
Planning Code	Yes
Relative Weight	0
Site	Site Halle Technologique QLIO
Theoretical Production	0
Time Theoretical Adjustment	
Type	Machine Type Machine de production
Workshop	Workshop Atelier de Production

FIGURE 6.149 – Interface utilisateur pour spécifier des propriétés des états machines

Property	Value
Alert	
Barcode Edition	Yes
Code	00000000
Colour	0
Name	Marche
Restart	1
Stop Standard	Yes
Typeofdowntime	Type Of Downtime Temps de marche
Typeofdowntime Code	002
Typeofdowntime Name	Temps de marche

FIGURE 6.150 – Interface utilisateur pour spécifier les types d’arrêts des machines

Property	Value
Code	005
Name	Temps d'arrêt non qualifié

FIGURE 6.151 – Interface utilisateur pour spécifier les compléments sur les propriétés d’un collaborateur

Property	Value
Code	MACH
Name	Machine de production

FIGURE 6.152 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des opérations effectués sur une machine

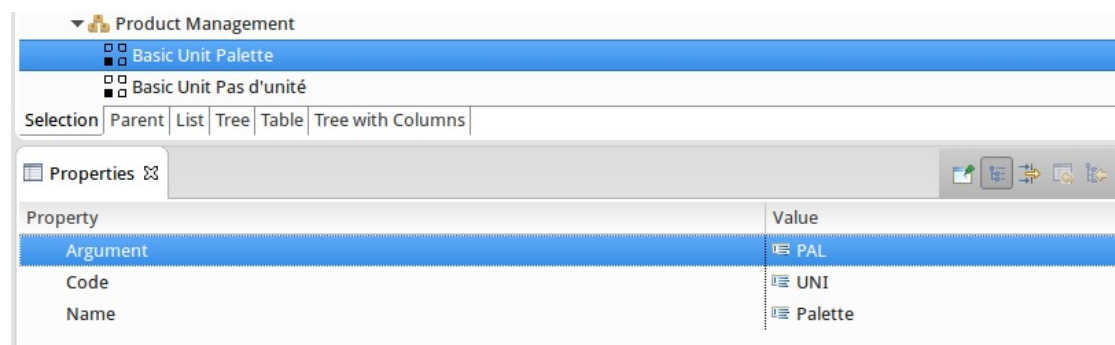


FIGURE 6.153 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des unités de base

