



Évaluation basée sur l'interopérabilité de la performance des collaborations dans le processus de conception

Amir Pirayesh Neghab Pirayesh Neghab

► To cite this version:

Amir Pirayesh Neghab Pirayesh Neghab. Évaluation basée sur l'interopérabilité de la performance des collaborations dans le processus de conception. Génie mécanique [physics.class-ph]. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2014. Français. NNT : 2014ENAM0033 . tel-01127573

HAL Id: tel-01127573

<https://pastel.hal.science/tel-01127573>

Submitted on 7 Mar 2015

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

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

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité “ Génie Mécanique et Industriel ”

présentée et soutenue publiquement par

Amir PIRAYESH

le 10 novembre 2014

**Contribution à l'analyse des performances dans
les échanges de données d'un processus de conception collaborative**

Directeur de thèse : **Lionel ROUCOULES**

Co-encadrement de la thèse : **Alain ETIENNE et Mathias KLEINER**

Jury

M. Eric BONJOUR, Professeur, ERPI-ENSGSI, Université de Lorraine

M. Hervé PANETTO, Professeur, CRAN, Université de Lorraine

M. Christophe MERLO, HDR, IMS, École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées

M. Lionel ROUCOULES, Professeur, LSIS, Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence

M. Alain ETIENNE, Maître de Conférences, LCFC, Arts et Métiers ParisTech, Metz

M. Mathias KLEINER, Maître de Conférences, LSIS, Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence

Président

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

**T
H
È
S
E**

**Arts et Métiers ParisTech - Centre de Metz
Laboratoire de Conception, Fabrication et Commande (LCFC)**

**Arts et Métiers ParisTech - Centre d'Aix-en-Provence
Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (LSIS)**

Remerciements

La réalisation et l'achèvement de cette thèse a été le fruit d'un travail collectif et suite à un grand nombre de réunions, d'échanges et de discussions avec plusieurs personnes à qui je présente mes plus vifs remerciements.

Je présente mes profondes remerciements à mon directeur de thèse, M. Lionel ROUCOULES et à mes co-encadrants, M. Alain ETIENNE et M. Mathias KLEINER, pour la sollicitude que j'ai trouvée auprès d'eux ; pour leurs attentions à la fois amicales et éclairées qu'ils n'ont cessé de porter aux problèmes que j'ai rencontrés pendant ces années de recherches. J'ai eu l'opportunité d'être suivi par ces trois personnes exceptionnelles ; par leurs qualités scientifiques et humaines complémentaires ont largement contribué à l'aboutissement de cette thèse. Je remercie Lionel pour son soutien sans faille, pour les débats d'idées très constructifs que nous avons pu mener ensemble et pour ses remarques pertinentes. Je remercie Alain pour sa disponibilité, pour sa vision très éclairée et pour son aide durant les moments difficiles. Je remercie Mathias pour ses conseils avisés, pour la justesse de ses remarques et pour sa bonne humeur. Je vous adresse à tous les trois un grand merci pour m'avoir tant appris et pour m'avoir tout simplement accordé votre confiance.

J'adresse mes vifs gratitudes à M. Hervé PANETTO et M. Christophe MERLO pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail. Je tiens également à remercier M. Eric BONJOUR de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury. Leurs conseils, leurs remarques et leur aide ont été riches d'enseignements. Ceux-ci ne manqueront pas d'orienter mes travaux futurs.

Mes remerciements vont aussi à M. Patrick MARTIN et à M. Ali SIADAT, pour m'avoir donnée l'occasion d'intégrer l'ENSAM. Ils étaient les premiers à m'accueillir dans l'équipe LCFC.

Je remercie chaleureusement tous ceux que j'ai pu côtoyer ces dernières années à l'ENSAM. J'ai travaillé au sein de deux équipes, LCFC de Metz et LSIS d'Aix-en-Provence, dont la bonne ambiance a largement contribué à mon bien-être et qui a constitué pendant les dernières années une sorte de « deuxième famille » à mes yeux. Je les remercie pour tous les bons moments que l'on a pu partager... Je remercie aussi tous les membres du personnel de l'ENSAM que j'ai eu le plaisir de rencontrer.

Un grand merci à mes parents et à mes sœurs pour leur soutien affectif malgré la distance... et je tiens à remercier mes chers amis pour leur présence et leur soutien.

Mes derniers remerciements vont à la femme que j'aime, pour sa force, sa gentillesse, ses sacrifices et ses encouragements ; Merci Golbarg de m'avoir soutenu ; Mille excuses pour toutes ces heures que je n'ai pas pu passer avec toi et qui, quoi qu'on en dise, sont inexorablement perdues. Je t'en serai éternellement redevable...

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1. CONTEXTE & DÉMARCHE DE RÉFLEXION.....	7
1.1. CONTEXTE.....	8
1.1.1. Processus de conception	8
1.1.2. Collaboration via les échanges d'information	10
1.1.3. Gestion du processus de conception	12
1.2. BESOIN D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS.....	14
1.3. CONCLUSION DU CHAPITRE	16
2. ÉTAT DE L'ART.....	19
2.1. ÉVALUATION DE PERFORMANCE	20
2.2. PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE.....	22
2.2.1. Étude bibliographique du concept de collaboration	22
2.2.1.1. Analyse des définitions du concept de collaboration.....	22
2.2.1.2. Analyse individuelle des définitions de « collaboration »	28
2.2.1.3. Communication dans la collaboration	28
2.2.2. Adaptation au cadre de la conception	30
2.3. CRITÈRE D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS.....	32
2.3.1. Classification des collaborations et leurs critères	32
2.3.2. Caractère multidimensionnel de l'interopérabilité.....	34
2.3.2.1. Barrières de l'Interopérabilité.....	36
2.3.2.2. Préoccupations de l'Interopérabilité	38
2.3.2.3. Approches d'Interopérabilité	41
2.3.3. Synthèse : l'interopérabilité, critère de performance de collaboration.....	42
2.4. VARIABLES D' ACTIONS DANS L'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS	45
2.4.1. Normes d'échange de données	46
2.4.1.1. Normes dans le cycle de vie du produit	47
2.4.1.2. Différents niveau des normes.....	49
2.4.1.3. Ontologie dans les échanges de données.....	53
2.4.1.4. Annotation de données.....	61
2.4.1.5. Synthèse : les variables d'actions apportées aux processus collaboratifs par les normes.....	64
2.4.2. Transformation de modèles	66
2.4.2.1. La Transformation de modèles et ses éléments clés.....	67
2.4.2.2. Transformation de modèles basée sur ontologie	69
2.4.2.3. Transformation et Conversion	72
2.4.2.4. Synthèse : les variables d'actions apportées aux processus collaboratifs par la transformation ...	73
2.4.3. Synthèse de l'état de l'art sur les variables d'actions	75
2.5. ÉVALUATION D'INTEROPÉRABILITÉ ET MÉTHODE DE MATCHING.....	77
2.5.1. Matching, comme approche de mesure de compatibilité	78
2.5.1.1. Processus de Matching et ses éléments clés.....	79
2.5.1.2. Classification des méthodes et approches de Matching	81
2.5.2. Technologies et outils de matching	85
2.5.2.1. Comparaison des modèles via Matching.....	87
2.5.2.2. EMF Compare	88
2.5.3. Synthèse : Matching comme méthode de mesure adaptée.....	90
2.6. CONCLUSIONS DE L'ÉTAT DE L'ART	91

3. CADRE OUTILLÉ D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DANS LES ÉCHANGES DE DONNÉES.....	95
3.1. LE CADRE D'ÉVALUATION	96
3.2. MODÉLISATION DE PROCESSUS.....	99
3.2.1. Tâche IA : Génération du modèle de processus	99
3.2.2. Tâche IB : Validation du modèle de processus	100
3.3. MESURE DE PERFORMANCE.....	101
3.3.1. Tâche IIA : Identification des Collaborations Par Paires (CpPs)	105
3.3.2. Tâche IIB : Matching Syntaxique.....	106
3.3.2.1. Matching syntaxique manuel.....	108
3.3.2.2. Matching syntaxique à l'aide des contraintes OCL.....	109
3.3.3. Tâche IIC : Matching sémantique.....	111
3.3.3.1. Matching sémantique manuel	115
3.3.3.2. Matching sémantiques outillé par EMF Compare	118
3.4. ILLUSTRATION SUR UN CAS DE CONCEPTION.....	122
3.4.1. Modélisation du processus.....	123
3.4.2. Mesure de la performance des collaborations.....	124
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	133
 BIBLIOGRAPHIE	 141
ANNEXE A - DÉFINITIONS DE LA COLLABORATION.....	152
ANNEXE B - CLASSIFICATIONS DE LA COLLABORATION	157
ANNEXE C - MÉTA-MODÈLE DE PROCESSUS COLLABORATIF	160
ANNEXE D - INSTRUCTIONS POUR L'AJOUTE DE L'ÉLÉMENT « COMMUNICATIONTYPE ».....	165
ANNEXE E - CONTRAINTES OCL	166

LISTE DES FIGURES

Introduction

Figure 1, Structure du mémoire en comparaison de la méthodologie de recherche de (Blessing & Chakrabarti 2009) . 2

Chapitre I

Figure 1- 1, Processus et les livrables principaux dans le cycle de vie de produit.....	8
Figure 1- 2, Représentation des éléments principaux du processus de conception	12
Figure 1- 3, Synthèse du périmètre selon la théorie systémique de Le Moigne (schéma adapté de (Le Moigne, 77)) ...	13
Figure 1- 4, Positionnement de la problématique de la recherche dans le passage potentiel de la situation actuelle à l'objectif final des processus de conception.....	17

Chapitre II

Figure 2- 1, Éléments clés de la mesure de performance d'un objet	21
Figure 2- 2, Ordre logique de définition des éléments de mesure de la performance	21
Figure 2- 3, nuage de mots des définitions de collaboration basé sur la fréquence des mots	23
Figure 2- 4, Réseau de la concurrence des mots dans les définitions de collaboration, 3 jalons différents	26
Figure 2- 5, Modèle conceptuel des processus collaboratif.....	27
Figure 2- 6, Modèle conceptuel des processus collaboratif incluant la communication.....	30
Figure 2- 7, Modèle conceptuel de processus collaboratifs adapté au cadre de la conception de produit.....	31
Figure 2- 8, interopérabilité comme critère de performance des collaboration	34
Figure 2- 9, Étude statistique sur l'utilisation de « l'Interopérabilité » comme un mot-clé (Scopus Elsevier 2013).....	34
Figure 2- 10, Chronologie des initiatives de l'UE relatives à l'interopérabilité (EIF2 2011)	35
Figure 2- 11, Cadre d'interopérabilité adapté de (Chen & Daclin 2006))	36
Figure 2- 12, Interopérabilité Technologique vs l'interopérabilité Conceptuelle.....	38
Figure 2- 13, Position de recherche selon dimensions I & II du cadre de Chen	43
Figure 2- 14, Source des variables d'action impactant la performance des collaborations	45
Figure 2- 15, Modélisation et traitement de modèles	46
Figure 2- 16, Différentes applications utilisant STEP dans les processus de développement de produit	48
Figure 2- 17, Normes utilisées à travers le cycle de vie du produit (Terzi 2005), (Tursi 2009).....	50
Figure 2- 18, Échanges de données dans le PLM selon (Rachuri et al. 2008).....	51
Figure 2- 19, Modèle conceptuel représentant les composantes de l'ontologie et leurs relations (Roussey et al. 2010)	55
Figure 2- 20, Classification des ontologies basé sur le niveau d'abstraction (Declerck et al. 2012).....	58
Figure 2- 21, Applications de l'ontologie de domaine (orientée-inférence) dans le PLM (Fortineau et al. 2013)	60
Figure 2- 22, Concepts principaux d'une Ontologie de Donnée de Produit (PDO) (Catalano et al. 2008)	61
Figure 2- 23, Trois principales composantes de l'annotation sémantique selon (Liao et al. 2012).....	63
Figure 2- 24, Variables d'action apportées aux processus collaboratif par l'utilisation des normes	64
Figure 2- 25, Transformation des Modèles et ses éléments clés (Liu 2011)	68
Figure 2- 26, Conceptualisation de l'approche de (Roser and Bauer 2006), proposée par (Liu 2011).....	70
Figure 2- 27, Approche globale de la transformation de modèles basée sur des ontologies (Roser & Bauer 2006).....	70

Figure 2- 28, Traitement d'hétérogénéités syntaxiques et sémantiques par la méthodologie de (Abdul Ghafour 2009)	71
Figure 2- 29, Transformation des modèles UML2 en modèle OWL via l'ODM (Lu 2012).	72
Figure 2- 30, Variables d'action apportées aux processus collaboratif par l'utilisation de la transformation de modèles	73
Figure 2- 31, Synthèse des variables d'actions et les variables de mesure dans le modèle conceptuel de processus collaboratif.	76
Figure 2- 32, Processus de matching et ses éléments clés	80
Figure 2- 33, Classification des méthodes/approches de matching, de (Euzenat et al. 2004), basée sur (Rahm & Bernstein 2001),(Shvaiko 2004) et (Giunchiglia & Shvaiko 2004).	83
Figure 2- 34, Processus de comparaison dans l'EMF Compare (Eclipse 2013)	88
Figure 2- 35, Modèle de comparaison	89
Figure 2- 36, Comparaison partielle de deux versions différentes d'un modèle fonctionnel de produits	89
Figure 2- 37, Synthèse des éléments d'évaluation de la performance des collaborations	94
Figure 2- 38, Extrait du logigramme du cadre concernant le matching syntaxique	107
Figure 2- 39, Extrait du logigramme du cadre concernant le matching syntaxique	114

Chapitre III

Figure 3- 1, Cadre proposé pour l'évaluation de la performance des collaborations	96
Figure 3- 2, Logigramme du cadre et des sections du mémoire correspondantes	97
Figure 3- 3, Les variantes utilisées dans les sections 3.1 et 3.2	98
Figure 3- 4, Extrait de l'arborescence du modèle de processus généré pour le cas d'exemple	100
Figure 3- 5, Problèmes de validation d'un modèle du processus	100
Figure 3- 6, Collaboration par Paire (CpP)	102
Figure 3- 7, Exemple d'une Collaboration par Paire (CpP) dans le cadre de la conception collaborative	102
Figure 3- 8, Variation des CpP dans un processus collaboratif	103
Figure 3- 9, Différents niveaux de la mesure de la pertinence de l'information dans une CpP	104
Figure 3- 10, Classe « CollaborativeWork » représentant une CpP dans le cas de l'exemple	105
Figure 3- 11, Identification des fichiers de données	109
Figure 3- 12, Résultats du matching syntaxique, via les contraintes OCL	110
Figure 3- 13, Identification des abstractions des fichiers associées avec un CollaborativeWork	115
Figure 3- 14, Abstractions ADEF01 et ADEF03 exprimées avec le langage UML	116
Figure 3- 16, Résultats de l'EMF Compare	120
Figure 3- 17, Système de couplage mécanique (Klein Meyer 2008)	122
Figure 3- 18, Processus de conception concerné par l'étude de cas	122
Figure 3- 19, Processus partiel (en IDEF0) concerné par l'étude de cas	123
Figure 3- 20, Extrait de l'arborescence du modèle de processus collaboratif du cas d'étude	124
Figure 3- 21, Résultats de la validation du modèle de processus	124
Figure 3- 22, Processus concerné par l'étude de cas après la première modification	126
Figure 3- 23, Extrait du méta-modèle Ecore du format MS Visio Drawing d'après (Kern & Kühne 2009)	127

Figure 3- 24, Extrait du méta-modèle Ecore du format MS Visio XML d'après (Microsoft 2011)	127
Figure 3- 25, Extrait du méta-modèle Ecore du format STEP-AP203	128
Figure 3- 26, Extrait du méta-modèle SK2	129
Figure 3- 27, Extrait du méta-modèle STEP du fichier livré après la transformation de modèle.....	130
Figure 3- 28, Processus concerné par l'étude de cas après la deuxième modification	130
Figure 3- 29, Cadre d'évaluation proposé selon un cadre global de prise de décision	140

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau 1- 1, Comparaison des processus de conception d'ingénierie basée sur les travaux de (Scaravetti 2004) et (Howard et al. 2008).....	9
--	---

Chapitre II

Tableau 2- 1, les syntagmes (de 2, 3 et 4 mots) dans les définitions de collaboration.....	24
Tableau 2- 2, Indice de Lisibilité du concept de collaboration et de deux groupes de définitions	24
Tableau 2- 3, Principaux mots classés dans quatre catégories utilisés dans les définitions de collaboration.....	25
Tableau 2- 4, Statistiques sur les définitions de la collaboration considérant le model conceptuel de ce concept.....	28
Tableau 2- 5, Interopérabilité vue de l'informatique et de la linguistique	37
Tableau 2- 6, Synthèse des classifications concernant les barrières d'interopérabilité	38
Tableau 2- 7, Synthèse des classifications concernant les préoccupations d'interopérabilité (Dimension I)	40
Tableau 2- 8, Cinq niveaux des environnements nécessitant l'Interopérabilité selon LISI (C4ISR 1998)	42
Tableau 2- 9, Typologie des normes utilisées dans le PLM basée sur (Rachuri et al. 2008).....	52
Tableau 2- 10, Définition des concepts et les relations entre les éléments de l'ontologie.....	56
Tableau 2- 11, Implémentation d'ontologie (Abdul Ghafour 2009) (Karray 2012).....	57
Tableau 2- 12, synthèse des liens entre les variables d'actions et les variables de mesure.....	75
Tableau 2- 13, Technologies de matching, (Lu 2012).....	86

Chapitre III

Tableau 3- 1, Règles de matching syntaxique.....	106
Tableau 3- 2, Résultats possibles de la vérification des règles de matching syntaxique	108
Tableau 3- 3, Résultats du matching syntaxique pour le cas d'exemple.....	109
Tableau 3- 4, Contraintes OCL correspondant aux règles de matching syntaxique.....	109
Tableau 3- 5, Comparaison des résultats de matchings syntaxiques dans la version initiale du cas d'exemple	110
Tableau 3- 6, Règles de matching sémantique	113
Tableau 3- 7, Cas possibles de matching sémantique	114
Tableau 3- 8, Règles de matching sémantique	116
Tableau 3- 9, Mismatches entre les abstractions des fichiers produit et requis dans le cas de l'exemple	118
Tableau 3- 10, Résultats du matching sémantique manuel de l'exemple.....	118
Tableau 3- 11, Résumé des résultats des matchings pour le cas d'exemple	121
Tableau 3- 12, Résultats du matching syntaxique	125
Tableau 3- 13, Résultats du matching syntaxique après l'ajout de la conversion.....	126
Tableau 3- 14, Résultats des matchings sémantiques après la première modification dans le cas d'étude	128
Tableau 3- 15, Résultats du matching sémantique selon les règles de matching.....	129
Tableau 3- 16, Résultats du matching sémantique après la deuxième modification.....	131
Tableau 3- 17, Résultats du matching sémantique selon les règles de matching.....	131
Tableau 3- 18, Résumé des résultats du cadre	131

GLOSSAIRE

Abstraction de fichier	Structure de données d'un fichier également appelée modèle conceptuel ou méta-modèle.
Annotation	Le terme « annotation » peut désigner à la fois le processus d'annotation et le résultat (Handsuh 2005). Ce dernier peut être sous la forme d'« une note en guise d'explication ou commentaire ajouté à un texte ou un diagramme » (Oxford 2013a).
Communication	« Les processus de communication peuvent être définis comme étant le transfert de l'information d'une entité à une autre » (Hatem et al. 2012), « Echange de données. Les entreprises et organisations communiquent, échangent et partagent des informations afin d'optimiser leur fonctionnement individuel. Ce niveau de collaboration consiste en un échange simple des données des entreprises » (Touzi 2007).
Concept	Idée générale et abstraite que se fait l'esprit humain d'un objet de pensée concret ou abstrait, et qui lui permet de rattacher à ce même objet les diverses perceptions qu'il en a, et d'en organiser les connaissances (Larousse 2013).
Conception Collaborative	« Processus de conception dans lequel les acteurs de différentes disciplines partagent leurs connaissances à la fois sur le processus de conception et sur le contenu de conception. Leur but est de créer une compréhension commune sur ces deux aspects, d'être en mesure d'intégrer et d'explorer leurs connaissances et d'atteindre l'objectif commun plus large : le nouveau produit à concevoir » (traduit de (Chiu 2002))
Conceptualisation	Selon (Lee et al. 2009), il s'agit d'une extraction des vocabulaires (concepts), un résumé ou une vue simplifiée d'un domaine que nous souhaitons représenter.
Définition lexicale (signification lexicale)	Le sens d'un mot considéré isolément de la phrase contenant, et indépendamment de son contexte grammatical (traduit de (Oxford 2013b))
Format de fichier	Un format de fichier décrit la façon dont les données sont stockées dans un fichier. Il définit la structure de données (comment les données sont organisées dans le fichier) et le type de données que le fichier contient (Pc.net 2011).
Fouille de Text (Text Mining)	Selon (Witten 2004), il s'agit de la déduction de la structure des séquences représentant un texte en langage naturel. Ce terme peut ainsi se rapporter au processus d'analyse du texte pour extraire des informations utiles à des fins particulières, souvent appelées métadonnées.
Génération de processus	Point de vue en amont du processus de conception qui comprend la sélection des acteurs, les outils, la structure et le séquençement de la collaboration. La génération implique également l'ébauche de la planification des ressources.
Gestion de processus	« Application des connaissances, des compétences, des outils, des techniques et des systèmes pour définir, visualiser, mesurer/évaluer, contrôler, signaler et améliorer les processus dans le but de répondre aux exigences des clients et d'une manière rentable » (Pomffyova 2010).
Ingénierie	« Application des principes scientifiques avec les objectifs tels que la conception, la construction et l'exploitation de structures efficaces et économiques, de l'équipement et des systèmes » (Wagner 1991).
Intégration	« Appartenance transparente à une même entité. A ce niveau de collaboration, l'échange de données, le partage des tâches et la poursuite d'un objectif commun sont inhérents au fait que les entreprises et organisations se trouvent intégrées au sein d'une même entité » (Touzi 2007).
Interopérabilité	« L'interopérabilité est le moyen par lequel les systèmes, les informations et les méthodes de travail sont interconnectés : à l'intérieur des administrations ou entre ces dernières, au niveau national ou à travers toute l'Europe, ou avec les entreprises » (EU 2003).

Mapping (correspondance)	« Spécification d'un mécanisme pour la transformation des éléments d'un modèle conforme à un méta-modèle, notamment dans les éléments d'un autre modèle qui se conforme à un autre méta-modèle » (Miller & Mukerji 2003).
Mot	Son ou groupe de sons articulés ou figurés graphiquement, constituant une unité porteuse de signification à laquelle est liée, dans une langue donnée, une représentation d'un être, d'un objet, d'un concept (CNRT 2013).
Norme	« Document qui contient des exigences, spécifications, lignes directrices ou des caractéristiques qui peuvent être utilisées régulièrement pour s'assurer que les matériaux, produits, processus et services sont aptes à leur emploi » (ISO 2013).
Norme de communication	« Mécanisme utilisé pour créer et échanger des documents entre les organisations où la structure du document et l'information contenue est dans un format qui peut être compris et peut-être traité automatiquement » (Söderström 2003).
partie prenante	« Groupe ou individu qui peut affecter ou être affecté par la réalisation de l'objectif d'une société ». Un modèle de satisfaction des parties prenantes est également proposé par (Strong et al. 2001)
Pilotage de processus	Vision dynamique du processus de conception qui comprend le contrôle et la gestion des acteurs, des outils et de leurs interactions possibles. Le pilotage assure l'avancement correct du processus de conception quelques soient les perturbations rencontrées.
Processus	« 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 » (Thérout F. 2002).
Processus Collaboratif	« Processus dans lequel les acteurs, ayant des intérêts variés, travaillent ensemble pour chercher des solutions à un objectif commun. » (Chettaoui 2008)
Processus de conception	« Processus d'élaboration d'un système, d'un composant ou d'un processus pour répondre aux besoins souhaités. Il s'agit d'un processus (souvent itératif), dans lequel les sciences fondamentales, les mathématiques et les sciences d'ingénierie sont appliquées pour convertir les ressources de façon optimale afin de répondre aux besoins exprimés. » (ABET 1996)
Ontologie	« Description formelle explicite des concepts dans un domaine de discours, des propriétés de chaque concept décrivant différentes caractéristiques et attributs du concept, et les restrictions sur les propriétés » (Noy & McGuinness 2001).
Système	Selon (Peng 2012), un système est généralement défini comme un ensemble d'éléments qui sont organisés dans son ensemble pour un but ou un objectif commun. Ces différents éléments pourraient avoir des interactions ou être interdépendants.
Terme	Mot considéré dans sa valeur de désignation, en particulier dans un vocabulaire spécialisé (Larousse 2013)
Transformation de modèles (transformation modèle-à-modèle)	« Processus de conversion d'un modèle à un autre modèle du même système » (Miller & Mukerji 2003).

ACRONYMES

CpP	Collaboration par Paire
EIF	European Interoperability Framework
EMF	Eclipse Modeling Framework
IDEF	Integration Definition for Function modeling
IDM	Ingénierie Dirigée par les Modèles
ISO	International Organization for Standardization
IOM	Interoperability Organizational Maturity
LISI	Levels of Information Systems Interoperability
M2	Méta-modèle
M3	Méta-méta-modèle
MDA	Model Driven Architecture
MDI	Model Driven Interoperability
OCL	Object Constraint Language
OWL	Web Ontology Language
PAID	Procedure, Application, Infrastructure, System
PDM	Product Data Management
PDO	Product Data Ontology
PLM	Product Lifecycle Management
STEP	STandard for Exchange of Product Data
UML	Unified Modeling Language
XML	The Extensible Markup Language

Introduction

Le développement de produits en ingénierie, se focalise sur le contexte global dans lequel s'inscrit ces travaux de recherche. Ce domaine est généralement composé de trois phases : la conception, l'industrialisation et la fabrication. Le périmètre de ces travaux de recherche se concentre sur les collaborations dans les différentes phases de vie du produit défini par (Cavaillès 1995), notamment les collaborations concernées par le processus de conception

Dans la phase de conception, l'objectif initial est d'extraire, de produire mais aussi de transformer les informations qui caractérisent les besoins et les exigences d'un prototype, afin d'obtenir des connaissances relatives au produit à concevoir et ainsi créer une ou plusieurs représentations de ce dernier. La phase de conception peut également être vue comme un processus composé d'un ensemble d'activités comme par exemple l'extraction des besoins ou l'analyse fonctionnelle. Chaque activité de conception est réalisée par un ou plusieurs concepteurs à l'aide de ressources techniques, principalement des méthodes de conception et des applications métiers. L'allocation des activités entre les concepteurs ne signifie pas que les activités individuelles sont indépendantes les unes des autres. En effet, la collaboration, particulièrement via les échanges d'informations entre les concepteurs, relie ces activités. En d'autres termes, le processus de conception de produits est collaboratif puisque les interactions entre les concepteurs de différentes disciplines sont inévitables. Une des raisons de l'augmentation des collaborations entre concepteurs est l'accroissement de la demande de produits multi-physiques et complexes. La conception de ces produits nécessite la participation des concepteurs de plusieurs domaines scientifiques et techniques. En effet, tant que la connaissance de chaque concepteur est limitée à son expertise, les activités de conception sont distribuées entre eux et les collaborations entre concepteurs sont nécessaires.

Ce mémoire, qui met l'accent sur ces collaborations et sur l'évaluation de leur performance, est composé de trois chapitres dont la structure logique est présentée par la Figure 1, conformément à la méthodologie de recherche proposée par (Blessing et al, 09) :

- Clarification de la Recherche : le rôle principal de cette étape est d'identifier les objectifs, les questions principales, les hypothèses initiales, la situation actuelle et la situation idéale des travaux de recherches. Cette étape détermine également les liaisons possibles entre les situations actuelle et idéale. Ces travaux de thèse se focalise sur une de ces liaisons, fondée sur l'évaluation de la performance des collaborations. Les résultats de cette étape sont présentés dans le chapitre 1.
- Étude Descriptive I : le rôle principal de cette étape est d'obtenir une meilleure compréhension des éléments, proposés dans la littérature, qui fournissent la possibilité de réaliser les liaisons entre les situations actuelle et idéale. Les résultats de cette étape sont présentés dans le chapitre 2.
- Étude Prescriptive : le rôle principal de cette étape est d'utiliser la compréhension fournie par les étapes précédentes afin de déterminer les propositions pour améliorer la situation actuelle. Les résultats de cette étape sont présentés dans le dernier chapitre (chapitre 3).

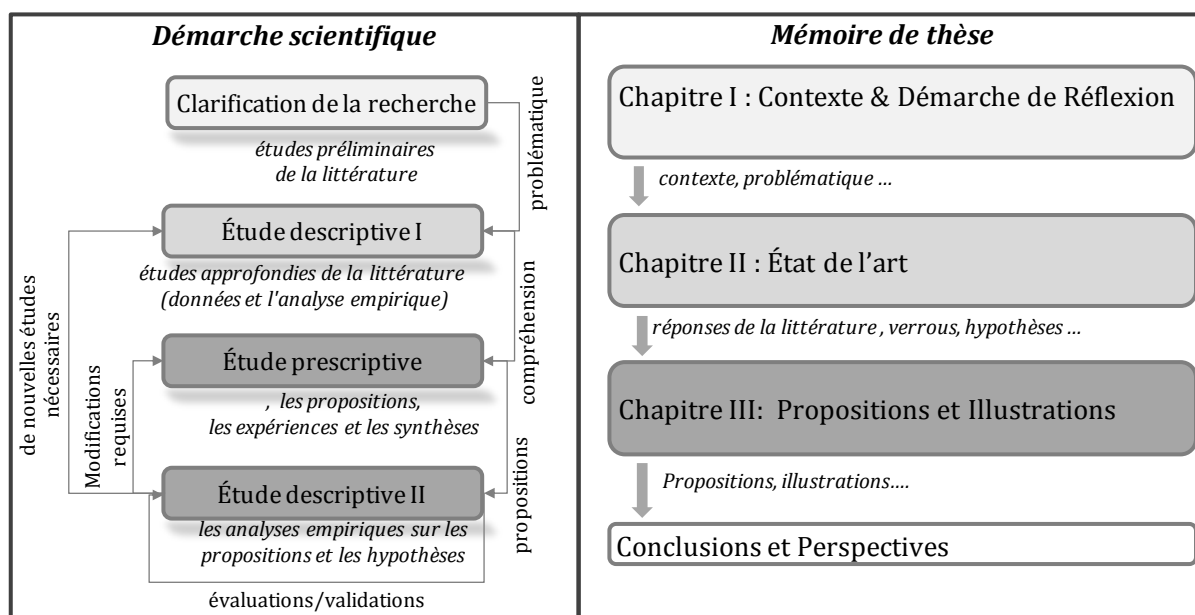


Figure 1, Structure du mémoire en comparaison de la méthodologie de recherche de (Blessing & Chakrabarti 2009)

La dernière étape, l'étude descriptive II, est considérée comme un axe principal dans les perspectives de ce travail de recherche. En effet, le rôle principal de cette étape est de fournir un retour critique des propositions.

Par la suite les trois chapitres de ce mémoire de thèse sont introduits brièvement.

➤ Chapitre I : Contexte et démarche de réflexion

Dans ce chapitre, le contexte global de ce travail de recherche est défini. Par la suite, deux éléments contextuels : le processus de conception des produits et la gestion de ce processus, sont présentés. Ils délimitent le périmètre de ce travail. Puis la démarche de réflexion, qui est à l'origine de ce travail de recherche, est introduite.

La démarche de réflexion amène d'abord à **une problématique globale** : « Comment la performance des collaborations dans un processus de conception peut-elle impacter la performance du produit à concevoir ? ». Dans ces travaux, il est décidé de traiter l'une des sous-parties de cette problématique globale qui se focalise principalement sur la performance des collaborations. Ainsi, **la problématique de cette recherche** est définie ainsi : « Comment définir et évaluer la performance des collaborations dans un processus de conception ? ».

Considérant la complexité de cette problématique et l'absence d'une solution complète dans la littérature, il est décidé dans un premier temps de décomposer la problématique en ces éléments principaux qui forment un problème d'évaluation de la performance. Ces éléments sont discutés dans le chapitre II.

➤ Chapitre II : État de l'Art

Comme mentionné précédemment, notre démarche de recherche s'articule autour d'un problème d'évaluation de performances : l'objet en cours d'évaluation, le critère et l'indicateur de performance, la mesure, les variables d'action et les variables de mesure. Dans le chapitre II, ces éléments sont d'abord introduits. Ensuite ils sont étudiés avec les accents particuliers sur le contexte de ces travaux de recherche (la collaboration dans le processus de conception) et sur

l'interopérabilité qui est considérée comme critère de la performance des collaborations.

Ce chapitre se conclut en précisant les verrous (techniques et contextuels) identifiés dans l'état de l'art. Les verrous contextuels abordent principalement les limites des concepts de collaboration et d'interopérabilité. Concernant ces verrous, nous avons décidé de fournir un état de l'art approfondi dans ce manuscrit. Les verrous techniques sont traités via la proposition de recherche, présentée dans le chapitre III.

➤ **Chapitre III : Cadre outillé d'évaluation des performances dans les échanges de données**

Dans ce chapitre la proposition principale de ces travaux de recherche est présentée. Celle-ci consiste en un cadre outillé d'évaluation de performance des performances dans les échanges de données d'un processus de conception collaborative. Ce cadre comprend deux étapes principales : la modélisation et l'évaluation :

- La modélisation : Afin de pouvoir mesurer la performance des collaborations dans un processus, cette étape permet d'extraire les variables à partir desquelles l'indicateur de performance est mesuré.
- L'évaluation : cette étape, le noyau du cadre, est développée face aux verrous techniques identifiés dans l'état de l'art. L'objectif de cette étape est de mesurer la performance des collaborations basée sur l'interopérabilité et un indicateur particulier de cette dernière : la pertinence d'information.

Dans le chapitre III, la présentation du cadre proposé est également confrontée à un cas d'étude « académique ». Ce dernier comprend les activités d'analyse fonctionnelle, d'analyse énergétique et de modélisation géométrique.

➤ **Conclusions générales et perspectives**

Cette partie synthétise les apports de ces travaux de thèse au domaine de la conception collaborative, et plus particulièrement l'analyse de la performance des collaborations. Ce mémoire se conclut par l'analyse des limites de cette approche et les perspectives principales de ces travaux.

Chapitre I : Contexte & Démarche de Réflexion

*Dans ce chapitre, conformément au rôle de l'étape de « Clarification de la Recherche » (illustré par la Figure 1, Structure du mémoire en comparaison de la méthodologie de recherche de (Blessing & Chakrabarti 2009)), le contexte global de ce travail de recherche est défini. Par la suite, deux éléments contextuels : le processus de conception de produits et la gestion de ce processus sont présentés. Ils délimitent le périmètre de ce travail. La démarche de réflexion amène d'abord à une question globale : « **Comment la performance des collaborations dans un processus de conception peut-elle impacter la performance du produit à concevoir ?** ». Dans ces travaux, il est décidé de traiter l'une des parties de cette question en se focalisant principalement sur la performance des collaborations. Ainsi, la problématique de cette recherche est définie telle que : « **Comment définir et évaluer la performance des collaborations dans un processus de conception ?** »*

1.1.	CONTEXTE	8
1.1.1.	Processus de conception	8
1.1.2.	Collaboration via les échanges d'information	10
1.1.3.	Gestion du processus de conception	12
1.2.	BESOIN D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS	14
1.3.	CONCLUSION DU CHAPITRE	16

1.1. Contexte

Le contexte global dans lequel s'inscrivent ces travaux de recherche se focalise au cadre de l'ingénierie. Il est défini comme étant : « *l'application des principes scientifiques à des objectifs tels que la conception, la construction et l'exploitation de structures efficaces et économiques, de l'équipement et des systèmes* » (Wagner 1991). Dans ces travaux de recherche, ce contexte est précisé par trois éléments contextuels : **le processus de conception** en ingénierie, **la gestion** de ce dernier et les **collaborations** par les **échanges d'informations**. Ces éléments contextuels sont présentés dans les sections suivantes.

1.1.1. Processus de conception

Dans le contexte de l'ingénierie, ce travail de recherche se concentre sur le développement de produits. Ces produits, qu'ils soient mécaniques, électroniques... sont développés à partir des besoins exprimés par un (ou plusieurs) clients (Scaravetti 2004). Selon (Cavaillès 1995), le développement de produits dans l'ingénierie est généralement composé de trois phases principales (illustré par la Figure 1- 1) :

- la conception qui fournit un concept de produit adapté aux besoins des clients,
- l'industrialisation qui étudie les différents moyens de fabriquer le produit,
- la fabrication qui réalise la version finale du produit.

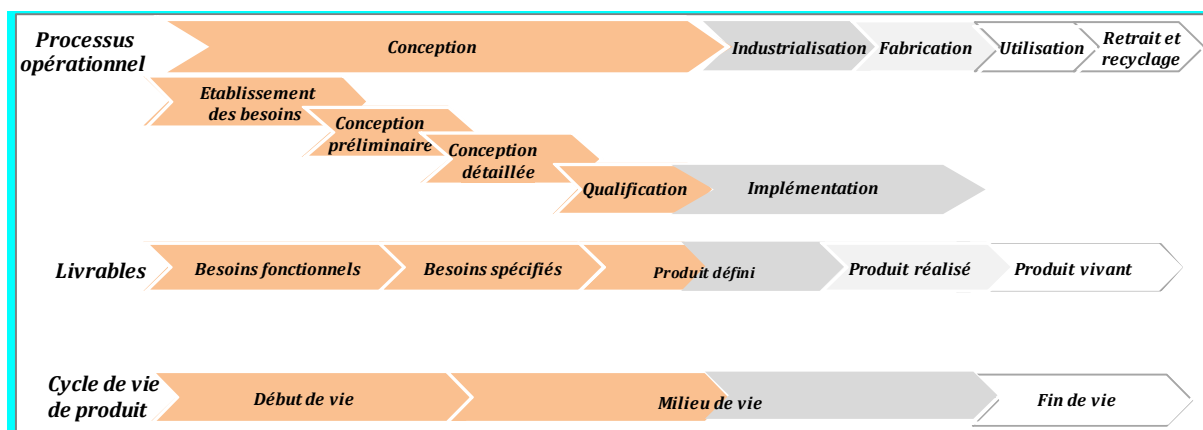


Figure 1- 1, Processus et les livrables principaux dans le cycle de vie de produit

Ces travaux de recherche se concentrent sur la phase de conception. Dans cette phase, l'objectif initial est d'extraire, de produire les informations qui caractérisent les besoins des clients. En outre, ces informations doivent être transformées en un (ou plusieurs) prototype afin d'obtenir des connaissances relatives au produit à concevoir (Mistree et al. 1990), et ainsi créer une ou plusieurs représentations de ce dernier (Reymen 2001).

La conception de produits elle-même est décomposée en plusieurs phases. Scaravetti met en parallèle les phases et jalons de plusieurs processus de conception, du besoin exprimé jusqu'à la définition du produit (Scaravetti 2004). Howard présente également un cadre qui est généré pour définir les limites du processus de conception, en soulignant les points communs et les différences entre ses phases (Howard et al. 2008). Sur les processus étudiés par ces 2 auteurs, 33 d'entre eux sont intégrés au Tableau 1- 1.

Tableau 1- 1, Comparaison des processus de conception d'ingénierie basée sur les travaux de (Scaravetti 2004) et (Howard et al. 2008)

Références *	Establishing a need		Analysis of task		Conceptual design		Embodiment design		Detailed design	
Booz et al. (1967)	X**		New product strategy development		Idea generation	Screening & evaluation	Business analysis	Development		Testing
Archer (1968)	X		Programming	data collection	Analysis	Synthesis	Development			Communication
Svensson (1974)	Need		X		Concepts	Verification	Decisions			X
Wilson (1980)	Societal need		Recognize & formalize	FR's & constraints	Ideate and create		Analyze and/or test			Product, prototype, process
Urban and Hauser(1980)	Opportunity identification		Design				Testing			X
VDI-2222 (1982)	X		Planning		Conceptual design		Embodiment design			Detail design
Hubka and Eder (1982)	X		X		Conceptual design		Lay-out design			Detail design
Crawford (1984)	X		Strategic planning		Concept generation		Pre-technical evaluation			Technical development
Pahl and Beitz (1984)	Task		Clarification of task		Conceptual design		Embodiment design			Detailed design
French (1985)	Need		Analysis of problem		Conceptual design		Embodiment of schemes			Detailing
Ray (1985)	Recognise problem		Exploration of problem	Define problem	Search for alternative proposals		Predict outcome	Test for feasible alternatives		Judge feasible alternatives Specify solution
Cooper (1986)	Ideation		Preliminary investigation		Detailed investigation		Development	Testing & Validation		X
[Aou 90]*	Traduction du besoin				Interprétation du besoin (par recherche de concepts)				Définition du produit	
Pugh (1991)	Market		Specification		Concept design				Detail design	
Hales (1993)	Idea, need, proposal, brief		Task clarification		Conceptual design		Embodiment design			Detail design
[AFA 94]*	Faisabilité				Avant Projet				Développement	
[Fan 94]*	Définition du besoin				Conceptualisation		Avant-projet (Prédéveloppement)			Projet / Développement
Baxter (1995)	Assess innovation opportunity		Possible products		Possible concepts		Possible embodiments			Possible details
Ulrich and Eppinger (1995)	X		Strategic planning		Concept development		System-level design			Detail design
[Cav 95]*	Expression du besoin								Conception détaillée	Qualification
[Pah 96]*	Clarifying requirements				Conceptual Design		Embodiment Design			Detail Design
Ullman (1997)	Identify needs	Plan of the design process	Develop engineering specifications		Develop concept		Develop product			X
BS7000 (1997)	Concept			Feasibility	Implementation (or realisation)					
Andreasen and Hein (1997)	Recognition of need		Investigation of need		Product principle		Product design			Production preparation
Black (1999)	Brief/concep		Review of 'state of the art'		Synthesis	Synthesis	Synthesis	Analysis /reflect		Synthesis Decisions to constraints
[BNA 99]*	Faisabilité					Définition			Développement	
Cross (2000)	X		Exploration		Generation		Evaluation			Communication
[Die 00]*	Conceptual design				Embodiment design			Detail Design		
[Hub 88]*, [Hub 01]*	Conceptual design					Laying out (architecture, etc.)			Detailing	
[Nad 02]*	Faisabilité				Conception préliminaire				Conception / Développement	
[Ull 03]*	Specification definition				Conceptual design		Product development			X
Design Council (2006)	Discover		Define		Develop		Deliver		X	
Industrial Innovation Process (2006)	Mission statement		Market research		Ideas phase		Concept phase			Feasibility Phase
* Les références portant une astérisque se trouvent dans (Scaravetti 2004) et les autres sont citées par (Howard et al. 2008)										
** X : non mentionné										

Le Tableau 1- 1 montre l'accord général des auteurs dans le domaine de conception sur les différentes phases d'un processus de conception. En effet, il est observé que les activités principales sont communes. Ceci est également confirmé par (Scaravetti 2004) en indiquant que la plupart du temps les mêmes livrables sont échangés entre les activités de conception tels que les besoins fonctionnels et leurs spécifications.

Selon Howard, après la phase « Establishing a need », les quatre grandes phases de conception sont : « Analysis of task », « Conceptual design », « Embodiment design » et « Detailed design ». Ces phases sont suivies par la phase d'« implementation » qui est la transition entre la conception et la fabrication. Cette dernière est mentionnée par plusieurs auteurs, en expliquant ce qui se passe quand les conceptions du produit sont réalisées (Howard et al. 2008). En effet, la phase d'implémentation ne contient que des activités de post-conception.

Les phases du processus de conception (détaillées dans le Tableau 1- 1) sont soutenues par un ensemble d'activités qui forment un processus. Il existe plusieurs définitions d'un processus de conception dans la littérature, telles que : « *le processus d'élaboration d'un **système**, d'un **composant** ou d'un **processus** pour répondre aux **besoins** souhaités. Il s'agit d'un **processus de décision** (souvent itératif), dans lequel les sciences fondamentales, les mathématiques et les sciences d'ingénierie sont appliquées pour convertir les **ressources** de façon optimale afin de répondre aux besoins exprimés* » (ABET EC200041, 09).

1.1.2. Collaboration via les échanges d'information

Le deuxième élément contextuel est la collaboration entre les concepteurs. La situation actuelle dans les processus de conception indique que les activités de conception sont de plus en plus distribuées entre les concepteurs en raison de la complexité des produits à concevoir (Larsson 2005) (Danesi et al. 2006). Cependant cela ne signifie pas pour autant que les concepteurs réalisent leurs activités d'une manière indépendante. En effet, les interactions entre les concepteurs, relient leurs activités. En d'autres termes, le processus de conception devient collaboratif puisque les collaborations entre les concepteurs de différents domaines d'expertises sont inévitables (Frey 2010) : « *Quand un produit est conçu grâce aux efforts collectifs et communs de nombreux concepteurs, le processus de conception peut être appelé Conception Collaborative (il peut aussi être appelé Conception Coopérative, Conception Simultanée, Conception Intégrée ou Conception Interdisciplinaire)* ».

Alors effectivement, le processus de conception évolue vers le processus de conception collaboratif, également dit la conception collaborative, qui a pour objectif de faciliter les collaborations entre les concepteurs au début du cycle de vie de produit (Wang et al. 2002).

Le travail collectif des concepteurs, la collaboration, est également confirmé dans d'autres définitions de la conception collaborative, telles que celle proposée par (Kleinsmann 2006) et basée sur (Chiu 2002) : « Processus de conception dans lequel les acteurs de différentes disciplines partagent leurs connaissances à la fois sur le processus de conception et sur le contenu de conception. Leur but est de créer une compréhension commune sur ces deux aspects, d'être en mesure d'intégrer et d'explorer leurs connaissances et d'atteindre l'objectif commun plus large : le nouveau produit à concevoir ».

(Larsson 2005) et (Danesi et al. 2006) soulignent que les collaborations entre concepteurs sont

en augmentation dans les processus de conception. Selon Raghavendiran (Raghavendiran & Patruni 2009), la raison de cette augmentation est que le marché actuel nécessite de plus en plus la production (et donc la conception) des produits multi-physiques et multidisciplinaires comme les produits mécatroniques. Ces auteurs considèrent également que les produits multidisciplinaires sont la réponse aux besoins croissants de solutions innovantes, complexes, sûres, rapides à mettre en service, riches et compétitives. L'augmentation de conception de produits multidisciplinaires est également confirmée par AberdeenGroup (AberdeenGroup© 2006) : « Sous une forme ou une autre, les clients et la concurrence poussent les fabricants à intégrer l'électronique et les logiciels dans leurs produits ». MacHugh mentionne également la forte Demande de Produits multidisciplinaires : « les produits multidisciplinaires domineront le 21ème siècle » (Mchugh & Zhang 2010).

La conception des produits multi-physiques et multidisciplinaires nécessite la participation des concepteurs de plusieurs domaines scientifiques et techniques. En effet, les concepteurs de différentes disciplines peuvent être amenés à travailler ensemble alors même que la connaissance de chaque concepteur est limitée à son domaine de travail et à son expérience. Par conséquent, les activités de conception sont distribuées et les collaborations sont devenues une partie intrinsèque des processus de conception.

Le concept de collaboration est utilisé et défini dans de nombreuses disciplines de recherche pour décrire plusieurs types d'interactions (Bedwell et al. 2012). Il existe également une pléthore de définitions (Wood & Gray 1991). Malgré cela, selon l'enquête de Chettaoui sur les définitions de ce concept, il manque une définition conventionnelle de la collaboration (Chettaoui 2008). En outre, Bedwell considère que la définition complète et unifiée de la collaboration reste difficile à élaborer (Bedwell et al. 2012).

A première vue et avant de trouver une définition précise, nous considérons que les collaborations dans les processus de conception se produisent principalement quand les concepteurs collaborent par la communication ou, en d'autres termes, via les échanges d'informations de conception (Chiu 2002) (Valkenburg & Dors 2000). En effet, selon Chiu, la communication est une condition initiale pour la collaboration car les concepteurs doivent partager des informations de conception (Chiu 2002).

En outre, Chui a fait une expérience dans un environnement académique qui indique que les concepteurs passent près de la moitié de leur temps, 40-50 % à se concentrer sur la communication. Il est également indiqué que l'efficacité des communications devient critique pour les acteurs d'un projet de conception collaborative (Chiu 2002).

Dans ces travaux de recherche, nous considérons dans un premier temps que : **la collaboration entre les concepteurs implique toujours des échanges d'information** (hypothèse 1).

Selon cette hypothèse, il est considéré que chaque concepteur, pour initier ou réaliser sa propre activité de conception, peut exiger des informations qui sont fournies par d'autres concepteurs. De plus, une fois que l'activité d'un concepteur est terminée, les résultats de son activité sont nécessaires pour d'autres concepteurs. Par conséquent, à côté des activités, des concepteurs, leurs outils et leurs compétences, les collaborations (par les échanges d'information) sont nécessaires pour compléter la définition des processus actuels (Figure 1- 2).

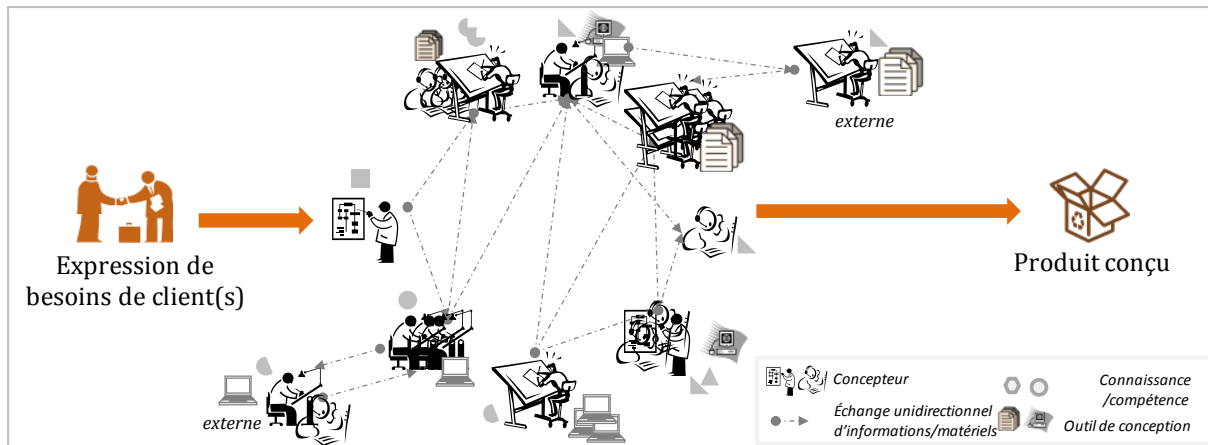


Figure 1- 2, Représentation des éléments principaux du processus de conception

Dans ces travaux, nous considérons également que **les informations sont toujours produites, échangées et consommées numériquement sous forme de fichiers de données** (hypothèse 2). En d'autres termes, lorsqu'un ensemble d'informations de conception est produit par un concepteur, il est enregistré dans un fichier de données. Lorsque ce fichier de données est transmis à un autre concepteur, une collaboration est formée entre ces concepteurs.

1.1.3. Gestion du processus de conception

Le troisième élément contextuel de ces travaux de recherche aborde la gestion du processus de conception. La gestion des processus est définie comme « *l'application des connaissances, des compétences, des outils, des techniques et des systèmes pour définir, visualiser, mesurer/évaluer, contrôler, signaler et améliorer les processus dans le but de répondre aux exigences des clients et d'une manière rentable* » (Pomffyova 2010). Dans ces travaux de recherche, deux aspects de la gestion du processus de conception sont considérés :

- **L'aspect statique**, qui correspond à la définition, la modélisation et la génération du squelette du processus de conception. La génération de processus est le point de vue statique du processus de conception qui comprend la sélection des acteurs, des outils, la structure et du séquençage des activités. La génération implique également l'ébauche de la planification des ressources et finalement l'évaluation/validation du processus ainsi généré. Une fois que le squelette du processus est généré et validé, l'aspect dynamique de la gestion du processus est démarré.
- **L'aspect dynamique**, correspond au pilotage du processus de conception lorsque ce dernier est en cours de fonctionnement. Le pilotage de processus comprend le contrôle et la gestion des acteurs, des outils et de leurs interactions. Le pilotage assure l'avancement correct du processus de conception quelles que soient les perturbations ou les modifications rencontrées telles que : le changement d'un acteur ou d'un outils de conception. Ainsi, au cours de son déroulement, le processus peut comprendre une activité non prévue initialement mais devenue nécessaire. À l'inverse, une activité prévue qui n'est plus nécessaire peut se voir supprimée. Les perturbations peuvent également être causées par les impacts des éléments du processus les uns sur les autres au fur et à mesure de son déroulement. Par exemple, les erreurs dans les informations fournies d'un concepteur à l'autre peuvent provoquer des difficultés dans la réalisation des activités de conception.

La quantité de travail de l'activité de pilotage est bien évidemment dépendante de la capacité d'évaluation du processus piloté. En effet, cette dernière doit être capable d'évaluer le modèle généré du processus afin de minimiser les perturbations dans l'avancement du processus. Dans ces travaux de recherche, l'accent est mis sur le squelette de ce modèle, prévu par l'entreprise. Ce squelette comprend les activités de conception, leurs liens, leur ordonnancement, ainsi que leurs ressources. En réalité, il est considéré que l'entreprise est capable de définir ces informations (hypothèse 3). Cette hypothèse définit le périmètre de ces travaux de recherche concernant le cycle de vie de processus.

Les périmètres de ces travaux de recherche peuvent être appréhendés avec une approche systématique telle que « la théorie du système général, théorie de la modélisation » de Le Moigne, introduite en 1977 (Le Moigne 2006). Compte tenu de cette théorie, les processus d'une entreprise peuvent être divisés en trois systèmes principaux qui interagissent (Figure 1- 3) :

- le système opérant qui correspond au processus de conception dans ces travaux.
- le système décisionnel qui génère et pilote le système opérant (le processus de conception).
- le système informationnel qui a le rôle de stocker, gérer et de fournir les informations nécessaires pour le système décisionnel. Ces informations sont extraites à partir du système opérant.

Concernant les systèmes mentionnés ci-dessus, ces travaux se concentrent sur les interactions entre le système décisionnel (le processus de pilotage) et le système opérationnel (le processus de conception). L'accent est mis sur le moment où le pilotage interagit avec le processus de conception en vue de l'évaluation et de ce dernier.

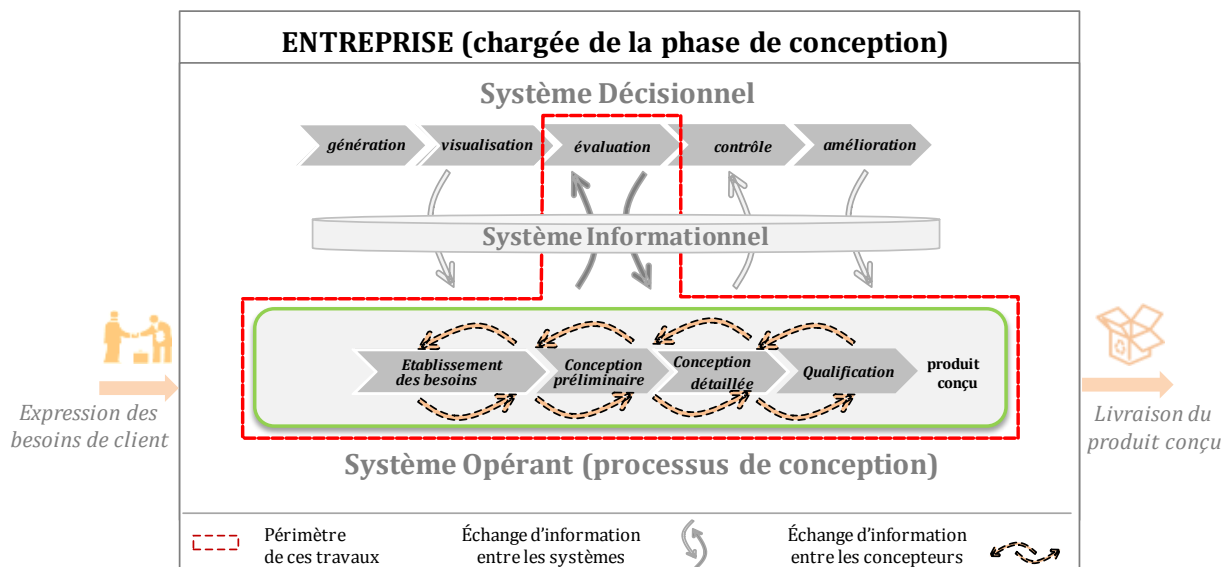


Figure 1- 3, Synthèse du périmètre selon la théorie systémique de Le Moigne (schéma adapté de (Le Moigne, 77))

Ayant défini le contexte et le périmètre de ces travaux de recherche, les enjeux observés dans ce périmètre sont discutés dans les sections suivantes.

1.2. Besoin d'évaluation de la performance des collaborations

Comme mentionné dans la section précédente, la collaboration des concepteurs est une caractéristique intrinsèque des processus de conception actuels, en particulier pour les produits multidisciplinaires. Nous considérons dans ces travaux que la collaboration se fait à travers les échanges d'information.

De nombreuses références abordent les difficultés liées aux collaborations en conception. En effet, ces difficultés sont observées lorsque les concepteurs de différents domaines d'expertise ou avec différents types de ressources, sont contraints pour faire des échanges d'information (Yan et al. 2009) (Ruiz Dominguez 2005). Ces difficultés apparaissent à deux niveaux :

- **Les difficultés pour échanger les données :** ces difficultés sont observées quand un acteur ne dispose pas des outils appropriés pour envoyer ou recevoir des données. Ce type de difficulté est également observé quand un acteur est confronté à des problèmes pour accéder aux contenus des fichiers de données après les avoir reçus.
- **Les difficultés pour comprendre les informations échangées :** une fois les données échangées, il faut s'assurer que les acteurs possèdent une compréhension mutuelle des données. En réalité, la diversité des acteurs et de leurs domaines d'expertise, ainsi que les différences de langage et modèles compliquent l'unicité de sens et sa compréhension.

Les problèmes tels que ceux mentionnés ci-dessus sont des raisons pour lesquelles, pendant plus d'une décennie, un grand nombre de références ont précisé la nécessité des études sur l'évaluation et l'amélioration de la performance des collaborations (Bock et al. 2010) (Backlund & Ronnback 1999).

Selon Yahia (Yahia 2011), une partie des problèmes de la collaboration, particulièrement les interprétations différentes d'informations, résultent pour la plupart de l'utilisation d'informations hétérogènes. Ces hétérogénéités sont également causées par les différences entre les environnements informatiques, les langues-techniques, les outils et les moyens technologiques (Paviot et al. 2011) (Chettaoui 2008) et les sources de données (Giunchiglia & Shvaiko 2004) (Spalazzese 2009).

Les informations hétérogènes sont mentionnées par (Fortineau et al. 2013), (Wiederhold & Genesereth 1997) et (Goh et al. 1995) comme l'origine de problèmes dans les collaborations. Nous considérons que ces difficultés ont un impact sur la performance de la collaboration.

Avoir un faible niveau de performance des collaborations peut causer des problèmes tels que des échanges d'information imprécis ou approximatifs (Kleinsmann M., Buijs J. 2010), des interprétations erronées des informations échangées (Ruiz-Dominguez, 2005) (Hsu W. 1998). En effet, la performance de collaboration peut être définie comme : la capacité des acteurs à travailler ensemble sans difficultés. Considérant cette nécessité de collaboration, les questions qui se posent ici sont :

- Est-il possible de quantifier et d'améliorer la performance des collaborations ?
- Comment les éléments d'une collaboration (les acteurs, les outils) ou leur hétérogénéité peuvent affecter la performance de la collaboration ?

Dans les points suivants, ces questions sont abordées selon une vision globale qui met l'accent sur la performance de produit. Cette vision est nécessaire car la performance des collaborations peut également influencer sur le résultat final du processus de conception : le produit conçu.

Compte tenu des définitions proposées dans la littérature traitant de la conception de produits, (AFNOR 1988), (Gero 1990), (Pahl & Beitz 1996), (Roucoules et al. 2006), l'objectif final d'un processus de conception est de concevoir un produit qui réponde aux besoins des clients.

La question qui se pose ici est de savoir si l'objectif du processus de conception est conforme aux objectifs de l'entreprise. En réalité, l'objectif final d'un processus de conception doit prendre en considération aussi bien les besoins du client que ceux de toutes les parties prenantes telles que l'équipe de pilotage de la conception et les concepteurs. Dans ces travaux, il est considéré que l'objectif final des processus de conception est la satisfaction maximale des parties prenantes selon la performance du produit conçu.

Compte tenu de l'objectif final des processus de conception, une problématique de haut niveau est dans un premier temps énoncée :

Comment la performance des collaborations dans un processus de conception peut-elle impacter la performance du produit à concevoir ?

Afin de répondre à cette problématique, plusieurs objectifs ont été identifiés (notés et illustrés par la Figure 1- 4) :

1, Évaluation de la satisfaction des parties prenantes : A titre d'exemple des études sur cet objectif, une approche des parties prenantes a été publiée en 1984 (Freeman 1984). Dans cette publication, le concept de partie prenante est défini comme « tout groupe ou individu qui peut affecter ou être affecté par la réalisation de l'objectif d'une société ». Un modèle de satisfaction des parties prenantes a également été proposé par (Strong et al. 2001).

2, Évaluation de la performance du produit : Bosch (Bosch Mauchand 2007) indique que la performance du produit peut être définie par les critères de performances selon les indicateurs tels que le coût, la qualité, le délai mais aussi les caractéristiques techniques du produit. Ces indicateurs ont été étudiés dans plusieurs références de manière individuelle ou de manière intégrée via le concept de valeur du produit.

Les liens entre la performance de processus et de produit, ont été étudiés dans le domaine de l'analyse des risques, en particulier dans l'article de Bassetto et al. en 2006. Selon ces auteurs, il existe des liens entre la performance de processus de fabrication et celle du produit (Bassetto et al. 2006). Ces liens sont étudiés sur la base de l'impact des problèmes dans le processus sur les défaillances du produit (Pirayesh et al. 2011).

3, Évaluation de la performance des processus (systèmes) d'entreprises : à partir de la théorie systémique de Le Moigne, mentionné dans la section 1.1.3, il est considéré que la performance globale de l'entreprise dépend de la performance de tous ses processus : opérant (noté 3 dans la Figure 1- 4), décisionnel et informationnel (noté 3' dans la Figure 1- 4). Ces travaux de recherche abordent seulement la performance du système opérant (le processus de conception). Ce dernier peut également être étudié de deux façons :

3.1, Évaluation de la performance des activités non-collaboratives : si on décompose un processus de conception en deux parties : les collaborations et les activités individuelles. La performance de ces dernières peut être également définie par les critères de performances selon les indicateurs tels que le coût, la qualité, le délai.

3.2, Évaluation de la performance des collaborations (la problématique de la thèse) : ces travaux de recherche tentent de répondre à ce sous-objectif particulier qui met l'accent sur le concept de collaboration. La raison pour laquelle cette dernière est abordée est double : d'un côté, la problématique de cette thèse, discutées dans la section 1.2, indiquent la nécessité des collaborations. D'un autre côté, les sujets des autres sous-objectifs, sont en quelque sorte traités préalablement. En effet, il est considéré que l'évaluation de la performance des produits/processus est un champ d'étude vaste mais l'évaluation de la performance des collaborations nécessite encore des études complémentaires.

1.3. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, le contexte global de ce travail de recherche est tout d'abord défini. Ensuite, trois éléments contextuels : le processus de conception des produits, la collaboration via les échanges d'informations dans ce processus et la gestion de ce dernier, ont été présentés, définissant ainsi le périmètre du ce travail.

Concernant ce périmètre, les différentes phases de conception, définies dans le Tableau 1- 1, sont abordées. L'évolution de ces processus indique que les activités de conception sont de plus en plus distribuées entre les concepteurs. Dans ces travaux de recherche, il est considéré que la collaboration entre les concepteurs implique toujours des échanges d'informations sous forme des fichiers de données.

En étudiant l'objectif final du processus de conception, une question globale est identifiée : « Comment la performance des collaborations dans un processus de conception peut-elle impacter la performance du produit à concevoir ? ». Dans ces travaux de recherche, nous avons décidé de mettre l'accent sur l'un des objectifs lié à cette problématique globale qui concerne principalement l'évaluation de la performance des collaborations. En effet, la problématique de cette thèse est énoncée : « **Comment définir et évaluer la performance des collaborations dans un processus de conception ?** ». Cette dernière est extraite des problèmes observés dans la situation actuelle des processus de conception collaboratif.

Dans un premier temps, la problématique de la recherche est traitée comme un problème de mesure de performances en adaptant cette approche aux processus collaboratifs de conception. Ceci a permis également de structurer l'état de l'art qui est présenté dans le chapitre suivant.

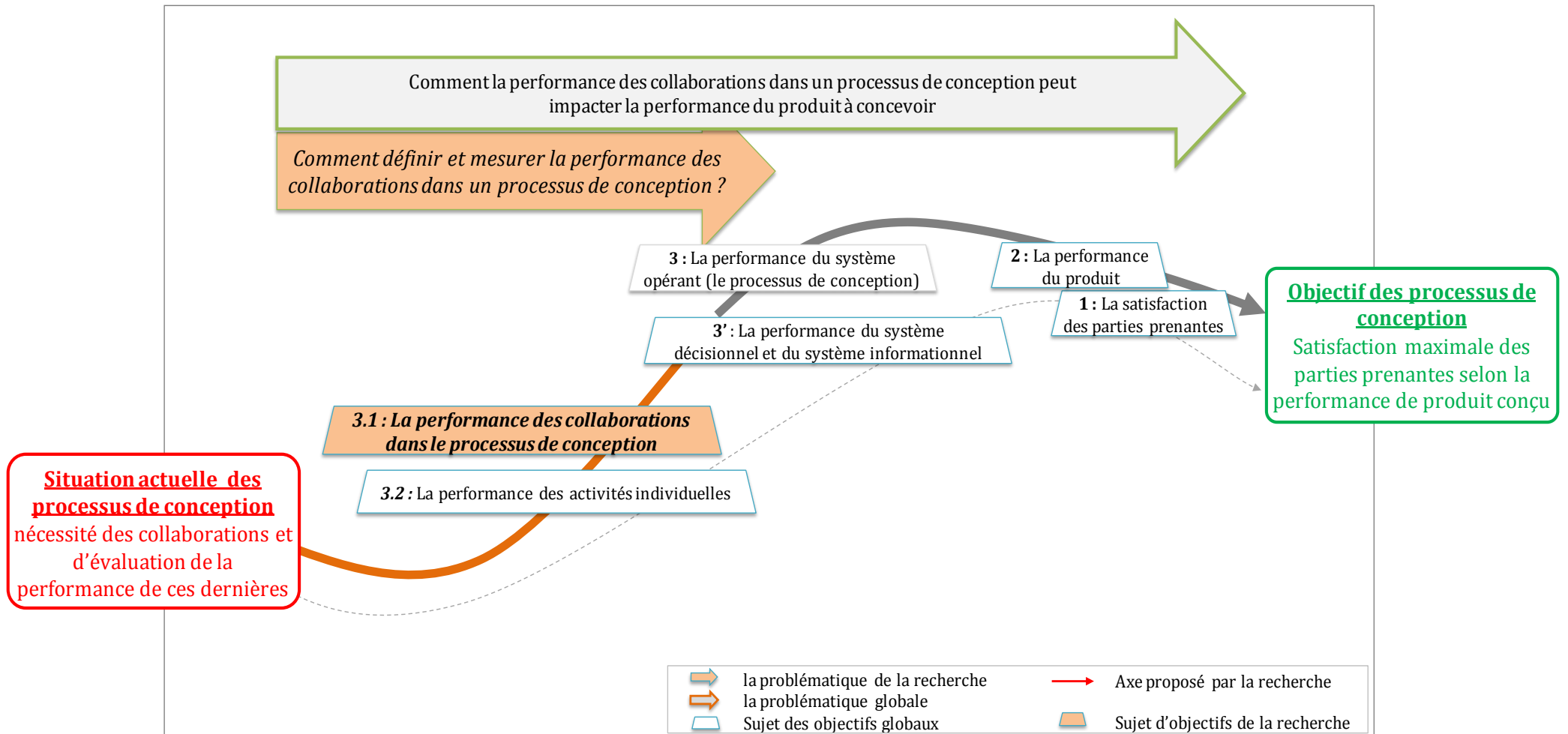


Figure 1- 4, Positionnement de la problématique de la recherche dans le passage potentiel de la situation actuelle à l'objectif final des processus de conception

Chapitre II : État de l'Art

Dans ce chapitre, conformément au rôle de l'étude descriptive I (voir la Figure 1, Structure du mémoire en comparaison de la méthodologie de recherche de (Blessing & Chakrabarti 2009)), l'objectif est d'étudier la problématique des travaux de recherche et ses éléments en identifiant et en analysant les solutions existantes. Comme mentionné précédemment, la démarche de recherche s'articule autour des éléments clés qui forment un problème d'évaluation de la performance tels que : l'objet en cours d'évaluation, le critère et l'indicateur de performance, le mécanisme de mesure. Dans un premier temps, ces éléments sont introduits. Ensuite, ils sont étudiés avec un accent particulier sur les collaborations dans le processus de conception. Dans ces études, de nombreux verrous sont identifiés. Ils soulignent principalement le manque d'étude exhaustive ou synthétique sur les concepts de collaboration. Face à ces verrous, il est décidé de proposer un état de l'art approfondi dans ce manuscrit.

2.1.	ÉVALUATION DE PERFORMANCE	20
2.2.	PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE	22
2.2.1.	Étude bibliographique du concept de collaboration	22
2.2.2.	Adaptation au cadre de la conception	30
2.3.	CRITÈRE D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS	32
2.3.1.	Classification des collaborations et leurs critères	32
2.3.2.	Caractère multidimensionnel de l'interopérabilité	34
2.3.3.	Synthèse : l'interopérabilité, critère de performance de collaboration	42
2.4.	VARIABLES D' ACTIONS DANS L'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES COLLABORATIONS	45
2.4.1.	Normes d'échange de données	46
2.4.2.	Transformation de modèles	66
2.4.3.	Synthèse de l'état de l'art sur les variables d'actions	75
2.5.	ÉVALUATION D'INTEROPÉRABILITÉ ET MÉTHODE DE MATCHING	77
2.5.1.	Matching, comme approche de mesure de compatibilité	78
2.5.2.	Technologies et outils de matching	85
2.5.3.	Synthèse : Matching comme méthode de mesure adaptée	90
2.6.	CONCLUSIONS DE L'ÉTAT DE L'ART	91

2.1. Évaluation de performance

Comme mentionné dans le chapitre précédent, dans ces travaux de recherche, il est considéré qu'un processus de collaboration performant est le processus dans lequel les acteurs peuvent collaborer sans difficulté. La problématique de cette thèse est donc énoncée comme un problème d'évaluation de la performance des collaborations. La réponse à cette problématique peut être envisagée par la définition des éléments clés qui forment un problème de mesure de la performance. Ces éléments doivent être étudiés dans un contexte particulier qui est le processus de conception collaborative.

La notion de performance est définie en fonction de la réalisation des objectifs organisationnels. Il peut être appliqué en utilisant des termes différents, tels que « la gestion de la performance », « l'évaluation ou la mesure de la performance » et « évaluation de la performance » pour décrire le processus de capture de performance (Shah 2012). Nudurupati et al. indiquent que la révolution de la mesure de la performance a commencé dans les années 1970 avec les limites des systèmes comptables traditionnels (Nudurupati et al. 2011). Aussi, (Venkatraman & Ramanujam 1986) ont déclaré que : « le traitement de la performance dans un contexte de recherche est peut-être l'une des questions les plus épineuses qui se posent à la recherche académique ».

D'après les études de Bosch Mauchand (Bosch Mauchand 2007) qui sont basées sur l'AFGI¹, la mesure de la performance d'un objet (un entreprise, un processus de conception ou de fabrication, un produit, ...) comporte les éléments suivants (voir la Figure 2- 1) :

- **Le critère** : cet élément reflète directement l'objectif de la mesure de performance. Par exemple, l'objectif peut être l'évaluation de la performance du processus de conception basé sur la qualité du produit conçu. Ainsi, dans cet exemple la qualité est le critère d'évaluation.
- **L'indicateur** : cet élément représente qualitativement ou quantitativement le niveau de satisfaction de son critère associé. En effet, via un indicateur, on observe à quel point la performance est atteinte. Par exemple, la qualité, mesurée par le niveau de la satisfaction du client peut être vue comme étant un indicateur.
- **La variable de mesure** : un indicateur est mesuré en fonction de certaines variables de mesure. Par exemple, le niveau de la satisfaction du client peut être mesuré selon le rapport entre : V1, les caractéristiques (du produit) exigées par le client et V2, les caractéristiques du produit conçu. Ces variables, V1 et V2, sont les variables de mesure.
- **La mesure** : cet élément est le **mécanisme** (la méthode) de mesure des indicateurs en fonction de la valeur des variables de mesure. Par exemple, considérant les variable V1 et V2 dans le point (2), si ces variables sont quantifiable, l'indicateur peut être mesuré via cette formule mathématique : Indicateur = $V1/V2$.
- **La variable d'action** : cet élément affecte l'objet qui est mesuré et permet d'agir sur le processus afin de changer ces valeurs. Par exemple, la valeur de la variable V1 mentionnée ci-dessus, est affectée par les acteurs, les outils et les tâches de l'activité d'extraction des besoins du client dans un processus de conception.

¹ AFGI, Association Française de Gestion Industrielle.

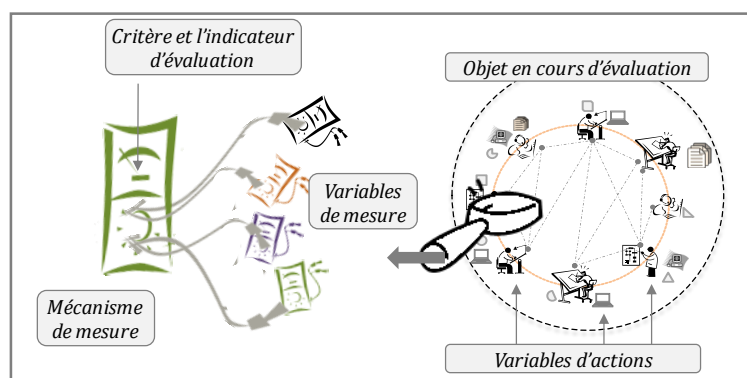


Figure 2- 1, Éléments clés de la mesure de performance d'un objet

Les éléments ci-dessus peuvent différer d'une évaluation à l'autre en fonction de la nature de l'objet en cours d'évaluation et des finalités d'évaluation. Par conséquent, chaque élément est étudié en prenant en compte le cadre de ces travaux. De plus, nos études sur ces éléments sont présentées en respectant l'ordre logique suivant (voir la Figure 2- 2) :

- (0) La définition de l'objet en cours d'évaluation. Ici, l'objet en cours d'évaluation est le processus de conception collaboratif. Il est étudié dans la section 2.2.
- (1) La définition des critères d'évaluation, des indicateurs et leurs variables de mesure : ces derniers sont contraints par l'objet en cours d'évaluation et l'objectif d'évaluation. Ce point est étudié dans la section 2.3.
- (2) La définition des variables d'action. Ces variables sont contraintes par le choix des variables de mesure. L'ensemble des variables d'action est également fourni par l'objet en cours d'évaluation. En effet, les variables d'action font partie des caractéristiques de cet objet. Ces variables sont étudiées dans la section 2.4.
- (3) La définition de la méthode de mesure. Elle est contrainte par le choix de l'indicateur et de ses variables. La méthode de mesure fait l'objet des études présentées dans la section 2.5.

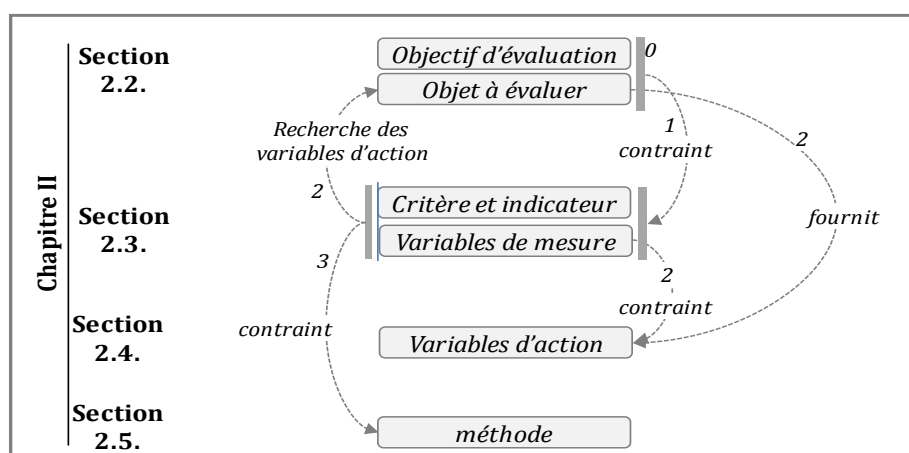


Figure 2- 2, Ordre logique de définition des éléments de mesure de la performance

2.2. Processus de conception collaborative

Cette section de l'état de l'art est dédiée à la définition de l'objet en cours d'évaluation dans le cadre de mesure de performance. Cet objet est le processus collaboratif dans le cadre de la conception de produits.

Dans un premier temps, en étudiant l'ensemble des définitions du concept de collaboration, d'une manière découplée du domaine d'application, les éléments clés de ce concept sont identifiés et présentés. En se basant sur ces éléments clés, un modèle conceptuel des processus collaboratifs est introduit. Ensuite, en mettant l'accent sur le périmètre de ces travaux de recherche, le modèle conceptuel de processus collaboratifs est étendu.

2.2.1. Étude bibliographique du concept de collaboration

En ce qui concerne le concept de collaboration, plusieurs auteurs soulignent l'utilisation abusive de ce concept tout en essayant de définir les différents types d'interactions, chacune avec ses propres caractéristiques (Belkadi et al. 2003), (Rose 2004). En effet, ce concept est utilisé dans plusieurs disciplines pour décrire différents types d'interactions (Bedwell et al. 2012) et il existe une pléthore de définitions (Wood & Gray 1991).

Cette limite est initialement exprimée par (Chettaoui 2008) qui souligne l'absence d'une définition conventionnelle et claire de la collaboration. (Bedwell et al. 2012) indique également qu'une telle définition de la collaboration reste difficile à réaliser. En outre, ils révèlent, via une synthèse de la littérature, plusieurs faiblesses dans les définitions proposées pour la collaboration à savoir qu'elles :

- sont trop vagues ou trop spécifiques,
- expliquent le contexte, sans fournir une définition explicite,
- fonctionnent à un niveau restreint d'analyse,
- ne sont pas conçues comme un processus et / ou décrivent un autre type d'interaction.

Les questions qui demeurent sont : est-il possible d'avoir une définition conventionnelle de la collaboration ? Pourquoi plusieurs auteurs proposent des définitions au lieu d'utiliser une définition conventionnelle ? Quelles sont les différences entre les définitions de collaboration proposées dans la littérature ?

Les réponses à ces questions constituent un axe de recherche important de cette étude bibliographique car la collaboration est un concept clé de ce travail. À cette fin, plusieurs références portant sur le concept de collaboration sont étudiées.

2.2.1.1. Analyse des définitions du concept de collaboration

Dans cette étude du concept de collaboration, trois bases documentaires scientifiques (ScienceDirect®, Springer, et TEL, de 2011, à Avril 2013) sont utilisées. Cette recherche est basée sur les mots clés suivants : « collaboration is defined », « la définition de la collaboration », « definition of collaboration », « defines collaboration ». Cette recherche aboutit à de nombreuses définitions. Quatre définitions de quatre décennies différentes sont données ici à titre d'exemple :

- « Collaboration is defined as a mutual sharing and working together to achieve a common goal in such a way that each person's contribution is recognized and professional growth is encouraged » (Lancaster & Lancaster, 1982).

- « Collaboration is a process of shared planning and action toward common goals with joint responsibility for outcomes. » (Lindeke & Block 1998)
- « Collaboration is defined as the process of communicating with the purpose of sharing information that will result in a mutually agreed upon decision. » (Baxter 2007)
- « La collaboration relève d'une activité de travail collaboratif entre les parties prenantes, au sens large, intervenant durant le processus de conception des produits. » (Rio 2012)

La liste complète des définitions est regroupée dans l'annexe A. Ces définitions ont été étudiées afin d'identifier les principaux éléments de la collaboration. Dans un premier temps, ces définitions ont été fusionnées dans un fichier textuel, puis analysées en utilisant des outils d'analyse de texte. Ces outils permettent alors à l'identification des principaux composants de définition de la collaboration.

Les analyses de cette section nécessitent l'hypothèse selon laquelle les mêmes termes utilisés dans les différentes définitions ont des significations corrélées (hypothèse 4). En effet, la vérification de cette hypothèse est considérée comme extérieure au périmètre et au domaine de cette thèse.

A) Analyse des définitions en utilisant les outils d'analyse de texte

Cette analyse préliminaire des définitions de concept de la collaboration s'effectue à l'aide d'un outil d'analyse de texte (Text Content Analysis Tool (UsingEnglish 2013)). Cet outil prend en entrée un document textuel. Ici, le document d'entrée comprend toutes les définitions extraites de l'état de l'art en anglais et celles traduites en français. En sortie, les données statistiques sur ce document sont fournies telles que : le nombre de mots, le nuage de mots et l'indice de lisibilité.

Les premiers résultats sont proposés ici sous la forme d'un nuage de mots² (voir la Figure 2- 3) et d'un tableau des syntagmes (groupes) de mots fréquents (voir le Tableau 2- 1). Ces résultats fournissent une compréhension initiale et visuelle du mot collaboration.



Figure 2- 3, nuage de mots des définitions de collaboration basé sur la fréquence des mots

² les synonymes et les mots de liaison sont supprimés.

En parallèle à cette représentation, le Tableau 2- 1 indique comment les mots sont utilisés dans les groupes et quelles sont les relations fréquentes entre les mots.

Tableau 2- 1, les syntagmes (de 2, 3 et 4 mots) dans les définitions de collaboration

2-word phrases	3-word phrases	4-word phrases
a common	a common goal	together to achieve a
or more	two or more	it is defined as
two or	working together to	to achieve a common
it is	to achieve a	where two or more
in which	it is defined	two or more organizations
to achieve	when two or	in which two or
common goal	share resources and	
together to	work together to	
in a	a process in	
working together	with each other	

B) Analyse des définitions en se basant sur l'indice de lisibilité³

Une seconde analyse des définitions, en utilisant le même logiciel que pour l'étude initiale, a été effectuée sur la base de l'indice de lisibilité (RI). Cet indice quantifie à quel point le concept de collaboration est difficile à comprendre et à savoir si les définitions proposées ont augmenté le niveau de compréhension ou non. En effet, « l'indice de lisibilité mesure la facilité, ou la difficulté, de lire un document sur la base du niveau scolaire nécessaire pour le comprendre » (Khamis et al. 2013). Au début du XXe siècle, les linguistes ont mené un certain nombre d'expériences lors desquelles il a été demandé aux gens de classer la lisibilité du texte. Un certain nombre de formules qui analysent la lisibilité du texte, ont ainsi été préposées. Par exemple, le « Fog Index » : développé par Robert Gunning indique le nombre d'années de scolarité requis par le lecteur pour comprendre un bloc de texte. Il est défini par (Khamis et al. 2013) comme : $Fog = 0.4 \times (ASL + HW)$ (où, ASL est la longueur moyenne des phrases en utilisant nombre de mots, et HW est le nombre de mots avec plus de deux syllabes).

L'indice de lisibilité est calculé pour le mot « Collaboration », l'ensemble des définitions lexicales de ce concept et l'ensemble des définitions non-lexicales proposées par les différentes références. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2- 2.

Tableau 2- 2, Indice de Lisibilité du concept de collaboration et ses définitions

Indice de lisibilité (RI)	Collaboration	Définitions lexicales*	Définitions non lexicales*
Gunning Fog	Hard	Hard	Hard
Coleman-Liau	60th Grade	17th Grade	21st Grade
Flesch-Kincaid	43rd Grade (38 years)	18th Grade (13 years)	23rd Grade (18 years)
Flesch Reading Ease	College Graduate	College Graduate	College Graduate
Automated Readability	40th Grade	20th Grade	28th Grade
LIX (Laesbarheds)	Very difficult	Very difficult	Very difficult
* voir l'annexe A			

³ Readability Index

Concernant les résultats présentés dans le Tableau 2- 2, il est observé que :

- i. L'indice de lisibilité des deux groupes de définitions est identique ou inférieur à celui du mot unique « collaboration ». A cet effet, il est toujours préférable d'appliquer ces définitions pour mieux comprendre le concept de collaboration. Cela peut sembler évident car un des premiers objectifs des définitions est d'augmenter la lisibilité du mot défini.
- ii. La lisibilité du deuxième groupe de définitions n'est pas meilleur que celle du premier groupe. Par conséquent, nous considérons que les définitions proposées dans la littérature ne permettent pas vraiment de faciliter la lisibilité du concept. Ce fait peut aboutir à se poser la question suivante : pourquoi proposer de nouvelles définitions au lieu d'utiliser des définitions lexicales déjà existantes qui sont plus lisibles ?

Compte tenu de la deuxième observation, une analyse plus approfondie des définitions de « collaboration » est réalisée afin d'identifier les liens entre ces définitions et les définitions lexicales. Les résultats sont présentés dans la section suivante.

C) Fouille de textes par le critère KH Coder

Les définitions non lexicales extraites de la littérature ont été analysées ensemble, comme un document textuel unique, à l'aide du logiciel de fouille de textes KH Coder (Higuchi 2012). Dans cette étude, certains paramètres de KH Coder ont été utilisés à savoir : la fréquence des mots et le réseau de concurrence de mots.

Les résultats de cette analyse de la fréquence des mots sont plus détaillés que l'outil en ligne appliqué précédemment. KH Coder classe les mots utilisés dans les définitions en différentes catégories : nom, adjectif, adverbe, verbe (comme le propose le Tableau 2- 3).

Tableau 2- 3, Principaux mots classés dans quatre catégories utilisés dans les définitions de collaboration

Noun*	Adj	Adv	Verb
goal	common	together	share
process	joint	jointly	work
participant	other	sharedly	achieve
knowledge	collective	actively	define
activity	collaborative	constructively	solve
work	own	cumulatively	collaborate
information	second	immediately	construct
result	affective	previously	create
problem	complementary	usually	integrate
resource	different	authentically	make
sharing	individual	cooperatively	allow
action	new	effectively	coordinate
communication	organizational	especially	interact
group	shared	hierarchically	involve
responsibility	synchronous	highly	produce
task	various	individually	require
product	certain	particularly	combine
relationship	cross-functional	qualitatively	communicate
understanding	diverse	relatively	cooperate
construction	functional	separately	develop

La concurrence de mots a également été calculée par le logiciel et illustre la façon dont les termes sont combinés pour définir le terme de collaboration. Cela a été fait en trois niveaux (5 premiers, 16 premiers et 52 premiers mots) afin d'illustrer l'évolution du réseau de mots comme illustré dans la Figure 2-4.

Dans la partie haute/gauche de cette figure, les cinq mots (« top 5 ») les plus fréquents forment le graphe complet du noyau des définitions. La figure illustre également comment les autres niveaux, le top 16 et le top 25, évoluent autour de ce noyau.

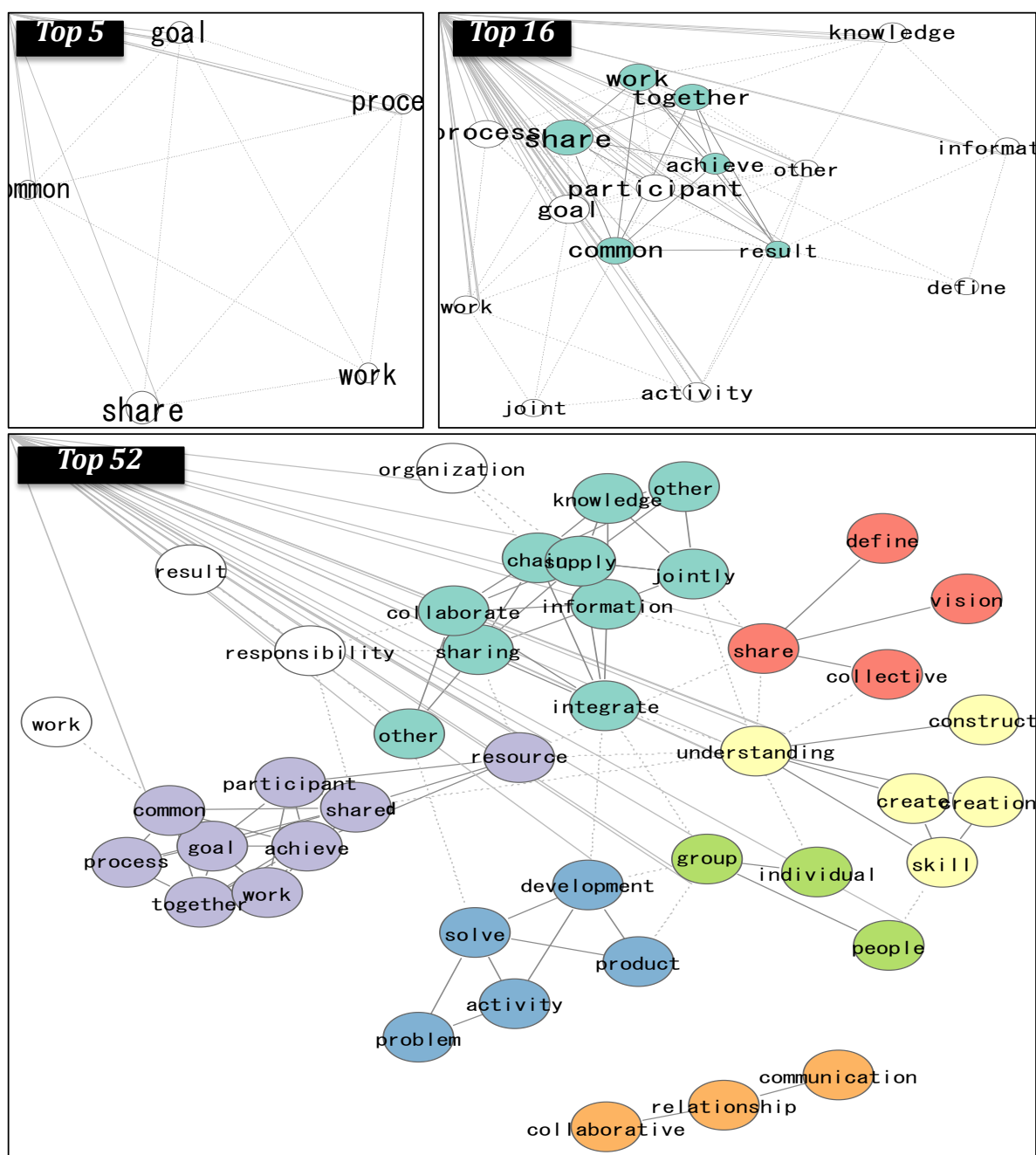


Figure 2- 4, Réseau de la concurrence des mots dans les définitions de collaboration, 3 jalons différents

Les 5 mots les plus fréquemment utilisés et le plus en relation dans les définitions sont : « work », « common », « goal », « share » et « process ». Parmi ces 5 mots, trois mots sont utilisés comme syntagme de deux mots dans les définitions lexicales de collaboration (voir Tableau 2-1) : « work together » et « common goal ». Par conséquent, il est considéré que :

- i. Il y a une corrélation entre les définitions lexicales et non lexicales, basée sur ces mots communs : « work », « common », « goal ».

- ii. Contrairement aux définitions lexicales, dans les définitions non lexicales plusieurs auteurs considèrent la collaboration comme un processus. En effet, dans les domaines scientifiques, l'aspect procédural du concept de la collaboration est important. En d'autres termes, la collaboration est un processus collaboratif.
- iii. Bien que dans le sens du mot « together » utilisé dans les définitions lexicales, l'existence des acteurs « actors » est cachée, ce mot apparaît plusieurs fois de différentes façons, dans les définitions non-lexicales, comme : « participant », « actor », « collaborator », « party ». Ceci révèle un autre accent des définitions non-lexicales; l'accent porté sur les « actors » de la collaboration.

D'après ces analyses textuelles, la collaboration est considérée comme étant un « processus » contenant les éléments clés suivants : « share », « work », « goal », « actor ». Ces concepts clés et leurs associations sont formalisés dans un modèle conceptuel préliminaire des processus collaboratifs illustré par la Figure 2- 5. Dans ce chapitre les modèles conceptuels sont basés sur le formalisme Ecore d'EMF (Eclipse Modeling Framework).