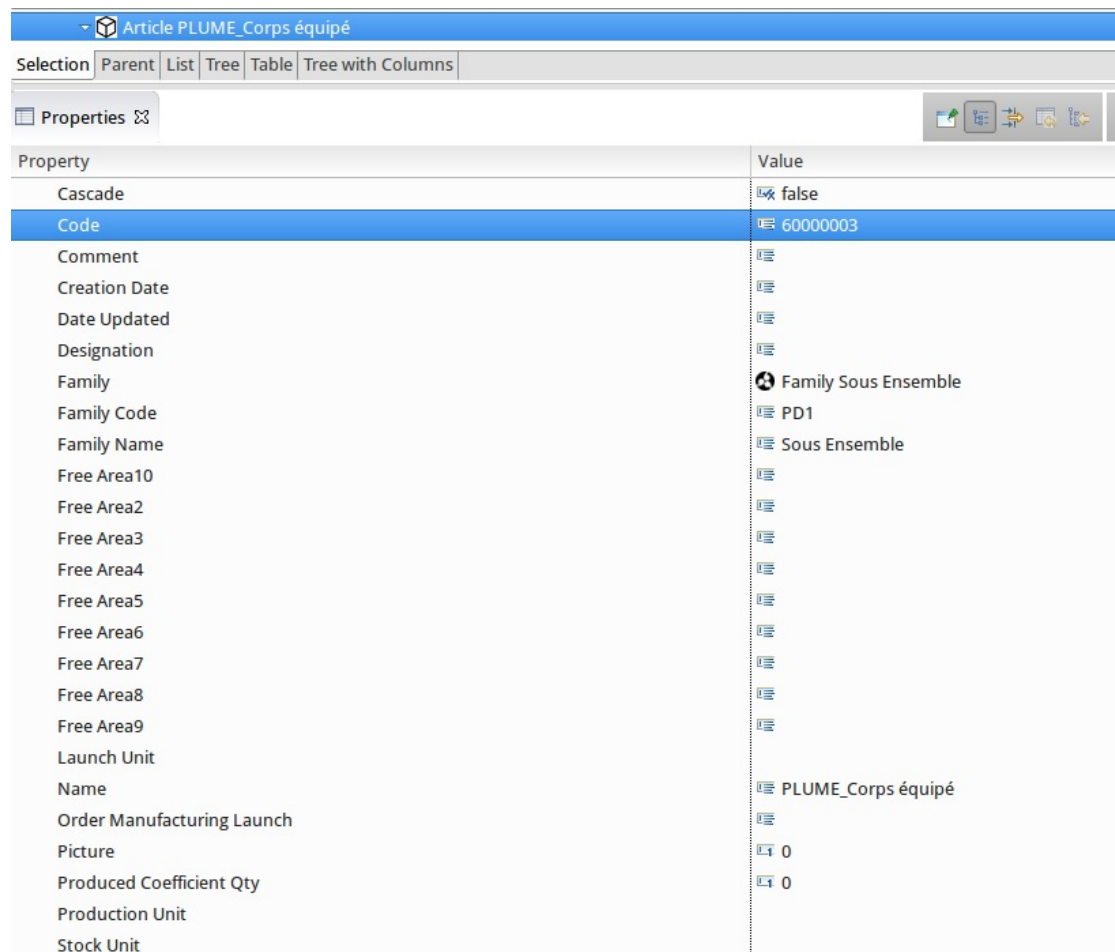


FIGURE 6.154 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un article

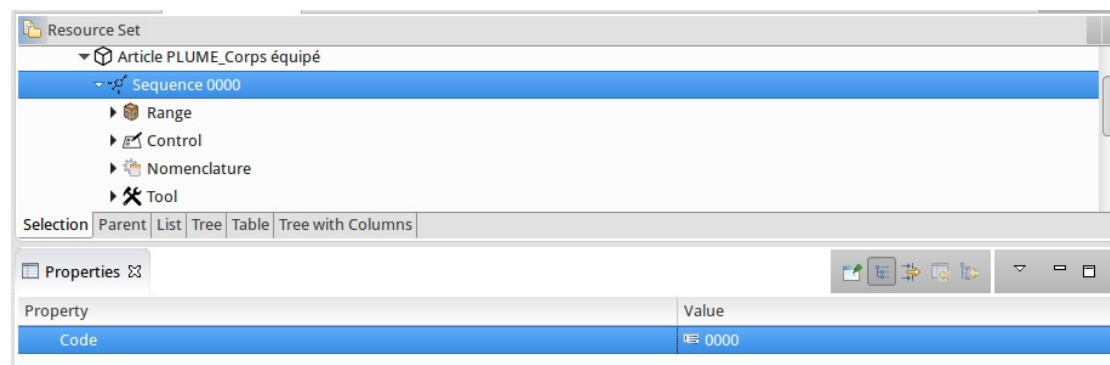


FIGURE 6.155 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d’une séquence d’article