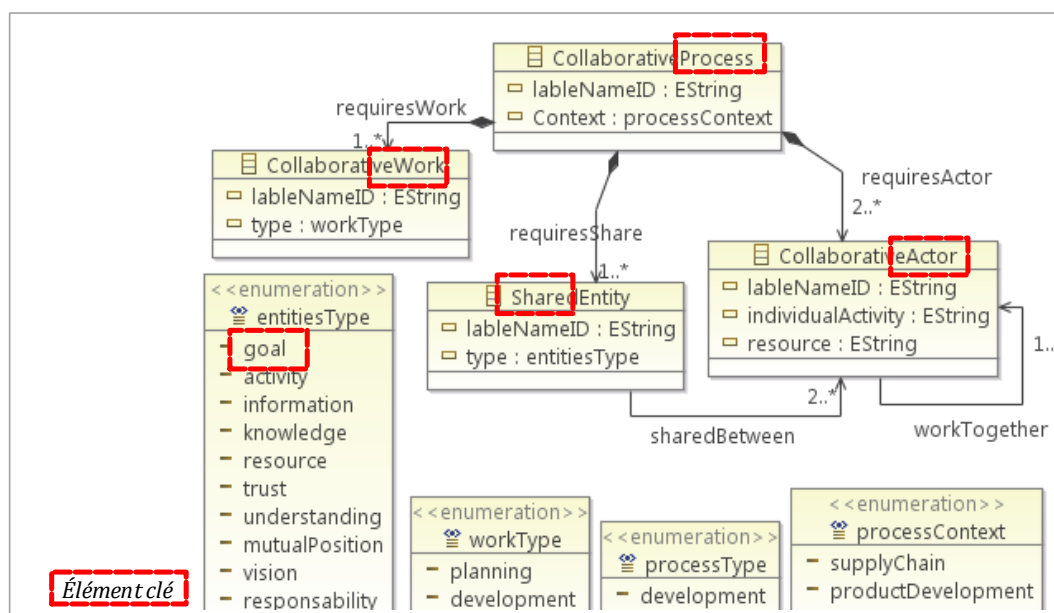


Figure 2- 5, Modèle conceptuel des processus collaboratif

Considérant les éléments clés du modèle (Figure 2- 5), il est observé que plusieurs mots sont appliqués autour de ces éléments dans les définitions de collaboration. En effet, cet usage des mots dans les définitions est un moyen de caractériser et de préciser les éléments clés. Par exemple l'élément « share » est précisé par ces mots : « knowledge », « information », « resource », « understanding », « responsibility » pour « share ». En effet, ces mots précisent la nature des entités partagées dans les collaborations. C'est la raison pour laquelle ces mots sont ajoutés au modèle conceptuel des processus collaboratifs comme attributs, ou les énumérations d'attributs du modèle précédent.

Après avoir réalisé l'analyse de l'ensemble des définitions, cette section se propose d'étudier individuellement chaque définition afin d'enrichir le modèle conceptuel préliminaire.

2.2.1.2. Analyse individuelle des définitions de « collaboration »

Comme précisé dans la section précédente, les définitions de la collaboration s'articulent autour de 5 concepts clés et de leurs attributs. Dans cette section, chaque définition est analysée individuellement sur la base de ces concepts. En effet, la manière dont chaque définition aborde directement ces concepts ou caractérise leurs attributs est étudiée. Le résumé de cette étude est présenté dans le Tableau 2- 4.

Tableau 2- 4, Statistiques sur les définitions de la collaboration considérant le model conceptuel de ce concept

	Concept clé de « Collaboration »									
	Process		SharedEntity		CollaborativeWork		commonGoal		collaborativeActor	
	D ₁	C ₁	D ₂	C ₂	D ₃	C ₃	D ₄	C ₄	D ₅	C ₅
Nombre des définitions citant ce concept	40	31	32	32	54	34	21	9	57	15
Importance relative du concept : $\frac{D_i}{\sum_1^5 D_i}$	0,2		0,16		0,26		0,1		0,28	
Pourcentage de caractérisation : $\frac{C_i}{D_i}$	70		100		63		42		25	
Pourcentage moyen de caractérisation	60									
D : concept cité directement, C : concept caractérisé										

Selon les analyses individuelles des définitions, il est observé que :

- L'importance relative des concepts dans les définitions est dans l'ordre du plus important au moins important : Collaborative Actor, Collaborative Work, Process, Shared Entity et Common Goal. Cela souligne un accent particulier mis sur le concept acteur, qui n'est pas visible dans le noyau illustré par la Figure 2- 4.
- Le pourcentage moyen de caractérisation indique que plus de la moitié du temps ces concepts sont caractérisés dans les définitions.
- Concernant le pourcentage de caractérisation (pour chaque concept), le concept « share » est toujours caractérisé. Ceci montre les efforts des auteurs pour préciser ce concept.
- Selon l'une des hypothèses de travail de ces travaux de recherche, qui aborde la collaboration via l'échange d'information, la question qui se pose ici est : si « share » indique échange direct d'information ou non. Il est observé que dans les définitions « share » est parfois caractérisé comme « shared information » mais rien n'implique que ces informations sont échangées directement entre les acteurs. Malgré ce fait, un autre mot attire notre attention qui peut appuyer notre hypothèse : le mot communication. Ce dernier est utilisé dans environ 10 % des définitions mais il ne caractérise pas des concepts clés. La communication est donc étudiée plus en détail afin de clarifier son rôle dans les définitions.

2.2.1.3. Communication dans la collaboration

Dans cette section, le concept de « Communication » est étudié sur la base de plusieurs définitions, en dehors du contexte des définitions retenues, afin de répondre à ces questions :

- La communication comprend-elle l'échange d'informations ?
- Est-elle un concept facultatif ou clé de la collaboration ?

Selon Hatem et al. (Hatem et al. 2012), « les processus de communication peuvent être définis comme étant le transfert de l'information d'une entité à une autre ». En effet, cette définition indique que l'échange d'informations est réalisé via la communication qui est une réponse positive à la première question mentionnée ci-dessus.

La communication peut être divisée en deux catégories principales, verbale et non-verbale (Gagnon & Roberge 2012). Chellali propose des exemples d'information qui peuvent être transmises par la communication : des pensées, des idées ou encore des sentiments (Chellali 2009).

Concernant la seconde question, des déclarations paradoxales sont proposées par plusieurs auteurs. En effet, certains d'entre eux soulignent la nécessité de la communication dans les collaborations, spécialement pour une collaboration fructueuse, alors que certains pensent que la communication n'est pas obligatoire pour établir des collaborations.

Les citations suivantes sont des exemples soutenant l'obligation de communication dans la collaboration :

- Selon (Levan 2009), la « Communication » est un processus de base de la collaboration. En effet, il considère que les interactions entre les acteurs ne peuvent pas avoir lieu sans communication.
- (Peña-Mora et al. 1996) considèrent que « la collaboration en ingénierie implique un certain nombre de participants, leur capacité à communiquer ainsi qu'un plan de travail partagé ».
- La communication ouverte est qualifiée de fondamentale (Saur & Ford 1995) et la communication cohérente est exigée dans la collaboration selon (Anderson & Metcalfe 2008).

D'autre part, certains auteurs ont des opinions différentes sur le rôle de la communication en collaboration :

- Kahn (Kahn 1996), sur la base des études de Lorsch et Lawrence (Paul R. Lawrence 1967) (Lorsch 1965), considère que l'intégration, qui est un processus collaboratif, n'implique pas spécifiquement la communication.
- Schrage (Schrage 1990) affirme que la communication continue, mais pas continuelle, est l'un des modèles d'interaction qui conduisent à des résultats « collaboratifs » réussis.

Dans cette étude, il est confirmé que les collaborations ne comprennent pas toujours une communication ou des échanges d'information. Cela se produit lorsque les acteurs partagent un objectif commun et qu'ils travaillent ensemble de manière complémentaire, ou en parallèle, mais sans avoir d'échanges directs. En effet, deux types de collaboration peuvent exister :

- Collaboration via la communication : dans ce type de collaboration des acteurs sont directement liés via les informations communiquées, échangées. En d'autres termes, l'information produite par un acteur est communiquée aux autres membres de la collaboration.
- Collaboration sans communication : dans ce type de collaboration les acteurs sont indirectement liés par des objectifs partagés. En d'autres termes, les informations abouties des acteurs ne sont pas communiquées à un autre acteur, mais communiquées à un tiers extérieur au périmètre de la collaboration.

Dans ces travaux de recherche, l'accent est mis sur les échanges d'information. Par conséquent, seul le premier type de collaboration (où la communication est considérée comme un élément clé) est traité. La « Communication » est donc ajoutée au modèle conceptuel de collaboration en tant que concept possédant une association avec cardinalité multiple obligatoire (1..*)⁴ avec le concept de « CollaborativeProcess» (voir la Figure 2- 6).

Il est également considéré que la communication nécessite des activités qui produisent et consomment l'information. En effet, le contenu d'une communication, l'information échangée, est produit ou consommé par ces activités.

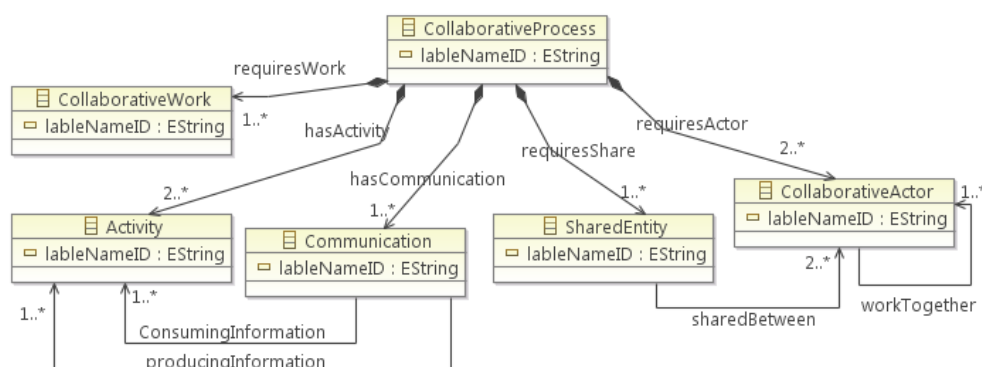


Figure 2- 6, Modèle conceptuel des processus collaboratif incluant la communication

2.2.2. Adaptation au cadre de la conception

Dans les sections précédentes le concept de collaboration est analysé sur la base des définitions de la littérature : ses éléments clés sont alors regroupés dans un modèle conceptuel des processus collaboratifs, sont réalisées sans mettre l'accent sur un domaine d'application particulier.

Dans cette section, l'adaptation de ce modèle au cadre de la conception est étudiée. A cette fin, la conception collaborative est étudiée car bien évidemment dans ce type de conception la collaboration joue un rôle majeur. Il est observé que les définitions de la conception collaborative mentionnent les concepts clés compris dans le modèle conceptuel proposé (voir la Figure 2- 6) :

- Les concepts « CollaborativeWork », « process » et « Communication » sont mentionnés par Lahti et al. : « la conception collaborative est un processus de communication et le travail collectif de manière active afin d'établir conjointement des objectifs de conception, de recherche à travers des espaces de problèmes de conception, de déterminer les contraintes de conception, et la construction d'une solution de conception » (Lahti et al. 2004).
- Les concepts « collaborativeActor », « sharedEntity » et « commonGoal » sont également mises en évidence par Kleinsmann : « acteurs issus de différentes disciplines partagent leurs connaissances à la fois sur le processus de conception et le contenu de conception ... à atteindre l'objectif commun plus large : le nouveau produit à être conçu » (Kleinsmann 2006).

⁴ Pourtant, afin de préserver le caractère facultatif de la classe de « communication » dans l'autre type de collaboration, sans communication, la cardinalité de « communication » dans son association avec la classe « collaboration » est « 0..*n » dans le modèle conceptuel générique des processus collaboratifs.

En outre, selon (Cassier 2010) la définition suivante de collaboration est acceptée dans le domaine de la conception collaborative : « collaborer, c'est travailler à une œuvre commune avec un but général partagé mais avec des buts locaux individuels ». Le modèle conceptuel de processus collaboratifs (Figure 2- 6) semble donc adapté au contexte de conception collaborative.

Considérant cette adaptation, les attributs du modèle sont donc complétés pour le cadre de la conception collaborative. Ces modifications sont faites en se basant sur les références du domaine (Lahti et al. 2004) (Girard & Robin 2006)(Garcia-Camargo 2006) (Grebici 2007) (Aubry 2007) (Seguy 2008)(Chettaoui 2008) (Cheriti 2011) (Ringard 2011) (Germani et al. 2012), et plus principalement sur celles de (Charles 2005), (Scaravetti 2004) et (Howard et al. 2008) qui étudient les modèles du processus de conception collaboratif.

Les modifications sur le modèle conceptuel de processus collaboratifs aboutissent à un modèle adapté au cadre de la conception collaborative (Figure 2- 7).

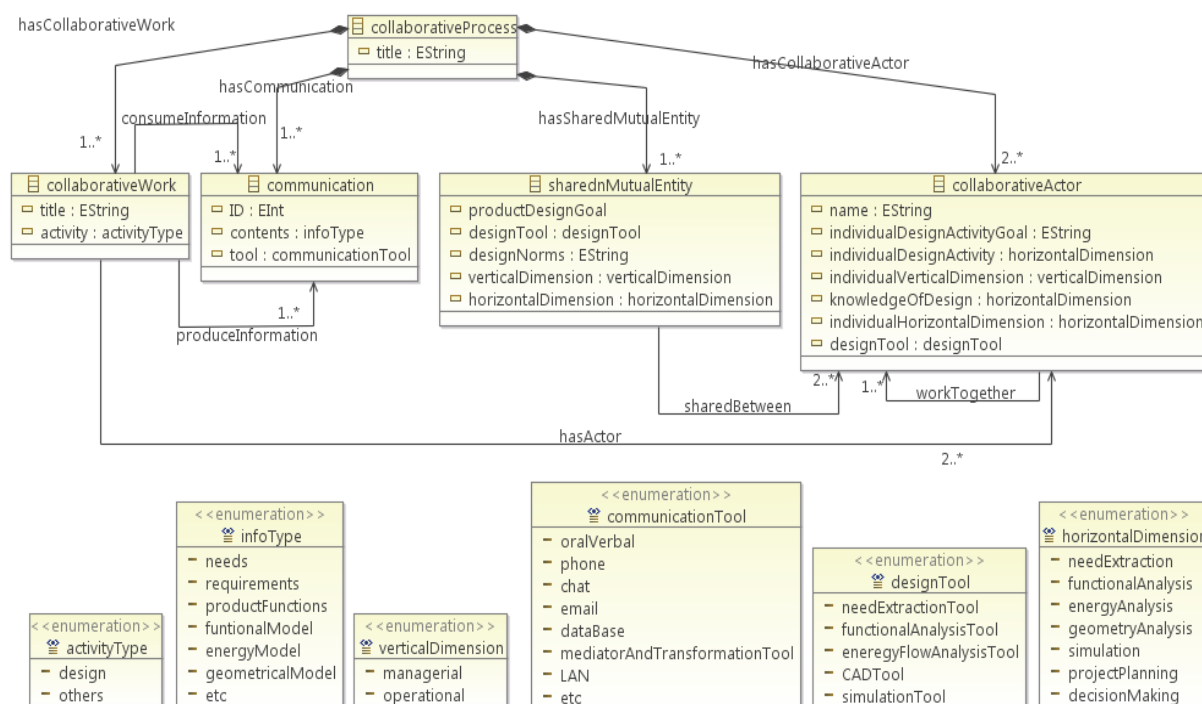


Figure 2- 7, Modèle conceptuel de processus collaboratifs adapté au cadre de la conception de produit

Dans ces travaux de recherche, la définition de l'objet en cours d'évaluation dans la mesure de la performance, est prévue via ce modèle conceptuel extrait de l'état de l'art. Considérant cet objet, un processus de collaboration dans le cadre de la conception, dans les sections suivantes, l'évaluation de la performance d'un tel objet et le critère adapté à une telle évaluation sont étudiés.

2.3. Critère d'évaluation de la performance des collaborations

La deuxième section de l'état de l'art est dédiée à l'identification des éléments interconnectés suivants (voir la Figure 2- 2, Ordre logique de définition des éléments de mesure de la performance) répondant à une autre sous partie de la problématique :

- Le(s) **critère(s)** de la performance reflétant la performance des collaborations,
- L'**indicateur(s)** adaptée(s) pour chacun des critères identifiés,
- Les **variables de mesure** comme étant des éléments qui définissent la valeur de l'indicateur de la performance.

Concernant le critère qui englobe les autres éléments, il est observé que dans la littérature l'évaluation de la performance est effectuée principalement basée sur ces aspects: la qualité, le temps et le coût (Bosch Mauchand 2007)(Shah 2012). Plus récemment, d'autres aspects tels que la robustesse et la flexibilité sont pris en considération dans une telle évaluation. Dans ces travaux, l'accent est mis sur la qualité des collaborations. En effet, dans l'évaluation de la performance des collaborations, c'est la qualité des collaborations qui est étudiée. Par conséquent, un critère est nécessaire pour représenter cette qualité.

2.3.1. Classification des collaborations et leurs critères

Plusieurs classifications des collaborations ont été étudiées afin d'identifier les critères ou les indicateurs utilisés par ces classifications. En effet, un critère évaluant la capacité des acteurs à collaborer ainsi que la performance de ces collaborations est recherché. Ces études ont abouti à une synthèse des classifications de collaboration (voir l'annexe B). Compte tenu de cette synthèse, il est observé que :

- i. La majeure partie des classifications proposent seulement différents types de contextes de collaboration (voir Figure 2- 6). Par exemple, (Husted & Michailova 2010) classent une collaboration comme : infantile, répétée, mature sur la base de l'historique de la collaboration (le niveau de maturité de la collaboration). Comme il est évident dans cet exemple, ce critère ne précise pas la capacité des acteurs à travailler ensemble. Ce type de classification n'est donc pas adapté à la mesure de leur performance.
- ii. Certaines classifications étudiées sont basées sur les résultats ou le niveau de réalisation des objectifs de la collaboration. Ces classifications visent les résultats attendus de la collaboration et non pas sur la capacité des acteurs à collaborer. Dans ces classifications, les collaborations sont considérées comme étant réussites (significatives, fortes) ou échec (non-significatives, faibles) (Hämäläinen & Vähäsantanen 2011), (Hatem et al. 2012), (Schrage 1990), (Li et al. 2007).
- iii. Une troisième catégorie des classifications propose un ou plusieurs critères adaptés partiellement à notre définition de la performance d'une collaboration. Par exemple, Girard classe une collaboration comme : libre, encouragée ou forcée. Cette classification est basée sur ce critère : « la liberté des acteurs à collaborer » (Girard & Robin 2006). Nous considérons que ces classifications sont basées sur une partie des difficultés rencontrées par les acteurs. En effet, dans la référence précédente, seulement les difficultés organisationnelles (autorisations et les motivations) sont soulignées alors que les difficultés techniques telles que la disponibilité des outils de communication doivent également être

prises en compte. En d'autres termes, même si les acteurs sont libres ou encouragés à collaborer par l'organisation, si les outils de communication ne sont pas disponibles, les acteurs peuvent pas collaborer de façon optimale en échangeant des données numériques.

- iv. Il est constaté que les classifications et les approches d'évaluation basées sur un critère appelé « interopérabilité » sont également adaptées à la définition de la performance de la collaboration. En effet, l'interopérabilité a pour objectif la résolution des difficultés des collaborations et des communications entre deux ou plusieurs systèmes. L'interopérabilité est définie comme : « Ability of two or more systems to communicate, cooperate and exchange data and services, despite differences in languages, implementations and execution environments or models of abstraction » (Wegner 1996). Dans un processus collaboratif, la réalisation de l'interopérabilité peut donc améliorer la performance des collaborations en diminuant leurs difficultés.

En plus de celle proposée par Wegner, il existe de nombreux travaux proposant des définitions de l'interopérabilité telles que :

- « Aptitude à s'immerger au sein d'une entité plus vaste et à en devenir un composant actif susceptible de participer au comportement (la circulation des données, la gestion des applications et l'exécution des processus) de l'abstraction dans laquelle il s'est fondu. » (Touzi 2007).
- « Accomplished only if the interaction between the involved systems covers the data, resources and business processes using the semantics defined in the business context » (Tsagkani 2005).
- « L'interopérabilité est le moyen par lequel les systèmes, les informations et les méthodes de travail sont interconnectés : à l'intérieur des administrations ou entre ces dernières, au niveau national ou à travers toute l'Europe, ou avec les entreprises » (EU 2003).
- « Ability to communicate with remote systems to access and appeal to their functionality » (Vernadat 1996)
- « The ability of two or more systems and components to exchange and reuse the information » (IEEE 1990).
- IEC TC65/290/DC considère le concept d'interopérabilité comme un degré de compatibilité de systèmes et plus particulièrement de systèmes d'informations.

Dans les études réalisées par IDEAS, le besoin d'interopérabilité n'est pas seulement visible entre les systèmes d'information. Ce besoin est également observé entre les différents acteurs (d'un processus) qui communiquent en utilisant les systèmes d'information ou via les autres moyens de communication. Par exemple, peu importe le moyen de communication, selon (Kajtazi et al. 2011) l'interopérabilité est nécessaire pour résoudre le problème du manque d'information qui entraîne des échecs dans les tâches individuelles des acteurs.

Considérant les définitions et l'objectif de l'interopérabilité, il est constaté que ce concept, comparativement aux autres critères des classifications de collaboration, peut couvrir un plus grand groupe de capacités requises pour les systèmes/acteurs à collaborer. Dans ces travaux de recherche, ce concept est considéré comme étant le critère d'évaluation de la performance des collaborations. En d'autres termes, nous considérons que, plus les systèmes/acteurs sont interopérables, plus leurs collaborations sont performantes (voir la Figure 2- 8).

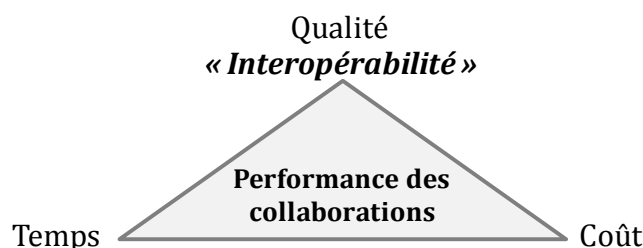


Figure 2- 8, Interopérabilité comme le critère de performance des collaboration étudié dans ces travaux

Dans la section suivante, ce concept est étudié plus en détail afin de vérifier la pertinence de ce choix pour l'évaluation de la performance des collaborations. En outre, bien que la portée générale du concept d'interopérabilité puisse englober plusieurs types de capacités requises en collaboration, cette généralité pourrait également diminuer la précision de l'évaluation. En effet, il est considéré que l'interopérabilité doit être bien appréhendée afin de trouver ses indicateurs de mesure. A cette fin, l'interopérabilité entre les systèmes a été étudiée dans plusieurs références et cela a été une source d'inspiration pour les propositions de ces travaux.

2.3.2. Caractère multidimensionnel de l'interopérabilité

Selon (Lemrabet 2012), un nombre considérable de travaux ont été réalisés sur le besoin d'interopérabilité à l'intérieur et l'extérieur des organisations. Une étude statistique sur ce concept indique que le terme « interopérabilité » est utilisé dans les publications scientifiques depuis près de 50 ans. Considérant les publications référencées par (Scopus, 2013), « l'interopérabilité » a été utilisé comme mot-clé dans plusieurs publications entre 1981 et 2012 (Figure 2- 9).

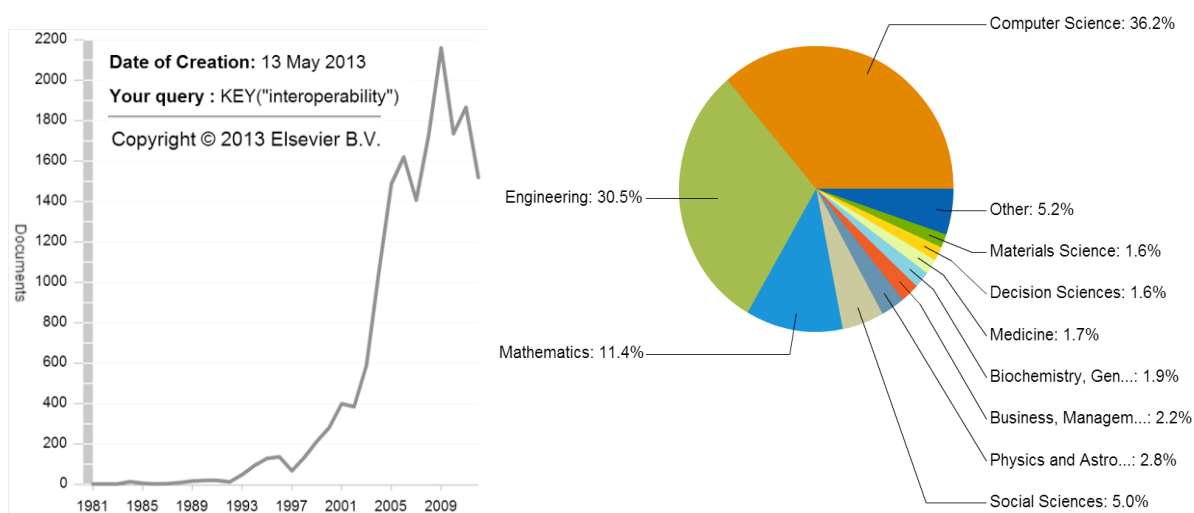


Figure 2- 9, Étude statistique sur l'utilisation de « l'Interopérabilité » comme un mot-clé (Scopus Elsevier 2013)

Parallèlement aux publications scientifiques parues ces vingt dernières années, plusieurs projets de l'Union Européenne liés à l'interopérabilité ont été lancés (Figure 2- 10).

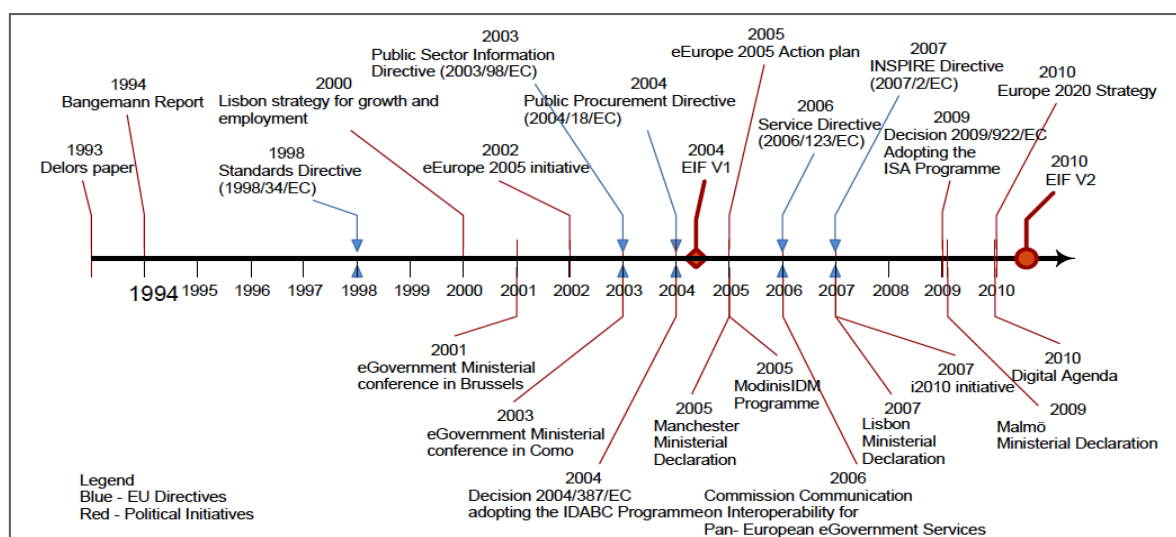


Figure 2- 10, Chronologie des initiatives de l'UE relatives à l'interopérabilité (EIF2 2011)

Cette étude statistique indique que l'interopérabilité est un concept qui est abordé par plusieurs domaines scientifiques. Cela peut créer des problèmes de compréhension de ce concept, pour l'identification des verrous et finalement pour la recherche des indicateurs appropriés. Par conséquent, afin de préciser ce concept le cadre de Chen est adopté dans un premiers temps. Ce cadre, permet également de mieux structurer l'étude de l'interopérabilité et de bien déterminer un indicateur de mesure de ce concept.

Chen (Chen & Daclin 2006) structure l'interopérabilité en trois dimensions. Ces dimensions sont : les barrières, les préoccupations et les approches d'interopérabilité (Figure 2- 10) :

- **Barrières de l'interopérabilité:** une barrière est « an incompatibility or mismatch which obstructs the sharing and exchanging of information » (Chen & Daclin 2006). En effet, afin de réaliser chaque niveau d'interopérabilité certaines barrières doivent être levées. Ces barrières sont également appelées couches ou niveaux d'interopérabilité (EIF2 2011).
- **Préoccupations de l'interopérabilité:** « Interoperations can take place from the various concerns (or viewpoints) of the enterprise (based on the ATHENA Technical framework (ATHENA 2003)) » (Chen & Daclin 2006). En effet, les préoccupations d'interopérabilité sont les contenus partagés ou le niveau d'interaction entre les acteurs.
- **Approches d'interopérabilité:** Selon le cadre de Chen (Chen & Daclin 2006), « Establishing interoperability requires relating entities together in some way. According to ISO 14258 (Concepts and rules for enterprise models), there are three basic ways to relate entities together : integrated, unified, and federated. ». Cette dimension porte sur les approches qui peuvent être retenues afin de réaliser l'interopérabilité.

Par la suite, plusieurs travaux sur l'interopérabilité sont présentés et ramenés aux dimensions du cadre de Chen. Une partie de cette étude est basée sur les travaux de synthèse proposés par (Panetto 2007) et par (Peristeras & Tarabanis, 2006).

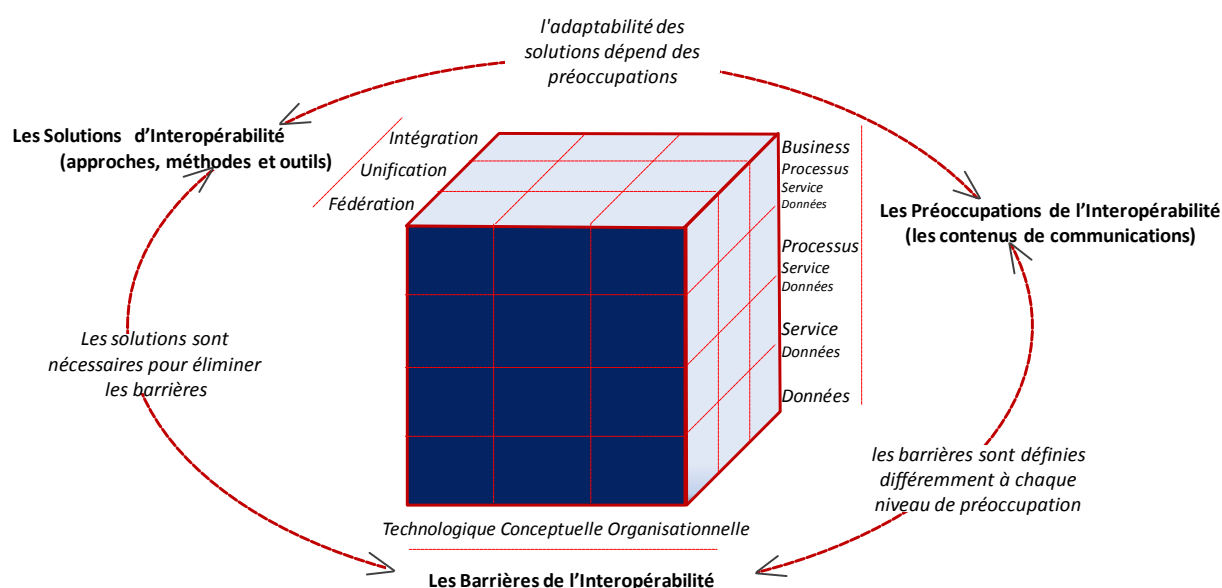


Figure 2- 11, Cadre d'interopérabilité adapté de (Chen & Daclin 2006))

2.3.2.1. Barrières de l'Interopérabilité

Cette dimension aborde les barrières à surmonter pour réaliser l'interopérabilité. Chen définit trois niveaux de barrières : conceptuel, technologique et organisationnel (Chen & Daclin 2006). Le Cadre Européen d'Interopérabilité (EIF) classe également l'interopérabilité en trois niveaux : sémantique, technique et organisationnel (EIF2 2011)⁵ :

- **Niveau Technologique/Technique** : les barrières technologiques correspondent à l'incompatibilité des technologies de l'information (comme par exemple : architecture, plate-forme, infrastructure). Ces problèmes concernent les protocoles utilisés pour présenter, stocker, échanger et traiter les données à travers l'utilisation des systèmes informatiques (Chen & Daclin 2006). Le niveau technique nécessite la compatibilité des formats de fichiers et des outils de génération de données pour la présentation, le stockage, l'échange, le traitement et la communication des données. Cela signifie que dans une collaboration, les entités partagées/échangées doivent être accessibles et exécutables en utilisant les outils et les applications informatiques (EIF2 2011).
- **Niveau Conceptuel/Sémantique** : ces niveaux correspondent aux différences syntaxiques et sémantiques entre les entités échangées. Ces différences concernent respectivement le codage d'information, la modélisation et le niveau d'abstraction de cette dernière (Chen & Daclin 2006). Selon EIF2 (EIF2 2011), le niveau sémantique nécessite la compatibilité entre les informations communiquées ou partagées entre les acteurs. Cela signifie que dans une collaboration, les informations doivent être : compréhensibles, univoques, et adaptées aux besoins de chaque acteur.
- **Niveau Organisationnel** : les barrières organisationnelles correspondent à la définition de la responsabilité (qui est responsable de quoi?) et de la gestion des autorisations (qui est autorisé à faire quoi?), ainsi que compatibilité des structures d'organisation (compatibilité hiérarchique) (Chen & Daclin 2006). Cela indique que dans une collaboration, les acteurs doivent avoir l'autorisation de communiquer ou de partager les entités telles que les données et les informations (EIF2 2011)

⁵ EIF2 étend ces niveaux en ajoutant la dimension politique et juridique (EIF2 2011).

A) Les barrières de l'interopérabilité selon la linguistique

Compte tenu de son aspect sémantique, l'interopérabilité peut être abordée à la fois par l'informatique et les sciences sociales. En effet, plusieurs références de la littérature sont positionnées dans ces domaines scientifiques. Traditionnellement l'informatique a été la première à se pencher sur ce concept d'interopérabilité, alors que dans les sciences sociales la majorité des études sur l'interopérabilité a été publiée dans les cinq dernières années. Cela indique que l'interopérabilité devient également un enjeu sociotechnique. Dans la section suivante, il est expliqué comment l'interopérabilité est liée à l'un des principaux domaines des sciences sociales : la linguistique.

« La linguistique est l'étude de la langue et celle-ci couvre un large éventail de phénomènes : les sons (phonétique et la phonologie), la formation des mots et des terminaisons de mots (morphologie), les combinaisons de mots (syntaxe), le sens (sémantique) et l'utilisation de la langue (pragmatique) » (Peristeras & Tarabanis 2006). D'après un point de vue du langage/action, un cadre d'interopérabilité, le C⁴IF, a été développé en utilisant ces concepts (Peristeras & Tarabanis 2006). C⁴IF ⁶ définit quatre types d'interopérabilité et il étudie ces niveaux à partir de deux points de vue : informatique et linguistique (voir Tableau 2- 5).

Tableau 2- 5, Interopérabilité vue de l'informatique et de la linguistique

Barrières d'interopérabilité en informatique		Concept en linguistique	
Connexion	la capacité des systèmes à échanger des signaux.	Phonétique	l'étude des sons différents qui sont utilisés dans toutes les langues humaines.
		Phonologie	l'étude des modèles de sons de base d'une langue.
Communication	la capacité des systèmes d'échanger des données	Morphologie	l'étude de la structure interne des mots.
		Syntaxe	l'étude de la façon dont les mots se combinent pour former des phrases grammaticales.
Consolidation	la capacité des systèmes à comprendre les données	Sémantique	l'étude de la signification des mots (sémantique lexicale), et comment ceux-ci se combinent pour former le sens des phrases.
Collaboration	la capacité des systèmes d'agir ensemble.	Pragmatique	l'étude de la façon dont les énoncés sont utilisés (littéralement, métaphoriquement, ou autre) dans des actes de communication.

La comparaison ci-dessus, en particulier les descriptions fournies par la linguistique, peut augmenter l'intelligibilité des différents niveaux d'interopérabilité. Il permet également d'avoir une meilleure compréhension du positionnement de cette thèse.

Compte tenu de cette première dimension de l'interopérabilité, une synthèse des classifications proposées est présentée dans le Tableau 2- 6.

Ces travaux de recherche sont focalisés sur les barrières conceptuelles et technologiques en mettant un accent particulier sur les liens entre ces deux niveaux. La raison de ce positionnement est la suivante : même si historiquement l'interopérabilité est considérée comme uniquement une capacité technique entre deux systèmes, il est constaté que l'absence d'une telle capacité est source d'ambiguïtés sémantiques dans les collaborations. En outre, ces ambiguïtés dans les domaines de la conception et de la production sont considérées comme une source importante des problèmes d'interopérabilité (Paviot 2010).

⁶ Connection, Communication, Consolidation, Collaboration Interoperability Framework

Tableau 2- 6, Synthèse des classifications des barrières d'interopérabilité

Dimension I : Les Barrières d'Interopérabilité			
Chen	Technologique	Conceptuelle	Organisationnelle
EIF	[Technical]	[Semantic]	[Organizational]
EIF2	[Technical]	[Semantic]	[Organizational][Legal][Political]
Tolk and Brutzman	[Technical]	[Syntactic] [Semantic] [Pragmatic] [Conceptual]	
MITRE 1	[Syntax] [Structure]	[Semantics]	
C4IF	[Connection] [Communication]	[Consolidation] [Collaboration]	
epSOS	[Technical]	[Semantic]	
Peristeras and Tarabanis	[Phonetics][Phonology][Morphology][Syntax]	[Semantics][Pragmatics]	

B) Barrières Technologiques par rapport Barrières Conceptuelles

Euzenat (Euzenat 2001) classifie les barrières d'interopérabilité en cinq niveaux et considère que la réalisation de chaque niveau nécessite la réalisation du niveau précédent. Il distingue également l'interopérabilité sémantique de l'interopérabilité conceptuelle dont il estime une relation de composition :

- **Encodage** : ce niveau implique la capacité de segmentation d'une entité en caractères.
- **Lexical** : ce niveau implique la capacité de segmentation d'une entité en mots (symboles).
- **Syntaxique** : ce niveau implique la capacité de structuration d'une entité sous forme de phrases structurées (ou de formules).
- **Sémantique** : ce niveau implique la capacité de construction du sens d'une entité.
- **Sémiotique** : ce niveau implique la capacité de construction du sens pragmatique d'une entité (ou de son sens dans un contexte particulier).

La synthèse des classifications des barrières d'interopérabilité indique que le niveau syntaxique peut être également pris en compte dans l'interopérabilité technologique. C'est la raison pour laquelle ce niveau est considéré comme un pont entre les barrières conceptuelles et technologiques (voir la Figure 2- 12).

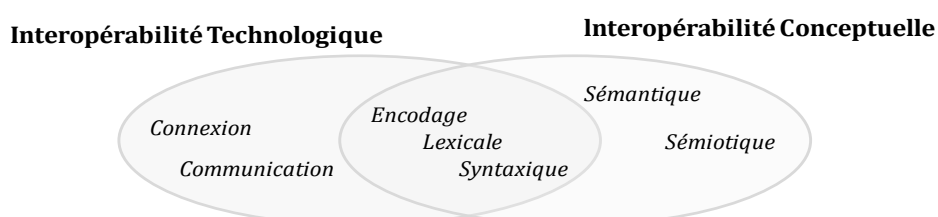


Figure 2- 12, Interopérabilité Technologique vs l'interopérabilité Conceptuelle

2.3.2.2. Préoccupations de l'Interopérabilité

Dans l'étude du concept de collaboration (présenté dans la section 2.1) il est indiqué que dans les collaborations, les acteurs échangent ou partagent différentes entités telles que des données ou des informations à l'aide de différents outils de communication. Par exemple, un échange ou partage peut inclure un transfert manuel d'un document d'un acteur à un autre ou il pourrait impliquer le partage d'un service via une application. Selon Chen la deuxième dimension de l'interopérabilité, les préoccupations de l'interopérabilité, considère les entités échangées entre les acteurs.

Une synthèse des classifications des préoccupations de l'interopérabilité est présentée dans le Tableau 2- 7. Dans ce tableau, les classifications des préoccupations sont fondées sur les contenus des entités échangées ou sur le niveau d'interaction. Quatre niveaux sont identifiés par Chen : données, services, processus et business. « In an enterprise, data is used by services (or functions to provide a service). Services (functions/activities) are employed by processes to realize business of the enterprise » (Chen & Daclin 2006).

Comme présenté dans le Tableau 2- 7, en parallèle à la classification proposée par Chen, Obrst (MITRE) classe les entités échangées en 6 niveaux (Obrst 2004) : Donnée/Information, Composante, Application, Service, Entreprise, Communauté. Concernant un modèle pour l'interopérabilité des systèmes d'information (Levels of Information Systems Interoperability, LISI) proposé par (C4ISR 1998), les préoccupations de l'interopérabilité sont classées en quatre catégories : procédure, application, infrastructure et donnée (PAID) :

- Procédure : ce niveau comprend les pratiques, les architectures et les normes pour l'échange d'informations
- Application : ce niveau comprend les logiciels pour l'échange, le traitement et la manipulation de l'information
- Infrastructure (ou les architectures) : ce niveau représente l'environnement technique (matériel, réseau, système) qui permet les interactions entre les applications
- Donnée : ce niveau représente les formats et les protocoles d'échanges d'informations à travers une sémantique commune.

Concernant la deuxième dimension du cadre de Chen, les préoccupations d'interopérabilité, ces travaux se focalisent sur le niveau données/information. En effet, dans ces travaux, il est considéré que les collaborations entre les concepteurs sont réalisées par les échanges des fichiers de données numériques.

Le niveau de données/informations est énoncé dans plusieurs références car tous les échanges comprennent inévitablement des échanges de données. Par exemple, dans le cas du partage d'un service, les données décrivant son fonctionnement sont également échangées. L'OTAN (NATO 2003) propose quatre degrés pour les données et les informations échangées :

- Degré 1 : échange de données non structurées et interprétables par l'Homme telles qu'un texte libre trouvé dans les résultats analytiques et documents textuels.
- Degré 2 : échange de données structurées et interprétables par l'Homme, destiné au traitement qui nécessite la réception et l'envoi de message et une compilation manuelle.
- Degré 3 : partage transparent de données qui implique le partage automatique des données entre les systèmes basés sur un modèle d'échange commun.
- Degré 4 : partage transparent d'information, une extension du degré 3, pour l'interprétation universelle de l'information via le traitement de données basé sur les applications collaboratives.

Tableau 2- 7, Synthèse des classifications des préoccupations d'interopérabilité (Dimension II)

Dimension II : Les Préoccupations d'Interopérabilité					
Chen (from ATHENA)	Type*	Données/Informations	Service	Processus	Business/Entreprise
NATO (NC3TA)	<i>C/I</i>	<i>[No Data Exchange] [Unstructured Data] [Structured Data] [Seamless Data Sharing] [Seamless Information Sharing]</i>			
Tolk, LCIF	<i>C</i>	<i>[System specific data] [Aligned Static data] [Aligned dynamic data]</i>	<i>[Harmonized Data and process]</i>		
Klischewski	<i>C</i>	<i>[Information]</i>		<i>[Process]</i>	
C4ISR, LISI	<i>C/I</i>	<i>[Isolated (Manual Data exchange)] [Connected(homogeneous data exchange)] [Distributed(Minimal common functions)] [Domain(common business rules/processes)]</i>			<i>[Enterprise (wide shared systems)]</i>
C4ISR, LISI	<i>I</i>	<i>[Données]</i>	<i>[Applications]</i>	<i>[Infrastructures] [Procédures]</i>	
Obrst, MITRE	<i>C</i>	<i>[Data] [Object]</i>	<i>[Application]</i>	<i>[System]</i>	<i>[Enterprise] [Community]</i>
Clark and Jones	<i>C</i>				<i>[Unified] [Integrated] [Collaborative] [Ad hoc] [Independent]</i>
IDEAS		<i>[Data] [Knowledge]</i>	<i>[Application]</i>		<i>[Business]</i>
epSOS	<i>C/I</i>	<i>[Data elements] [Terminology] [Structure] [Transformation] [meta-data]</i>	<i>[Message] [Transactions]</i>		
NIF™	<i>C/I</i>	<i>[Data] [Object] [Model] [Semantic] [Information] [Knowledge] [Awareness]</i>	<i>[Procedures] [operations]</i>	<i>[Strategy/Doctorines]</i>	<i>[Political] [Business Objectives]</i>
Type* : C: Contenu échangé/partagé, I: Niveau d'interaction					

2.3.2.3. Approches d'Interopérabilité

Dans le cadre de Chen, trois approches sont définies basées sur la norme ISO14258 (relative à la modélisation des entreprises) (Chen & Daclin 2006). Cette norme précise que l'interopérabilité entre deux (ou plusieurs) systèmes d'information d'entreprise peut-être abordée de trois manières (Paviot 2010) :

- L'intégration, nécessite un accord sur un modèle commun (de données) utilisé par les systèmes qui élaborent et échangent les données au sein de l'entreprise. En effet, l'objectif de l'intégration est la fusion des modèles de données comme un modèle unique. Dans le cadre de la conception, le logiciel CATIA est un exemple d'un environnement basé sur l'intégration.
- L'unification nécessite une structure commune au niveau méta pour les données échangées entre les acteurs. En effet, ces échanges de données sont basés sur un méta-modèle commun et central et les correspondances sémantiques entre ce dernier et les modèles locaux.
- La fédération implique qu'aucun format/modèle de données n'est imposé aux acteurs. Cette approche est basée sur les correspondances sémantiques entre les données échangées ; ces correspondances sont détectées d'une manière individuelle et dynamique pour chaque échange de données.

Selon C4ISR (C4ISR 1998), sur la base de la nature et caractéristiques de l'environnement nécessitant l'interopérabilité, l'approche pertinente pour réaliser l'interopérabilité peut varier. Le Modèle d'interopérabilité LISI (C4ISR 1998) classe les environnements nécessitant l'interopérabilité en cinq niveaux (voir le Tableau 2- 8) : isolé, connecté, fonctionnel, basée sur le domaine et basée sur l'entreprise. Dans cette classification, selon les caractéristiques de chaque niveau, les dispositions nécessaires pour réaliser l'interopérabilité dans chaque environnement sont également proposées.

Il est constaté que en passant du niveau « isolé » au niveau « basée sur l'entreprise », les dispositions sont de plus en plus proches de l'approche de l'intégration qui nécessite des installations technologiques plus élevés que les autres approches.