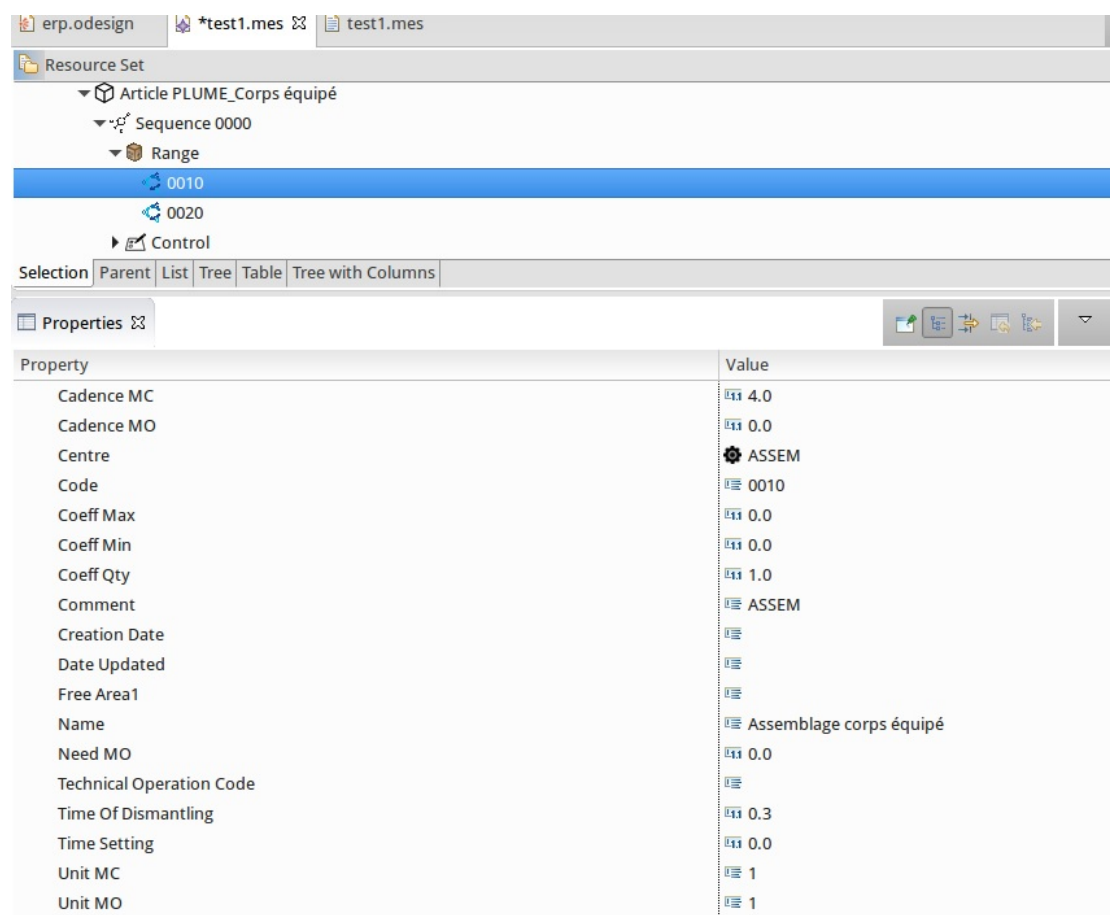


FIGURE 6.156 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d’une opération

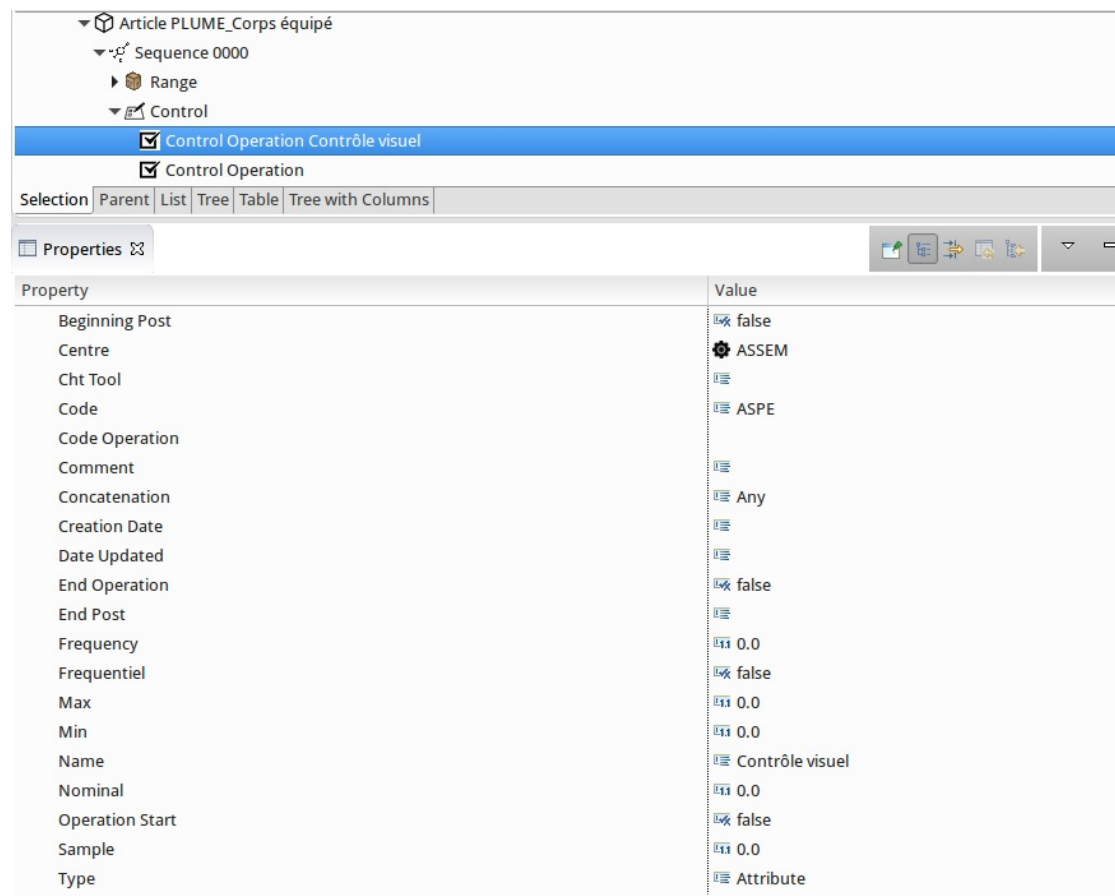


FIGURE 6.157 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d'un contrôle d'opération

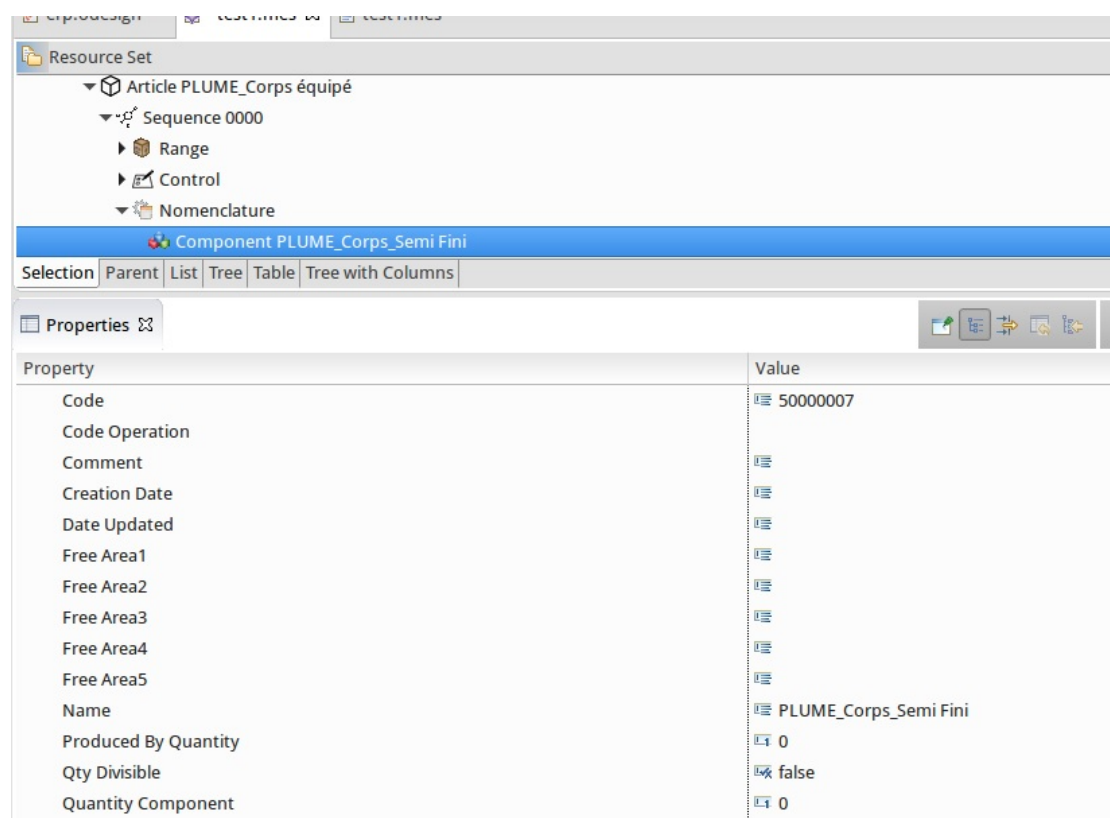


FIGURE 6.158 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d’une nomenclature