La troisième dimension de cadre du Chen, les approches d'interopérabilité, est liée à cette recherche d'une façon différente des autres dimensions. Ces approches apportent les solutions aux collaborations afin d'améliorer ou de modifier leurs niveau d'interopérabilité. Tant que dans ces travaux nous avons l'intention d'évaluer la performance basée sur l'interopérabilité, les solutions qui sont appliquées dans les collaborations et qui changent le niveau d'interopérabilité, doivent être identifiées. En effet, peu importe l'approche d'une solution, elle doit être d'abord identifiée en cas de disponibilité de cette solution dans le processus. Dans un second temps, ses impacts sur la valeur de l'interopérabilité doivent être reconnus. Certaines de ces solutions sont étudiées plus en détail dans les sections 2.4.1 à 2.4.4.

Tableau 2- 8, Cinq niveaux des environnements nécessitant l'interopérabilité selon LISI (C4ISR 1998)

Environnement	Type	Caractéristiques	dispositions nécessaires	↑ fédération unification ↓ Intégration	Les approches d'interopérabilité
Isolé	Manuel	• échange de données ou de services • manque de connectivité électronique direct • différentes politiques de sécurité ou de contrôle d'accès • absence de connexion physique	• intervention humaine • procédures • interface humaine		
Connecté	Paire-à-paire	• systèmes discrets • échanges de fichiers simples • fichiers de contexte homogènes (ex. texte) • existence de flux de données	• connectivité physique • interaction directe • lien électronique • infrastructure		
Fonctionnel	Distribué	• applications indépendantes • échange direct/distribué de données • données indépendantes • fichiers complexes (données annotées) • systèmes connectés en réseau local	• capacité de lecture, d'écriture et de traitement de l'information échangée • accès par le Web aux données		
Basée sur le domaine	Intégré	• perspective de domaine, • modèles et procédures de domaine de données, • données partagées • applications indépendantes • interactions application à application • ensemble de données unique et fonctionnel (ex. logistique) • espace d'information localisée et distribuée • domaine opérationnel ou fonctionnel • modèles de données fonctionnelles/physique	• bases de données partagées au sein d'une fonction • pas de traduction de données, de re-mapping, ou de duplication • définitions de données communes • base de données orientée objet • systèmes et applications interconnectées		
Basée sur l'entreprise	Universel	• perspective de niveau supérieur • modèles de données et les procédures de l'entreprise • le partage transparent des données entre les applications • domaines de données fonctionnelles	• environnement d'accès universel • architecture de l'information distribuée • l'espace de travail virtuel • espace d'information intégré • un accord sur les fonctions, les activités et les procédures opérationnelles au sein de l'entreprise		

2.3.3. Synthèse : l'interopérabilité, critère de performance de collaboration

La position de ces travaux de recherche dans le cadre de Chen est illustrée par la Figure 2- 13. En effet, dans ces travaux, l'interopérabilité est étudiée en se focalisant sur les barrières technologiques et conceptuelles des échanges de données entre les concepteurs.

Compte tenu de ce positionnement, au moins un indicateur adapté est nécessaire pour refléter le niveau d'interopérabilité des collaborations. Un zoom est donc nécessaire sur les problèmes qui empêchent la réalisation de l'interopérabilité à son niveau maximal.

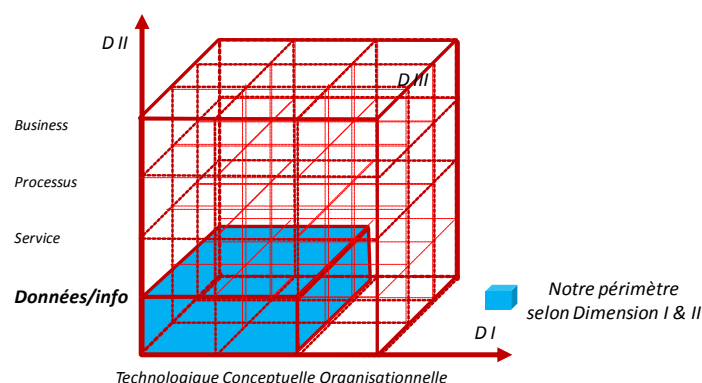


Figure 2- 13, Position de recherche selon le cadre de Chen

Malgré l'utilisation des solutions technologiques, il est constaté que les problèmes d'échanges d'information sont soulevés dans le domaine de la gestion de l'information. En effet, l'incapacité de ces solutions peut causer des problèmes à la fois sémantiques et techniques dans la communication d'informations (Olivera et al. 2008). En réalité, même s'il semble que les données et informations ont été échangées, il est possible d'avoir des problèmes tels que :

- informations non-pertinentes : ce problème se produit lorsque les données fournies à un acteur ne contiennent pas toutes les informations qu'il requiert.
- informations erronées : ce problème se produit lorsque les données fournies à un acteur contiennent des informations fausses ou inexactes.
- informations incompréhensibles : ce problème se produit lorsque les données fournies à un acteur contiennent des informations correctes mais vagues ou incompréhensibles.

Selon (Kajtazi et al. 2011), les problèmes les plus courants rencontrés, lors d'échange d'information sont les lacunes et les manques. Ils mentionnent également que les informations non-pertinentes peuvent entraîner des défaillances dans les tâches individuelles. Les problèmes similaires sont en pleine expansion (Romito et al. 2007) et (Creese 2007). Malgré cette expansion, très peu de théories expliquent comment gérer ces problèmes, particulièrement dans une situation où l'information joue un rôle clé (Romito et al. 2007).

Ces travaux de recherche sont essentiellement focalisés sur les verrous liés aux problèmes de pertinence d'information mentionnée ci-dessus. Il est donc considéré que les informations sont toujours produites correctement et elles sont compréhensibles pour les acteurs (hypothèse 5). Cette hypothèse permet de mieux étudier les problèmes de la pertinence d'information en cas de manque d'information car ils sont dissociés des problèmes liés à l'exactitude et la compréhensibilité d'information.

La **pertinence d'information** est donc considérée comme étant **un indicateur d'interopérabilité**. Cet indicateur atteint sa valeur maximale quand ces deux conditions sont satisfaites dans les collaborations :

- 1) Les contenus des informations produites par les acteurs sont accessibles par les autres acteurs qui requièrent ces informations. En effet, les dispositifs techniques des acteurs doivent être capables de produire et livrer les informations en fonction des dispositifs techniques des acteurs qui requièrent ces informations. Cette condition correspond à l'**aspect technique** de la pertinence de l'information.
- 2) Toutes les informations produites par les acteurs sont suffisantes en termes de contenus pour les autres acteurs qui requièrent ces informations. Cette condition correspond à l'**aspect sémantique** de la pertinence de l'information.

Puisque ces travaux présupposent que l'information est produite, échangée et consommée par le biais de fichiers de données, les variables de mesure pour la pertinence d'information sont : les fichiers de données.

Compte tenu du périmètre de ces travaux et du fait que le processus de conception en cours d'évaluation n'est pas encore démarré, il est considéré que seulement le squelette du processus est disponible et les fichiers de données ne sont pas encore instanciés. Pourtant, certaines informations sont déjà disponibles sur les fichiers de données :

- Les formats de fichiers. Concernant cette variable, ces travaux de recherche peuvent être confrontés au verrou suivant qui aborde la question de la confidentialité : le manque d'information sur les formats natifs des outils dans les processus de conception. En effet, l'extraction de ces informations est généralement une tâche fastidieuse ou impossible, plus particulièrement quand le format n'est pas ouvert ou n'est pas basé sur une norme ouverte. Cependant ces formats sont identifiables dans le squelette de processus. En effet, ils sont prévus et déterminés par le choix des outils de conception et de communication qui seront utilisés après la validation du modèle du processus et lorsque ce dernier est lancé.
- L'abstraction (la structure de données) des fichiers. Dans le squelette du processus, les concepts, liés aux données du produit, sont prévus dans les fichiers de données. Par exemple, dans un fichier contenant le modèle fonctionnel du produit, l'existence des concepts, tel que « composant du produit » et « fonction du produit », est déjà déterminée. Ces concepts seront instanciés après la validation du modèle du processus et lorsque ce dernier est lancé. En effet, l'instanciation, indique ce qui est vraiment un composant ou une fonction de produit. Nous nous concentrons donc sur l'abstraction des fichiers qui inclut les concepts et leurs relations. Cette abstraction peut exister sous différentes formes : diagramme de données, méta-modèle, modèle conceptuel.

Dans ces travaux, **les variables de mesure** sont donc plus précisément **les abstractions et les formats des fichiers**. La pertinence d'information peut être donc mesurée en fonction de la :

- Compatibilité entre les abstractions des fichiers produits et requis : cette compatibilité reflète l'aspect sémantique de la pertinence de l'information.
- Compatibilité entre les formats des fichiers produits et requis : cette compatibilité reflète l'aspect technique de la pertinence de l'information.

Avant d'étudier la méthode de mesure de ces compatibilités, les éléments, appelés variables d'action, doivent être identifiés (voir la Figure 2- 2, Ordre logique de définition des éléments de mesure de la performance). Dans la section suivante, ces variables sont donc étudiées et la mesure fait l'objet d'études plus poussées présentées dans la section 2.5.

2.4. Variables d'actions dans l'évaluation de la performance des collaborations

Dans cette section, les variables d'action impactant les collaborations et leurs performances sont synthétisées. Une variable d'action est le moyen sur lequel on peut agir afin de changer la performance des collaborations (voir la Figure 2- 14). Par exemple, les outils de conception utilisés dans les collaborations sont considérés comme étant une variable d'action car ils influent sur les formats de fichiers échangés, et joue donc sur la qualité des collaborations.

Comme l'illustre la Figure 2- 14, dans ces travaux, les variables d'action font partie des éléments clés d'un processus collaboratif, extraits dans la section 2.2. (voir la Figure 2- 7). En effet, tout élément du processus qui a un impact sur l'abstraction ou le format des fichiers échangés peut être considéré comme une variable d'action s'ils impactent éventuellement l'indicateur. Les études sur ces impacts ont abouti à l'identification de ces variables :

- Les activités de conception et leur ordonnancement : les activités de conception, dans un processus collaboratif déterminent globalement les données requises ou produites. En effet, c'est l'activité de conception qui limite l'abstraction (le contenu) des fichiers échangés.
- Les concepteurs et leurs outils de conception :
 - Les concepteurs et leurs connaissances déterminent l'abstraction (le contenu) des fichiers échangés.
 - Les outils de conception, utilisés pour produire les fichiers ou pour accéder au contenu des fichiers reçus, déterminent le format des fichiers.
- Les solutions d'interopérabilité : ces solutions, visées également par la troisième dimension du cadre de Chen présenté dans la section précédente, sont étudiées plus en détail dans ces travaux afin d'extraire leurs principaux éléments impactant la performance des collaborations.

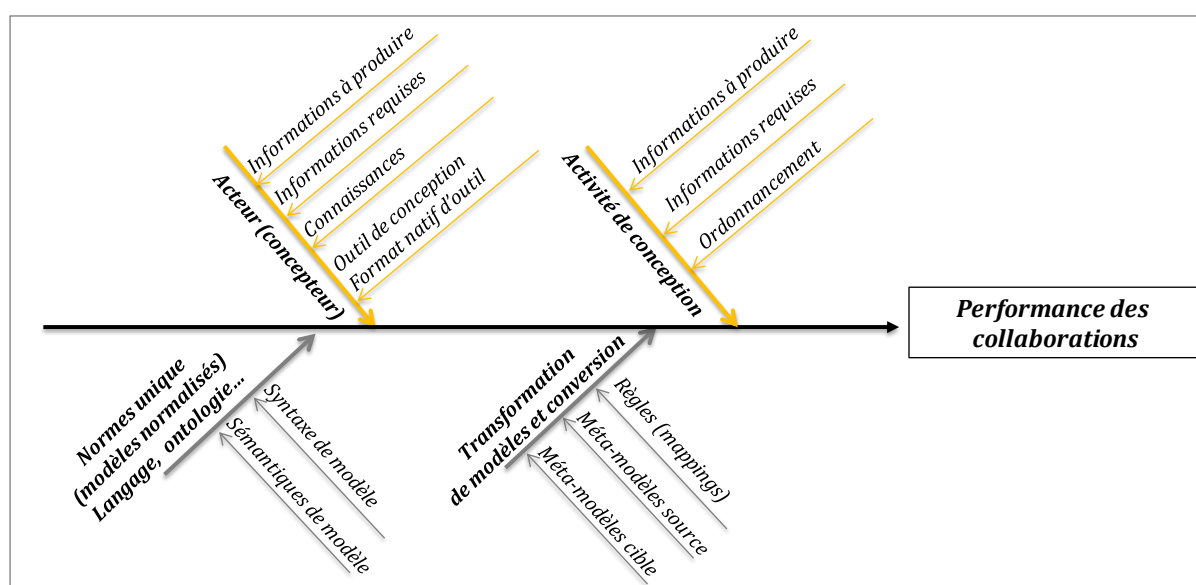


Figure 2- 14, Source des variables d'action impactant la performance des collaborations

Dans ces travaux, il est considéré que les dernières variables nécessitent des études plus approfondies. En effet, les solutions d'interopérabilité sont moins étudiées dans les évaluations de la performance des collaborations. Ces solutions peuvent exister dans les collaborations sous la forme des outils ou des méthodes d'amélioration de l'interopérabilité. Par exemple, l'application d'un format d'échange normalisé pour assurer l'interopérabilité dans les échanges de fichiers, est une solution d'interopérabilité. Par conséquent, une telle norme peut être identifiée comme étant la valeur d'une variable d'action car elle impacte le format des fichiers échangés.

Concernant le développement et l'application de ces solutions, les entreprises peuvent avoir des stratégies différentes. En effet, la modélisation des domaines impliqués, particulièrement dans le cadre de la conception, peut être basée sur **un modèle unique** pour tout le processus ou sur l'utilisation de **plusieurs modèles métiers** (voir la Figure 2- 15). Ces modèles, normalisés ou d'un commun accord dans l'entreprise, portent sur les formats d'échange, les langages de modélisation et les méta-modèles. Dans le cas d'utilisation de plusieurs modèles dans les collaborations, les solutions complémentaires telles que la transformation de modèles sont nécessaires afin d'assurer la continuité du processus et des modèles.

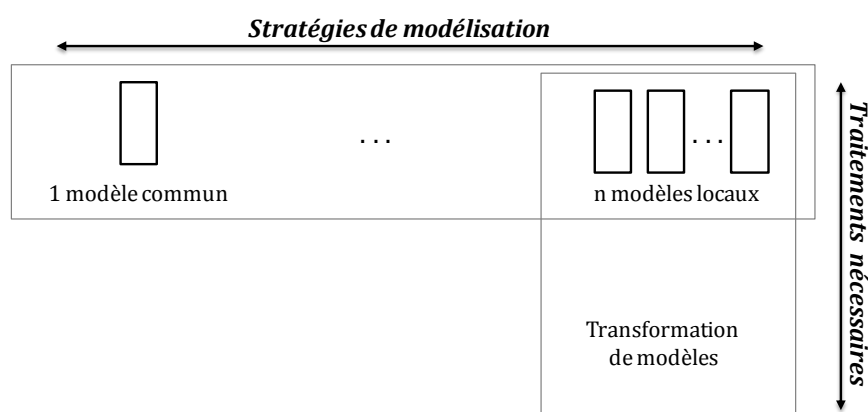


Figure 2- 15, Modélisation et traitement de modèles

Dans un premier temps, ces modèles sont étudiés en mettant un accent particulier sur les modèles de type ontologie. Ensuite, leur traitement est étudié, notamment la transformation de modèles.

2.4.1. Normes d'échange de données

Cette section se focalise sur l'utilisation de protocoles et de formats conventionnels d'échange de données, appelées normes. Dans ces travaux de recherche, l'objectif n'est pas d'évaluer les normes ou les procédures de normalisation, mais il est important de comprendre comment la performance des collaborations peut être influencée par ces dernières.

Certaines références considèrent que les normes doivent être déployées pour surmonter les barrières d'interopérabilité (Jardim-Goncalves et al. 2009). En outre, il est mentionné que pour permettre à des applications métier d'entreprise d'interagir de manière transparente dans l'échange d'informations, une représentation unifiée et normalisée des données est nécessaire (Ray & Jones 2006), (Jardim-Gonçalves et al. 2007).

Le terme « norme » peut indiquer deux catégories principales : les normes de qualité et de communication. Ces travaux de recherche se concentrent sur la deuxième catégorie. L'objectif des normes de communication est d'aider la compatibilité et l'interopérabilité dans les échanges de données. Par exemple ISO / IEC 2382-9:1995 est destinée à faciliter la communication internationale (ISO 2013). Dans le contexte de l'interopérabilité, Söderström définit la norme de communication comme: « un mécanisme utilisé pour créer et échanger des documents entre les organisations où leur structure et les informations contenues sont dans un format qui peut être compris et peut-être traité automatiquement » (Söderström 2003).

2.4.1.1. Normes dans le cycle de vie du produit

Dans ces travaux, l'accent est mis sur les normes utilisées dans l'échange de données de produits dans les processus de conception. En effet, on se focalise sur les formats de fichiers comme XML qui sont basés sur des normes génériques (indépendantes du domaine d'application), ou sur des formats spécifiques qui sont basés sur les normes (par exemple STEP) développés dans le domaine du développement de produits.

Selon (STEP Tools Inc. 2013), dans la conception et la fabrication, de nombreuses applications avec leurs propres formats de données sont utilisées pour gérer les données techniques des produits. En utilisant ces applications hétérogènes, des données identiques peuvent être saisies plusieurs fois en plusieurs applications ce qui peut provoquer des incompatibilités des données, des erreurs et des malentendus entre les concepteurs. (Tursi 2009) indique également que les hétérogénéités entre les applications métiers sont provoquées par des différences entre les structures et les formats de données ainsi que les structure des systèmes d'information de ces applications.

Les problèmes d'hétérogénéité sont mentionnés comme étant un enjeu important pour l'industrie manufacturière depuis plus d'une décennie par l'Institut National des Normes (Tassei et al. 1999). Suite à l'apparition de ces problèmes, des normes ont été mises au point pour résoudre ces problèmes d'échanges d'information à grande échelle entre les organisations (Söderström 2003).

« Une norme est le fruit du long travail collaboratif de nombreux experts » (Pavot 2010). En effet, l'implémentation d'une norme demande la constitution d'énormes efforts humains (Choquet 2011). Les communautés de normalisation et les chercheurs travaillent ensemble afin de définir les procédures de formalisation des échanges de données (Saripa et al. 2009). Ce travail collaboratif, appelé processus de normalisation, est basé sur un consensus entre les différents acteurs clés du domaine d'application (Choquet 2011).

Dans le domaine du développement de produits, différentes normes sont proposées pour l'interopérabilité des systèmes d'entreprise et de leurs applications métiers. Un grand effort d'unification a été lancé par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) afin de produire une norme internationale de gestion des données techniques du produit qui est nommée STEP (ISO 1994). Les différents types d'application qui utilisent STEP sont présentés dans la Figure 2- 16. Actuellement, plusieurs applications CAO / FAO contiennent un module pour lire et écrire des données définies par l'un des Protocoles d'Application de STEP (les APs) (STEP Tools Inc. 2013).

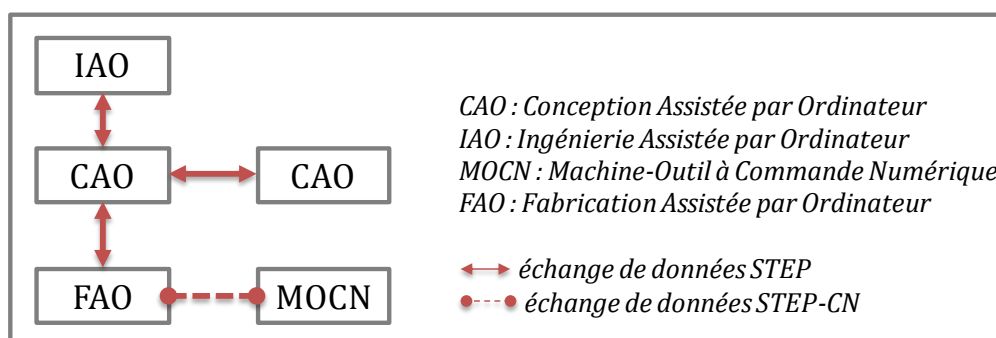


Figure 2- 16, Différentes applications utilisant STEP dans les processus de développement de produit

Malgré tous ces efforts de développement de normes plusieurs travaux comme (Terzi 2005) montrent que le monde de la normalisation devient une tour de Babel. Terzi, dans ses analyses sur les normes, mentionne qu'il ya des expressions et des définitions redondantes dans les normes. Par exemple, beaucoup de définitions existent pour le même concept d'une liste des matériaux ou pour le concept de la déclaration des ressources (Terzi 2005). Terzi à également indiqué que le paradigme PLM⁷ (la gestion du cycle de vie de produits) peut améliorer la définition et l'utilisation des normes (Terzi 2005).

Dans les processus de conception, le processus de normalisation est lancé en fonction des besoins en termes de formalismes. Selon (Rezgui 2012), les concepteurs ont besoin les formalismes pour :

- Permettre la description d'une manière unifiée les différentes disciplines,
- assurer une continuité de conception en facilitant la communication entre acteurs,
- optimiser l'effort de la conception par la construction de bibliothèques,
- garantir la réutilisation des modèles de conception.

Les formalismes sont élaborés par le biais d'un modèle commun ou un modèle de référence. Ces modèles couvrent de nombreux secteurs industriels et des activités d'application connexes, de la phase de conception à la production et à la commercialisation, permettent aux secteurs industriels d'échanger des informations (Jardim-Goncalves et al. 2007).

Terzi a étudié les normes utilisées dans le cycle de vie du produit (voire la Figure 2- 17). Ces normes couvrent la phase de développement du produit, la phase de production du produit et la phase d'utilisation du produit (Terzi 2005). Dans chaque phase de vie de produit, différents systèmes d'entreprise et de logiciels échangent des données sous certaines normes. L'échange d'information entre PGI⁸, CAO, SGGT⁹ et MES¹⁰, peut être effectué sous les normes communément acceptées comme ISO 10303 et IEC 62264. Ceci conduit à un système d'interopérabilité axé sur les applications (Tursi 2009).

Dans le cycle de vie de produit, le développement d'une norme est parfois une modification que la création d'une nouvelle norme. Par exemple, Panetto et al. analysent les normes existantes

⁷ Product Life-cycle Management

⁸ Progiciel de gestion intégré ou Enterprise Resource Planning (ERP)

⁹ Système de gestion de données techniques ou Product Data Management (PDM)

¹⁰ Manufacturing Execution Systems

pour modéliser les données techniques du produit et pour décrire les informations du produit. Leurs études ont pour l'objectif de fonder un modèle non ambiguë pour représenter les connaissances et les concepts traitables par de nombreuses applications d'entreprise utilisés dans un environnement de production. Selon eux, les normes considérées comme étant utiles à cette fin sont ISO10303 et IEC 62264. Leur travail se poursuit en proposant et en formalisant un modèle d'information comme une ontologie du produit qui constitue la base d'une norme potentielle et nouvelle (Panetto et al. 2012).

Comme il est discuté ci-dessus, plusieurs normes sont utilisées dans le cycle de vie de produit. Les questions qui sont soulevées ici sont : « quelles normes sont liées aux fichiers de données échangés ? » et « comment ces normes affectent le format et l'abstraction des fichiers de données ? ». Afin de répondre à ces questions, dans un premier temps les normes sont classées selon leurs niveaux d'utilisation.

2.4.1.2. Différents niveaux des normes

Rachuri et al ont effectué une enquête sur les normes utilisée dans le cycle de vie des produits. Dans cette enquête, il est d'abord indiqué que les échanges d'information, entre les producteurs et les consommateurs de ces dernières, nécessite un langage qui véhiculent le contenu de l'information (voir la Figure 2- 18). Ce langage est défini principalement par le type du contenu échangé, la structure et les instances de données (Rachuri et al. 2008).

Comme l'illustre la Figure 2- 18, dans le cycle de vie du produit les informations sont échangées entre les producteurs et les consommateurs d'informations qui peuvent être des concepteurs, des fabricants, des fournisseurs. Ces échanges, abordent différents types de contenus :

- informations fonctionnelles qui représentent le « pourquoi » des exigences, la fonction qui sera exécutée et le comportement qui en résulte. Ces informations sont abordées par la conception préliminaire.
- informations de forme qui représente le « quoi » du produit, entraînant sa géométrie et la composition des matériaux. Sur la base des études sur les processus de conception, présentées dans la section 1.1.1, il est considéré que les informations de forme, abordées par la conception détaillée, sont produites après les informations fonctionnelles.
- informations sur le cycle de vie qui représente le « comment » du produit fabriqué, utilisé et éliminé. Ces informations sont abordées par les activités post-conception

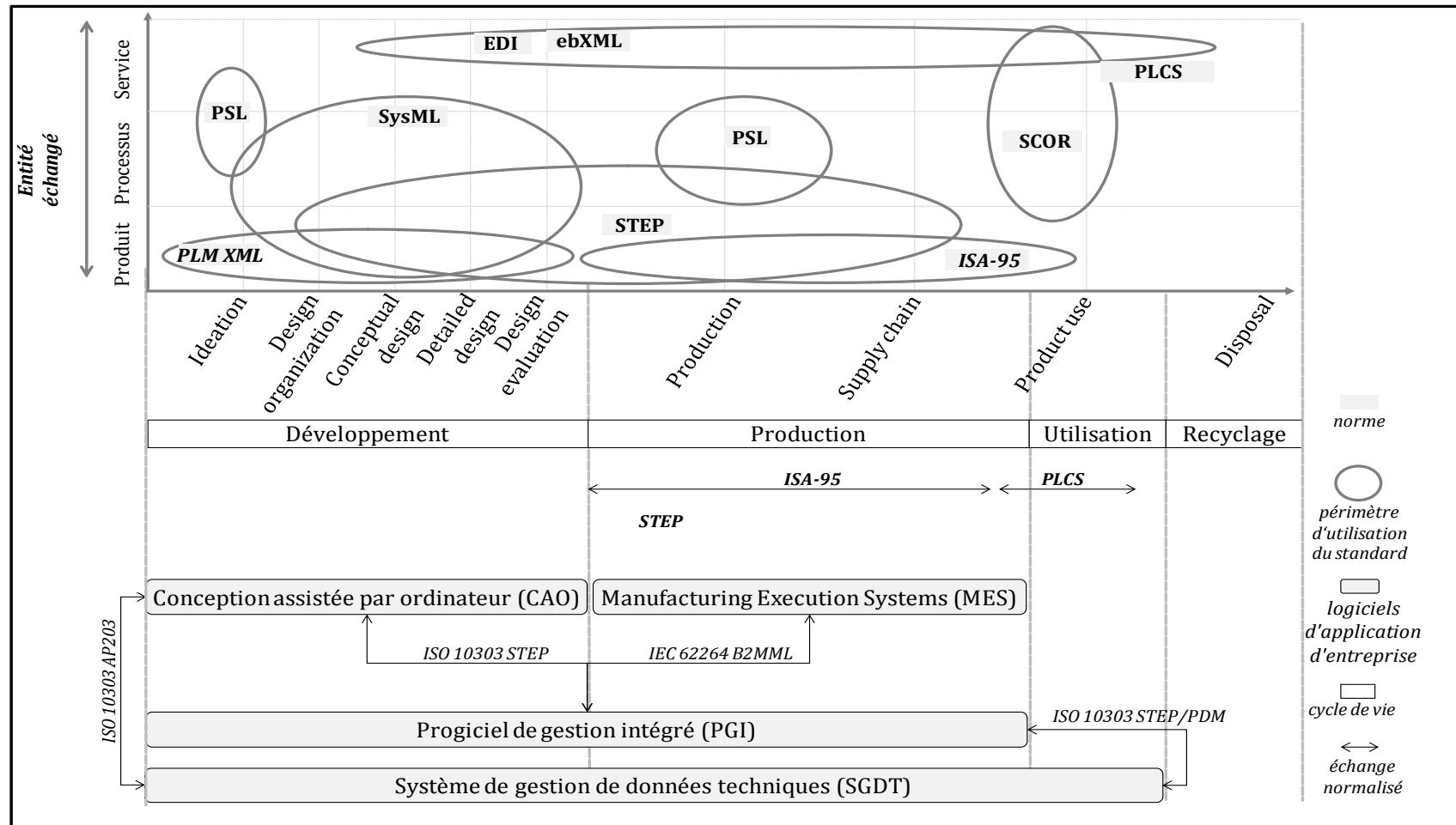


Figure 2- 17, Normes utilisées à travers le cycle de vie du produit (Terzi 2005), (Tursi 2009)

Le contenu des informations échangées et l'expressivité nécessaire limitent le choix du langage d'échange. En effet, les informations sont implémentées, en utilisant un langage, et en se basant sur une syntaxe adaptée au contenu.

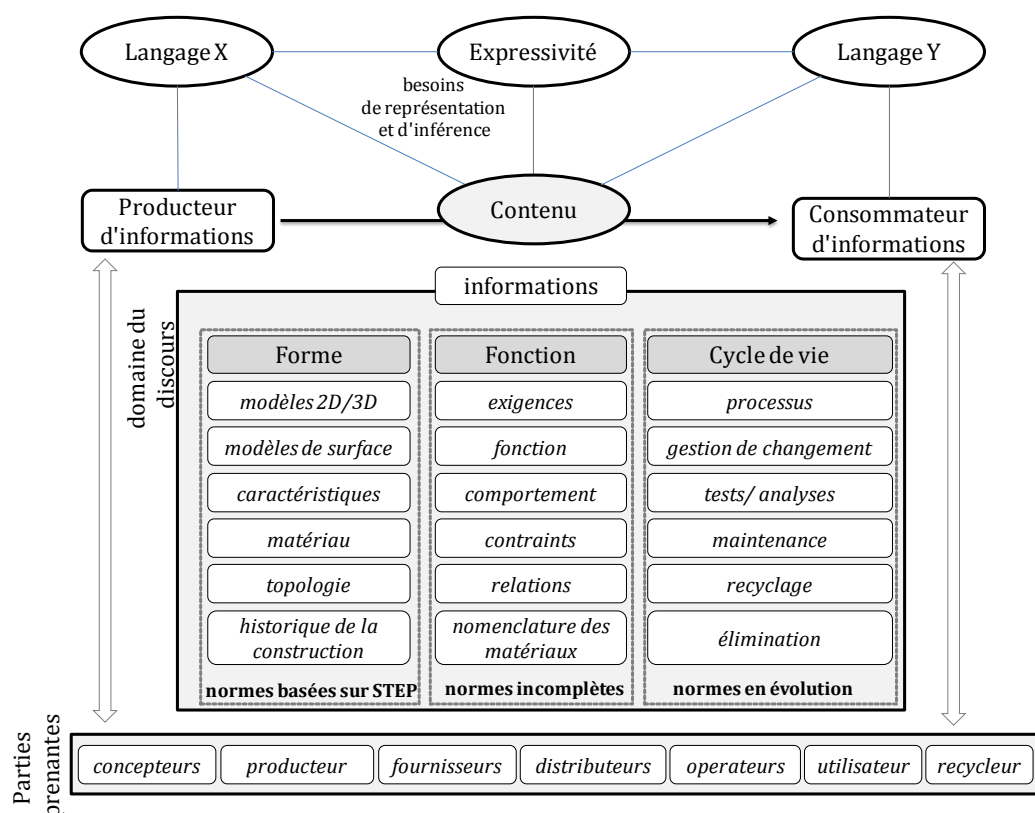


Figure 2- 18, Échanges de données dans le PLM selon (Rachuri et al. 2008)

L'utilisation d'un langage dans les échanges d'informations peut se faire sur différents niveaux. Concernant ces niveaux, Rachuri et al. proposent une typologie hiérarchique de normes (Rachuri et al. 2008). En effet, cette typologie est principalement basée sur le contenu des données échangées et sur le choix du langage d'échange (Tableau 2- 9).

Le périmètre de ce travail porte essentiellement sur les types 1 et 2, en particulier les normes d'échange de données de produit qui structurent les connaissances du domaine. Ces normes sont fondées sur les modèles conventionnés tels que les méta-modèles ou les ontologies de domaine. Par la suite, ces dernières sont discutées.

- **Type 1** : ce niveau porte sur les normes de modélisation de l'information qui concernent le choix du formalisme de représentation et du langage de modélisation approprié. Par exemple, les langages de modélisation de processus et de produit, comme UML et EXPRESS et les langages génériques de structuration de données comme XML, sont catégorisés dans ce niveau. Il convient de souligner que ce niveau n'est pas spécifique à un domaine scientifique particulier.
- **Type 2** : ce niveau porte sur les normes relatives au contenu-domaines de discours qui concernent la structuration des connaissances du domaine. Par exemple, les langages spécifiques de structuration de données comme MathML, une application de XML pour décrire les notations mathématiques, et les normes comme Electronic Data Interchange (EDI), une norme d'échanges des documents qui est mis en œuvre dans le e-commerce, appartiennent à ce niveau.

Tableau 2- 9, Typologie des normes utilisées dans le PLM basée sur (Rachuri et al. 2008)

Type	thème	exemple	champs d'application
0	programming, scripting,	Basic, FORTRAN, C, C++, Java, C#, Prolog, Perl, Tcl/Tk and OpenGL.	▪ implémenter des programmes, des logiciels et également des normes de type 1 et 2
1 modélisation d'information	langages de modélisation d'information, Document Type Definition (DTD)	EXPRESS, UML, XML schema	▪ soutenir les normes de type 2 ▪ spécifier, visualiser, construire et documenter les composantes de systèmes de logiciels ainsi que pour la modélisation d'entreprise et autres systèmes non-logiciels ▪ expérimenter la structure et les contraintes de typage de données incorporées dans les documents XML
	langages de modélisation d'information sémantiquement riche	Knowledge Interchange Format (KIF), OWL (OWL Lite, OWL DL, OWL Full), Resource Description Framework (RDF)	▪ soutenir le raisonnement sur l'information représentative d'un domaine de contenu ▪ construire des ontologies formelles qui devraient faciliter l'interopérabilité sémantique.
	langages de modélisation d'information de processus	Process Specification Language (PSL)	▪ représenter des processus de fabrication
	langages de modélisation d'information de produit	ISO 10303, qui est de manière informelle connu sous le nom de : STandard for Exchange of Product model data (STEP), PLCS (Product Life cycle Support), AP239 (An extension of STEP)	▪ description du produit, définir un modèle de produit générique ▪ gestion du travail, les propriétés, l'état et le comportement, l'évaluation et la gestion des risques
2 échange d'information	échange d'information de produit	Electronic Data Interchange (EDI), simple object access protocol (SOAP), STEPml, Product Data Markup Language (PDML), PLM XML, Business Process Modeling Language (BPML)	▪ échanger d'information les différents intervenants
	visualisation d'information	U3D, X3D, JT, Open Graphics Library (OpenGL)	▪ rendre et modifier les objets graphiques et la création de répertoires de schéma d'objet
	E-business et soutien de la chaîne de valeur	electronic business XML (ebXML), commerce XML (cXML), Chemical markup language (CML), Materials Markup Language (MatML), IPC-2570 standard series, Mathematics Markup Language (MathML)	▪ décrire les activités commerciales associées à toutes les phases de la satisfaction de la demande du client ▪ faciliter les interactions de chaîne logistique
	Sécurité de l'information	eXtensible rights Markup Language (XrML)	▪ définir le protocole d'échange
3	cadres architecturaux	Zachman Framework, the Department of Defense Architecture Framework (DoDAF), Federal Enterprise Architecture Framework (FEAF), ISO RM-ODP Reference Model, CORBA-based distributed applications management,	▪ créer des systèmes de soutien intégrés ▪ traitement distribué ouvert

2.4.1.3. Ontologie dans les échanges de données

Les problèmes d'interopérabilité sémantique, comme les pertes d'information ou les incohérences sémantiques, ont conduit à l'émergence d'approches essentiellement basées sur des normes au cours des dix dernières années. Le manque de flexibilité, le dynamisme et l'automatisation de ces approches et l'augmentation du volume des données ont conduit à l'élaboration d'approches basées sur les ontologies (Fortineau et al. 2013).

Les champs d'application des ontologies portent principalement sur les aspects suivants : la gestion des connaissances, l'évolution du commerce électronique (e-commerce) basé sur les réseaux et la réalisation de l'interopérabilité et (Lu 2012). Ces travaux de recherche focalisent sur cette dernière. L'interopérabilité basée sur les ontologies a deux approches principales : l'enrichissement sémantique des normes techniques des produits existants et le développement de modèles de référence ad hoc¹¹. En effet, l'ontologie peut être extraite à partir des normes existantes (ceci pourrait même finalement créer une nouvelle version des normes), ou l'ontologie peut être juste développée comme un modèle ad hoc approprié pour un domaine. Selon (Tursi 2009), une ontologie du produit, en obéissant aux règles du domaine, fournit la possibilité d'exprimer et de partager les données Produit entre les acteurs, les application métiers et les systèmes d'informations.

Selon Cheutet, l'une des utilisations des ontologies dans le cadre de l'interopérabilité se fait lorsque les bases de données sont limitées dans la modélisation des informations et de leurs liens, particulièrement en conception (Cheutet 2013). En outre, « dans un environnement collaboratif, les ontologies jouent un rôle primordial dans l'interopérabilité des différents systèmes d'un domaine particulier en mettant en relief l'aspect sémantique d'intégration de données » (Abdul Ghafour 2009). En effet, les rôles d'une ontologie sont particulièrement observés dans :

- **La proposition d'une compréhension commune** : les ontologies offrent la possibilité de partager un vocabulaire commun, en formalisant une compréhension commune des symboles et les termes utilisés. Elles favorisent finalement les échanges de données et la communication entre les différentes parties prenantes d'un produit (Giménez et al. 2008). Selon Coma, une ontologie fournit une conceptualisation explicite qui décrit la sémantique des données et facilite le partage de connaissances (Coma et al. 2010)
- **La réalisation des traductions et des mappings de données** : l'ontologie fournit la possibilité de traduire les données ainsi que celle du mapping des données entre les différentes méthodes de modélisation, les langues, les logiciels et les outils (Lu 2012).
- **L'intégration de l'information** : à travers l'ontologie, l'information provenant de sources différentes et disperses peut être intégrée. En effet, l'ontologie peut soutenir l'intégration et l'acquisition automatique de l'information lorsque les applications distribuées ont besoin d'échanger les connaissances possédant des formes et des granularités différentes (Lu 2012).
- **L'annotation des sources de données** : l'ontologie peut être utilisée dans l'annotation de plusieurs sources de données telles que les pages Web, les documents XML et les bases de données (Lu 2012).

¹¹ Un modèle ad hoc d'une entité est construit sur les spécificités/caractéristiques de cette dernière.

Il est donc constaté que les ontologies sont censées surmonter les barrières sémantiques de l'interopérabilité en affectant les sémantiques des données échangées. Dans cette recherche cet aspect est abordé par la compatibilité des abstractions de fichiers échangés qui sont les variables de mesure dans l'évaluation de l'interopérabilité. La question soulevée ici est : Comment les ontologies et leurs éléments impactent les sémantiques des données échangées dans un processus collaboratif ? Afin de répondre à cette question, dans un premier temps les éléments principaux d'ontologie sont étudiés.

A) Ontologie et ses éléments clés

En sciences de l'information, l'ontologie est initialement définie comme « une spécification d'une conceptualisation » (Gruber 1993). Dans une définition plus récente, Noy & McGuinness définissent l'ontologie comme « une description formelle explicite des concepts (parfois appelés classes) dans un domaine de discours, des propriétés (les slots ou les rôles) de chaque concept décrivant différentes caractéristiques et attributs du concept, et les restrictions sur les propriétés (les restrictions de rôles ou les facettes) ». Les auteurs indiquent également que la frontière entre l'ontologie et la base de connaissances est mince. En effet, une ontologie avec un ensemble d'instances individuelles des classes peut construire elle-même une base de connaissances (Noy & McGuinness 2001).

La définition proposée par Noy et McGuinness est suivie par un exemple qui illustre la relation entre les concepts et les classes constituant la plupart des ontologies. Les classes décrivent les concepts existant dans un domaine donné. Par exemple, une classe de vins représente tous les vins. Les vins spécifiques sont des instances de cette classe. Le vin de Bordeaux dans le verre en face de la personne qui lit cet exemple est une instance de la classe des vins de Bordeaux. Une classe peut avoir des classes dérivées qui représentent des concepts qui sont plus précis que la classe supérieure. Par exemple, il est possible de diviser la classe de tous les vins rouges, blancs et rosés. Alternativement, il est possible de diviser une classe de tous les vins en vins mousseux et non mousseux.

Fankam (Fankam et al. 2009) considère que l'ontologie se distingue de tous les autres modèles utilisés en informatique, car elle possède toutes les caractéristiques suivantes en même temps :

- 1) Les ontologies sont **formelles** et elles contiennent des **axiomes logiques**. Elles peuvent être traitées par des ordinateurs ; donc la vérification de la cohérence et l'exécution d'un raisonnement automatique sont rendues possibles.
- 2) Les ontologies sont consensuelles dans une communauté. En effet, plusieurs membres de cette dernière se sont entendus sur **les concepts** représentés dans l'ontologie.
- 3) Les éléments de l'ontologie, représentant les **concepts du domaine**, ont la capacité d'être référencés par les identificateurs uniques et universels. Ce mécanisme permet de définir la sémantique de ces éléments, quel que soit le **schéma de modélisation** de l'ontologie et de son modèle de données.

Dans le cadre de nos recherches, les ontologies prédéveloppées sont abordées. Comme mentionné ci-dessus, les composants principaux d'une telle ontologie sont **un modèle (schéma) conceptuel** représentant les concepts du domaine et **un modèle formel** définissant des relations logiques de ces concepts :

B) Modèle conceptuel d'ontologie

La conceptualisation est définie comme : « l'extraction des vocabulaires d'un domaine et d'un résumé ou une vue simplifiée du monde que nous souhaitons représenter » (Lee et al 2009.). Au cours de conceptualisation, les concepts et les relations conceptuelles sont créés en tant que modèles conceptuels (Lezoche et al. 2011). Le modèle conceptuel est la base de la structuration des connaissances d'un domaine donné (Karray 2012). Selon (Roussey et al. 2010), ce modèle est composée de plusieurs éléments tels que (voir la Figure 2- 19) :

- Les concepts : ces éléments sont représentés par la classe « concept ».
- Les instances de concepts : ces éléments sont représentés par la classe « instance ».
- Les définitions logique et textuelle : ces éléments sont représentés par les classes « logicalDefinition » et « textualDefinition ». Chaque concept a une définition logique et plusieurs définitions textuelles (en langage naturel).
- Les termes : ces éléments sont représentés par la classe « term ». Un terme peut être utilisé pour plusieurs concepts.
- Les propriétés des concepts : ces éléments sont représentés par la classe « property ». Ces derniers peuvent avoir des propriétés communes.
- Les relations entre les autres éléments (les relations sémantiques, d'instance et terminologiques) : ces éléments sont représentés par les classes « semanticRelation », « instanceRelation » et « terminologicalRelation ».

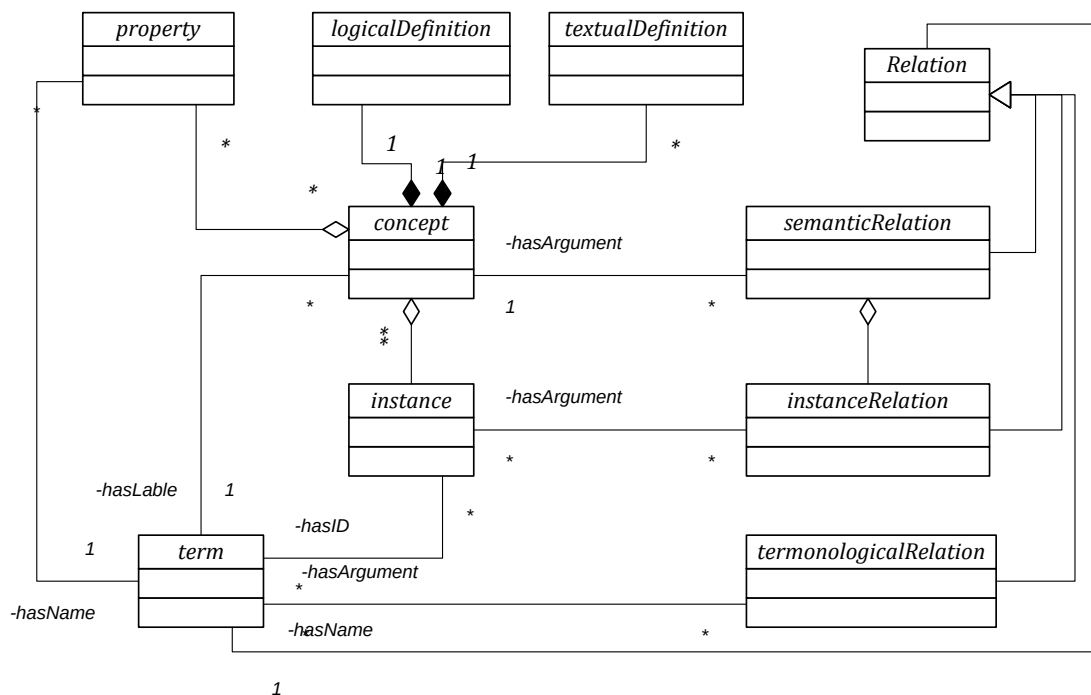


Figure 2- 19, Modèle conceptuel représentant les composantes de l'ontologie et leurs relations (Roussey et al. 2010)

Les relations entre les éléments du modèle conceptuel ainsi que les différentes possibilités de définir les concepts sont détaillés dans le Tableau 2- 10. Ce dernier est basé sur les travaux de (Roussey et al. 2010).

Tableau 2- 10, Définition des concepts et les relations entre les éléments de l'ontologie

	Type de définition	Exemple	concept
CONCEPTS	Textuelle	un être humain individuel	Personne ou Humaine
	Basée sur les propriétés	« nom », « date de naissance » et « adresse »	Personne ou Humaine
	Basée sur une formule logique	« EntitéVivant » $\cap$ « EntitéDéplaçant » $\cap$ « association : aEnfant.Humaine »	Personne ou Humaine
	Basée sur les instances	« Martin Luther King »	Personne ou Humaine
	Type des relations	Exemple	Finalité
RELATIONS	Relations sémantique	« humain » a un « corps »	relier uniquement les concepts ensemble
	Relations d'instance	« Martin Luther King » est marié à « Coretta Scott »	relier uniquement les instances
	Relations terminologiques	le terme « personne » est synonyme de « Humain »	exprimer les relations que les termes peuvent avoir

Le résultat commun des approches de conceptualisation, le modèle conceptuel, devrait être formalisé, en utilisant des langages formels, afin d'être échangé, communiqué et implémenté. Roussey utilise le langage UML pour formaliser son modèle conceptuel présenté ci-dessus.

C) Modèle formel d'ontologie, le fruit de la formalisation

Selon Ghafour, la formalisation du sens des données d'ontologie est une tâche importante car une ontologie doit être interprétable par la machine. La formalisation « est un critère de base pour qu'une ontologie puisse jouer efficacement son rôle de représentation de connaissances » (Abdul Ghafour 2009). Par conséquent, elle est nécessaire à la traduction des concepts et à la préparation de l'ontologie pour faire les calculs sur la machine (Fortineau et al. 2013).

La formalisation peut être réalisée à l'aide d'un langage, de la représentation de connaissances, qui fournit un moyen de saisir et de stocker ces derniers, ainsi qu'un format pour représenter les connaissances acquises (Abdul Ghafour 2009).

D'un point de vue mathématique, une ontologie peut être définie comme vecteur (Maedche 2002) : $O = \{C, R, H, \text{ref}, A0\}$.

- « C » contient tous les concepts (les **classes**).
- « R » contient l'ensemble des rôles.
- « H » exprime la **hiérarchie** (ou la « taxonomie ») entre les concepts.
- « ref » est une fonction qui associe les rôles aux divers concepts.
- « A0 » contient les axiomes, exprimés dans un langage logique (Maedche 2002).

Ces éléments, à l'exception du A0, se retrouvent également dans l'article de (Amann & Fundulaki 1999). Ces auteurs définissent une formalisation comme un 3-tuple : $O = (C, P, isa)$.

- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ est un ensemble de **classes**, où chaque classe c_i modélise un ensemble d'objets du monde réel (instances de classes).
- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ est un ensemble de propriétés, où chaque propriété p_i est soit :
 - une propriété typée-simple d'une classe, en prenant les valeurs comme « Integer » ou « String » ou,
 - un **rôle** typé binaire, représentant une relation entre les classes.
- $isa = \{isa_1, isa_2, \dots, isa_p\}$ est un ensemble de relations d'hierarchie définies entre les classes. Les relations d'hierarchie organisent les classes dans une ou plusieurs structures arborescentes.

D) Implémentation d'ontologie

Concernant l'implémentation des ontologies, l'augmentation exponentielle récente du nombre d'outils d'implémentation est indiquée par (Karray 2012). Parallèlement, (Abdul Ghafour 2009) mentionne que plusieurs langages de représentation et d'implémentation ont été conçus, spécifiés et normalisés (voir le Tableau 2- 11).

Tableau 2- 11, Implémentation d'ontologie (Abdul Ghafour 2009) (Karray 2012)

Outil	Ontolingua, WebOnto, Onto Edition, Protégé2000, le Protégé 3.4.5 et 4.1 Protégé soutenant respectivement OWL.1.0 et OWL.2.0, PowerLoom API, PowrLOOM GUI, TopBraid Composer36,
Langage	Ontologie Terminologique : XML based languages, Simple Knowledge Organization System (SKOS) et Resource Description Framework (RDF) Ontologie de donnée : - Graph : Les réseaux sémantiques, Topic Maps14, Orienté-Web : RDF et RDF Schéma - Conceptual modeling : Entity-Relationship Model language or Object Model Language like the Unified Modelling Language (UML) (OMG. 2003) with OCL Ontologie logique : - Premier ordre : KIF - Description Logics : Ontology Web Language (OWL), Ontolingua, Loom, OCML, OIL, DAML-OIL, KL-One,

Au moment d'implémentation d'une ontologie dans un processus collaboratif, les éléments de cette ontologie affectent essentiellement les sémantiques des données échangées dans un processus collaboratif. En effet, il devrait y avoir une cohérence sémantique entre l'ontologie et les données échangées. Par exemple, dans le cadre de la conception, le concept « fonction du produit » utilisé dans les données Produit, doit tout d'abord avoir un concept et un terme équivalent dans l'ontologie. La signification de ce concept perçue par les applications et par les concepteurs doit également respecter les définitions logiques et les définitions textuelles définies dans l'ontologie.

Même si l'impact des ontologies et leurs éléments sur les sémantiques des données échangées est évident, cet impact peut avoir différents degrés car actuellement différents types d'ontologie sont appliqués dans les processus collaboratifs. Dans les points suivants, ces ontologies sont discutées.

E) Classifications des ontologies

Dans cette partie, cinq classifications d'ontologies sont présentées afin de fournir une meilleure compréhension de ce concept, et de ses impacts sur les sémantiques des données échangées :

- **Basée sur les mécanismes** : Une ontologie peut être de différents types basée sur son mécanisme de définition des sémantiques des concepts : terminologiques, de données et logiques (Roussey et al. 2010).
- **Basée sur la canonicité** : une autre classification des ontologies est proposée par Fankam qui traite de la canonicité de la modélisation de l'information dans les ontologies. Le langage canonique est définie par un mode conceptuel où il n'existe qu'une seule description pour chaque information (Fankam et al. 2009).
- **basée sur le stockage de données et du raisonnement** : d'après la classification de Fankam, mentionnée ci-dessus, Fortineau propose une autre classification qui porte sur la capacité des ontologies pour le stockage de données et du raisonnement sur celles-ci (Fortineau et al. 2013)
- **Basée sur le champ d'utilisation** : Lu estime que les ontologies de différents types doivent être définies pour répondre aux exigences des utilisateurs selon leurs objectifs et le champs d'utilisation (Lu 2012).
- **Basée sur le degré d'abstraction des données du domaine** : Considérant le niveau d'abstraction de données et la généralité du domaine conceptuel couvert par les descriptions, Declerck classe les ontologies de la manière suivante en se basant sur l'article de (Stenzhorn et al. 2007) : fondationnelles, noyau et de domaine (Declerck et al. 2012). Cette classification est illustrée dans la Figure 2- 20. Selon (Stenzhorn et al. 2007) les ontologies sont classifiées en : top ontology (upper ontology), top-domain ontology (upper-domain (level) ontology) et domain ontology. Selon Declerck, la frontière entre ontologie de domaine et ontologie noyau est toutefois difficile à objectiver. Celle entre OF et ontologie noyau est plus facilement identifiable (Declerck et al. 2012).

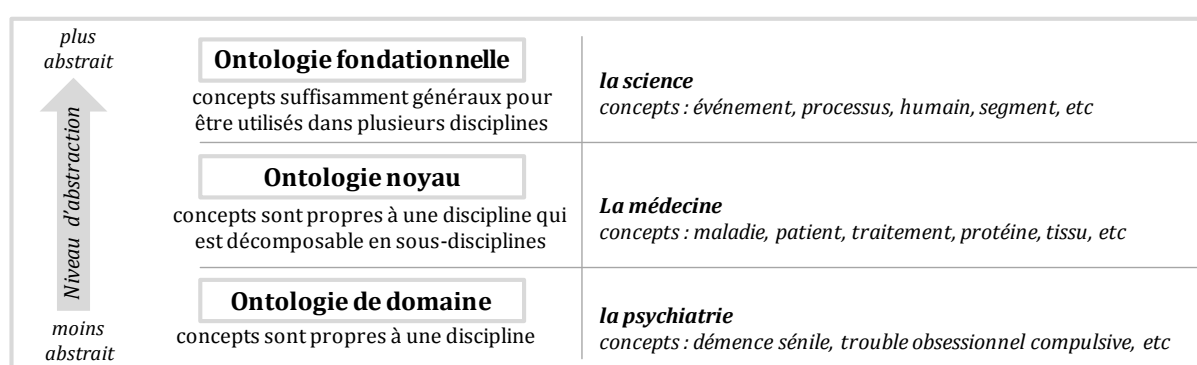


Figure 2- 20, Classification des ontologies basé sur le niveau d'abstraction (Declerck et al. 2012)

Dans ces travaux l'accent est mis sur l'ontologie de domaine qui est souvent utilisé dans le cadre de la conception. Concernant ces ontologies, selon Declerck, elles « sont à première vue celles dont l'utilité est la plus évidente » (Declerck et al. 2012). Il est également mentionné que l'ontologie de domaine est la plus largement définie et utilisée pour les applications d'ingénierie (Lu 2012).

F) Ontologie de domaine dans le cadre du développement de produits

Dans le cadre du développement de produits, les ontologies de domaine proposent généralement une description des domaines : simple, exhaustive, implémentable et compréhensible par l'Homme. Selon Ishak, ce fait serait la cause du grand nombre de publications scientifiques liées aux demandes d'ontologies dans le PLM (Ishak 2010).

Une synthèse de telles publications, qui est présentée par (Fortineau et al. 2013), se base sur les questions suivantes à propos de l'utilisation d'ontologies de domaine orientée-inférence (les ontologies qui permettent le raisonnement sur les données) : Quelles étapes du cycle de vie des produits sont concernés ? Quelle est la portée des modèles proposés ? Et enfin, quels champs sont impliqués ?

La synthèse de (Fortineau et al. 2013) comprend trois axes (Figure 2- 21) :

- **l'axe horizontal**, indique les stades du cycle de vie du produit :
 - le début de la vie (beginning of life (BOL)) et plus particulièrement les stades de conception et de fabrication,
 - le milieu de la vie (middle of life (MOL)), et plus particulièrement les stades d'utilisation et d'entretien,
 - la fin de la vie (end of life (EOL)), et plus particulièrement les stades de démontage et de recyclage.
- **l'axe vertical**, représente l'échelle des modèles ontologiques basée sur la granularité et la portée des modèles. Plus l'échelle augmente, plus le modèle est global (abstrait) :
 - L'échelle de l'entreprise (business) comprend un modèle qui est dédié à une tâche spécifique. Il s'agit de fournir une description détaillée et complète du domaine concerné, sans y inclure les domaines voisins.
 - L'échelle de phase comprend des modèles décrivant l'ensemble du processus (processus de conception, de fabrication ou de maintenance par exemple)
 - L'échelle d'interphase comprend des modèles englobant différentes étapes,
 - L'échelle du cycle de vie (Life cycle) comprend des modèles globaux portant sur l'ensemble du cycle de vie.
- **l'axe diagonal**, représente le cadre (objet) des différentes publications mettant différents accents sur : produit, processus ou service. Les auteurs indiquent également que lorsque l'échelle du modèle augmente, certains des modèles ontologiques peuvent couvrir des cadres combinés.

Compte tenu des axes ci-dessus et du cadre de ces travaux qui se focalise sur les collaborations, ce périmètre se forme à : l'échelle de l'entreprise dans l'axe vertical, le stade de conception dans l'axe horizontal et les modèles du produit et ainsi les modèles combinés qui comprennent les données du produit.

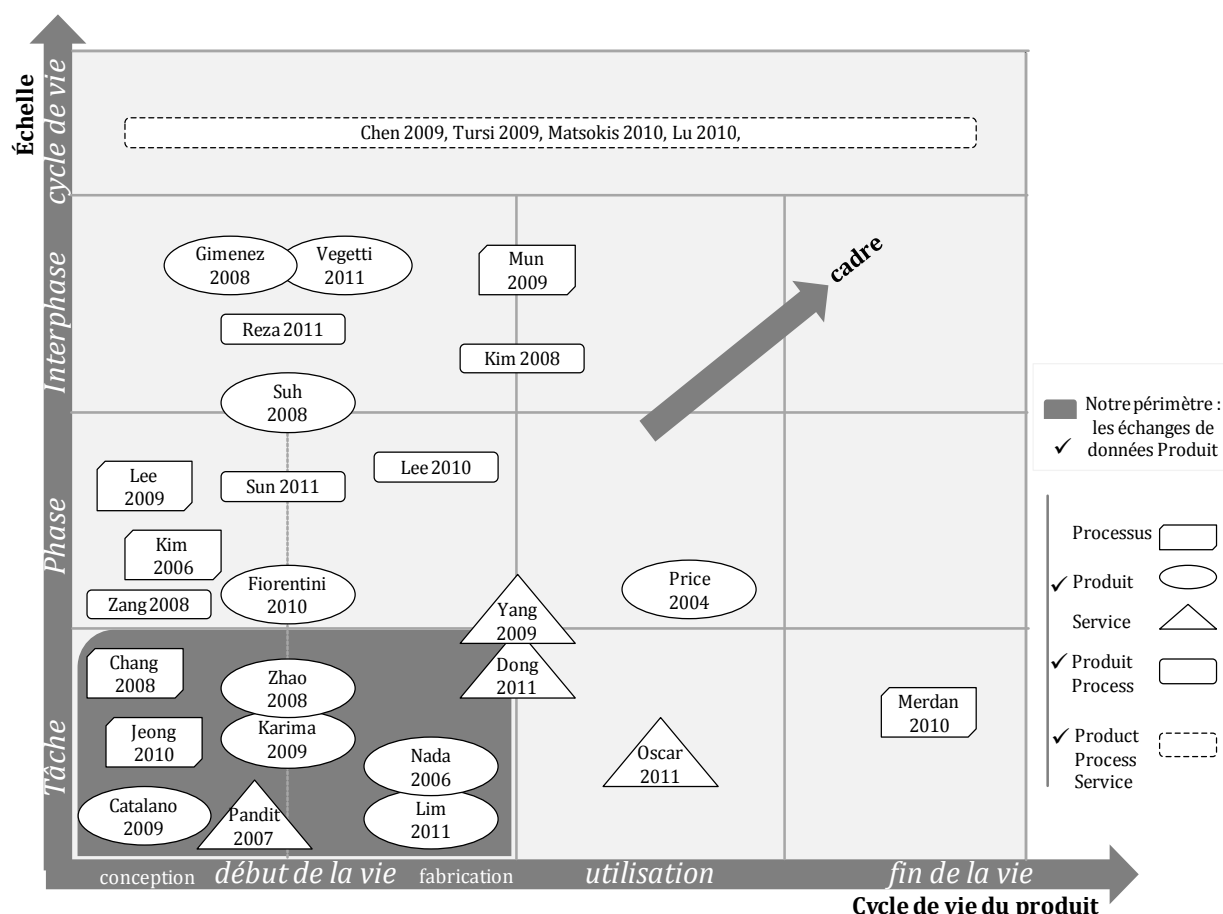


Figure 2- 21, Applications de l'ontologie de domaine (orientée-inférence) dans le PLM (Fortineau et al. 2013)

Dans ce périmètre, les ontologies de domaine sont les ontologies de données Produit destinées à l'échange de ces données entre les concepteurs. En effet, ces ontologies comprend des concepts principaux, utilisés pour l'élaboration de données de produits, et leurs relations (Cheutet 2013).

Selon Catalano (Catalano et al. 2008), les concepts principaux d'une ontologie orientée géométrie sont (voir la Figure 2- 22) :

- les types de la géométrie du Produit (ShapeTypes) et leurs représentations (ShapeRepresentationsAndDescription), incluant leurs métadonnées liées au cadre de la conception.
- les outils de traitement de la géométrie et les algorithmes utilisés dans le cadre de la conception.
- les tâches (Tasks) accomplies par les logiciels métiers (SoftwareTools) traitant la géométrie (Shapes).
- les contraintes (ConditionTypes), qu'elles soient géométriques ou non, qui sont liées à un modèle de données du produit (ProductDataModel) et à une géométrie lors de l'exécution d'une tâche spécifique.
- les groupes, qui permettent de rassembler des modèles numériques qui sont liés.

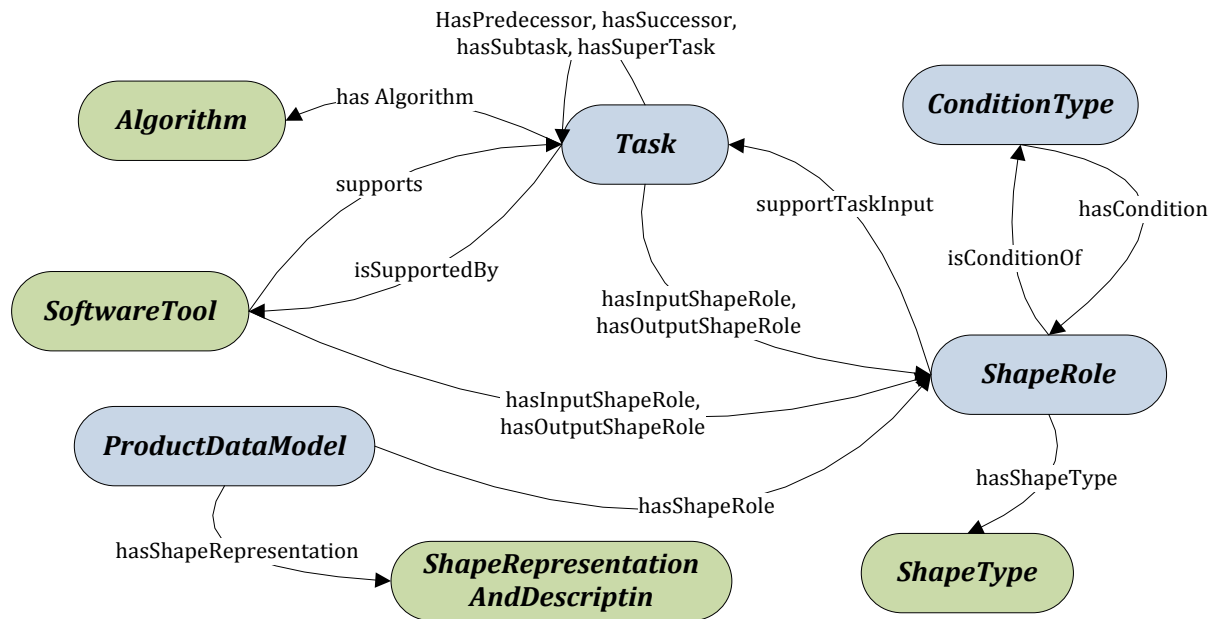


Figure 2- 22, Concepts principaux d'une Ontologie de Donnée de Produit (PDO) (Catalano et al. 2008)

Selon, (Panetto et al. 2012) les modèles spécifiés dans les normes relatives aux données Produit sont un bon point de départ d'extraction de connaissances afin de développer une ontologie. Le but final étant de conceptualiser un modèle d'information de référence commun qui facilite l'échange d'information entre les acteurs ayant des points de vue différents sur les produits. Ces modèles sont destinés à formaliser une ontologie intégrée qui peut être peaufinée au cours du cycle de vie du produit grâce à son utilisation dans le cadre des communications.

Selon (Jardim-Goncalves et al. 2009), l'enrichissement sémantique des normes des données de produit est considéré comme un moyen d'évolution de ces dernières. Une stratégie d'enrichissement des normes peut être l'application des normes ouvertes. La plupart des organismes de normalisation favorisent l'adoption de normes ouvertes où le terme « ouvert » implique que les spécifications techniques sont largement, voire peut-être librement disponibles pour les utilisateurs potentiels. Selon Harsh, « les normes ouvertes sont les principaux partisans de l'interopérabilité » (Harsh et al. 2012). En effet, l'interopérabilité dans une organisation distribuée ou dans un environnement informatique hétérogène nécessite une bonne quantité de normes ouvertes pour le partage et l'échange des informations (Paviot et al. 2011). Une autre stratégie d'enrichissement des normes porte sur l'annotation des données produites basées sur les normes.

2.4.1.4. Annotation de données

L'annotation, également appelée Tagging ou Étiquetage, est utilisée pour surmonter les barrières d'interopérabilité. Selon le Dictionnaire Oxford, le mot « annotation » est défini comme « une note en guise d'explication ou commentaire ajouté à un texte ou un diagramme » (Oxford 2013a). Le terme « annotation » peut désigner à la fois le processus d'annotation et le résultat (Handschuh 2005). En effet, l'annotation établit, dans un certain contexte, une relation typée entre les données annotant (les annotations) et les données annotées (Oren et al. 2006).

Selon (Bonice1 2012), l'annotation est un facteur qui améliore l'interopérabilité sémantique car elle favorise l'échange des données entre les applications et leurs bibliothèques numériques. En général, cette amélioration se fait par un enrichissement sémantique des entités échangées. En effet, l'annotation est une solution utile pour enrichir la représentation des connaissances (modèles, méta-modèles) qui peuvent augmenter la compréhension mutuelle ainsi qu'aider à compléter les différentes représentations (Liao et al. 2011). En outre, les systèmes d'information traitent les annotations afin d'identifier les ressources adéquates requises par un tiers (Paviot 2010). Ceci augmente la pertinence des informations échangées.

A) Mécanisme de l'annotation

Selon (Bechhofer et al. 2002), l'annotation peut être classée en fonction de son mécanisme :

- L'annotation textuelle : elle désigne le processus par lequel des notes ou des commentaires sont ajoutés aux éléments annotés. Les annotations de ce type ont été utilisées pendant de nombreuses années ;
- L'annotation du lien (Link Annotation) : elle étend la notion d'annotation textuelle, où le contenu de l'annotation est défini, non pas par un texte, mais par les liens de destination (et les comportements éventuellement associés). Cette annotation peut être considérée également comme une activité principalement destinée aux lecteurs humains.
- L'annotation sémantique : le contenu de l'annotation est constitué d'informations sémantiquement riches définissant les relations sémantiques entre les données annotant et les données annotées.

Le terme « annotation sémantique » est aussi décrit comme « une annotation (qui) attribue à une entité, qui est dans le texte, un lien vers sa description sémantique. Une annotation sémantique se réfère à une ontologie » (Talantikite et al. 2009). Selon (Lu 2012), l'annotation sémantique est considérée comme une approche consistant à lier les ontologies à la source d'information originale.

(Lu 2012) propose également, à partir d'études sur les méthodes et les outils d'annotation sémantique, une liste d'exigences, en particulier pour l'annotation sémantique des modèles de processus. Cette liste fournit une bonne base indiquant ce à quoi un outil d'annotation sémantique devrait ressembler et comment développer une approche d'annotation sémantique basée sur une ontologie.

Le mécanisme d'annotation peut être principalement basé sur l'association spontanée de mots-clés à plusieurs ressources numériques par exemple images, vidéos ou modèles. Il porte la sémantique afin d'organiser l'ensemble des documents. Par exemple, un document qui contient les photographies de monuments parisiens utilisera les tags « photographie », « Paris » et « monument » pour décrire cette donnée (Paviot 2010). Dans le cadre de la conception, l'annotation peut être utilisée pour les données Produites.

B) Formalisme de l'annotation

Selon (Oren et al. 2006), l'annotation peut être classée également en fonction de son formalisme :

- L'annotation informelle. Elle n'est pas lisible par la machine car elle n'utilise pas un langage formel. Dans ce cas, un modèle conceptuel, incluant les concepts utilisés dans les annotations, peut exister.
- L'annotation formelle. Elle a des composants formellement définis et elle est lisible par la machine mais n'utilise pas de termes ontologiques. Dans ce cas, les modèles conceptuel et formel, incluant les concepts et leurs sémantiques utilisés dans les annotations, peuvent exister.
- L'annotation ontologique. En réalité, c'est un type particulier de l'annotation formelle car elle est basée sur une terminologie communément admise qui correspond à une ontologie partagée, y compris ses modèles conceptuel et formel.

C) Annotation ontologique

Dans un article traitant de l'annotation ontologique, ses trois principales composantes sont identifiées (Liao et al. 2012). Comme l'illustre la Figure 2- 23, une ressource numériques (fichiers textuels, images, modèles Produit) est prise en charge par les trois principales composantes de l'annotation sémantique afin d'annoter cette ressource :

- 1) L'ontologie, qui définit les termes utilisés pour décrire et représenter un ensemble de connaissances.
- 2) Le modèle de structure d'annotation sémantique (Semantic Annotation Structure Model - SASM), qui organise une annotation et décrit les correspondances entre les ressources numériques et une, ou plusieurs ontologies.
- 3) L'application, qui est conçue pour l'utilisateur afin de réaliser l'annotation en utilisant la structuration de l'annotation.

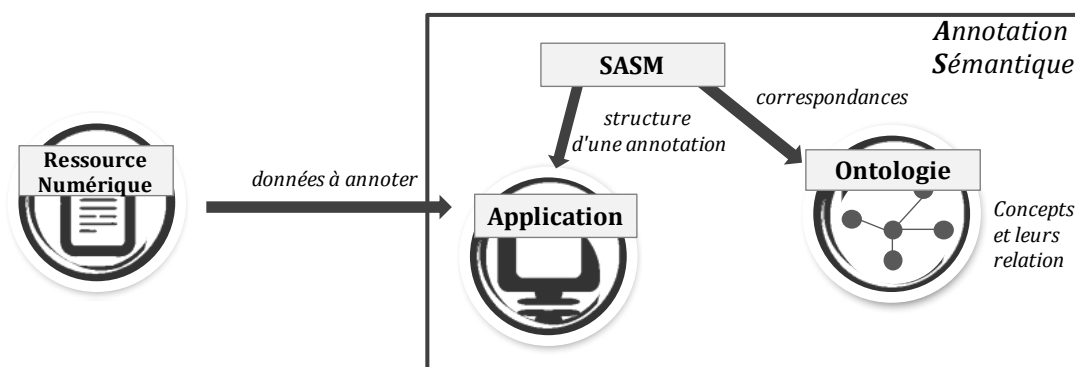


Figure 2- 23, Trois principales composantes de l'annotation sémantique selon (Liao et al. 2012)

Dans le cadre de la conception, l'annotation peut être utilisée pour enrichissement sémantique des données Produit mais cette solution n'a pas d'impact sur le format de fichiers contenant ces données.

2.4.1.5. Synthèse : les variables d'actions apportées aux processus collaboratifs par les normes

L'objectif principal de cette section était d'étudier comment la performance des collaborations peut être impactée par les normes d'échange de données dans un processus de conception. Les normes peuvent donc jouer le rôle des variables d'action. L'ensemble des normes identifiées comme variable d'actions sont présentées par la Figure 2- 24. Par la suite, les liens entre ces variables et les éléments des processus collaboratifs sont synthétisés.

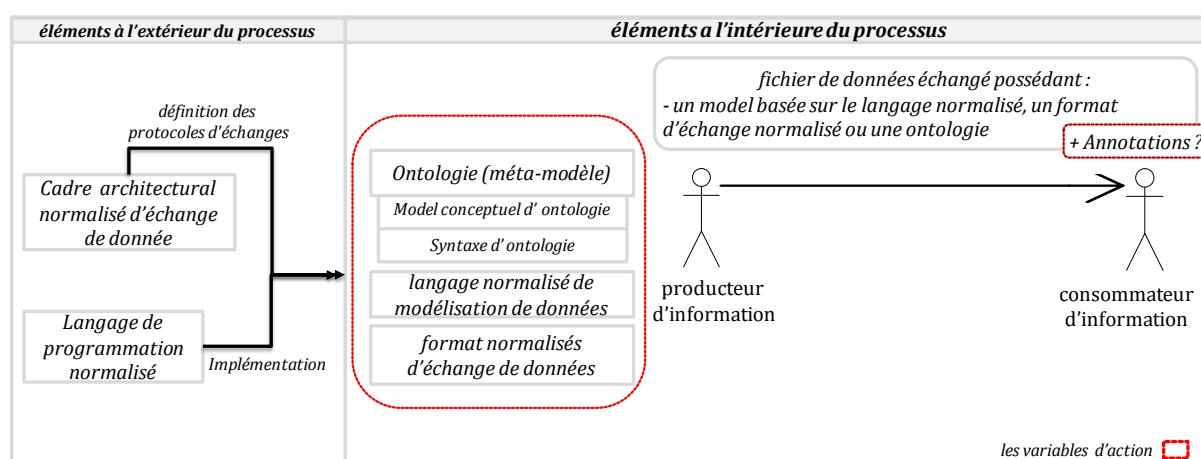


Figure 2- 24, Variables d'action apportées aux processus collaboratif par l'utilisation des normes

Dans ces travaux l'accent est mis sur les collaborations d'une manière indépendante des infrastructures normalisés et des normes d'implémentation et de développement des outils. En effet, les normes sont limitées à celles utilisées dans la modélisation et la représentation de données de produit ainsi que les normes d'échange de ces dernières. Ces normes sont identifiées comme des variables d'action :

- Les normes de la modélisation de données comme « STEP » (basée sur le langage EXPRESS, qui est une norme développée dans le cadre de conception de produits). Dans le cas d'utilisation de ces normes, les concepts liés aux données Produit et leurs associations sont définis selon les sémantiques et la syntaxe des normes. En effet, ces éléments existant dans les modèles produits doivent conformer à ceux définis dans les langages de modélisations. Par conséquent, l'abstraction d'un fichier échangé, la première variable de mesure, peut varier en fonction de l'utilisation des langages de modélisation normalisés.
- Les normes d'échange de données comme « STEPml » et « Product Data Markup Language (PDML) » (développées dans le cadre de conception de produits). Le format d'un fichier échangé, la deuxième variable de mesure, peut varier en fonction de l'utilisation de ces normes dans la collaboration. En effet, les données Produit qui sont codées basées sur ces normes doivent respecter la syntaxe et les sémantiques de ces dernières.

Dans un processus collaboratif, le choix des normes doit être cohérent avec les outils et les connaissances des acteurs. Par exemple, dans le processus de conception, l'application de la norme « STEP » nécessite un outil de conception, utilisée par le concepteur, comme CATIA qui supporte cette norme. Également, l'application de la norme « UML » nécessite la connaissance de l'acteur pour modéliser les données sur la base de ce langage de modélisation normalisé.

Dans cette section, un accent est également mis sur les ontologies, en particulier l'ontologie de données Produit. Dans les processus de conception, les ontologies (Figure 2- 24) peuvent être appliquées de manières différentes par les acteurs ou le système d'information. Dans ce contexte, l'ontologie la plus utilisée est celle de domaine qui est fournie aux acteurs comme un élément commun, pour assurer une compréhension mutuelle. Cette ontologie peut posséder une syntaxe (un modèle formel) simple, comme une ontologie terminologique, ou une syntaxe plus complexe, telles que les ontologies d'inférence.

Les ontologies de données de produit sont fournies aux concepteurs, principalement comme une source commune, pour assurer une compréhension mutuelle sur les concepts qu'ils utilisent. En effet, les ontologies sont largement utilisées comme solutions d'interopérabilité, particulièrement pour surmonter les problèmes sémantiques dans les échanges de données (Roussey et al. 2010).

Il est considéré que ces ontologies peuvent impacter le flux de données, particulièrement les aspects sémantiques de données, entre les concepteurs. En effet, chaque ontologie possède des caractéristiques sémantiques et syntaxiques, qui pourraient affecter les éléments d'un processus collaboratifs :

- Le choix des ontologies doit être cohérent avec les outils et les connaissances des acteurs (concepteurs). En effet, les concepteurs doivent être en mesure de d'utiliser et de comprendre l'ontologie fournie pour son activité.
- L'ontologie peut impacter les sémantiques et le format des données produites, principalement les abstractions de données, en déterminant les sémantiques des concepts utilisés dans ses abstractions. En ce qui concerne ces impacts sur les données échangées, il est estimé que :
 - Lorsque les données (les concepts) et les objectifs d'ontologies sont plus spécifiques, l'impact de l'ontologie sur la sémantique des données échangées est plus explicite. En effet, dans ce cas les concepts impactés sont plus précisément ciblés. Par conséquent, ces impacts peuvent être plus quantifiables que dans le cas de l'utilisation des ontologies génériques.
 - Quand une ontologie est bien formalisée, elle est généralement destinée à être implémentée par la machine plutôt que par l'Homme. Dans ce cas, l'impact de l'ontologie sur le format des données échangées est plus explicite car il ne comprend moins d'intervention humaine. En effet, dans ce cas les concepts impactés sont plus précisément ciblés et leurs interprétations sont plus limitées. Par conséquent, ces impacts peuvent être également plus quantifiables que dans le cas de l'utilisation des ontologies par l'Homme.

Au cours des études sur les normes, il est observé que les enjeux relatifs à cette solution d'interopérabilité indiquent la nécessité de l'enrichissement sémantique des données échangées basées sur les normes. En effet, dans les processus de conception, l'annotation peut être appliquée par les acteurs du processus pour enrichir les sémantiques de données Produit adapté aux besoins des autres concepteurs. Cette annotation peut se faire par le concepteur, producteur de données ou par les acteurs chargés de l'activité de communication entre ce concepteur et les consommateurs de données.

Le choix de l'annotation peut affecter le flux de données entre les concepteurs et plus particulièrement leurs sémantiques. En ce qui concerne l'impact d'annotation sur les fichiers échangés, il est observé que :

- L'annotation affecte l'abstraction des fichiers en enrichissant ses sémantiques. En effet, les données peuvent devenir plus informatives après l'annotation. Quand l'annotation est bien formalisée, il est généralement destiné à être implémentée par la machine plutôt que par l'Homme. Dans ce cas, l'impact d'annotation sur la sémantique des données échangées est plus explicite car il ne comprend moins d'intervention humaine. En effet, dans ce cas les concepts impactés sont plus précisément ciblés et l'interprétation des annotations est limitée. Par conséquent, ces impacts peuvent être également plus quantifiables que dans le cas de l'utilisation des ontologies par l'Homme.
- L'annotation via un outil a un format défini pour les fichiers à annoter. Même si cette solution est essentiellement considérée comme une solution sémantique, dans le cas d'utilisation d'un outil pour l'annotation, le format de fichier d'entrée doit être accepté par cet outil.
- L'annotation elle-même n'est pas capable de changer le format de fichiers à annoter.

L'ensemble des variables d'action identifiées dans cette section et leurs liens avec les éléments clés de collaboration sont également ajoutés au modèle conceptuel de processus collaboratifs (voir la Figure 2- 31, synthèse des variables d'actions).

L'utilisation d'une norme ou d'un modèle de référence unique nécessite un effort de la part de l'utilisateur pour s'appropriier les concepts et les méthodes d'implémentation (Paviot 2010). Par conséquent, la norme doit être adaptée à tous les acteurs d'une manière consensuelle, alors que dans certains domaines, cela est presque impossible (Choquet 2011). Actuellement, considérant la diversité des acteurs et des domaines dans le développement de produits, plusieurs normes ou modèles sont utilisés dans les échanges de données. Comme il est mentionné précédemment, dans ce cas, certains traitements sur les modèles, tels que la transformation de modèles, doivent être envisagés afin de réaliser l'interopérabilité.

2.4.2. Transformation de modèles

Dans cette section, une autre solution surmontant les barrières d'interopérabilité dans les échanges d'informations est discutée. Cette solution est initiée par l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) : « les deux principaux prototypes de l'ingénierie dirigée par les modèles sont les modèles et les transformations de modèles » (Lemrabet 2012).

Le but de l'Interopérabilité Dirigée par les Modèles est d'adapter l'IDM pour résoudre les problèmes d'interopérabilité. Ceci est réalisé à travers des transformations automatiques de

modèles conçus à différents niveaux d'abstraction. Selon Lemrabet, deux organisations, qui utilisent des applications logicielles séparées et différents types de modèles, peuvent devenir interopérable via la transformation de modèles : « quant à la transformation de modèles, elle consiste à utiliser des techniques de transformations pour mettre en relation les trois principaux modèles CIM, PIM et PSM. Ces techniques de transformation peuvent être utilisées pour générer le PIM à partir du CIM ou le PSM à partir du PIM » (Lemrabet 2012).

En effet, il est constaté que la transformation de modèles est censée surmonter les barrières sémantiques et syntaxiques de l'interopérabilité en affectant les données échangées. Dans un premier temps, ces impacts doivent être identifiés car dans ces travaux de recherche, la mesure est basée sur la compatibilité des abstractions de fichiers échangés (les variables de mesure). Les questions soulevées ici sont : La transformation, a-t-elle un impact sur les fichiers échangés dans un processus collaboratif ? Comment la transformation et ses éléments impactent les sémantiques/syntaxes de ces fichiers ? Afin de répondre à ces questions, dans un premier temps les concepts fondamentaux de la transformation sont discutés. Ensuite, les éléments clés de cette approche sont étudiés.

2.4.2.1. La Transformation de modèles et ses éléments clés

La Transformation de modèles ou transformation modèle-à-modèle est définie comme le processus de conversion d'un modèle du système [produit] à un autre modèle de ce dernier (Miller & Mukerji 2003). Czarnecki et al proposent une taxonomie de classification des différentes approches existantes pour la transformation de modèles. Cette taxonomie est décrite par un modèle de fonctionnalité qui rend les différents choix de conception pour les transformations de modèles explicites. Les auteurs classent également les approches de transformation existantes de la manière suivante : les approches de manipulation directe, relationnelles, basées sur les graphes, dirigées par les structures, et enfin, les approches hybrides (Czarnecki & Helsen 2003).

Comme un exemple de ces approches qui est basé sur Meta Object Facility, (Liu 2011) propose une architecture dédiée à la transformation de modèles (voir la Figure 2- 25). Dans cette architecture :

- **un modèle source est transformé en modèle cible.** Ces modèles, au niveau M1, sont conformes à leurs propres méta-modèles, du niveau M2, et les méta-modèles sont conformes à un seul méta-méta-modèle du niveau M3. Concernant les processus collaboratifs dans le cadre de la conception, le modèle source est un fichier qui est fourni par une activité de conception et le modèle cible est un fichier requis par une autre activité. Ces deux fichiers, contenant des données Produit, conformément à leurs propres méta-modèles (abstractions). Ces derniers doivent-ils-même être conformes au méta-méta-modèle défini dans la transformation.
- **la transformation repose sur des règles de transformation,** autrement dit le mapping ou la projection. Miller définit cette dernière comme « la spécification d'un mécanisme pour la transformation des éléments d'un modèle conforme à un méta-modèle, notamment dans les éléments d'un autre modèle qui se conforme à un autre méta-modèle » (Miller & Mukerji 2003). En effet, la transformation est basée sur des liens sémantiques et syntaxiques entre les modèles, qui sont développés par des experts domaines de ces modèles.

- **La transformation nécessite également un langage de transformation** qui implémente les règles de transformation. Ce langage est lui-même conforme à un modèle du niveau M3 (méta-méta-modèle) dans l'architecture de transformation.

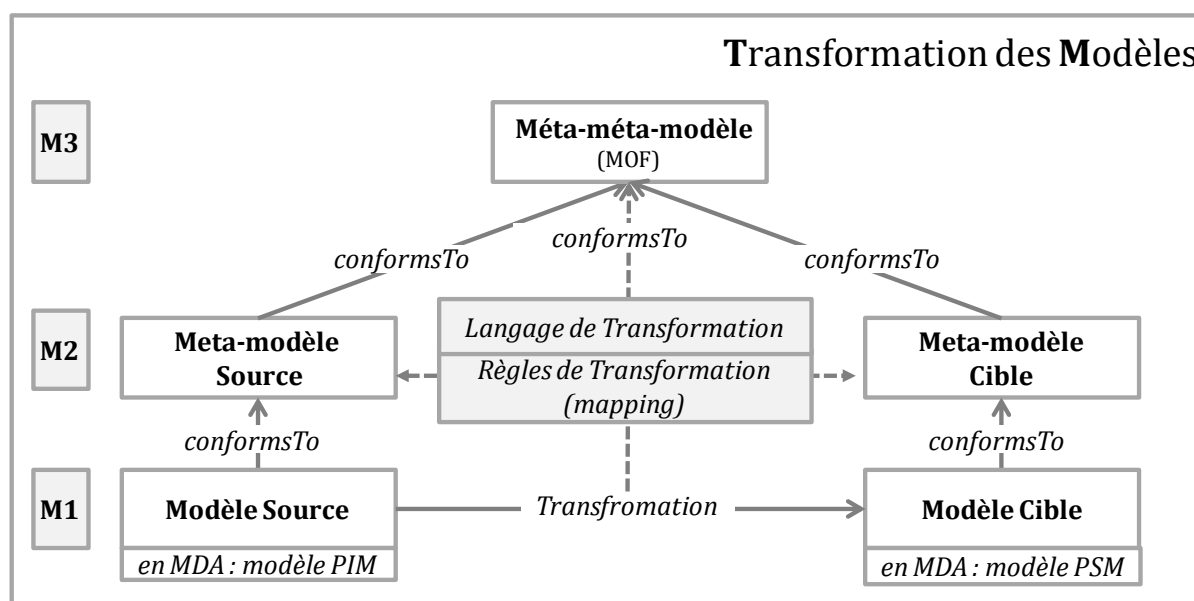


Figure 2- 25, Transformation des Modèles et ses éléments clés (Liu 2011)

A titre d'exemple de langage de transformation de modèles actuels, ATLAS Transformation Language (ATL) est largement utilisé dans le cadre de l'interopérabilité dirigée par les modèles. Langage ATL est développé par des groupes de recherche de l'INRIA et du LINA. Il est conforme au Meta Object Facility et fournit un moyen de générer le modèle cible à partir du modèle de source pour les développeurs dans l'ingénierie dirigée par les modèles (ATLAS 2005).

L'ATL adopte un mode de programmation unidirectionnel pour faire correspondre (matcher) les données du modèle source avec le modèle cible conformément à certaines règles de transformation. Ce langage prend également en charge la transformation entre le méta-méta-modèle MOF, défini par l'OMG, et le méta-méta-modèle Ecore défini par EMF. En d'autres termes, tous méta-modèles conformes à la sémantique du MOF ou Ecore peuvent être transformés par l'ATL.

Actuellement, il existe plusieurs boîtes à outils (ex. Topcased), utilisées sous forme de plugins intégrés dans la plate-forme Eclipse, qui soutiennent ce langage. Ces boîtes à outils permettent également l'implémentation de la transformation de documents XML ainsi que de méta-modèles MOF ou Ecore (Lu 2012).

Liu liste les caractéristiques principale du langage ATL (Liu 2011)) fondée sur une évaluation des caractéristiques de conception de langages de transformation de modèles réalisés par (Czarnecki & Helsen 2003) :

- ATL peut être utilisé pour créer des règles de transformation déclaratives et impératives ; les règles sont organisées en modules ;
- Pendant l'exécution, les règles sont sélectionnées par des conditions explicites et l'exécution des règles est déterministe ;

- La transformation du modèle est unidirectionnel et le modèle source ne peut pas être retrouvé en ayant le modèle cible. En effet, la transformation n'a pas de liens de traçabilité.

Czarnecki explique la transformation XML-XML, en utilisant XSLT (eXtended Stylesheet Language Transformation) qui est un langage normalisé permettant de transformer un fichier XML (Kay 2007) à un autre fichier XML ou HTML (Czarnecki & Helsen 2003). Dans cette transformation, le format de données, comme une indication de syntaxe, n'est pas modifié, mais le véritable changement se trouve au niveau de métadonnée XML appelé schéma XML (XSD).

Il est donc observé que généralement en transformation des modèles, basée sur MOF ou sur d'autres normes de l'ingénierie dirigée par les modèles, le format de fichier de données ne change pas et il est basé sur XMI (XML Metadata Interchange). En effet, au cours de la transformation, c'est le schéma XML qui est changé (transformé). Le changement des formats dans les échanges de fichiers est principalement abordé par la Conversion.

2.4.2.2. Transformation de modèles basée sur ontologie

Cette solution d'interopérabilité est une solution hybride qui combine la transformation de modèles et les ontologies en favorisant la transformation basée sur les ontologies. Cette solution, d'une part implique l'application d'ontologies communes dans les échanges de données et d'autre part s'adapte à chaque échange de données via une transformation.

Compte tenu de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), il est indiqué que l'ontologie est étroitement liée aux modèles et de nombreuses entreprises et universités ont étudié comment transformer les modèles à l'aide d'une ontologie dans le Model Driven Architecture.

Selon Ghafour (Abdul Ghafour 2009), la diversité des formats de représentation des connaissances entre les ontologies d'application et l'ontologie commune pose différents problèmes d'hétérogénéité : les discordances liées à la syntaxe, et celles liées à la sémantique. Ces dernières, évoquant des barrières sémantiques, sont beaucoup plus complexes, et leur résolution peut se faire par des transformations basées sur des ontologies (Lu 2012).

Une approche de transformation de modèles basée sur l'ontologie est proposée par (Roser & Bauer 2006). Cette approche nécessite les concepts suivants (voir la Figure 2- 26) :

- La Transformation sémantique : il s'agit d'une transformation décrite spécifiquement entre deux ontologies. Cette transformation est spécifiée entre une ontologie source et une ontologie cible, mais elle peut aussi être bidirectionnelle.
- La liaison Syntaxe-Sémantique (Syntax-semantic Binding) : elle supporte le lien entre la syntaxe (les métamodèles) et la sémantique (les ontologies).
- La liaison Métamodèle-Ontologie (Metamodel-Ontology Binding) : elle précise comment l'information sémantique peut être obtenue à partir des éléments du modèle.
- La liaison Ontologie-Métamodèle (Ontology-Metamodel Binding) : elle précise comment les éléments de l'ontologie sont exprimés dans les modèles.

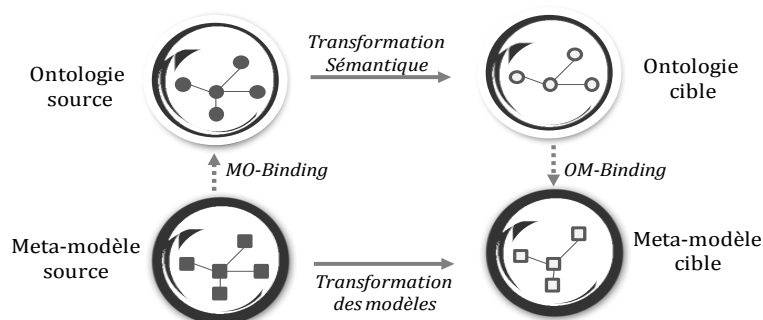


Figure 2- 26, Conceptualisation de l'approche de (Roser and Bauer 2006), proposée par (Liu 2011)

En se basant sur ces concepts, l'approche de Roser, structurée par la Figure 2- 27, indique les blocs suivants (Roser & Bauer 2006) :

- La transformation : il s'agit de la combinaison d'une transformation sémantique, une liaison méta-modèle-ontologie et une liaison ontologie-métamodèle, qui forment une configuration de transformation. Cette configuration est la base de toutes les générations automatisées des transformations de modèles.
- Le générateur : Un générateur de transformations de modèles prend une configuration de transformation ainsi que le méta-modèle approprié et les définitions ontologiques comme entrées. Il génère aussi une transformation du modèle spécifié dans un langage intermédiaire.
- Les outils MDA : La transformation du modèle générée est attribuée à des outils MDA arbitraires qui implémentent et exécutent la transformation.