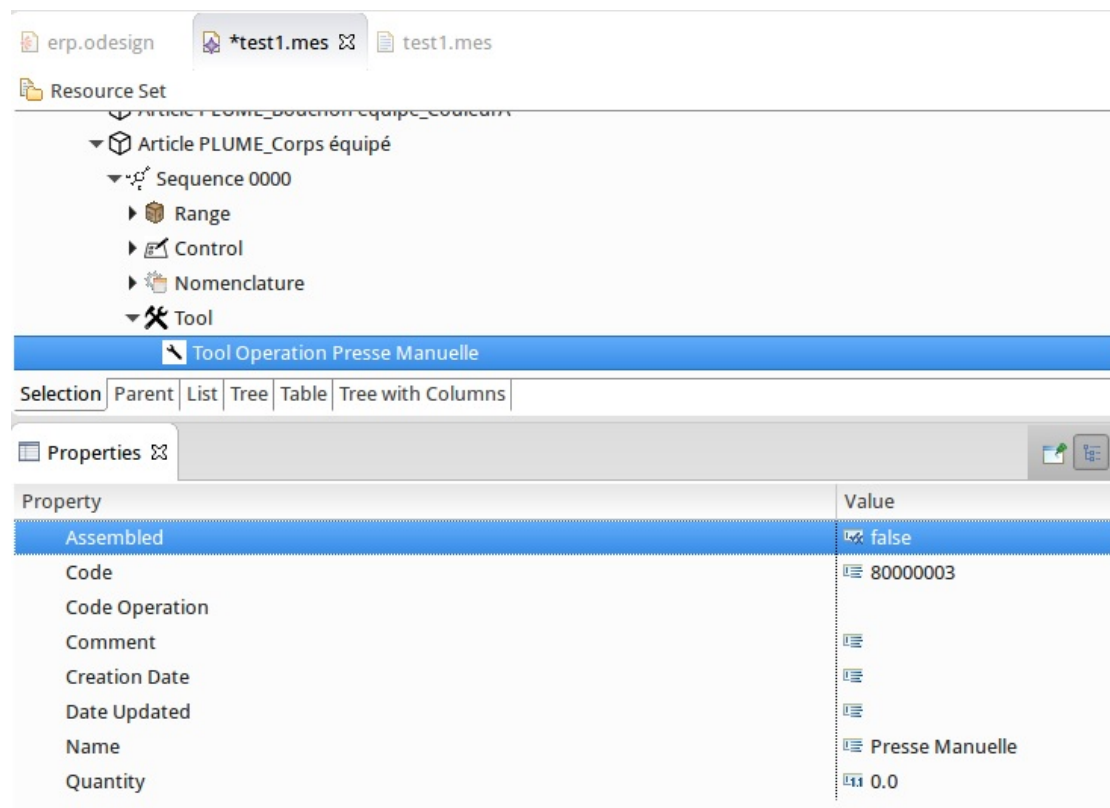


FIGURE 6.159 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés des outils

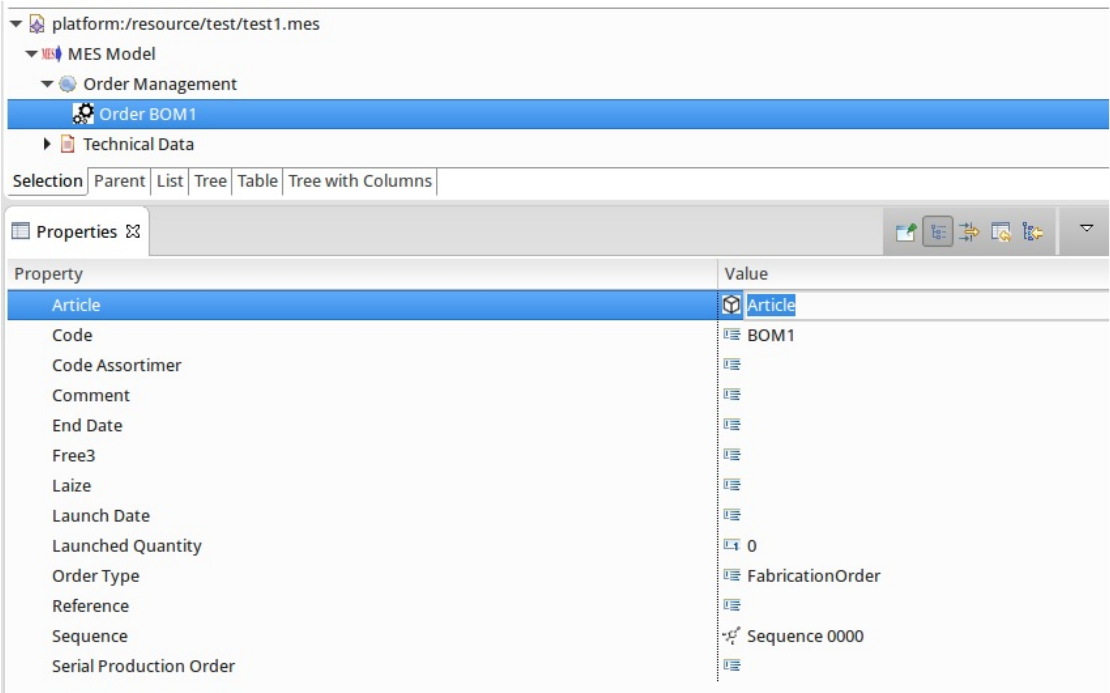


FIGURE 6.160 – Interface utilisateur pour spécifier les propriétés d’un ordre de fabrication

Annexes XVIII : Les symboles de l’outil Archi

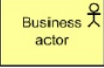
Couche Business	Business Actor (Acteur d'affaire)			Un acteur d'affaire est défini comme une entité organisationnelle qui est capable d'effectuer une activité. Les acteurs d'affaires peuvent être des êtres humains, des départements et des unités d'affaires. Ils peuvent toutefois inclure des entités extérieures à l'entreprise réelle, par exemple, les clients et les partenaires. Un acteur de l'entreprise peut être affecté à un ou plusieurs rôles d'affaire. Un acteur d'affaire doit avoir de préférence un nom
	Business Role (Rôle d'affaire)			Un rôle d'affaire est défini comme la responsabilité d'exécuter une activité spécifique, à laquelle un acteur peut être affecté.
	Business Collaboration (Collaboration d'affaire)			La collaboration d'affaires est définie comme un agrégat de deux ou plusieurs rôles d'affaires qui travaillent ensemble pour accomplir une tâche collective.
	Business Interface (interface d'affaire)			Une interface d'affaires est définie comme un point d'accès où un service d'affaires est mis à l'environnement. Il est souvent désigné comme un canal (téléphone, internet, bureau local, etc.). Le nom d'une interface d'affaires devrait être de préférence un nom.

FIGURE 6.161 – Les symboles de la couche métier d’Archi

Location (Emplacement)	 	Le concept de localisation est utilisé pour modéliser la répartition des éléments ainsi que leurs emplacements.