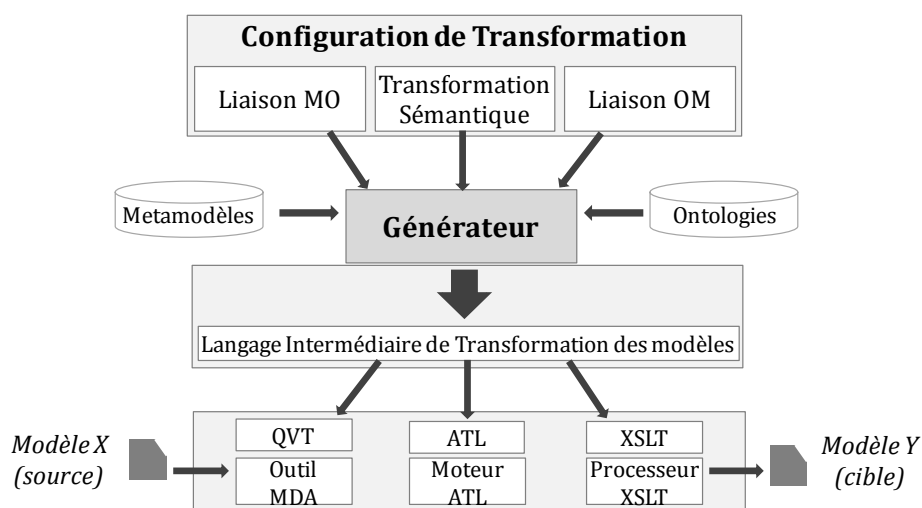


Figure 2- 27, Approche globale de la transformation de modèles basée sur des ontologies (Roser & Bauer 2006)

A titre d'exemple de ce type de transformation dans les processus de conception, Ghafour propose une méthode d'échange indirecte de données en utilisant un format neutre entre les différentes applications (Figure 2- 28). Cette méthodologie, inclut une ontologie commune, appelée CDFO (Common Design Features Ontology), servant d'intermédiaire entre les différents systèmes CAO basée sur les caractéristiques géométriques des produits (Abdul Ghafour 2009). L'objectif de la méthode proposée est de traiter les différents problèmes posés par les discordances des formats.

Cette méthodologie d'échange des modèles CAO est décrite dans deux niveaux (la Figure 2- 28) :

- Le niveau d'application CAO : les concepteurs créent des modèles de produits à l'aide de la modélisation par les caractéristiques géométriques.
- Le niveau d'interopérabilité : cette phase consiste à mettre en place un processus de conversion des modèles CAO, provenant des différents systèmes vers une ontologie commune. A ce niveau, l'échange de données est réalisé via deux mappings parallèles, mais intégré : le mapping syntaxique qui résout les homogénéisations syntaxiques et le mapping sémantique qui résout les homogénéisations sémantiques (Abdul Ghafour 2009).

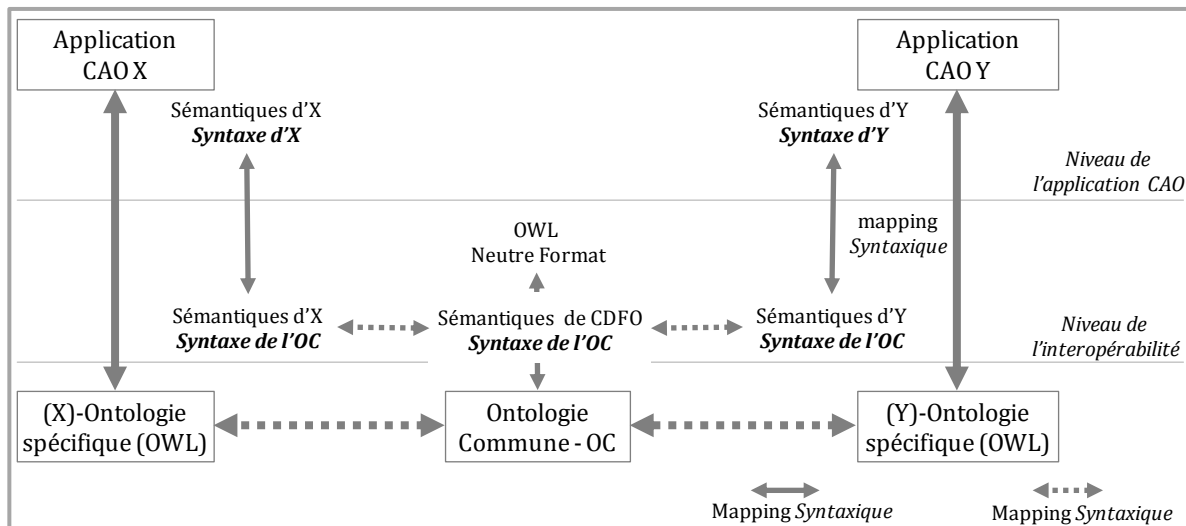


Figure 2- 28, Traitement d'hétérogénéités syntaxiques et sémantiques par la méthodologie de (Abdul Ghafour 2009)

Le méta-modèle du langage d'ontologie OWL, utilisé dans la méthodologie de Ghafour, est intégré avec les profils UML et les méta-modèles des autres langages classiques d'ontologie, RDFS et Topic Maps (TM), dans la structure de modélisation MOF (Liu 2011). Cette intégration aboutit à un méta-modèle de définition de l'ontologie (Ontology Definition Metamodel -ODM) proposé par l'OMG.

Comme exemple d'utilisation d'Ontology Definition Metamodel, Lu propose une méthodologie de transformation des modèles UML (Lu 2012). Ces modèles UML, fréquemment utilisés pour la modélisation des données Produit/Processus, peuvent être communiqués en utilisant le format XMI (XML Metadata Interchange).

Dans la méthodologie de Lu, le modèle UML2 (.uml) est transformé vers une ontologie en OWL, en utilisant le langage ATL et par l'intermédiaire d'un modèle l'ODM et un modèle XML. En effet, ici, deux problèmes doivent être traités ensemble : la transformation UML2OWL, et la transformation XMI2XML. Par conséquent, Cette méthodologie comprend trois transformations locales (voir la Figure 2- 29) :

- 1) La transformation (UML2OWL) du modèle UML2 en modèle d'ontologie de OWL conforme au méta-modèle ODM : ce processus comprend des règles de transformations écrites en ATL, basées sur les correspondances entre les méta-modèles UML et OWL et définies par l'ODM.

2) La transformation (OWL2XML) de modèle d'ontologie de OWL en un modèle d'ontologie basé sur la syntaxe de XML : ce processus de conversion prend respectivement le méta-modèle OWL et le méta-modèle (schéma) XML en tant que méta-modèle source et méta-modèle cible de la transformation, elle-même fondée sur les règles de transformation en ATL.

3) La transformation de modèle d'ontologie OWL basé sur la syntaxe de XML, en modèle OWL (.owl) en utilisant un Extracteur XML.

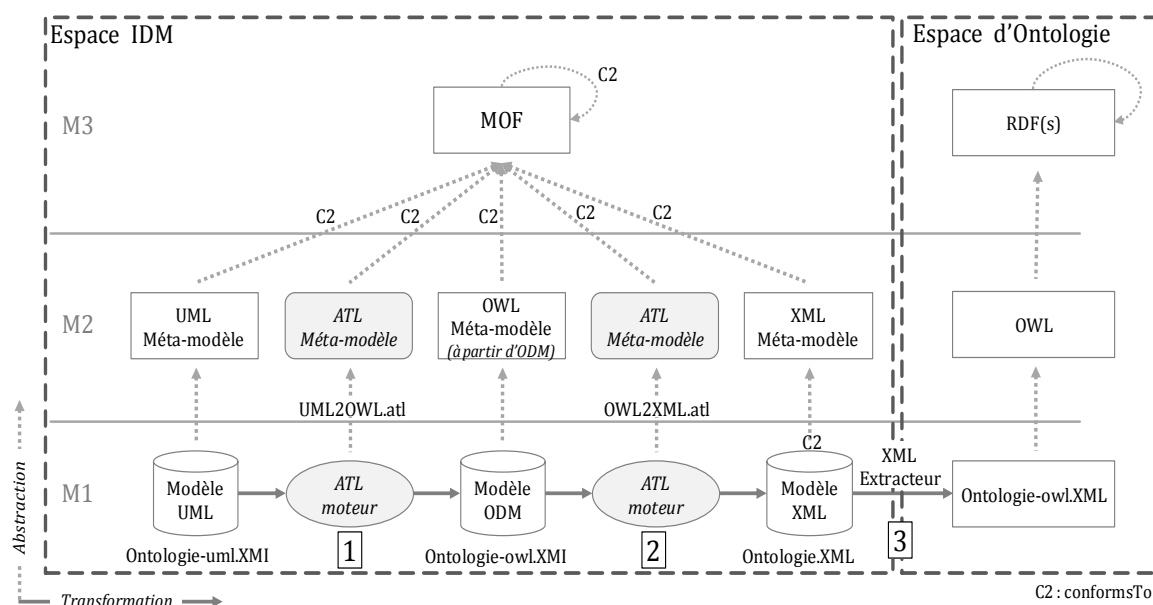


Figure 2- 29, Transformation des modèles UML2 en modèle OWL via l'ODM (Lu 2012).

Compte tenu de cet exemple, au cours des transformations, les abstractions et les formats d'échange des fichiers sont modifiés. En effet, le fichier XMI contenant le modèle UML est transformé en fichier XML contenant un modèle OWL.

2.4.2.3. Transformation et Conversion

La conversion de données, également connue sous les noms suivants : décodage, décompilation, exportation, import, migration, reformatage, recodage, transformation, transition (Heuser 2012), est essentiellement une solution pour l'interopérabilité technique. Cette solution, qui met l'accent sur les aspects syntaxiques, a récemment évolué en tant que la transformation des données ainsi que des modèles, en se concentrant sur les aspects sémantiques.

La conversion des données résulte d'un problème classique de l'interopérabilité causé par l'homogénéité des outils utilisés pour la production et la consommation d'information. En réalité, cette dernière est généralement produite, échangée et consommée par des outils sous forme de fichiers informatiques avec un format spécifique. Un format de données est généralement défini comme le format natif d'un outil (ou d'un ensemble d'outils). Pour ce dernier, les autres formats, non natifs, sont considérés comme étrangers.

Dans une collaboration, lorsque les acteurs échangent des données au moyen d'outils possédant des formats natifs hétérogènes, ces acteurs sont obligés d'exporter ou d'importer des fichiers, en utilisant un procédé de conversion des données intégré à l'outil.

Malgré les similitudes entre la conversion et la transformation de modèles, nous considérons qu'il y a une différence importante. La transformation est plus axée sur les sémantiques des contenus des fichiers que la conversion car cette approche se concentre sur les liens entre les abstractions de contenus de fichiers. En effet, les règles de transformation sont seulement définies sur les relations sémantiques entre les contenus implémentés. C'est la raison pour laquelle le format des fichiers source et cible n'est pas changé au cours de la transformation. Contrairement à la transformation, dans la conversion, les formats sont impactés. En outre, cette approche n'est pas basée sur les relations sémantiques entre les contenus des fichiers source et cible.

La Conversion est également observée dans les processus de conception, en utilisant les formats générique comme « XML » ou les formats spécifique comme « STEP » qui est basé sur le langage EXPRESS. Par conséquent, de telles solutions d'interopérabilité et leurs impacts sur l'interopérabilité doivent être pris en compte dans la mesure de son indicateur.

2.4.2.4. Synthèse : les variables d'actions apportées aux processus collaboratifs par la transformation

Dans cette section, la transformation de modèles est discutée comme traitement nécessaire dans le cas d'utilisation de plusieurs modèle métiers dans les processus collaboratifs. En effet, cette solution d'interopérabilité met l'accent sur la stratégie de l'utilisation des modèles hétérogènes dans les échanges de données. L'objectif principal des études dans cette section est d'étudier la transformation et ses éléments qui peuvent jouer le rôle de variable d'action en impactant la performance des collaborations. Les variables identifiées dans cette section sont présentés par la Figure 2- 24. Par la suite, les liens entre ces variables et les éléments des collaborations sont synthétisés.

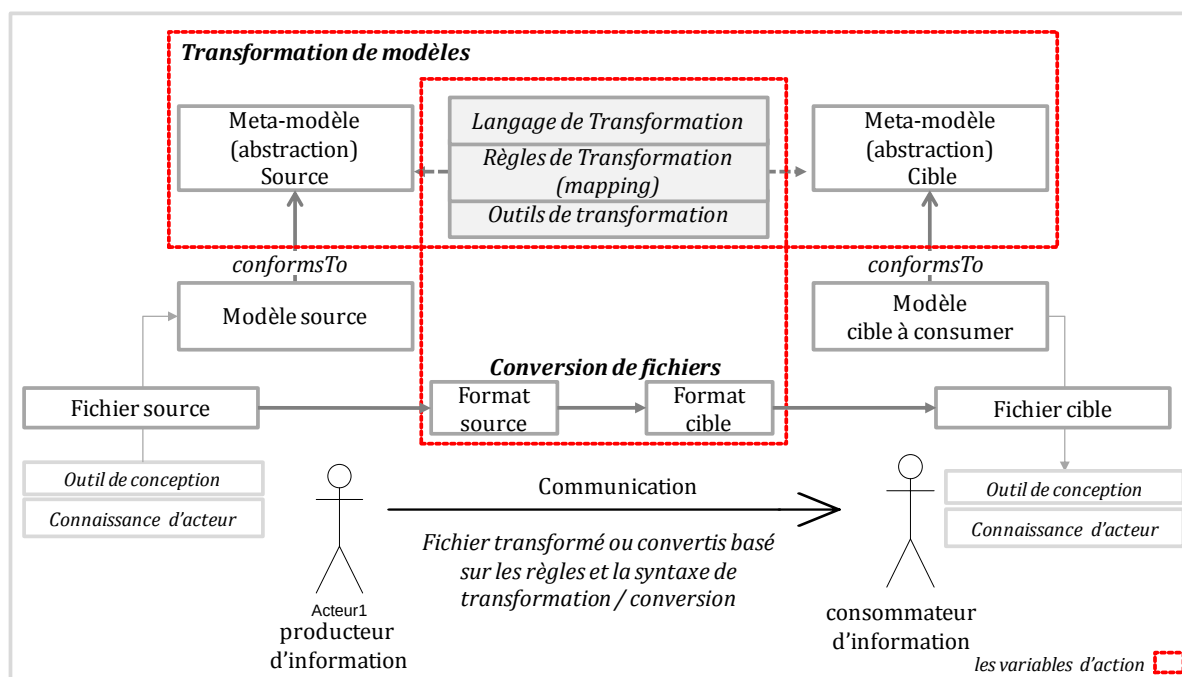


Figure 2- 30, Variables d'action apportées aux processus collaboratif par l'utilisation de la transformation de modèles

Dans les processus de conception, la transformation peut être appliquée par les acteurs du processus pour modifier les sémantiques ou la syntaxe d'un modèle afin de rendre ce dernier plus adapté aux besoins des autres concepteurs. Cette transformation peut se faire par le concepteur, producteur de données ou par les acteurs chargés de l'activité de communication entre ce concepteur et les consommateurs de données.

Il convient de mentionner que dans ces travaux l'accent est mis sur les données Produites. En effet, ici la transformation des modèles traite des modèles Produits, tels que par exemple : les modèles fonctionnels, énergétiques ou géométriques. Il est également considéré que le choix de la transformation peut affecter le flux de données entre les concepteurs et plus particulièrement leurs sémantiques. En effet, cette solution est appliquée comme solution d'interopérabilité afin de surmonter les problèmes sémantiques des échanges de données.

Chaque transformation possède des éléments sémantiques et syntaxiques, qui peuvent affecter les données échangées et éventuellement les variables de mesure de l'indicateur de performance du processus de conception. :

- La transformation affectant les formats des fichiers de données : même si la transformation (des modèles) est essentiellement considérée comme une solution sémantique, l'outil ou le mécanisme de transformation définissent le format de fichiers échangés (un des variables de mesure). Ce format doit conformer au format d'échange défini dans la transformation. Par exemple dans une transformation, les fichiers peuvent être transformés avec le format XML.
- La transformation affectant les abstractions des fichiers de données : la transformation affecte les sémantiques des fichiers de données, tout en transformant leurs abstractions (un des variables de mesure). En effet, ces abstractions qui sont déjà sous forme de méta-modèles sont transformées en nouveaux méta-modèles, basés sur les règles de transformation. Par exemple, la transformation des fichiers avec le format XML, affecte les XSDs qui sont les abstractions de ces fichiers.

L'ensemble de ces variables identifiées dans cette section et leurs liens avec les éléments clés de collaboration sont également ajoutés au modèle conceptuel de processus collaboratifs (voir la Figure 2- 31, synthèse des variables d'actions).

La conversion, une solution avec un mécanisme similaire à la transformation mais plus particulièrement focalisée sur la réalisation de l'interopérabilité technique, est également discutée dans cette section. Les variables d'action apportées par cette solution sont ainsi similaires à celles de la transformation de modèles : les règles de conversion (les correspondances), le langage et l'outil de conversion. Cependant, dans la conversion, l'impact de la conversion sur les formats de fichier est plus évident que l'impact sur leurs abstractions.

Au cours de nos études sur la transformation de modèle, il est observé que les enjeux relatifs à cette solution d'interopérabilité indiquent : la nécessité d'amélioration des éléments tels que les langages et les formalismes de modélisation (et méta-modélisation), la nécessité d'équilibrer les données codées et les données modélisées, et les problèmes concernant l'exécution des projets d'IDM et de leur maintien dans les processus de grande envergure. Cela pourrait être la raison pour laquelle certaines entreprises adoptent l'IDM pour les processus à petite échelle ou pour une partie du processus de développement du produit.

2.4.3. Synthèse de l'état de l'art sur les variables d'actions

Dans la section 2.4, les variables d'action qui peuvent être modifiées afin d'affecter la performance des collaborations sont étudiées. Ces variables sont extraites des études sur les éléments du processus collaboratifs et des solutions d'interopérabilité qui peuvent être utilisées dans ces processus. Les variables d'action identifiées dans cette section et leurs liens avec les éléments clés de collaboration sont également ajoutés au modèle conceptuel des processus collaboratifs. Cela a abouti à une version finale du modèle conceptuel de processus collaboratif (voir l'annexe C).

Dans le Tableau 2- 12, les liens entre les variables d'action et les variables de mesure sont synthétisées. Ces dernières impactent éventuellement la performance des collaborations.

Tableau 2- 12, synthèse des liens entre les variables d'actions et les variables de mesure

		Variables de mesure	
		Format de fichier	Abstraction de fichier
Variables d'actions	Acteur	✓	✓
	Format natif d'outil de conception	✓	✓
	Connaissance sur les données à produire	✗	✓
	Informations requises	✗	✓
	Activité	✗	✓
	Cadre des données à produire	✗	✓
	Solution d'interopérabilité basée sur un modèle unique	✓	✓
	Format d'échange	✓	✓
	Langage de modélisation	✗	✓
	Ontologie (méta-modèle)	✓*	✓
	Annotation de données	✓**	✓
	Solution d'interopérabilité basée sur plusieurs modèles	✓	✓
	Transformation/conversion	✓	✓
✓ La variable d'action détermine la valeur de la variable de mesure. ✗ La variable d'action n'a pas d'impact sur la valeur de la variable de mesure. * si l'ontologie est implémentée par la machine ** si l'outil existe.			

À ce point du mémoire, ces éléments de mesure de la performance sont identifiés et présentés : l'objet en cours d'évaluation (le processus collaboratif), le critère (l'interopérabilité), l'indicateur (la pertinence d'information), les variables de mesure (le format et l'abstraction des fichiers échangés) et les variables d'action. Dans la section suivante, le dernier élément, le mesure de l'indicateur en fonction des variables de mesure, est étudié (voir la Figure 2- 2, Ordre logique de définition des éléments de mesure de la performance).

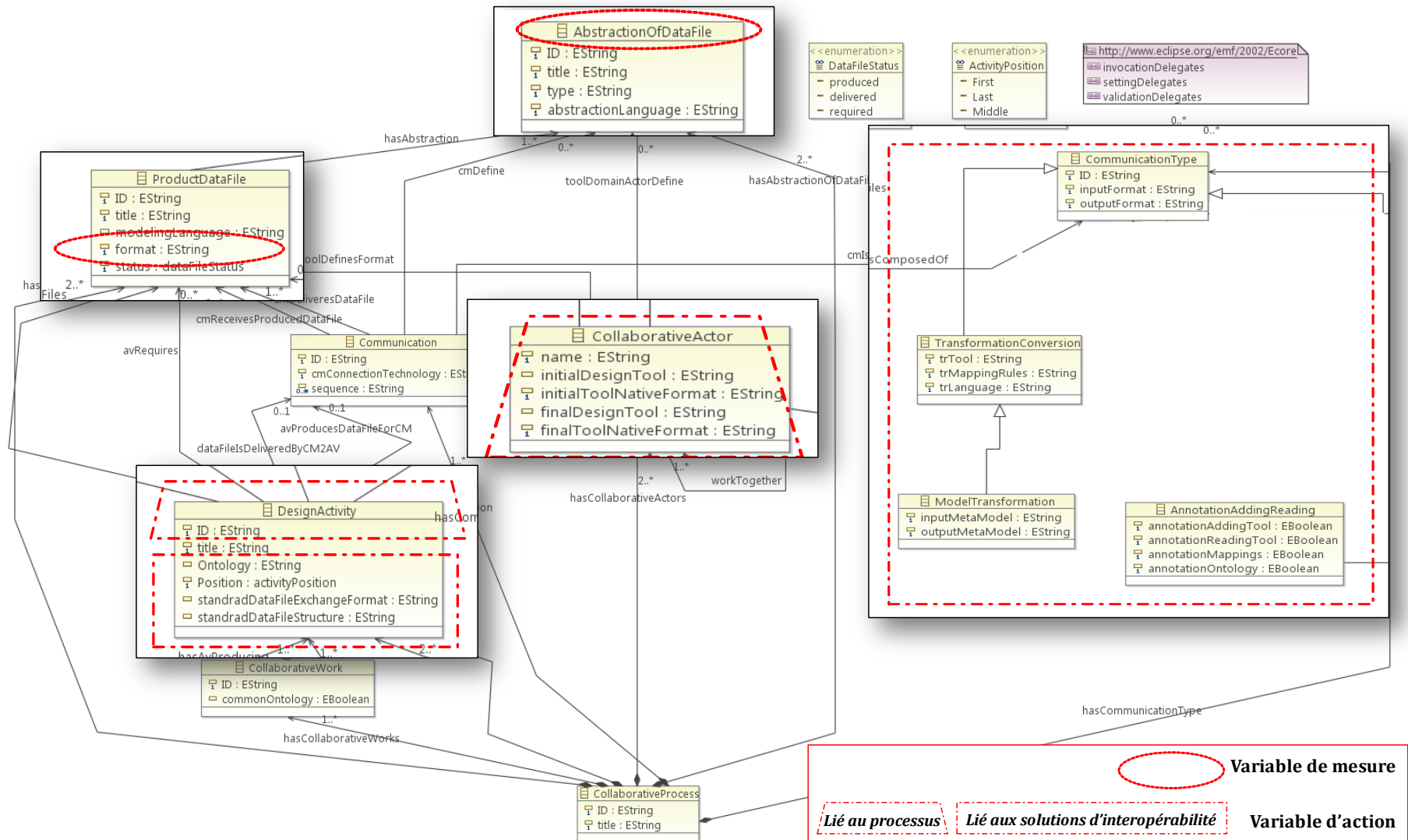


Figure 2- 31, Synthèse des variables d'actions et les variables de mesure dans le modèle conceptuel de processus collaboratif

2.5. Évaluation d'interopérabilité et méthode de matching

Comme décrit dans le premier chapitre de ces travaux de thèse, le but est de piloter le processus de conception en se focalisant sur les échanges de données entre les concepteurs. Le critère de performance, l'interopérabilité, doit être évalué afin de pouvoir prendre les décisions de pilotage adaptée. En outre, une méthode de mesure est exigée pour la mesure de l'indicateur, la pertinence d'information, en fonction des compatibilités des variables de mesure (formats et abstractions des fichiers échangés). Cette section porte donc sur l'évaluation de l'interopérabilité et notamment une méthode adaptée à la mesure de son indicateur retenu.

Kasunic et Anderson estiment que l'interopérabilité est un sujet vaste et complexe et l'élaboration de mesures spécifiques et leur application est une tâche difficile (Kasunic & Anderson 2004). Cependant, ces auteurs reconnaissent que l'évaluation de l'interopérabilité avec les mesures bien choisies est essentielle afin d'identifier les priorités à considérer dans la collaboration.

De nombreux chercheurs se sont intéressés à ces évaluations et de nombreuses approches sont proposées dans la littérature. Certains d'entre eux sont étudiés dans (Yahia et al. 2012) et (Yahia 2011). Ces approches peuvent être étudiés en deux catégories : les approches évaluant l'interopérabilité basée sur des indicateurs indépendants de ce concept tels que le coût, temps et ceux évaluant le niveau (potentiel ou effectif) de l'interopérabilité basée sur des indicateurs dépendants de ce concept comme le degré de couplage ou de **compatibilité**.

Certains auteurs considèrent que le degré de couplage entre des objets de collaboration (acteurs et systèmes) indique leur interopérabilité. Bianchini (Bianchini et al. 2006)) propose une approche qui d'abord exprime les relations sémantiques entre les objets en collaboration tandis que chaque objet est modélisé comme étant un ensemble de services processus (service providing processes). Ainsi, l'évaluation de ces relations sémantiques est effectuée sur la base du degré de couplage entre ces processus. Dans l'approche proposée par (Barut et al. 2002), le degré de couplage est mesuré sur la base des ces indicateurs: l'ampleur et l'intensité (extent and intensity) de l'information. Les acteurs sont donc considérés comme non couplés ou fortement couplés lorsque ces indicateurs sont respectivement 0 ou 1. Dans le premier cas, aucun échange d'informations entre les acteurs de la collaboration n'est réalisé et dans le second cas, toutes les informations sont disponibles pour être partagées et utilisées par tous ces acteurs.

Ducq et Chen (Ducq & Chen. 2008) considèrent les **mesures de compatibilité** dans leur approche de l'évaluation de l'interopérabilité. Dans cette approche, un questionnaire est appliqué qui prend en compte les barrières et les préoccupations de l'interopérabilité (présentées dans la section 2.3.2.). Les résultats de ce questionnaire sont liés à un tableau final dont les valeurs de mesure de compatibilité pour chaque paire de barrière-préoccupation sont détectées : 1, dans le cas de non incompatibilité et 1 dans le cas contraire.

Comme mentionné précédemment dans la section 2.3.3, l'indicateur d'interopérabilité retenu dans ces travaux est la pertinence d'information qui porte sur la compatibilité entre les acteurs des collaborations en se focalisant sur les fichiers échangés.

Yahia et al., étudient l'interopérabilité des échanges de données en fonction des barrières conceptuelles (Yahia et al. 2012). Dans cette approche, une méthode appelée **matching** sémantique joue un rôle spécifique pour la mesure de la compatibilité. Selon (Giunchiglia & Shvaiko 2004), des méthodes similaires sont appliquées dans les domaines suivants: intégration de l'ontologie, la transformation des messages entre les bases de données ou des répertoires de données et plus récemment dans la coordination des services Web (Giunchiglia & Shvaiko 2004). Le but ultime de matching est de trouver les différences entre deux objets de type schéma de données. Dans les sections suivantes cette méthode est discutée.

2.5.1. Matching, comme approche de mesure de compatibilité

Afin d'identifier les différences entre les entités (simples ou complexes), ou leurs similarités, un opérateur est appliqué : le match. Le fonctionnement de ce dernier est appelé Match Matching. En effet, un match est « un opérateur qui prend [en entrée] deux structures de données (par exemple, des modèles conceptuels, des schémas de base de données ou des ontologies) et produit des mappings (correspondances) entre les éléments de ces structures qui se correspondent » (Giunchiglia & Shvaiko 2004).

L'opérateur de Matching est appliqué dans les domaines suivants : l'évaluation de l'interopérabilité (Yahia 2011), l'intégration des schémas et des ontologies, la transformation des messages entre les bases ou répertoires de données, plus récemment, dans la coordination des services web (Giunchiglia & Shvaiko 2004). Selon Shvaiko, les différentes parties ont, en général, leurs propres préférences pour stocker des données. Par conséquent, lors de la coordination ou intégration des données parmi leurs sources d'informations, le matching est souvent nécessaire entre les différentes données ou modèles conceptuels (Shvaiko 2005).

Comme mentionné ci-dessus, l'objectif final du matching est de trouver les différences entre deux entités. Ces différences sont nommées de plusieurs façon dans la littérature : dis-similarité (Euzenat et al. 2004), mismatch (Issarny et al. 2011), conflits (Goh et al. 1995), etc.

Il est donc constaté qu'un processus de matching est basé sur la notion de similarité : « la notion de similarité a été empruntée à la philosophie et a été établie afin de déterminer pourquoi et comment les entités sont regroupées en catégories, et pourquoi certaines catégories sont comparables les unes aux autres, tandis que d'autres ne le sont pas » (Medin et al. 1993). Selon (Euzenat et al. 2004), très souvent, dans le Matching, la similarité par paire entre les entités est mesurée et le meilleur match entre eux est calculé avec l'objectif de maximiser la similarité.

Dans un processus de matching cette notion de similarité doit être définie tout d'abord, Dans certains cas, elle sont définies via une procédure inverse, la définition des dis-similarités ou les mismatches (Issarny et al. 2011). En général, la définition des similarités, dépend de l'objectif de matching. Par exemple, l'objectif de matching entre deux ontologies peut être de trouver des similarités sémantiques (De Bruijn et al. 2006). Dans ce cas là, l'existence de concepts communs est considérée comme une similarité. Si l'objectif de matching est de trouver des termes communs dans deux fichiers, l'existence d'un terme dans les deux fichiers est également considéré comme une similarité (Lin 2008).

Selon (ATHENA 2006), les mismatches entre deux objets sont divisés en deux grandes catégories : Lossless (sans perte) et Lossy (avec perte) :

- Mismatches avec perte sémantique. Ils représentent des cas où des mappings sémantiques à des ontologies de référence devraient être construits pour préserver la sémantique d'un élément. En effet, il s'agit d'un mismatch provoquant des barrières d'interopérabilité due à l'absence de sémantique commune ou à une sémantique fautive ou imprécise. Par exemple, un mismatch se produit lorsque dans le matching de deux fichiers de données, le concept de « fonction » (nécessaire pour la conception pour de produit) existe seulement dans un des fichiers. Dans ce cas là, il s'agit d'un mismatch avec perte sémantique de type « absence de sémantique ».
- Mismatches sans perte sémantique. Ils sont des cas où la sémantique (destinée) d'un élément peut être totalement comprise et partagée. En effet, ce type de mismatch ne provoque pas de barrières d'interopérabilité dès lors qu'il n'y a pas de pertes sémantiques. Par exemple, le concept de « fonction » dans un domaine, peut être appelé « opération » dans un autre, ou traduit par « function » dans une autre langue ; Entre les termes « fonction », « operation » et « function » la sémantique peut être préservée, par conséquent le mismatch entre ces termes est appelé « mismatch sans perte sémantique ».

Concernant l'interopérabilité, les mismatches avec perte qui peuvent causer des barrières d'interopérabilité et les cas de mismatches sans perte où aucune barrière d'interopérabilité n'est soulevée doivent être identifiés.

La question soulevée ici est : quelle est l'approche ou la méthode de matching adaptée pour la mesure de la compatibilité des variables de mesure : abstractions et formats de fichiers ? La réponse à cette question peut dépendre d'une part des caractéristiques des éléments clés de matching et d'autre part des caractéristiques de ces variables de mesure définies dans les cas d'études. Dans un premier temps, le processus de matching est étudié.

2.5.1.1. Processus de Matching et ses éléments clés

Selon Giunchiglia et Shvaiko, le processus de Matching (Figure 2- 32) entre plusieurs ressources d'informations hétérogènes et autonomes commence après la tâche d'abstraction ou d'extraction des représentations abstraites (Giunchiglia & Shvaiko 2004). De ce fait, le matching nécessite d'abord des abstractions de données ou l'identification des modèles conceptuels. Ces dernières sont généralement sous forme de graphes (Giunchiglia & Shvaiko 2004). Dans ces travaux de recherche, ces abstractions sont censées être les abstractions et les formats de fichiers échangées dans le processus de conception.

Il en résulte différentes représentations abstraites telles que : des données/ modèles conceptuels, des descriptions des terminologies logiques, des schémas de bases de données, des schémas XML, des catalogues et des répertoires, des modèles entité-relation, des graphes conceptuels, diagrammes UML (Shvaiko 2005).

Les éléments clés de processus de Matching sont illustrés dans la Figure 2- 32. Ils sont discutés dans les points suivants.

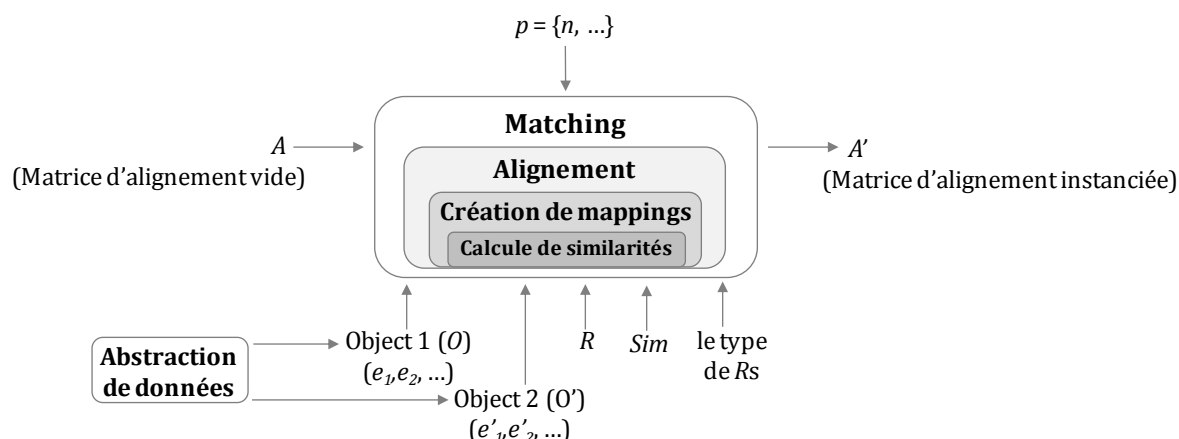


Figure 2- 32, Processus de matching et ses éléments clés

1) L'Alignement : une opération de mise en correspondance qui détermine les **mappings** entre une paire de représentations (Shvaiko 2005). L'alignement est la partie principale du Matching et la tâche de base d'un opérateur de matching. En effet, cette tâche commence à partir de deux représentations abstraites de données, **O** et **O'**, et produit un ensemble de mappings entre des paires d'entités (simples ou complexes), **{e_i, e'_j}**, appartenant respectivement à **O** et **O'** (Bouquet et al. 2005). Dans ce procédé, le mapping est défini formellement comme un quadruplet : **{e, e', n, R}** où :

- **e** et **e'** sont des entités (par exemple, des formules, des termes, des classes, des instance de class) entre lesquelles un lien est identifié par mapping;
- **n** est un degré de confiance. Il peut être calculé, ou obtenu par les retours des utilisateurs ou par les avis des experts etc.
- **R** est une relation associée à un mapping. Il indique la relation retenue entre **e** et **e'**. **R** est aussi mentionné comme une relation de similarité tenant entre les entités **e** et **e'** (Shvaiko 2005) : égalité (=), chevauchement ($\cap$), mismatch ($\perp$), ou plus général/spécifique ($\subseteq, \supseteq$).

2) Calcul de similarité en utilisant une fonction de Similarité (Sim) : en général, les **Rs** sont calculés en utilisant une fonction de similarité qui intègre les relations de similarité (les **Rs**). Cette fonction, peut être prédéfinie et normalisée ou développée et personnalisée pour le processus de matching. Par exemple Madhavan et Bernstein utilisent un thesaurus normalisé qui fournit des matchs prédéfinis entre les noms en identifiant les abréviations, les acronymes et synonymes (Madhavan & Bernstein 2001).

Selon Zghal, le résultat de la fonction **Sim**, appliquée sur les entités d'un seul objet, est toujours non négatif. De plus, la similarité d'une entité avec elle-même est la valeur maximale et n'est jamais inférieure à la similarité de deux entités différentes :

$$\forall x, y \in O, \text{Sim}(x, y) \geq 0$$

$$\forall x, y, z \in O, \quad \text{Sim}(x, x) \geq \text{Sim}(y, z)$$

D'autres paramètres peuvent étendre la définition du processus de matching (Shvaiko 2005) :

- **p**, les paramètres de matching par exemple, les poids, les seuils etc. Par exemple, **p_i** est le seuil minimal dans la fonction de Similarité (**Sim**). Selon Zghal, si une relation de

similarité R correspond à e et e' et le résultat de la fonction Sim est supérieure au seuil minimal (p_i), e et e' sont considérés similaires (Zghal et al. 2007).

$\text{map} : O \rightarrow O'$ tel que $\text{map}(e_1) = e'_1$ si $\text{Sim}(e_1, e'_1) > p_i$, et $p_i \in [0,1]$

- A' , l'alignement de sortie, qui est le résultat du matching utilisant la fonction de similarité qui remplit le matrice initial d'alignement, appelée A dans la figure.
- r , les ressources externes utilisées par le processus du matching, telles que, les thésaurus, les dictionnaires, les ontologies externes etc. Mapping, un concept commun du Matching et de la Transformation.

Les éléments clés du processus de matching peuvent être instanciés de différentes manières selon l'approche de matching.

2.5.1.2. Classification des méthodes et approches de Matching

Différentes approches et méthodes de matching sont proposées dans la littérature (Ehrig & Sure 2004). Des études bibliographiques détaillées sur un nombre de ces approches sont effectuées dans (Euzenat et al. 2004).

En ce qui concerne ces méthodes et ces approches, (Euzenat et al. 2004) proposent une classification hiérarchique, illustrée par la Figure 2- 33, principalement basée sur (Rahm & Bernstein 2001), (Shvaiko 2004) et (Giunchiglia & Shvaiko 2004), respectivement les (1), (2) et (3) dans cette figure :

- (1) Rahm et Bernstein propose l'une des premières classifications hiérarchiques pour les approches de matching de schémas. Selon Shvaiko, sans perte de généralité, cette classification peut être également appliquée au matching d'ontologies (Shvaiko 2004). C'est pourquoi dans cette figure, la racine est appelé « le matching de schémas/ontologies ».
- (2) Il s'agit des résultats de travaux de Shvaiko qui propose une classification étendue pour la catégorie « matching basé sur les schémas »¹² initialement introduite dans le (1). Shvaiko ajoute des aspects suivants : Heuristique/Formelle et Implicite/Explicite. Il ajoute également les aspects sémantiques et syntaxiques (Shvaiko 2005).
- (3) La différenciation entre les matchings sémantique et syntaxique est introduite par Giunchiglia & Shvaiko dans les classifications des méthodes de matching.

Toutes les catégories contenues dans la Figure 2- 33 peuvent être lues de haut en bas ou réciproquement pour atteindre les approches et les techniques de base : respectivement en se concentrant sur la façon dont les approches de matching interprètent l'information d'entrée et en mettant l'accent sur le type d'objet manipulé (Euzenat et al. 2004).

Chaque critère de classification peut être associé à un ou plusieurs des éléments du processus de mise en correspondance mentionnés avant.

¹² Cette catégorie est appelée initialement « matching base *seulement* sur les schémas (schema-only based matching) » dans la classification de (Rahm & Bernstein 2001).

A) Critères I et II : objet à étudier et ressource externe

Dans les études de (Shvaiko 2005), le matching est classé selon les objets étudiés et les ressources externes (respectivement O, O' et r dans la Figure 2- 32). En effet, des différences importantes sont observées entre les deux catégories mentionnées ci-dessus en fonction du degré de sémantique formelle des objets étudiés et selon le besoin de l'utilisation des ressources formelles fournies de l'extérieur de ces objets. Cette classification, qui est la classification supérieure des approches de matching, a deux catégories :

- **Le Matching d'ontologies** où l'alignement d'ontologies est défini comme le processus de découverte de similarités entre deux ontologies sources. C'est pourquoi les systèmes et les opérateurs de matching de l'ontologie tentent principalement d'exploiter les sémantiques formelles explicitement codées dans les ontologies.
- **Le Matching de schémas** ou l'alignement de schémas est défini comme le processus de découverte de similarité entre deux schémas abstraits de données. Un schéma de base de données ou un schéma non-ontologique ne fournit que rarement des sémantiques explicites des données. Par conséquent, le matching de schémas est généralement réalisé à l'aide de techniques qui tentent d'extraire ou deviner la sémantique encodées dans les schémas.

Concernant le matching de schéma et matching basé sur le schéma, les explications suivantes peuvent être nécessaires afin d'éviter toute confusion :

- **Matching de Schémas** s'agit de la comparaison d'objets du type schémas qui ne sont pas autant formalisés qu'une ontologie. En effet, le matching de schémas est toujours comparé avec le matching d'ontologies, où les objets sont de type ontologie et les sémantiques formelles sont ajoutées au processus de matching.
- **Matching basé sur le Schéma.** Peu importe le niveau de formalisme des objets comparés et des ressources, matching basé sur le schéma est axé sur les objets abstraits comme structure de données et non pas sur les instances de données. Par conséquent, le matching basé sur le schéma est toujours comparé au matching basé sur les instances (extensions). Selon De Bruijn et al., ce dernier prend les instances appartenant aux concepts et les compare afin de découvrir leurs similarités (De Bruijn et al. 2006).

B) Critère III : entité d'objet

Dans les points suivants, la classification des approches de matching est faite selon l'entité abordée par le processus de matching (e et e' dans la Figure 2- 32).

- **Le Matching basé sur les concepts.** Ce type de matching prend les différents aspects des concepts et leur position dans les ontologies ou les schémas (Lima Dutra 2009).
- **Le Matching basé sur les attributs.** Tversky propose un modèle de similarité qui repose sur les caractéristiques des concepts des objets étudiés (Tversky 1977). Dans ce modèle, les concepts sont définis sous forme d'une liste d'attributs et les similarités entre les concepts sont mesurées en se basant sur l'intersection de leurs attributs.
- **Le Matching basé sur les Instances (extensionnel).** Selon De Bruijn et al., un matching extensionnel prend les instances appartenant aux concepts et les compare afin de découvrir leurs similarités (De Bruijn et al. 2006).

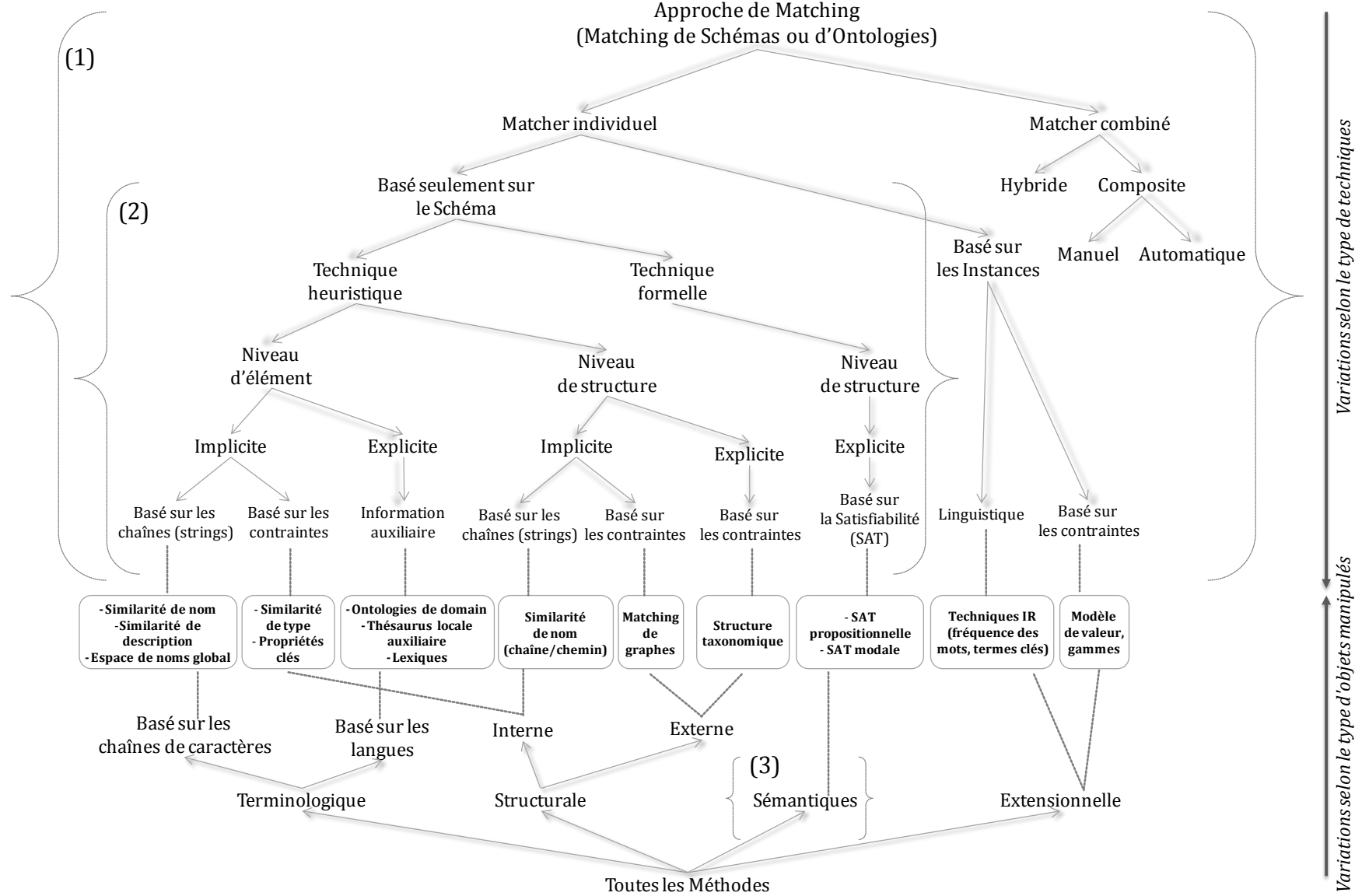


Figure 2- 33, Classification des méthodes/approches de matching, de (Euzenat et al. 2004), basée sur (Rahm & Bernstein 2001), (Shvaiko 2004) et (Giunchiglia & Shvaiko 2004)

C) Critère IV : granularité d'entité

Ces catégories, introduites par (Rahm & Bernstein 2001), abordent la granularité d'entités (des concepts) d'objets étudiés :

- **Niveau élément** : cette approche réalise le matching en analysant les entités seules et en ignorant leurs relations avec d'autres entités (Shvaiko 2005).
- **Niveau structure** : cette approche réalise le matching en analysant les entités apparaissant dans une structure (Shvaiko 2005). Il est également divisé en deux sous-catégories :
 - **Structures internes** : elle compare les structures internes des entités telles que leurs attributs, ou leurs propriétés. En effet, il s'agit d'un matching basé sur les attributs tandis que dans le cas d'un mapping entre deux concepts, au lieu de comparer deux attributs simples, deux groupes d'attributs, ou deux attributs et leurs propriétés sont comparés. En effet, ce matching est une combinaison du matching de structures et du matching d'attributs.
 - **Structures externes** : elle compare les entités en les regroupant avec leurs entités liées. Par exemple, « supposons qu'une association β relie une classe A à une classe B (structure $\{A, B, \beta\}$) dans une ontologie, et qu'une association β' relie une classe A' à une classe B' (le structure $\{A', B', \beta'\}$) dans une autre ontologie. Si on a une similarité entre les associations β et β' d'une part, et une similarité entre les classes B et B' d'autre part, alors on peut inférer qu'une similarité peut exister entre les deux classes A et A' » (Abdul Ghafour 2009) .