Business Process (Processus d'affaire)	 	Un processus d'affaire est défini comme un ensemble d'activités destiné à produire un ensemble défini de produits ou de services. Le nom d'un processus d'affaires devrait être de préférence un verbe à l'infinitive.
Business Function (Fonction d'affaire)	 	Business Function permet de modéliser l'ensemble des fonctions dans l'entreprise
Business interaction	 	Une interaction d'affaire est définie comme une activité qui décrit le comportement d'une collaboration d'affaires.
Business service	 	Un service d'affaires est défini comme un service qui répond à un besoin de l'entreprise pour un client (interne ou externe à l'organisation).
Business object		Business object est défini comme un élément passif qui a la pertinence d'un point de vue commercial. Par exemple une facture, une demande

FIGURE 6.162 – Suite des symboles de la couche métier d'Archi

Business event	 	Un événement d'entreprise est défini comme quelque chose qui arrive (interne ou externe) et qui donne naissances à une activité ou un ensemble d'activités (processus).
Représentation		Les représentations sont les porteurs d'informations sensibles (messages ou des documents) qui sont liés aux business object. On peut classer les représentations de différentes manières; par exemple, en termes de support (électronique, papier, audio, etc.) ou le format (HTML, ASCII, PDF, RTF, etc.).
Value (la valeur)		la valeur permet de modéliser l'importance d'un produit ou d'un service. Elle peut être exprimée en termes d'argent ou sous forme valeur de l'information ou de la connaissance.
Product		Un produit est défini comme un ensemble cohérent de services, accompagnée par un contrat / série d'accords, qui est offert dans son ensemble à des clients (internes ou externes).
Contract		Un contrat est défini comme une spécification formelle ou informelle d'un accord qui précise les droits et obligations liés à un produit.

FIGURE 6.163 – Suite des symboles de la couche métier d'Archi

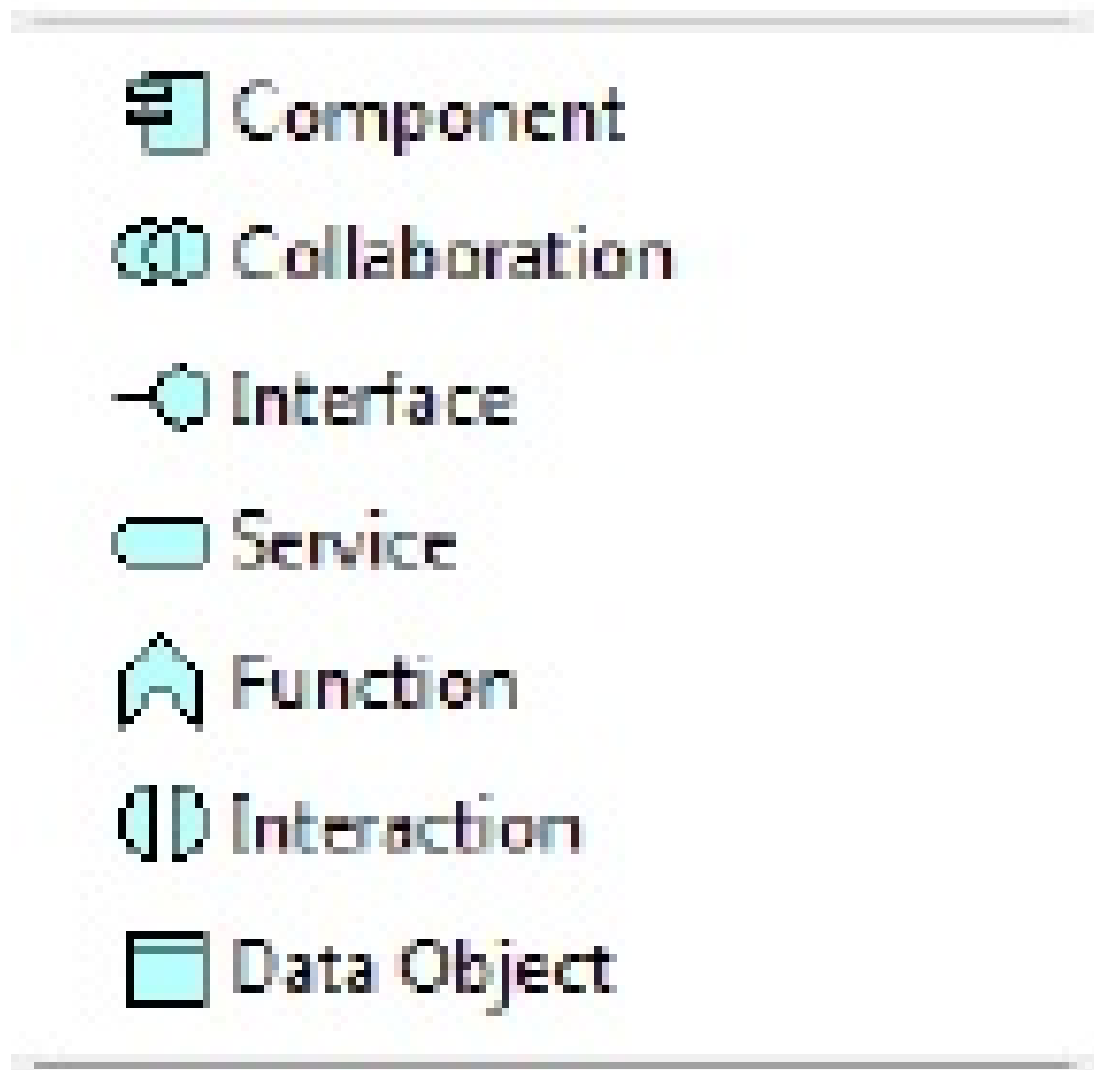


FIGURE 6.164 – Les symboles de