D) Critère IV : objectif de matching

Ces catégories abordent les relations de similarité (Notées R dans la Figure 2- 32) Comme mentionné dans la section 2.5.2.1, les Rs forment une partie importante du noyau du matching car ils sont définis selon l'objectif de ce dernier.

- **Le matching sémantique** : il se concentre sur la signification des entités simples (comme un concept) ou complexes (comme une combinaison de concepts), avec l'objectif de trouver les similarités ou les différences sémantiques. Par exemple, une approche terminologique basée sur les sémantiques effectue le matching à travers les relations lexicales (par exemple synonymie, hyponymie) (Abdul Ghafour 2009). En outre, selon Giunchiglia et Shvaiko, le matching sémantique utilise des sémantiques formelles pour interpréter les entités et justifier les résultats de ce matching (Giunchiglia & Shvaiko 2004).

Dans la méthode de matching sémantique de (Giunchiglia & Shvaiko 2003), le R qui spécifie les relations sémantiques (entre les concepts des schémas) est qualifié comme : l'égalité ($=$), le chevauchement ($\cap$), la discordance ($\perp$), plus spécifique ($\subseteq$) ou plus générique ($\supseteq$). Cela fournit plus d'information sur les relations sémantiques.

- **Le matching syntaxique** : il se concentre sur les structures des entités simples (comme les caractères d'un terme utilisé pour désigner un concept), ou complexes (comme un ensemble de termes tel qu'une phrase). Par exemple, une approche **terminologique** basée sur la syntaxe effectue la correspondance à travers les mesures de similarité des chaînes de caractères (Abdul Ghafour 2009). En outre, certaines de ces approches regardent un extrait des chaînes de caractères communes (par exemple « télé » dans « téléphone » et « télévision »), des phonèmes similaires (par exemple « /nœf/ » dans « quoi de 9 ? » et « quoi de neuf ? ») ou des abréviations (par exemple « tjr » et « toujours ») (Giunchiglia & Shvaiko 2004).

Dans la méthode de matching syntaxique de (Giunchiglia & Shvaiko 2003), le R qui spécifie les relations syntaxiques (entre les étiquettes des nœuds représentants des concepts dans les schémas) est quantifié comme étant un coefficient appartenant à [0,1].

Selon (Madhavan & Bernstein 2001), dans le contexte du matching des schémas, le matching syntaxique peut être basé sur la proximité linguistique entre deux éléments est distingué du matching syntaxique basé sur la similarité de contextes ou voisinages des éléments.

Considérant les catégories de matching, mentionnées ci-dessus, il est observé que le choix de matching adaptée peut être peaufiné selon différents critères de classification. Ayant étudiés ces critères limitant le choix de l'approche adaptée, la technologie et l'outil de matching doivent être également définis. Ces éléments sont discutés dans les sections suivantes.

2.5.2. Technologies et outils de matching

Les technologies ou les outils de matching ont l'objectif de faciliter le processus de matching. Lu a réalisé une étude sur les technologies appliquées dans certaines catégories de matching, notamment sur la base de l'automatisation de la mesure de similarité (Lu 2012). Plusieurs de ces technologies ont été étudiée dans (Euzenat & Shvaiko 2013)(Rahm 2011).

Dans les études de Lu, les technologies de matching sont classées en deux dimensions (voir le Tableau 2- 13) :

- **Automatisation de Matching** : automatique, semi-automatique et manuel.
- **Catégorie de Matching** : Terminologique, Structurel, Extensionnel, Sémantique

Selon (Euzenat et al. 2006), le choix de technologie dépend du cas d'étude, des objets étudiés et de leurs caractéristiques. Une des caractéristiques importantes pour ces objets, particulièrement les objets abstraits de type schéma de données, peut être le langage d'implémentation (abstraction).

Tableau 2- 13, Technologies de matching, (Lu 2012)

		Catégorie de Matching			
		Terminologique	Structurel	Extensionnel	Sémantique
Automatisation de Matching	Automatique	MOMIS, IF-Map, QOM, S-Match, Artemis, H-Match, Tess, Cupid, Falcon-AO, MoA, XClust, ASCO, BayesOWL	MOMIS, IF-Map, QOM, Artemis, H-Match, Tess, Cupid, Falcon-AO, XClust, ASCO, BayesOWL, OMEN, DCM	QOM, S-Match, Artemis, H-Match, Cupid, Falcon-AO, MoA, XClust, ASCO, BayesOWL, OMEN	OntoMap, S-Match
	Semi-automatique	MAFRA, PROMPT, GLUE, CAIMAN, Hovy, TranScm, DIKE, SKAT, Clio	MAFRA, PROMPT, OntoMorph, Hovy, TranScm, DIKE, SKAT, Clio	TranScm, DIKE, SKAT	ONION, OntoMorph
	Manuel	DELTA, CtxMatch, OntoBuilder, COMA	FCA-Merge, COMA, ToMAS, MapOnto	RDFT, OntoMerge, CtxMatch, ToMAS, OntoBuilder, COMA, MapOnto	OBSERVER, CtxMatch

(Lu 2012) étudie le matching sémantique de deux ontologies (ONTO-PDM et SCOR), avec l'objectif de les fusionner en une unique ontologie centrée-Produit. Dans cette étude, le matching n'indique pas de mismatches d'expression de grammaire ou de logique (sémantiques formelles) car les deux ontologies sont implémentées dans le même langage (OWL). Les mismatches existent principalement au niveau sémantique :

- Mismatch terminologique. Certains concepts similaires sont exprimés par des mots différents, mais synonymes. Par exemple, les concepts « EquipmentType » et « ProductionCapabilityType » dans ONTO-PDM sont respectivement synonymes des concepts « Equipment » et « Production-Capability » dans SCOR.
- Mismatch du style de modélisation. Ceci reflète la différence entre la structure des modèles. Par exemple, concernant les deux concepts « EquipmentType » et « Equipment » qui sont sémantiquement similaire, le premier est la sous-classe de la classe « Thing » dans ONTO-PDM alors que le deuxième concept est la sous-classe de « SCOR_Input-output_Entity » dans SCOR. Un tel mismatch reflète la différence existante entre les descriptions de la hiérarchie des concepts.

Il est donc constaté que l'interprétation d'un mismatch entre deux modèles de données dépend de leurs langages de modélisation. Par exemple, une entité appelée « fonction » peut être une classe dans un modèle de donnée Produit et un attribut de classe dans un autre. Cette différence, considérée comme mismatch, peut être interprétée de deux manières différentes :

- si les modèles sont basés sur le même langage de modélisation. L'interprétation peut être : le concept de la fonction existe dans les deux modèles mais il est plus important dans le premier modèle
- si les modèles ne sont pas basés sur le même langage, l'interprétation ci-dessus peut être fausse si l'expression logique d'une classe dans le premier langage est équivalente de celle d'un attribut dans l'autre.

Considérant le cas d'étude utilisé dans le chapitre 3, le matching d'abstractions de fichiers est situé dans le cadre de la modélisation Ecore (Eclipse Modeling Framework - EMF). Dans ce cadre les objets sont modélisés par un langage unique. Ceci permet de choisir un outil adapté à ce contexte.

2.5.2.1. Comparaison des modèles via Matching

En raison des problèmes de fusion de plusieurs modèles connexes qui décrivent le même objet, la comparaison de modèles est introduite. Ces modèles peuvent être créés par plusieurs concepteurs (Alanen & Porres 2003).

Il est mentionné que la comparaison de modèles est une méthode indispensable pour un certain nombre de tâches de gestion de modèles, telles que : la différenciation et la visualisation des modèles, la fusion de modèles et l'évaluation de la transformation de modèles (Kolovos 2009).

Si les modèles sont grands et complexes (contenant un grand nombre d'entités), des outils spéciaux sont nécessaires pour comparer et fusionner plusieurs modèles en un seul qui contient tous les changements proposés par l'ensemble des développeurs (Alanen & Porres 2003).

A cette fin, dans le contexte de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles, le langage de comparaison ECL (Epsilon Comparaison Language) et l'outil EMF Compare sont développés. Dans ce qui suit, ces deux éléments sont discutés tout en indiquant comment le matching constitue la base de la comparaison des modèles.

En outre, Stephan et Cordy discutent des techniques de comparaison modèle-à-modèle qui peuvent être utilisées pour vérification de la transformation des modèles. En utilisant une transformation existante, les auteurs illustrent et évaluent qualitativement les techniques de comparaison, en soulignant les points forts et les points faibles de chacune de ces techniques (Stephan & Cordy 2013). Les critères utilisés dans cette étude sont : applicabilité, nécessité de configuration spécifique de cas, quantité d'information de match, capacité d'exécution de ligne de commande, lisibilité par Homme et précision et dépendance d'identificateurs uniques.

Ces auteurs montrent que la technique d'EMF Compare, en comparaison avec les techniques telles que ECL, C-Saw, DSMDiff, SmoVer, a une meilleure performance globale. Cependant, EMF Compare, ECL, et SmoVer fonctionnent seulement avec EMF, mais les autres techniques peuvent être étendues pour fonctionner avec les autres cadres et formats de modélisation. Par conséquent, il est considéré que EMF compare est un outil de matching adapté pour notre cas d'étude (voir le chapitre 3).

L'intégration de EMF Compare et ECL est également fournie afin d'effectuer la comparaison de modèles EMF et de visualiser les résultats dans Eclipse. Grâce à l'architecture modulaire de l'EMF Compare, un moteur de matching supplémentaire est fourni pour exécuter un module de comparaison ECL défini par l'utilisateur et visualiser ses résultats en utilisant l'interface utilisateur de l'EMF Compare (Kolovos 2009).

2.5.2.2. EMF Compare

Il s'agit d'un outil qui permet la comparaison et la fusion de tout type de modèle EMF (Eclipse Modeling Framework). Il comprend un moteur de comparaison générique, la possibilité d'exporter les différences de modèles et il est intégré à l'environnement de développement Eclipse (Eclipse 2013).

Un exemple d'application de cet outil peut être trouvé dans l'article de (Toulmé 2006) qui introduit une nouvelle approche pour comparer les modèles en utilisant cet outil. Cette approche est basée sur une comparaison complète des éléments des modèles. Toulmé présente également un système de poids sur la base de la théorie de l'information qui calcule l'importance de la différence entre deux éléments d'un modèle. (Toulmé 2006).

A) Processus de comparaison dans l'EMF Compare

Ce processus de comparaison, proposé par (Eclipse 2013), est divisé en 6 étapes principales illustrées dans la Figure 2- 34.

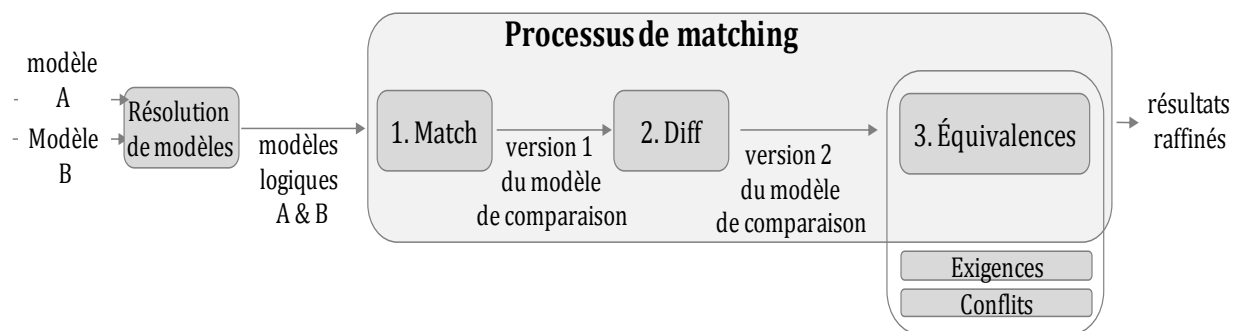


Figure 2- 34, Processus de comparaison dans l'EMF Compare (Eclipse 2013)

Dans les points suivants, seules les étapes associées au matching et ses résultats sont présentées :

- 1) Dans cette étape, opérateur « Match » effectue une itération sur deux (ou plusieurs) modèles logiques chargés afin de faire le mapping des paires d'éléments. Par exemple, il est déterminé que la classe a du modèle A correspond à la classe b du modèle B. Les résultats sont enregistrés dans la première version du modèle de comparaison.
- 2) Dans cette étape, opérateur « Diff » parcourt les éléments qui sont liés (les mappings) afin de déterminer si les deux éléments sont égaux ou s'ils présentent des différences. Par exemple, pour le mapping entre les classes a et b, le changement de nom est détecté comme une différence. Le résultat de cette phase est enregistré dans une nouvelle version du modèle de comparaison.
- 3) Après avoir détecté les différences entre les modèles, cette étape vérifie si deux différences distinctes représentent le même changement ou non. En effet, cette phase consiste à parcourir toutes les différences et à les relier ensemble quand elles peuvent être considérées comme équivalentes. Par exemple, les différences des associations et de leurs références opposées sont considérées équivalentes :

Pour les classes a_1 et a_2 du modèle A, respectivement les matches des classes b_1 et b_2 du modèle B, l'association « a_1a_2 » et sa référence opposée « a_2a_1 » et l'association « b_1b_2 » et sa référence opposée « b_2b_1 » : les deux différences ($a_1a_2 \neq b_1b_2$) et ($a_2a_1 \neq b_2b_1$) sont considérés équivalentes.

Les résultats de cette phase, complétés par les la vérification des exigences et de conflits, sont enregistrés étant les résultats finaux.

B) Le Modèle de Comparaison (Match Model)

EMF Compare utilise un modèle unique pour représenter l'ensemble des informations résultant de la comparaison : des objets matchés, des ressources matchées, les différences détectées, les liens entre ces références (Figure 2- 35). En effet, le modèle de comparaison comporte deux modèles comparés, sous la forme d'éléments matchés qui relient les éléments de toutes les versions des modèles comparés.

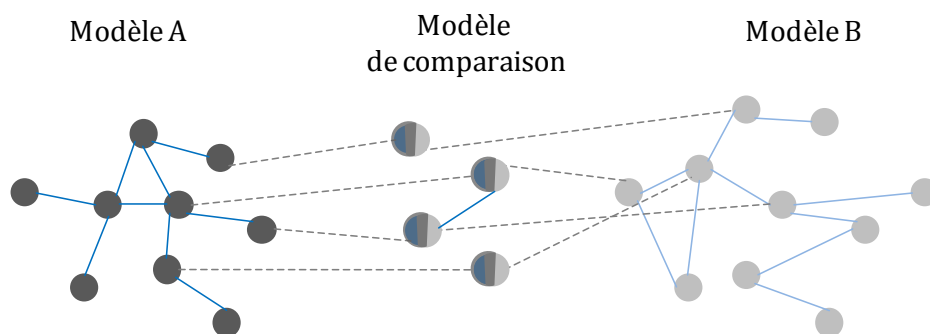


Figure 2- 35, Modèle de comparaison

Par exemple, dans le cas de la comparaison partielle de deux modèles (Figure 2- 36). Le modèle de comparaison contient quatre éléments : (ModèleA, ModèleB), (ClasseA, ClasseB), (a_1 , a_2), (EString, EString).

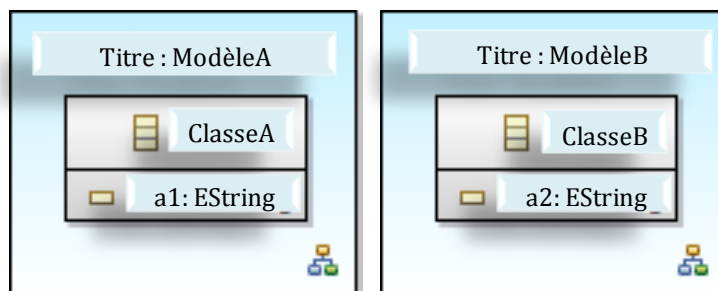


Figure 2- 36, Comparaison partielle de deux versions différentes d'un modèle fonctionnel de produits

Les différences sont ensuite détectées sur ces matches et ajoutés sous eux, permettant ainsi de garder à la fois : les différences (le nom d'une classe et son attribut sont respectivement modifiés de « ClasseA » à « ClasseB » et de « a_1 » à « a_2 ») et les éléments originaux non modifiés (par exemple le nom du modèle « ModèleA » n'a pas été modifié).

2.5.3. Synthèse : Matching comme méthode de mesure adaptée

Dans ces travaux de recherche, l'indicateur d'interopérabilité qui doit être mesuré est la pertinence d'informations. La valeur de cet indicateur doit être mesurée en fonction de ses variables de mesure basées sur les compatibilités de fichiers échangées. Compte tenu de cet indicateur et de sa mesure, il est décidé de se focaliser sur une approche particulière appelée Matching. Cette approche est intrinsèquement associée à la mesure de compatibilités des objets notamment les objets abstraits de type structure de données. En effet, selon sa définition et ses champs d'utilisation, il est constaté qu'elle peut englober toutes les approches de mesure de la compatibilité.

Bien que le matching soit une approche largement appliquée pour mesurer la compatibilité, le choix de méthode, de l'opérateur et de l'outil de matching dépend essentiellement de cas d'étude, des objets étudiés et leurs caractéristiques (Euzenat et al. 2006). Cependant, ce choix peut être limité considérant certaines éléments du processus de matching définis selon le périmètre de ces travaux de recherche :

- **Les objets étudiés.** Ces éléments sont les variables de mesure : l'abstraction et le format de fichiers. Pour chacune des variables au moins un schéma qui structure ses contenus doit être identifié dans le processus ou il doit être extrait afin de l'utiliser dans le processus de matching.
- **La ressource externe.** Les schémas des variables de mesure ne sont pas formalisés comme ontologie, mais une ontologie commune peut être disponible, dans le processus de conception, qui formellement définit leurs sémantiques. En effet, cette ontologie peut être utilisée pour le matching des variables comme étant une ressource externe :
 - Cas 1, l'absence d'ontologie. Dans ce cas le matching adaptée est le **matching de schéma**.
 - Cas 2, la disponibilité d'ontologie. Dans ce cas le matching adaptée est le matching d'ontologie. Considérant les études de cas présentées dans le chapitre 3, **le matching d'ontologie** n'est pas encore étudié dans le cadre de cette thèse.

Malgré les différences entre ces deux cas, il y a tout de même des points communs (Shvaiko 2005) : les ontologies et les schémas sont similaires à un certain point car ces deux objets décrivent un domaine d'intérêt, ou une partie de ce dernier qui limite la signification des termes utilisés dans ces mêmes objets. En effet, dans les deux cas, **le matching adapté est de type basé sur le schéma**.

- **Les entités des objets étudiés.** Ces entités ne sont pas encore instanciées car le squelette du processus n'est pas encore fonctionnel. Par conséquent, **l'approche de matching ne peut pas être basée sur l'instances/extensions**.
- **Les relations de similarité.** L'objectif de matching est de refléter le niveau de la pertinence d'information. Par conséquent, les mismatches, tels que les mismatches sémantiques entre les concepts, qui peuvent diminuer la valeur de cet indicateur doivent être identifiés. Cette identification dépend de la définition des relations de similarité adaptées.

Les autres éléments du processus de matching ne peuvent pas être définis sans analyser en détail le cas d'étude éventuel. Par exemple, la granularité de matching dépend de l'information disponible dans les schémas fournis pour les variables de mesure. En effet, si ces schémas contiennent les concepts et non pas leurs relations ou attributs, l'approche de matching adaptée sera de niveaux concept et de niveau élément.

En ce qui concerne le choix de la technologie (opérateur, outil) de matching, **les technologies catégorisées seulement comme extensionnelles peuvent être rejetées** car dans le squelette du processus de conception les extensions (instances) des entités des fichiers échangés ne sont pas disponibles.

Considérant le cas d'étude utilisé dans le chapitre suivant le matching d'abstractions de fichiers est situé dans le cadre de modélisation Eclipse (Eclipse Modeling Framework - EMF). Dans ce cadre, les objets sont modélisés par un langage unique. Ce fait facilite l'interprétation des mismatches. En outre, l'outil EMF compare est choisi pour outiller les matching de modèles dans ce contexte.

En ce qui concerne le matching sémantique dans le cadre de la conception, il y a le manque des outils automatiques de mesure basée sur les sémantiques formelles et sur les concepts du domaine. En effet, l'enjeu d'utilisation des outils du matching tels que EMF Compare pour objectif de mesurer les compatibilités sémantiques est **la richesse sémantique de leurs opérateurs de matching**. Cependant, ces outils génériques augmentent l'automatisation du processus de matching. Dans de telles situations, les vérifications par les experts du domaine ou par les ontologies du domaine, sur les résultats de matching peuvent assurer la précision.

2.6. Conclusions de l'état de l'art

Face à la problématique de recherche, ce chapitre a présenté une vaste étude d'état de l'art, y compris les synthèses de la littérature sur les solutions qui traitent les éléments d'un cadre de mesure de la performance des collaborations. L'étude d'état de l'art sur ces éléments a également abouti à l'identification de certains verrous et la définition de certaines hypothèses simplificatrices détaillés par la suite.

Dans ce chapitre, le premier objectif était de définir des **processus collaboratifs dans le cadre de la conception** comme **l'objet en cours d'évaluation** dans la mesure de la performance. Cet objectif était confronté à un verrou principal : la difficulté de définir la collaboration et le manque d'une définition conventionnelle (**verrou 1**). Dans le but de lever ce verrou, nous nous sommes focalisé d'abord sur un ensemble de ses définitions retenues à partir de sources lexicales et de la littérature. En outre, dans les études sur les définitions de collaboration, cette hypothèse simplificatrice était considérée nécessaire : les mêmes termes utilisés dans les différentes définitions ont des significations corrélées (hypothèse 4). La vérification de cette hypothèse est considérée être en dehors du périmètre et du domaine de cette thèse.

L'étude des définitions a abouti à l'identification des concepts clés de collaboration et les liens entre eux. Ces derniers sont capturés dans un **modèle conceptuel des processus collaboratifs** (voir l'ANNEXE C). Selon les analyses individuelles sur les définitions certains attributs sont ajoutés à ce modèle (voir la Figure 2- 6). En effet, il est observé que dans plusieurs disciplines de recherche, les auteurs tentent de stéréotyper la collaboration, en ajoutant des attributs différents afin de fournir une meilleure compréhension de ce concept dans un contexte particulière.

Bien que les concepts clés soient matures, il convient de mentionner que le modèle conceptuel proposé n'est pas exhaustif car les attributs des concepts peuvent évoluer au fil des définitions retenues. Nous ne considérons pas ce fait comme critique. En effet, une définition initiale des processus collaboratifs est possible via l'instanciation du modèle proposé et cette définition peut être complétée sur la base de la nature de l'entreprise tout en conservant les concepts et par l'ajout de nouveaux attributs.

Après avoir atteint un modèle conceptuel final, l'adaptabilité de ce modèle au cadre de la conception des produits était vérifiée. Le modèle est également stéréotypé en se basant sur plusieurs références dans le domaine de conception collaborative (voir la Figure 2- 7). Dans ces travaux de recherche, la définition de l'objet en cours d'évaluation dans la mesure de la performance, est donc prévue via ce modèle conceptuel extrait de l'état de l'art.

Ensuite, plusieurs classifications des collaborations ont été étudiées. Afin d'identifier les critères ou les indicateurs adaptés pour l'évaluation de la performance des collaborations. Ces études ont été confrontées à ce verrou : le manque d'une évaluation basée sur un critère appartenant intrinsèquement au concept de collaboration (**verrou 2**). Cependant, il est constaté que le concept d'**interopérabilité** retenue comme **critère** de l'évaluation car il est adapté à la définition de la performance de la collaboration. En effet, dans un processus collaboratif, la réalisation de l'interopérabilité peut améliorer la performance des collaborations en diminuant leurs difficultés.

Concernant le concept d'interopérabilité, le caractère multidimensionnel de ce concept apporte des difficultés à la définition précise de ce concept et de ses indicateurs dans un cadre de mesure d'interopérabilité (**verrou 3**). En se basant sur le cadre de Chen, dans ces travaux, ce critère est étudié selon ses **barrières technologiques et conceptuelles** des échanges de données entre les acteurs dans le cadre de la conception. Concernant ces barrières, les limites entre ses barrières sont parfois difficiles à définir. En effet, pour les fichiers échangés dans les processus collaboratifs, une confusion peut exister entre deux niveaux (**verrou 4**) : sémantique de contenu et celle de code. Une différenciation précise entre ces deux niveaux est donc nécessaire. Dans ces travaux, il est considéré que la syntaxe des données **codées** est adressée par des barrières technologiques et la sémantique du **contenu** des données, est adressée par des barrières conceptuelles.

Dans ce périmètre, ces travaux sont uniquement focalisés sur les problèmes de manque d'information dans la collaboration. En effet, il est considéré que les informations sont toujours produites correctement et elles sont compréhensibles pour les acteurs (hypothèse 5) mais seulement le manque d'information existe comme problème. Cette hypothèse permet de mieux étudier les problèmes de la pertinence d'information en cas de manque d'information car ils sont dissociés des problèmes liés à l'exactitude et la compréhensibilité d'information.

La **pertinence d'information** est donc considérée comme étant **un indicateur d'interopérabilité** qui porte en même temps sur les aspects syntaxique et sémantique. Puisque ces travaux présupposent que l'information est produite, échangée et consommée par le biais de fichiers de données, les **variables de mesure** pour la pertinence d'information sont : **les formats des fichiers (l'aspect syntaxique) et les abstractions (l'aspect sémantique)**. La pertinence d'information peut être donc mesurée en fonction de la compatibilité entre les abstractions des fichiers et la compatibilité entre les formats des fichiers. En réalité, l'extraction des informations détaillées sur la syntaxe des formats natifs des outils de conceptions est généralement une tâche fastidieuse ou impossible, plus particulièrement quand le format n'est pas ouvert ou n'est pas basé sur une norme ouverte.

Dans ce chapitre, avant d'étudier la méthode de mesure de ces compatibilités, les éléments de processus, appelées les variables d'action, qui définissent la valeur des variables de mesure sont identifiés. Les études d'état de l'art sur ces variables d'action sont structurées sur la base de deux voix d'identification : l'identification des **variables d'action**. Ces variables font parties des éléments clés d'un processus collaboratif (capturés dans le modèle conceptuel) et peuvent exister également dans les collaborations d'après utilisation des solutions d'interopérabilité. Par exemple, la transformation de modèle et ses éléments comme étant une solution, peuvent impacter les variables de mesure. Ces éléments sont donc considérés comme variables d'actions. Concernant ces solutions, il y a un manque d'études compréhensives et de considérations de leurs impacts sur les variables de mesure éléments clés de collaboration, particulièrement le flux d'informations entre les acteurs (**verrou 5**). Des études sur les solutions principales d'interopérabilité sont donc réalisées dans ce chapitre.

Finalement, compte tenu de l'indicateur, ses variables de mesures et sa **mesure**, dans la dernière section de chapitre, il est décidé de se focaliser sur une approche particulière appelée **Matching**. Cette approche est intrinsèquement associée à la mesure de compatibilités des objets notamment les objets abstraits de type structure de données. Le choix de méthode, de l'opérateur et de l'outil de matching dépend essentiellement de cas d'étude, des objets étudiés et leurs caractéristiques. Cependant, ce choix a été limité selon le périmètre de ces travaux de recherche. En outre,

En ce qui concerne le matching sémantique dans le cadre de la conception, il y a le manque des outils automatiques de mesure basée sur les sémantiques formelles et sur les concepts du domaine (**verrou 6**). Considérant le cas d'étude utilisé dans le chapitre suivante, il est observé que le matching est situé dans le cadre de modélisation Ecore (Eclipse Modeling Framework - EMF). Par conséquent, l'outil EMF compare est choisi pour matching qui peut résoudre le problème d'automatisation de mesure, spécifiquement dans un contexte EMF. Cependant, les vérifications par les experts du domaine ou par les ontologies du domaine, sur les résultats de matching peuvent assurer la précision car EMF Compare est un outil générique.

Les éléments du mesure de la performance des collaborations, identifiés dans le chapitre II, sont synthétisés dans la Figure 2- 37.

<i>Finalité d'évaluation</i>	Évaluation de la performance des collaborations (PdC)
<i>Objet en cours d'évaluation</i>	Processus de conception collaboratif
<i>Critère et indicateur</i>	Interopérabilité et Pertinence d'information
<i>Variables de mesure</i>	Format et abstraction de fichiers échangés
<i>Variables d'action</i>	Les éléments de processus + les éléments apportés par les solutions de l'interopérabilité
<i>méthode</i>	Matching des formats et des abstraction

Figure 2- 37, Synthèse des éléments d'évaluation de la performance des collaborations

Les éléments ci-dessus doivent être intégrés et reliés comme une seule solution répondant à la problématique de recherche. Comme il est mentionné dans le chapitre I, la réponse à cette problématique est envisagée via l'évaluation de la performance des collaborations. Afin de réaliser cette dernière, dans le chapitre suivant, les éléments qui sont extraits de l'état de l'art sont placés dans un cadre d'évaluation de la performance des collaborations qui est la proposition principale de cette thèse.

Chapitre III : cadre outillé d'évaluation des performances dans les échanges de données

Ce chapitre se focalise sur les apports des travaux de recherche qui sont basés sur l'étude bibliographique effectuée dans le chapitre précédent, abordant les éléments qui doivent être améliorés pour résoudre la problématique.

*Ces propositions consistent principalement en **un cadre outillé d'évaluation des performances dans les échanges de données d'un processus de conception collaborative**. Ce cadre comprend deux étapes principales :*

- **La modélisation** : afin de pouvoir mesurer la performance des collaborations dans un processus, cette étape permet d'extraire les variables à partir desquelles l'indicateur de performance est évalué.
- **La mesure** : L'objectif de cette étape est de mesurer la performance des collaborations en se basant sur leurs interopérabilités.

Dans ce chapitre, la présentation du cadre d'évaluation proposé est également confrontée à un exemple et un cas d'étude du domaine de la conception de produits. Ce cas d'étude est basé sur un extrait d'un processus de conception comprenant les activités d'analyses fonctionnelles / énergétiques et de modélisation géométrique.

3.1.	LE CADRE D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES	96
3.2.	MODÉLISATION DE PROCESSUS	99
3.2.1.	Tâche IA : Génération du modèle de processus	99
3.2.2.	Tâche IB : Validation du modèle de processus	100
3.3.	MESURE DE PERFORMANCE	101
3.3.1.	Tâche IIA : Identification des Collaborations Par Paires (CpPs)	105
3.3.2.	Tâche IIB : Matching Syntaxique	106
3.3.2.1.	Matching syntaxique manuel	108
3.3.2.2.	Matching syntaxique à l'aide des contraintes OCL	109
3.3.3.	Tâche IIC : Matching sémantique	111
3.3.3.1.	Matching sémantique manuel	115
3.3.3.2.	Matching sémantiques outillé par EMF Compare	118
3.4.	ILLUSTRATION SUR UN CAS DE CONCEPTION	122
3.4.1.	Modélisation de processus	123
3.4.2.	Mesure de performance	124

3.1. Le cadre d'évaluation des performances

L'objectif de ce cadre est d'évaluer la performance des collaborations dans un processus collaboratif de conception dans le cadre d'une amélioration continue des processus de l'entreprise ou lors du début d'un nouveau processus. En effet, le cadre est appliqué sur le squelette d'un tel processus et non pas sur le processus réel (lancé). À ce niveau, le processus comprend les activités de conception, leurs liens, leur ordonnancement, ainsi que leurs ressources.

Le cadre est composé de deux étapes principales (Figure 3- 1) :

- Étape I, la modélisation d'un processus collaboratif de conception : cette étape, détaillée dans la section 3.2, est une modélisation du processus de conception avec un accent mis sur les collaborations basées sur les échanges de données. Cette étape fournit la possibilité d'identifier et de quantifier les variables de mesure. Les variables d'action elles-mêmes déterminent les variables de mesure. L'étape I comprend deux tâches principales :
 - Tâche IA : Instanciation du modèle de processus, en accord avec le méta-modèle de processus décrit dans la section 3.2.1.
 - Tâche IB : Validation de ce modèle (section 3.2.2).

À travers de cette première étape, les variables de mesure sont quantifiées dans le modèle de processus et sont fournies à l'étape suivante pour traitements.

- Étape II, la mesure de la pertinence d'information au sein de ce processus : cette étape, détaillée dans la section 3.3, est une évaluation de la performance basée sur l'interopérabilité. Pour ce critère, un indicateur est déterminé : la pertinence d'information. Dans cette étape, en fonction des informations portées par les variables de mesure, la valeur de l'indicateur est évaluée. L'étape II comprend alors trois tâches principales :
 - Tâche IIA : Identification des collaborations par paire (CpP) (section 3.3.1).
 - Tâche IIB : Matching Syntaxique pour chaque CpP identifiée (section 3.3.2).
 - Tâche IIC : Matching Sémantique pour chaque CpP identifiée (section 3.3.3).

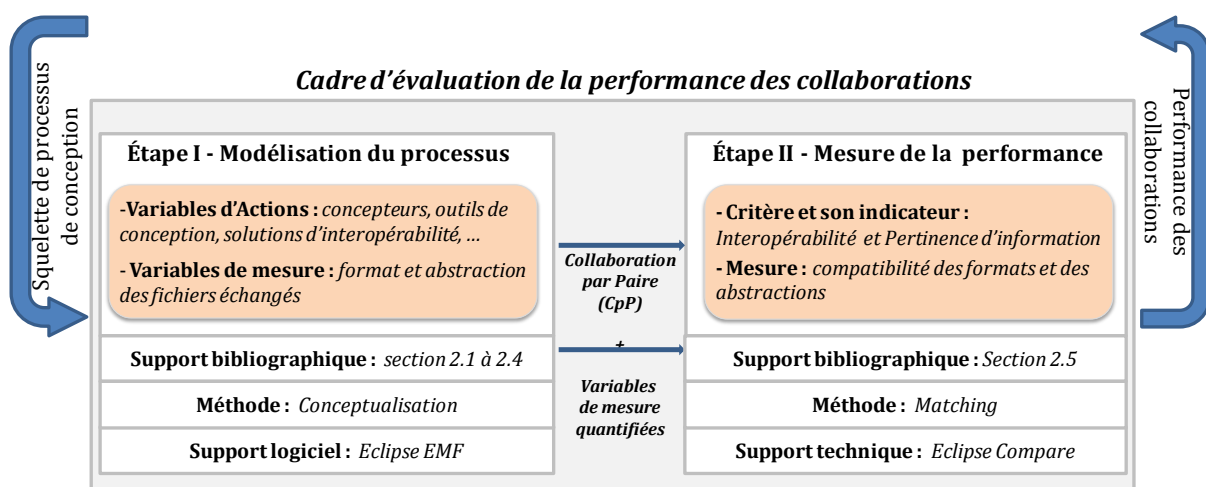


Figure 3- 1, Cadre proposé pour l'évaluation de la performance des collaborations

Les différentes étapes du cadre sont également détaillées dans un logigramme (Figure 3- 2).

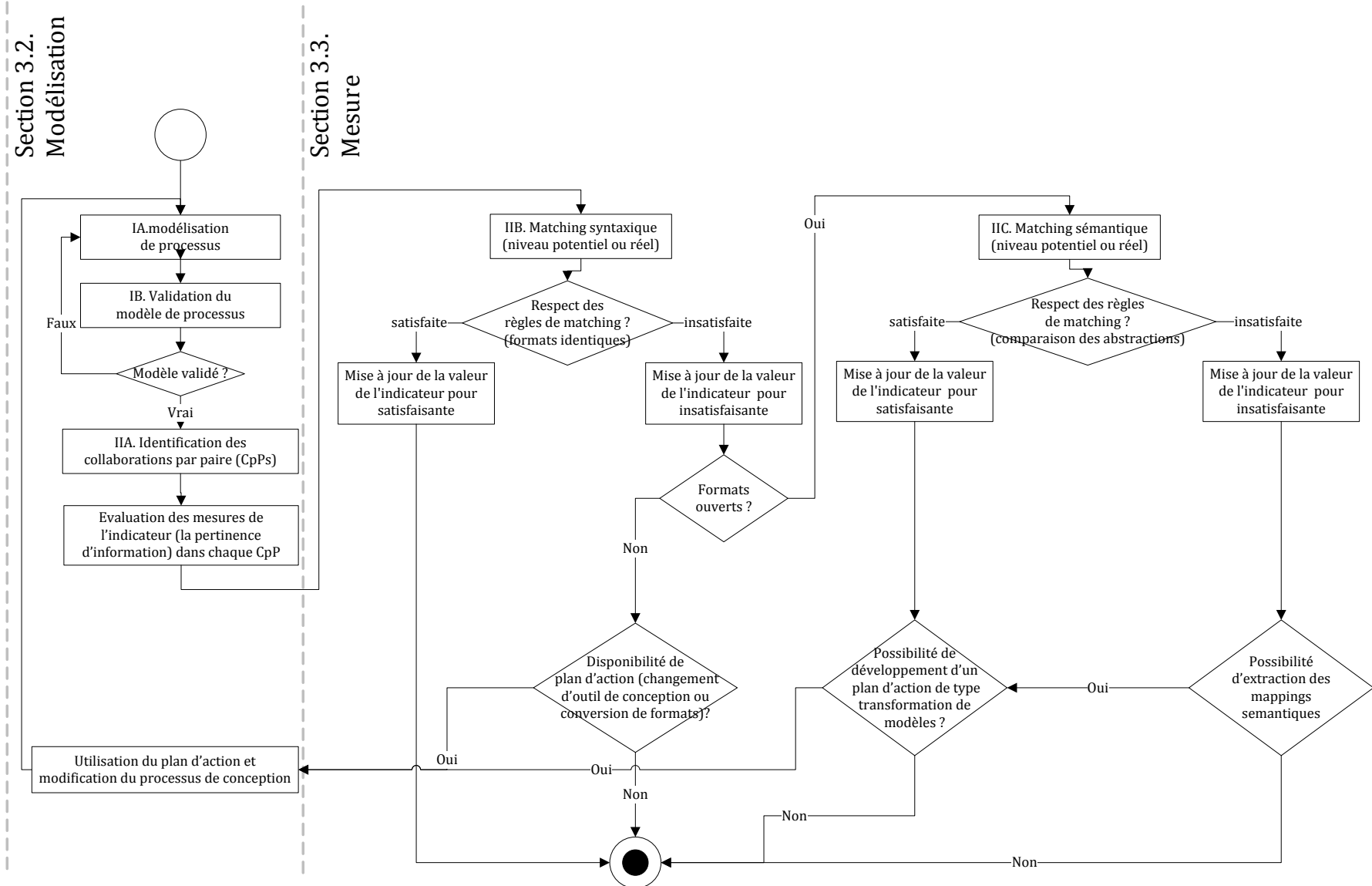


Figure 3- 2, Logigramme du cadre et des sections correspondantes

Dans les sections suivantes, les principaux éléments de chaque étape du cadre sont introduits. Ensuite les tâches à suivre dans chaque étape sont illustrées par un exemple simple afin de fournir une meilleure compréhension des tâches du cadre proposé. Cet exemple est un processus collaboratif simple proposé en 2 variantes. La différence entre ces variantes se situe uniquement au niveau de la communication entre les acteurs (la Figure 3- 3) :

- Dans la première variante, la communication entre les activités ne comprend pas de « CommunicationTypes » (un mode particulier d'échange de données telles que la transformation de modèles)
- Dans la seconde variante, la communication entre les activités comprend deux « CommunicationTypes » basées sur la conversion de formats de données.

Pour cet exemple, il est considéré que les deux variantes proposées dans la Figure 3- 3 sont fournies comme entrées du cadre d'évaluation par l'entreprise.

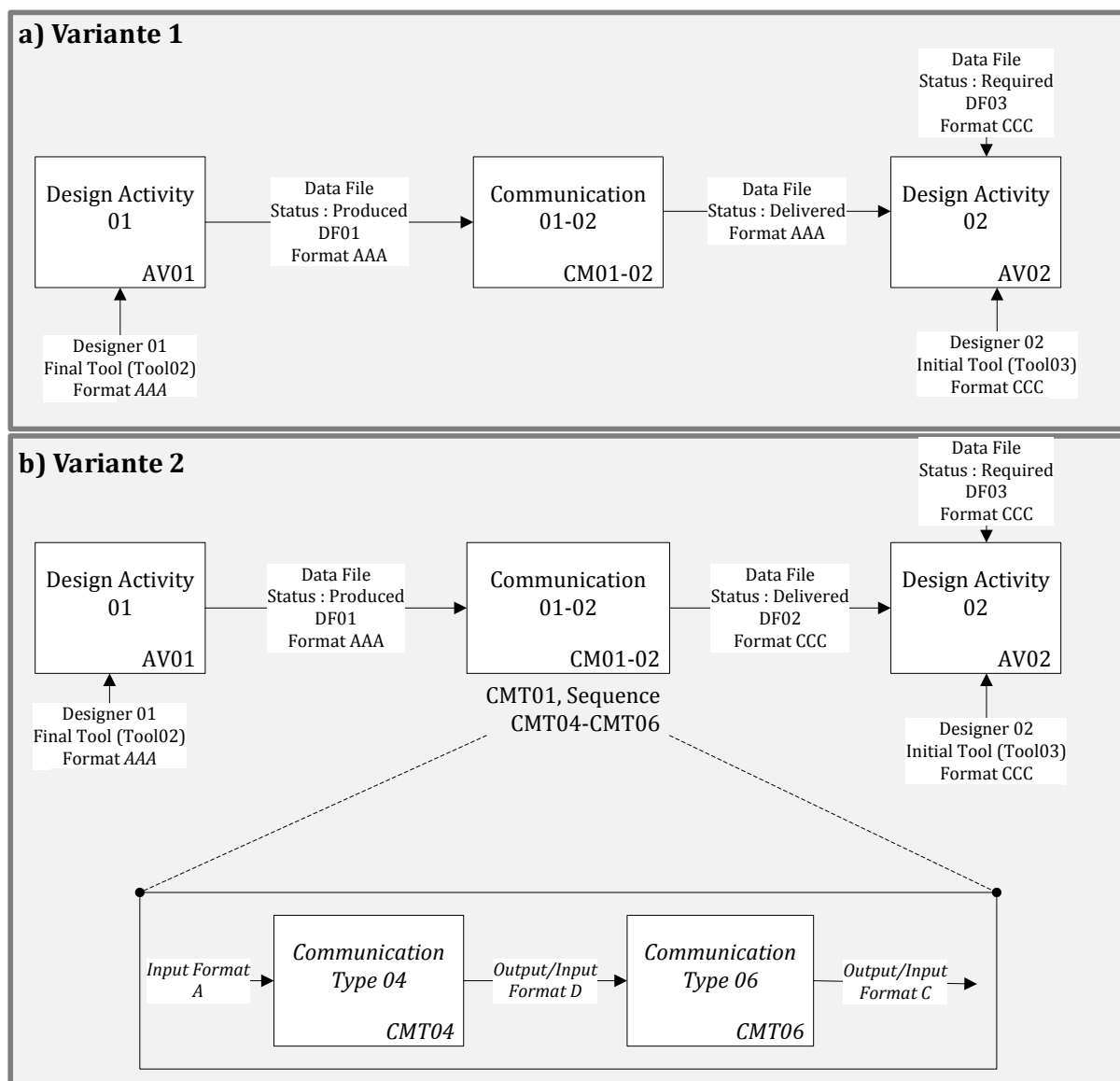


Figure 3- 3, Les variantes utilisées dans les sections 3.1 et 3.2

3.2. Modélisation de processus

L'objectif de la première étape consiste à modéliser le processus de conception en fournissant les informations nécessaires à l'évaluation de la performance de ce dernier. En effet, le modèle de processus doit comprendre les données nécessaires pour l'étape II.

Compte tenu de l'étude de la littérature proposée dans le chapitre 2, il a été conclu que pour analyser la performance de collaborations, le processus collaboratif doit d'abord être modélisé. Il est constaté qu'une telle modélisation est confrontée à plusieurs verrous. Face à ces verrous, identifiés dans le chapitre 2, un modèle conceptuel de collaborations via l'échange de données est proposé. Ce modèle est formalisé comme un méta-modèle Ecore. Les éléments de ce méta-modèle sont détaillés dans l'annexe C. Certaines contraintes OCL sont également ajoutées au méta-modèle pour compléter sa syntaxe (voir l'annexe E). Le méta-modèle obtenu est une proposition de ces travaux qui constitue le cœur de la première étape, la modélisation, du cadre de mesure de la performance. Les sections suivantes détaillent la modélisation d'un processus collaboratif par l'intermédiaire de ce méta-modèle.

3.2.1. Tâche IA : Génération du modèle de processus

En ayant les informations nécessaires sur le processus de conception telles que les activités de conception, les données échangées entre elles, leur ordonnancement, ainsi que leurs ressources, cette tâche est démarrée. Le méta-modèle de processus, développé comme méta-modèle EMF, est d'abord utilisé sous Eclipse pour initier une première instance du modèle de processus.

Le fichier XMI obtenu devrait être développé sur la base des données du processus afin d'obtenir un modèle instancié du processus. Ceci est d'abord fait par l'ajout de différents éléments au modèle en utilisant l'option « New Child ». Ces éléments sont à identifier dans les informations fournies par l'entreprise (par exemple l'ordre des activités dans le processus) et par les connaissances d'experts du processus. À cet effet, l'ordre suivant est proposé pour structurer les instructions permettant l'instanciation des éléments du modèle de processus (le fichier XMI) :

1. Ajout des classes : À partir de la classe racine du modèle « CollaborativeProcess » : pour l'exemple, deux activités (DesignActivity) AV01 et AV02 (l'activité de conception 01 et l'activité de conception 02) doivent être ajoutées au modèle par cette méthode.
2. Quantification des attributs et identification des associations liant les classes. Après avoir ajouté les classes, pour chacune d'elles, leurs attributs et leurs associations sont définis progressivement dans le tableau des propriétés de la classe. Dans l'exemple, pour l'activité de conception 01, l'attribut identité (ID) est défini comme AV01 et l'association activité produit (avProduces) est définie en sélectionnant une autre instance qui s'appelle DF01 (le fichier de données 01). En effet, cette association montre que l'activité AV01 produit le fichier DF01.

Un extrait de l'arborescence du modèle de processus généré pour la première variante de l'exemple est illustré dans la Figure 3- 4.