la couche applicative d’Archi

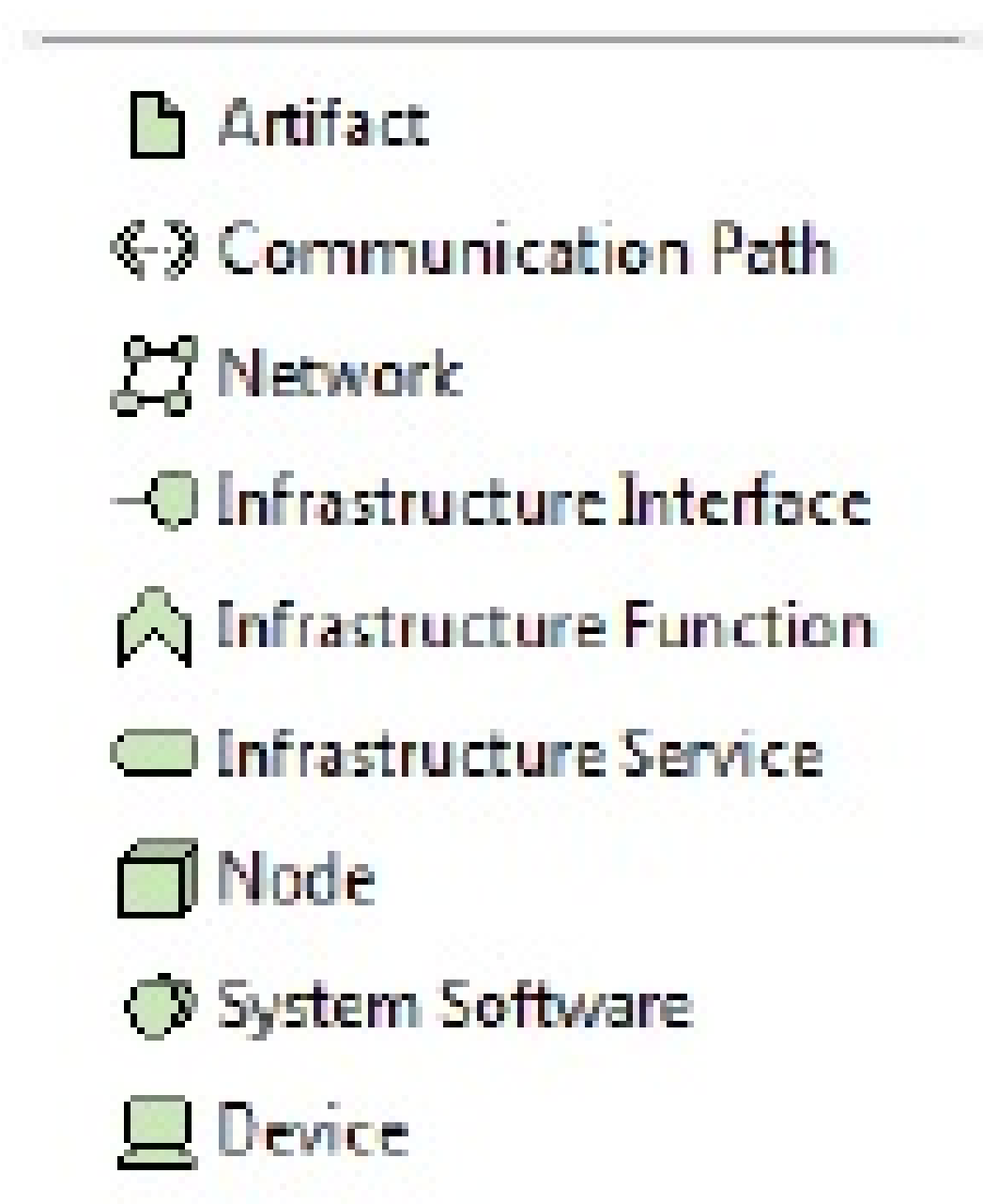


FIGURE 6.165 – Les symboles de la couche technologique d’Archi