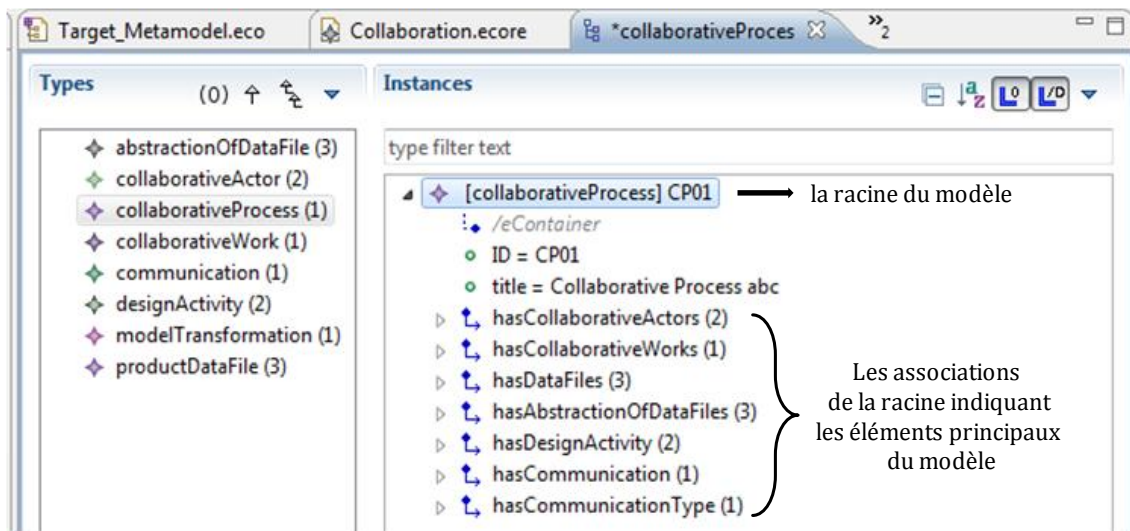


Figure 3- 4, Extrait de l'arborescence du modèle de processus généré pour le cas d'exemple

Arrivé à ce point, la première tâche du cadre, la tâche IA, est effectuée et un modèle de processus est instancié. La tâche suivante, la validation du modèle, peut alors débuter.

3.2.2. Tâche IB : Validation syntaxique du modèle de processus

Après avoir défini le modèle de processus, il faut le valider. Cette validation vérifie si le modèle enregistré dans le fichier XMI est complet et si la syntaxe du modèle correspond au méta-modèle du processus. La validation peut se faire automatiquement dans Éclipse par l'option « validate » définie pour le fichier qui vérifie également la validité des contraintes OCL ajoutées au méta-modèle original

Les problèmes de validation sont indiqués dans la fenêtre de « validation problems » (Figure 3-5) et l'utilisateur est guidé vers l'élément concerné par ces problèmes. Par exemple, un problème peut concerner la cardinalité de l'association « hasCollaborativeActors » de la classe « CollaborativeProcess », qui est configurée « 2 .. * » qui n'est pas respectée. Une autre alerte peut apparaître si le type d'un attribut prévu pour être un entier rempli par une chaîne de caractères.

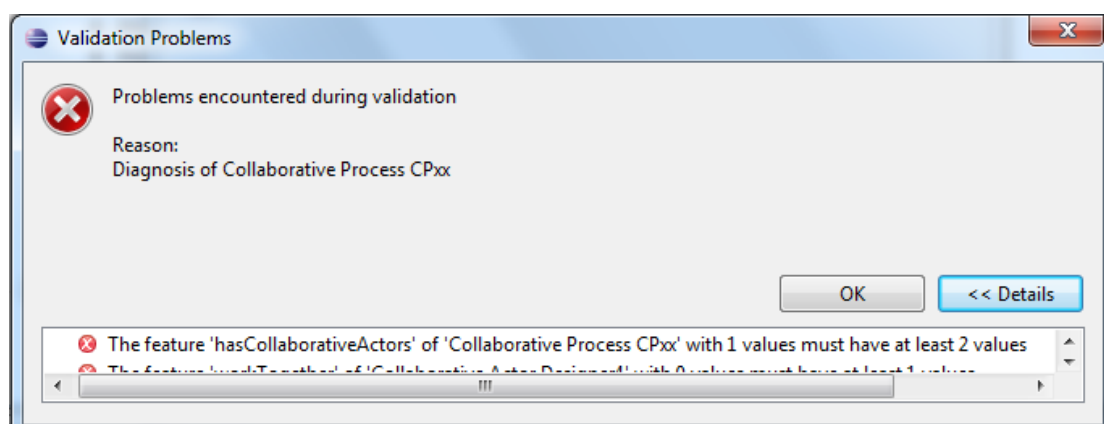


Figure 3- 5, Problèmes de validation d'un modèle de processus

À ce point, la tâche IIA, est effectuée et le modèle généré du processus est validé. Le modèle valide fournit également les données requises à l'étape suivante du cadre.

3.3. Mesure de performance

Dans la deuxième étape, le modèle de processus fourni par l'étape précédente est analysé dans le but de mesurer la performance des collaborations. Compte tenu de l'approche proposée pour effectuer cette mesure, les aspects importants de celle-ci sont d'abord expliqués dans cette section. Ensuite, les différentes tâches à réaliser pour cette étape sont expliquées et illustrées sur l'exemple introduit précédemment (voir la Figure 3- 3).

A) Granularité de la mesure de performance

Après la définition d'un processus collaboratif et de l'indicateur de mesure de la performance, la question principale concerne la granularité des analyses d'un tel processus. En effet, le niveau de modélisation nécessaire pour analyser la collaboration doit être défini.

Pour répondre à cette question, il est intéressant de se positionner par rapport à deux grandes approches d'analyse des objets : Réductionnisme et Holisme.

- Le Réductionnisme est « l'hypothèse selon laquelle une entité peut être divisée en ses composantes et qu'une explication cumulée des parties et de leurs relations, explique entièrement l'entité » (Dent & Umpleby 1998).
- L'Holisme est « l'hypothèse qu'une entité peut être mieux appréhendée en la considérant dans son intégralité. L'entité a des caractéristiques qui appartiennent au système dans son ensemble et qui n'appartiennent pas à l'une de ses parties » (Dent & Umpleby 1998) d'après(Clemson 1984).

Selon Fang et Casadevall (Fang & Casadevall 2011), le réductionnisme et l'holisme sont à la fois indépendants et complémentaires. Par exemple, ils considèrent que dans les analyses d'une entité, l'holisme peut exiger de l'information tirée des analyses réductionnistes ou peut générer des informations qui soutiennent les essais expérimentaux des analyses réductionnistes. Donc, d'une façon ou d'une autre, les analyses d'un objet nécessitent ces deux approches.

Compte tenu de l'évaluation des processus collaboratifs, étudiés dans la section 2.5, on observe que la plupart des évaluations sont qualitatives et fondées sur un niveau global d'interopérabilité. À titre d'exemple de telles approches, comme les modèles de maturité d'interopérabilité attribuent généralement un niveau de maturité à un type spécifique d'interopérabilité (Yahia 2011). Par conséquent, dans le cadre de ces travaux, c'est le réductionnisme qui est retenu afin de faire une évaluation locale de la performance du processus de conception

Afin de ne pas perdre l'accent mis sur la collaboration, nous décomposons un processus collaboratif en ses sous éléments qui eux-mêmes respectent la définition de la collaboration, les échanges de données entre les acteurs. Les sections suivantes détaillent la manière dont un processus collaboratif peut être décomposé en éléments minimaux nécessaires pour établir une collaboration.

B) Collaboration par paire (CpP), l'unité élémentaire de collaboration

Compte tenu du modèle conceptuel des processus collaboratifs, en préservant les concepts clés et leurs associations avec la cardinalité la plus basse possible, l'unité élémentaire de la collaboration est obtenue. En effet, une CpP, illustrée par la Figure 3- 6, est elle-même une collaboration qui contient principalement :

- I. Deux acteurs. Chaque acteur peut avoir ses propres attributs, ses activités, ses objectifs, mais une partie de son travail est lié à cette collaboration.
- II. Un travail collaboratif. Ce travail est lié aux éléments suivants : deux activités, une unité d'information (un fichier de données) et une communication. La première activité produit l'unité d'information qui est consommée par la seconde et la communication réalise l'échange unique et unilatéral de cette unité d'information.
- III. Une entité globale partagée comprenant au moins un but commun,

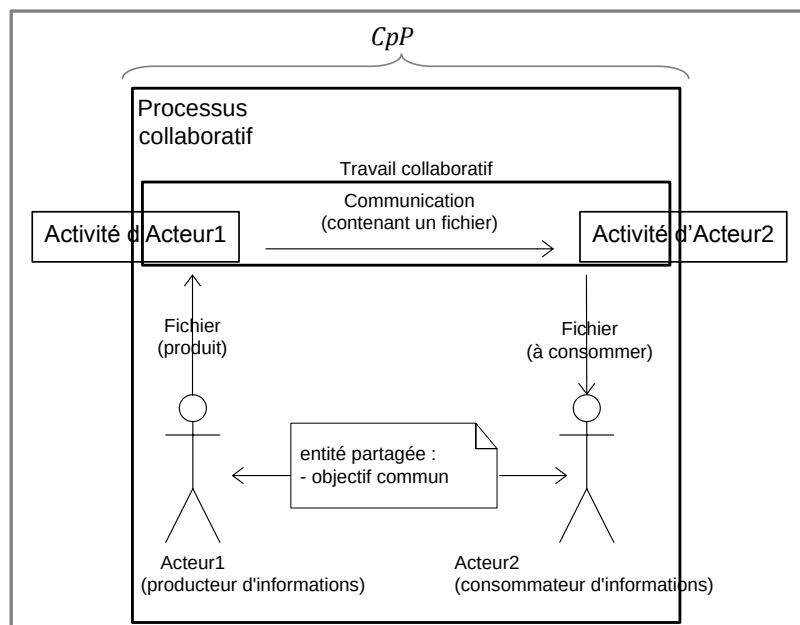


Figure 3- 6, Collaboration par Paire (CpP)

Dans la suite de ces travaux, le terme « collaboration » sous-entend « collaboration par paire (CpP) ». Un exemple de CpP dans un processus de conception est illustré dans la Figure 3- 7. Cet exemple, extrait du cas d'étude, est présenté en détails dans la section 3.4.

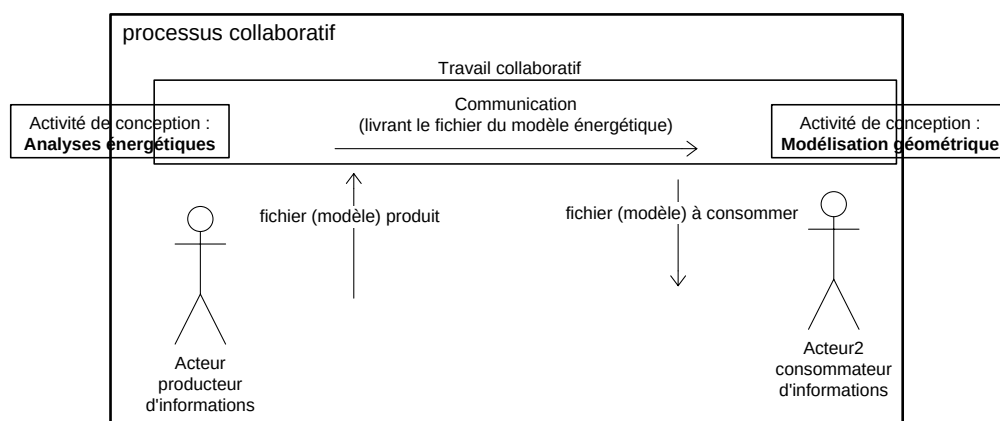


Figure 3- 7, Exemple d'une Collaboration par Paire (CpP) dans le cadre de la conception collaborative

Le niveau de décomposition de processus collaboratif peut varier. En effet, compte tenu de la possibilité d'identification des échanges de fichiers ou l'importance de ces échanges, le nombre de CpPs dans un processus collaboratif peut être différent. Par exemple, deux cas de figure avec différents nombres de CpPs, modélisant le même processus collaboratif, sont illustrés par la Figure 3- 8.

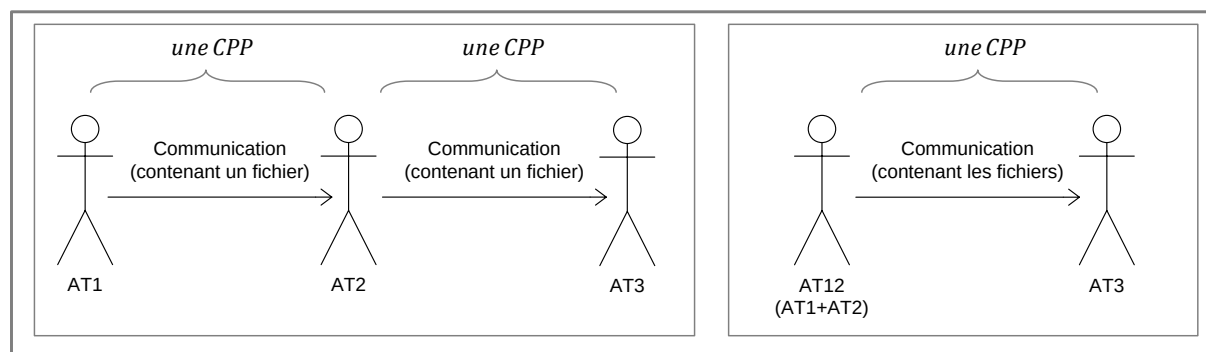


Figure 3- 8, Variation des CpP dans un processus collaboratif

La partie gauche de cette figure illustre le cas où il y a deux échanges de fichiers entre les acteurs AT1 et AT2 puis entre AT2 et AT3. Dans ce cas, 2 CpP sont donc identifiées. Sur le côté droit, AT1 et AT2 sont considérés comme un groupe avec une identité unique et définie « AT12 » car les échanges entre ces acteurs sont verbales ou pas suffisamment importants pour être analysés. En effet, il est considéré qu'il y a seulement un échange de fichiers entre AT12 et AT3 ce qui implique donc une unique CpP.

En outre, la décomposition des processus peut continuer jusqu'au point où un acteur (un groupe de concepteurs) n'est plus décomposable. En d'autres termes, dans cette situation les échanges à l'intérieur du groupe ne sont plus détectables ou leurs informations ne sont pas disponibles. Il convient de mentionner que le niveau de décomposition peut être également défini en fonction du temps ou du coût que l'analyste est prêt à dépenser.

Dans ces travaux, la performance de chaque CpP existant dans le modèle de processus est mesurée de façon indépendante des autres collaborations. Cette mesure est expliquée dans la section suivante.

C) Indicateur et méthode de mesure de performance

Sur la base de l'étude de la littérature présentée dans le chapitre précédent, il est proposé que la mesure de performance de la collaboration soit faite sur la base d'un critère appartenant intrinsèquement à la notion de collaboration. Ce critère est l'interopérabilité.

En raison de la caractéristique multidimensionnelle de ce critère, il est également mentionné que dans cette recherche, un indicateur particulier est choisi pour refléter le niveau d'interopérabilité : la pertinence de l'information. Dans ces travaux, cet indicateur est mesuré sur la base de la compatibilité des fichiers de données aux niveaux syntaxique et sémantique (voir la Figure 3- 9). En effet, il est considéré que les incompatibilités à ces niveaux peuvent provoquer les barrières d'interopérabilité.

Pertinence d'information = Comptabilité des formats & Compatibilité des abstractions

où :

- **Compatibilité technique :** Ce type de compatibilité est réalisé lorsque le format natif du fichier produit est le même que celui requis. Tant que ces formats sont définis par des outils, dans le squelette du processus, les outils de conception ou de communication doivent être identifiés.
- **Compatibilité sémantique :** Ce type de compatibilité est réalisé lorsque le contenu du fichier produit couvre le contenu d'un fichier requis. Dans le squelette du processus les contenus réels (instanciés) ne sont pas connus, mais les informations abstraites sur ces contenus sont disponibles. En effet, seules les abstractions de ces données sont disponibles. C'est la raison pour laquelle, la compatibilité sémantique est mesurée au niveau abstrait.

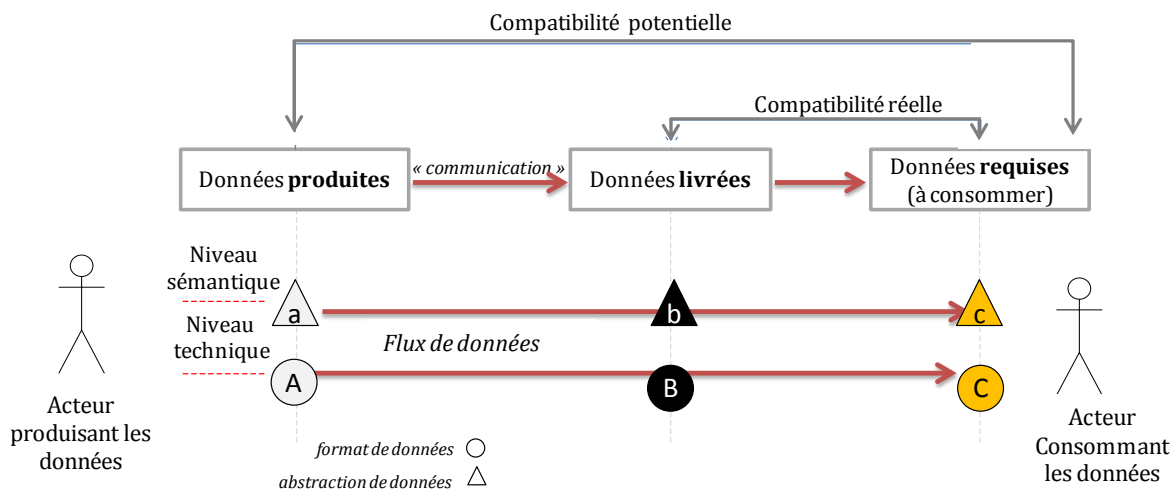


Figure 3- 9, Différents niveaux de la mesure de la pertinence de l'information dans une CpP

Dans une CpP, la « communication » livre un fichier produit à l'acteur exigeant ce dernier. Cette communication peut comprendre des éléments appelés CommunicationTypes (par exemple les solutions d'interopérabilité) qui peuvent influencer le fichier produit avant qu'il soit livré. Par conséquent, nous considérons également que pour une CpP, les compatibilités doivent être mesurées à deux autres niveaux qui sont verticalement en parallèle (voir la Figure 3- 9) :

- Compatibilité potentielle qui concerne la compatibilité entre les fichiers produits et requis.
- Compatibilité réelle qui concerne la compatibilité entre les fichiers livrés et requis.

Il est à mentionner que, dans le cas où la communication ne comprend pas de CommunicationType, les valeurs potentielle et réelle sont égales car les fichiers de données produits et livré sont identiques.

D) Méthode de la mesure de compatibilité

Dans les mesures de compatibilités, les formats et les abstractions des fichiers sont les variables de mesure. En ayant la valeur de ces variables à partir du modèle de processus, la mesure de compatibilité est réalisée par les méthodes appelés matchings syntaxique et sémantique, qui déterminent respectivement la compatibilité des formats et la compatibilité des abstractions.

Il est considéré qu'afin d'assurer la pertinence des informations ces deux matchings doivent avoir des résultats satisfaisants. En effet, la valeur potentielle et réelle de la pertinence de l'information pour chaque collaboration dépend du résultat de ces matchings (voir la Figure 3-9) :

- La valeur potentielle est satisfaisante uniquement si les résultats de deux matchings sont satisfaisants au niveau potentiel.
- La valeur réelle est satisfaisante uniquement si les résultats de deux matchings sont satisfaisants au niveau réel.

Afin d'avoir les valeurs satisfaisantes, il faut assurer les deux matchings en même temps. En effet, sans une compatibilité syntaxique entre les fichiers, les données ne peuvent être échangées. En outre, sans compatibilité sémantique, malgré la réalisation de l'échange, le fichier échangé ne contient pas les données nécessaires (le fichier n'est pas adapté au besoin de son consommateur).

Après avoir présenté les éléments clés de la mesure, les sections suivantes expliquent comment la mesure est effectuée et quelles sont les différentes tâches à exécuter dans la deuxième étape. Les explications sont également illustrées par l'exemple présenté dans la section précédente (la Figure 3-3).

3.3.1. Tâche IIA : Identification des Collaborations Par Paires (CpPs)

La première tâche de l'étape 2 consiste à identifier les collaborations par paires (CpPs) dans le modèle de processus fourni par l'étape 1. Dans ce modèle, une CpP est portée par sa classe racine « CollaborativeWork ». Cette classe est en association avec tous les autres éléments complétant la définition d'une CpP :

- Une première activité de conception, « DesignActivity » via l'association « hasAvProducing ».
- Une deuxième activité de conception « DesignActivity » via l'association « hasAvRequiring ».
- Les activités de conception sont associées à une « Communication » unique et chaque activité de conception est elle-même associée à un « CollaborativeActor ».

Sur l'extrait du modèle de processus de l'exemple (Figure 3-10), le nombre de CpPs est identifié par le numéro entre les parenthèses en face du titre de l'association « hasCollaborativeWork ». Comme il l'est constaté, la CpP identifiée dans cet exemple est représentée par le « CollaborativeWork CW01-02 ».

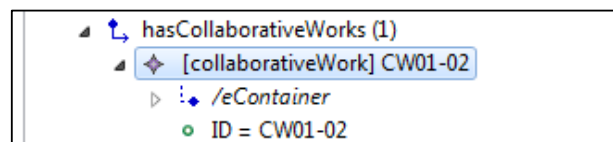


Figure 3-10, Classe « CollaborativeWork » représentant une CpP dans le cas de l'exemple

Après l'identification de toutes les collaborations portées par la classe « CollaborativeWork », chacune d'entre elle est étudiée individuellement pour évaluer sa performance. A cet effet, deux processus de matching sont envisagés : un syntaxique et un sémantique.

3.3.2. Tâche IIB : Matching Syntaxique

Pour une collaboration, dans un premier temps, un matching des formats de fichier est réalisé afin d'assurer le flux d'information. En effet, il est considéré que l'incompatibilité entre les formats d'échange de fichiers dans une collaboration peut bloquer ce flux. Dans ce cas, la pertinence de l'information est nulle.

A) Fonction de similarité dans le matching syntaxique

Dans ces travaux de recherche, une fonction simple (basée sur l'approche de calcul de la similarité textuelle), est utilisée pour le matching syntaxique. Cette fonction vérifie l'équivalence terminologique des formats de fichiers.

Il est considéré la comparaison de deux fichiers M et N, aux formats respectifs A et B donne :

$$A = B \leftrightarrow \text{Fonction de la similarité (Fichier M, Fichier N)} = \text{Vrai} \quad (1)$$

$$A \neq B \leftrightarrow \text{Fonction de la similarité (Fichier M, Fichier N)} = \text{Faux} \quad (2)$$

B) Règles de matching syntaxique

Pour chaque collaboration, les règles de matching suivantes doivent être vérifiées.

Tableau 3- 1, Règles de matching syntaxique

Règle	Niveau de matching
1	POTENTIEL Dans une collaboration, le fichier produit par une activité doit avoir la même format que le fichier requis par l'autre activité. « Fonction de la similarité : $A = C *$ »
2	REEL Dans une collaboration, le fichier livré par la communication à une activité doit avoir le même format que le fichier requis par cette activité. « Fonction de la similarité : $B = C *$ »

* Voir la Figure 3- 9, page 104 concernant A, B et C.

Considérant une collaboration comprenant deux activités de conception et une communication les reliant :

- La règle de matching au niveau POTENTIEL vérifie si la première activité (producteur) peut produire un fichier avec un format compatible au format requis par la deuxième activité (consommateur). En d'autres termes, cette règle vérifie si la deuxième activité peut utiliser le fichier produit par la première activité.
- La règle de matching au niveau REEL est nécessaire quand la communication affecte le fichier produit. Ceci peut créer des différences entre les fichiers produit et livré. En effet, cette règle vérifie si la communication livre un fichier avec un format compatible au format requis par la deuxième activité (consommateur). En d'autres termes, cette règle vérifie si la deuxième activité peut utiliser le fichier livré par la communication.

Comme l'illustre la Figure 2- 38 (Figure 3- 2), après le matching syntaxique :

- 1) Dans le cas où la règle de matching est qualifiée satisfaisante, la valeur de l'indicateur d'interopérabilité est mise à jour pour satisfaisante et l'étape II arrive à sa fin. En effet, ces résultats montrent que la pertinence d'information est atteinte.
- 2) Dans le cas où la règle de matching est qualifiée insatisfaisante, la valeur de l'indicateur d'interopérabilité est d'abord mise à jour pour insatisfaisante. Ensuite, les formats doivent être vérifiés de nouveau :
 - 3) S'il s'agit des formats spécifiques, propriétaires et donc fermés tels que CATIA V5 3D, les plans d'action sont nécessaires. En effet, ces résultats montrent que la pertinence d'information n'est pas atteinte.
 - 4) S'il s'agit de formats ouverts (par exemple STEP), le second matching (le matching sémantique) est lancé qui est détaillé dans la section 3.3.3. Pour ce type de fichier les informations supplémentaires sur leurs sémantiques peuvent être disponibles. Le matching sémantique peut donc augmenter la précision de la mesure de leurs compatibilités.

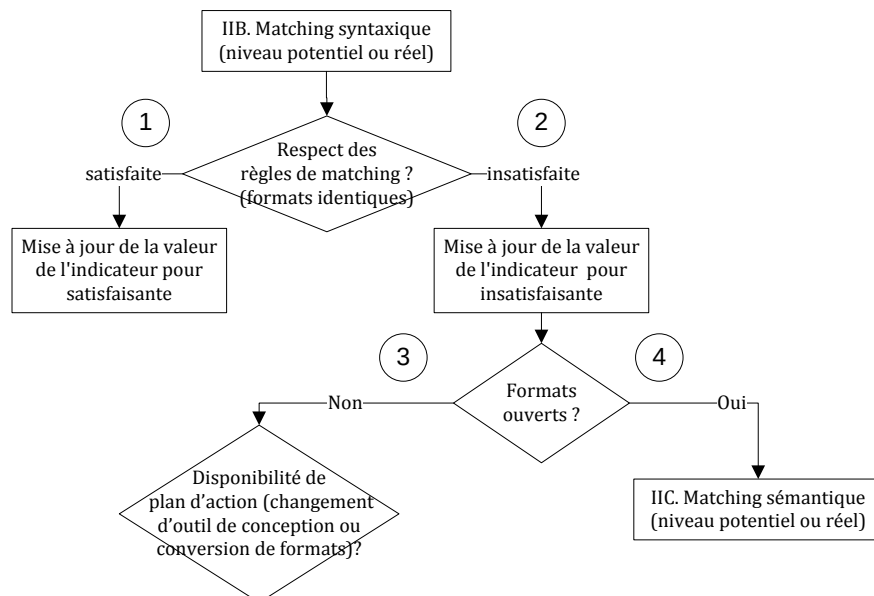


Figure 2- 38, Extrait du logigramme du cadre concernant le matching syntaxique

L'ensemble des résultats de matchings syntaxiques possibles pour une collaboration par paire sont résumés dans le Tableau 3- 2. Le contenu de ce tableau peut être détaillé :

- S'il n'y a pas de « CommunicationTypes » (un mode particulier d'échange de données telles que la transformation de modèles) dans la collaboration, les stéréotypes SyM2 et 3 ne sont logiquement pas possibles. En effet, lorsque la communication ne dispose pas de CommunicationType, les résultats potentiel et réel doivent être les mêmes sauf en cas d'erreur de saisie de données du modèle du processus. Puisque le modèle a déjà été validé à l'étape I, aucune erreur de ce type ne peut exister.
- S'il y a des CommunicationTypes dans la communication :
 - Le stéréotype SyM2 indique l'incapacité des CommunicationTypes. En effet, les CommunicationTypes ont dégradé le niveau potentiel. Par conséquent, il est jugé nécessaire de les retirer de la collaboration.

- Le stéréotype SyM4 indique que les deux règles, aux niveaux potentiel et réel, ne sont pas satisfaites. Par conséquent, les CommunicationTypes n'améliorent pas les résultats. De fait, soit les outils de conception doivent être modifiés soit de nouvelles solutions d'interopérabilité doivent être proposées.

Tableau 3- 2, Résultats possibles de la vérification des règles de matching syntaxique

Entrée	Règle 1 (Potentiel)	Règle 2 (Réal)	Traduction		Stéréotype	Plan d'action
Une collaboration par paire	satisfaite	satisfaite	Pas de mismatch	Matching Syntaxique (potentiel) = 1 Matching Syntaxique (Réal) = 1	SyM1	-
		insatisfait e	mismatch entre les fichiers livré et requis	Matching Syntaxique (potentiel) = 1 Matching Syntaxique (Réal) = 0	SyM2	Les <i>Communication Types</i> doivent être retirés *
	insatisfaite	satisfaite	mismatch entre les fichiers produit et requis	Matching Syntaxique (potentiel) = 0 Matching Syntaxique (Réal) = 1	SyM3	-
		insatisfait e	mismatch entre les fichiers produit et requis, et entre les fichiers livré et requis	Matching Syntaxique (potentiel) = 0 Matching Syntaxique (Réal) = 0	SyM4	Modifications des outils de conception ou des <i>Communication Types</i>
* Ce cas ne peut se produire que si les CommunicationTypes existent dans la communication						

Deux mécanismes, un manuel et un automatique, sont proposés pour le matching syntaxique. Ces deux mécanismes sont présentés dans les sections suivantes.

3.3.2.1. Matching syntaxique manuel

Les règles du matching syntaxique peuvent être vérifiées de façon manuelle. A cet effet, le modèle de processus doit être tout d'abord étudié pour chaque collaboration afin d'identifier les fichiers échangés.

Considérant l'exemple, introduit précédemment, les fichiers DF01, DF02 et DF03 sont d'abord identifiés pour la collaboration CW01-02. Suivant l'ordre illustré par la Figure 3- 11 :

- 1) D'abord la classe "collaborativeWork" représentant cette collaboration est étudiée en vue d'identifier les associations « hasAvProducing », « hasAvRequiring » and « hasCommunication » indiquant les deux activités de conception et la communication associées.
- 2) Les activités identifiées sont également étudiées afin d'extraire les fichiers associés.
- 3) Chaque fichier est également étudié pour extraire son format. Ensuite, les formats de ces fichiers sont utilisés dans la vérification des règles de matching. :
 - DF01 est le fichier produit par la première activité de conception AV01. Le format de ce fichier est « AAA ».
 - DF02 est le fichier livré par la communication CM01-02. Le format de ce fichier est également « AAA »ccc. Ce format doit être le même que celui du DF01 car la communication ne dispose pas de CommunicationTypes et par conséquent elle ne peut pas affecter le fichier produit.
 - DF03 est le fichier requis par la deuxième activité de conception AV02. Le format de ce fichier est « CCC ».

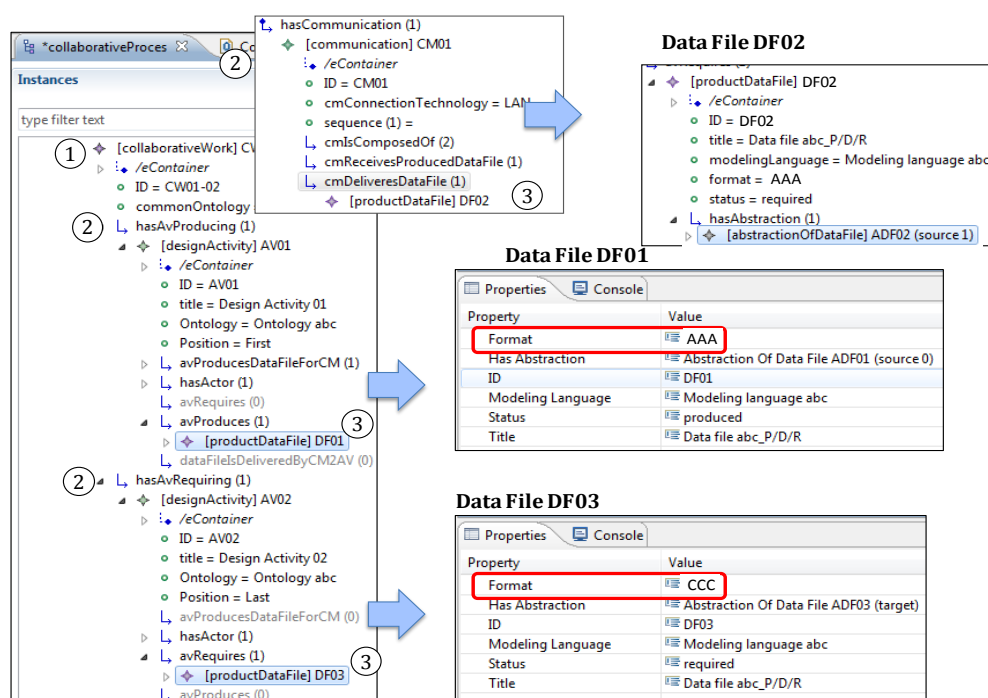


Figure 3- 11, Identification des fichiers de données

Les résultats des matchings manuels pour cet exemple sont résumés dans le Tableau 3- 3.

Tableau 3- 3, Résultats du matching syntaxique pour le cas d'exemple

Entrée	Règle 1	Règle 2	Traduction	Stéréotype*	Plan d'action
Collaboration CW01-02	insatisfaisante	insatisfaisante	Matching Syntaxique (potentiel) = 0	SyM4	Modifications des outils de conception si les formats sont propriétaires
	format de DF01 ≠ format de DF03	format de DF02 ≠ format de DF03	Matching Syntaxique (Réel) = 0		

* voir le tableau de référence (Tableau 3- 2, page 108)

Le matching syntaxique manuel peut devenir fastidieux et complexe pour les cas avec plusieurs collaborations par paire (plusieurs échanges de fichier). Par conséquent, un mécanisme automatique pour réaliser ce matching, est également proposé dans la section suivante.

3.3.2.2. Matching syntaxique à l'aide des contraintes OCL

L'utilisation de contraintes OCL (Objet Constraint Language) est proposée afin d'augmenter l'automatisation du processus de matching syntaxique. Ces contraintes sont identifiées, écrites et ajoutées au méta-modèle de processus basé sur les règles de matching définies précédemment (voir l'annexe E).

Compte tenu du méta-modèle de processus, pour chaque classe « CollaborativeWork », les contraintes OCL sont définies (voir le Tableau 3- 4). Dans ces contraintes, la communication et les fichiers de données associés avec les activités de conception sont également pris en compte par l'intermédiaire de leurs associations avec la classe de CollaborativeWork.

Tableau 3- 4, Contraintes OCL correspondant aux règles de matching syntaxique

Règle de Matching*	Nom dans le code	Contexte	OCL contrainte
			Description en langage OCL
Règle 1	CT01_POTENTIAL	Collaborative Work	self.hasAvProducing.avProduces.format = self.hasAvRequiring.avRequires.format;
Règle 2	CT02_REAL	Collaborative Work	self.hasAvRequiring.avRequires.format = self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmDeliveresDataFile.format

* voir le Tableau 3- 1

L'avantage de l'ajout de contraintes OCL au méta-modèle est qu'il n'est plus nécessaire d'étudier manuellement le modèle de processus instancié pour trouver les fichiers et leurs formats. Cette fois, le matching est réalisé sur l'ensemble du modèle de processus via la validation du modèle. En réalité, la validation vérifie, non seulement la structure du modèle, mais aussi les contraintes OCL qui ont été ajoutées au méta-modèle. Si une contrainte OCL n'est pas satisfaite, elle sera retournée dans les problèmes de validation.

Les résultats du matching syntaxique par les contraintes OCL pour l'exemple (proposé dans la Figure 3- 3) sont illustrés dans la Figure 3- 12.

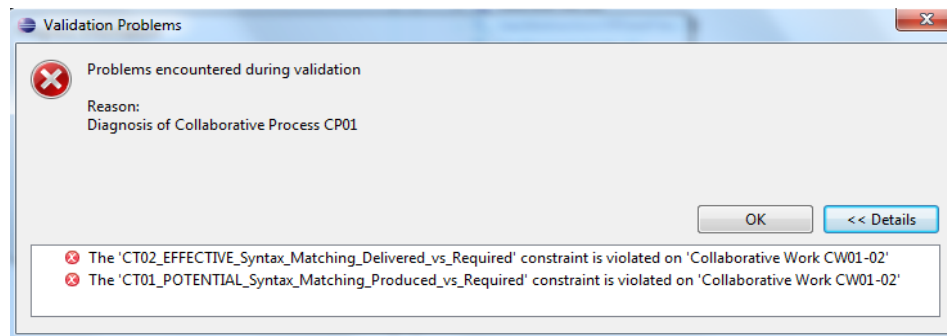


Figure 3- 12, Résultats du matching syntaxique, via les contraintes OCL

Les résultats des matchings syntaxiques, manuels et à l'aide des contraintes OCL, pour les variantes dans l'exemple sont comparés dans le Tableau 3- 5. Il est observé que les résultats de ces deux mécanismes de matching sont identiques.

Tableau 3- 5, Comparaison des résultats de matchings syntaxiques dans la version initiale du cas d'exemple

Contexte	Règle 1		Règle 2		Streotype*
	OCL	Manuel	OCL	Manuel	
CollaborativeWork CW01-02 (version initiale)	Contrainte CT01_POTENTIAL n'est pas satisfaite	I**	Contrainte CT01_REAL n'est pas satisfaite	I	SyM4
CollaborativeWork CW01-02 (version alternative)	Contrainte CT01_POTENTIAL n'est pas satisfaite	I**	Contrainte CT01_REAL est satisfaite	S**	SyM3

* voir le tableau de référence (Tableau 3- 2, page 108)
 ** S : satisfaite, I : insatisfaite

Compte tenu du logigramme du cadre illustré dans la Figure 3- 2 et des résultats du matching syntaxique :

- Pour la première variante de l'exemple, la valeur de l'indicateur de performance est d'abord mise à jour à « insatisfaisante ». Ensuite, l'ouverture des formats est vérifiée. Pour cet exemple il est considéré que les formats sont ouverts. Dans ce cas, le processus de matching sémantique, peut être lancé.
- Pour la deuxième variante, on observe que le matching syntaxique réel (règle 2) est qualifié de « satisfaisant ». Cela signifie que les deux CommunicationTypes (conversion de format de donnée) dans cette version sont efficaces et qu'elles ont permis d'avoir une compatibilité entre les formats des fichiers livré et requis. Dans cet exemple, la valeur de l'indicateur de performance est mise à jour à « satisfaisante ». En outre, d'après le tableau de référence, le Tableau 3- 2, aucune plan d'action n'est nécessaire.

3.3.3. Tâche IIC : Matching sémantique

Après avoir vérifié l'aspect syntaxique de la performance des collaborations, si les résultats du matching sont insatisfaisants et que les formats sont ouverts (par exemple les formats basés sur XML), l'aspect sémantique peut également être étudié afin de mesurer la compatibilité sémantique entre ces formats. A cette fin, par ces travaux de recherche, le matching sémantique des fichiers à un niveau conceptuel est proposé. Ce niveau conceptuel est un niveau d'abstraction du contenu des fichiers. Par exemple, il est déterminé qu'un concepteur doit identifier les fonctions du produit à concevoir. Ces fonctions doivent donc être trouvées dans le contenu des fichiers échangés. Le terme « fonction » indique un concept, mais les instances de ce concept, les fonctions du produit final ne sont pas encore identifiables. Pour chaque fichier, une abstraction doit donc être identifiée ou extraite.

A) Abstraction de fichier de données

Dans ces travaux, une abstraction de données est définie comme un modèle conceptuel où les concepts ont trois niveaux :

$$\text{Abstraction } A = \{c_1, \dots, c_n\} \quad (3)$$

où c_i est une classe de l'abstraction A et

$$c_i = \{c_property_1, \dots, c_property_n\} \quad (4)$$

où $c_property_j$ est une propriété de la classe c_i . La première propriété, ($c_property_1$), est considérée comme obligatoire (identifiant unique) et les autres sont facultatives. Elles peuvent changer d'un concept à un autre. Une propriété facultative peut être indépendante, comme un attribut, ou dépendante d'une autre classe, comme une association. Les propriétés facultatives peuvent également avoir leurs propres propriétés :

$$c_property_j = \{c_property_{j1}, \dots, c_property_{jm}\} \quad (5)$$

Ces propriétés dépendent essentiellement du formalisme d'abstraction. Par exemple, pour un diagramme de classe UML ou pour un méta-modèle Ecore, nous considérons ces propriétés :

- Propriété des attributs : type, borne inférieure et borne supérieure
- Propriété des associations : type (agrégation ou composition), cardinalité inférieure et supérieure (l'ensemble de ces deux derniers est appelé multiplicités ou cardinalités)

Dans le processus de matching sémantique, les éléments des abstractions doivent être étudiés en respectant ce modèle conceptuel.

B) Fonction de similarité dans le matching sémantique

Dans ces travaux, une fonction de similarité basée sur l'équivalence textuelle des concepts est retenue pour le matching sémantique. En effet, il est considéré que les termes équivalents représentent un concept unique pour les concepteurs (hypothèse 6). En effet, cette hypothèse est suite d'un verrou situé en dehors du domaine de cette thèse et il est considéré qu'elle est à étudier par la linguistique. En outre, tout comme le matching syntaxique, l'application des fonctions de similarité plus complexes est considérée comme un travail dans les perspectives.

En utilisant deux abstractions, l'une appelée cible et l'autre source, écrites toutes deux avec la même syntaxe, la **fonction de similarité** vérifie si la source couvre tous les concepts définis comme nécessaires par la cible :

$$X_{source} \supset X_{cible} = (\forall c \in X_{cible} : \exists c' \in X_{source} : c' = c) \quad (6)$$

Les résultats de la fonction peuvent montrer des mismatches : des éléments de la cible manquant dans la source. Compte tenu des trois niveaux de concepts dans une abstraction, un mismatch peut être :

- Mismatch entre les classes : ce type de mismatch se produit quand une classe de X_{cible} n'existe pas dans la X_{source} .
- Mismatch entre les propriétés : ce type de mismatch se produit quand pour une classe de X_{cible} , il existe déjà un match (correspondance) dans X_{source} , mais une propriété, un attribut ou une association, de cette classe manque dans le X_{source} .
- Mismatch entre les propriétés de propriétés : ce type de mismatch se produit quand pour un attribut/association d'une classe de X_{cible} il existe déjà un match dans X_{source} , mais une propriété de cet attribut/association, par exemple, la cardinalité inférieure est différente.

Les mismatches peuvent être pondérés selon l'importance relative des concepts. Cette pondération peut se faire en fonction de l'avis de l'expert de processus ou des concepteurs, particulièrement l'acteur exigeant des données. Dans ces travaux, ces pondérations pour les concepts et pour leurs mismatches ont des valeurs symboliques de 1, 0,5 et 0,1 respectivement pour une classe, une propriété et une propriété de propriété.

Après l'identification des mismatches, la compatibilité sémantique est mesurée à partir de cette relation :

$$\text{Compatibilité sémantique} = 1 - \frac{WME}{WE} \quad (7)$$

Où, WE et WME sont respectivement, la valeur pondérée des concepts de la cible et la valeur pondérée des mismatches.

Ces paramètres peuvent être détaillés en :

$$WE = NC \times WC + NP \times WP + NPP \times WPP \quad (8)$$

$$WME = NMC \times WC + NMP \times WP + NMPP \times WPP \quad (9)$$

où :

- NC : Nombre de classes dans la cible,
- NP : Nombre de propriétés facultatives, les attributs et les associations, des classes dans la cible.
- NPP : Nombre de concepts du niveau 3, « propriétés de propriétés », comme la borne inférieure d'une association.
- WC : poids de classe,
- WP : poids de propriété,
- WPP : poids de propriété de propriété,
- NMC : Nombre de mismatch entre les concepts du niveau 1,
- NMP : Nombre de mismatch entre les concepts du niveau 2,
- NMPP : Nombre de mismatch entre les concepts du niveau 3.

La valeur calculée de la compatibilité sémantique peut être comparée à un seuil minimal. Ce dernier peut être défini en fonction de l'avis de l'expert de processus ou les acteurs de la collaboration, et particulièrement le concepteur exigeant des données. Le seuil minimal indique quelle quantité de données est considérée suffisante pour cet acteur. Dans ces travaux, le seuil minimal a la valeur symbolique de 0,5.

C) Les règles du matching sémantique

Comme mentionné précédemment (et illustré par la Figure 3- 9), le matching sémantique, tout comme le matching syntaxique, est effectué en deux niveaux dans une collaboration et les résultats peuvent indiquer une valeur réelle ou potentielle de cet aspect de la performance. Pour chaque collaboration, les règles de matching contenue dans le Tableau 3- 6 doivent donc être vérifiées.

Tableau 3- 6, Règles de matching sémantique

Règle	Niveau de matching
1	POTENTIEL
	Dans une collaboration, l'abstraction des données produites (a*) par une activité doit couvrir l'abstraction des données requises par la seconde activité. « Fonction de la similarité : $c \subset a$ »
2	RÉEL
	Dans une collaboration, l'abstraction des données livrées (b*) par une activité doit couvrir l'abstraction des données requises par la seconde activité. « Fonction de la similarité : $c \subset b$ »
* Voir la Figure 3- 9, page 104 concernant a, b et c.	

Considérant une collaboration qui comprend deux activités de conception et une communication les reliant :

- La première règle indique si l'activité de conception a potentiellement les outils disponibles pour produire des données avec des contenus compatibles pour l'activité nécessitant ce fichier de données. Cette règle est vérifiée par un matching sémantique avec une fonction de similarité dans laquelle les abstractions des données produites et requises ont respectivement les rôles de la source et de la cible.
- La deuxième règle vérifie si la communication affecte le contenu des données produites, de la réception de ces données jusqu'à leur livraison comme données livrées. Par conséquent, les données livrées doivent réellement être pertinentes pour l'activité qui les attend. Cette règle est également vérifiée par un matching sémantique avec une fonction de similarité dans laquelle les abstractions des données produites et requises ont respectivement les rôles de la source et de la cible.

Comme l'illustre la Figure 2- 39 qui est un extrait du logigramme du cadre (Figure 3- 2), après le matching sémantique, la valeur de l'indicateur d'interopérabilité est mise à jour pour satisfaisante ou insatisfaisante selon les résultats du matching. Ensuite :

- 1) Dans le cas où les résultats sont qualifiés de satisfaisants : les formats sont sémantiquement compatibles mais la pertinence d'information n'est pas atteinte car le matching syntaxique n'était pas satisfait à la base. Dans ce cas-là, même si les fichiers ne sont pas syntaxiquement compatibles, il est possible d'utiliser des plans d'action tels que la transformation de modèles car les concepts exigés existent dans les deux fichiers.
- 2) Dans le cas où les résultats sont qualifiés d'insatisfaisants : les formats ne sont pas sémantiquement compatibles et la pertinence d'information n'est pas atteinte. Dans ce cas-là, même si les fichiers ne sont pas syntaxiquement compatibles, la possibilité d'extraction des mappings sémantiques est vérifiée : 3) Si cette extraction est possible, des plans d'action tels que la transformation de modèles peuvent ensuite être développés.

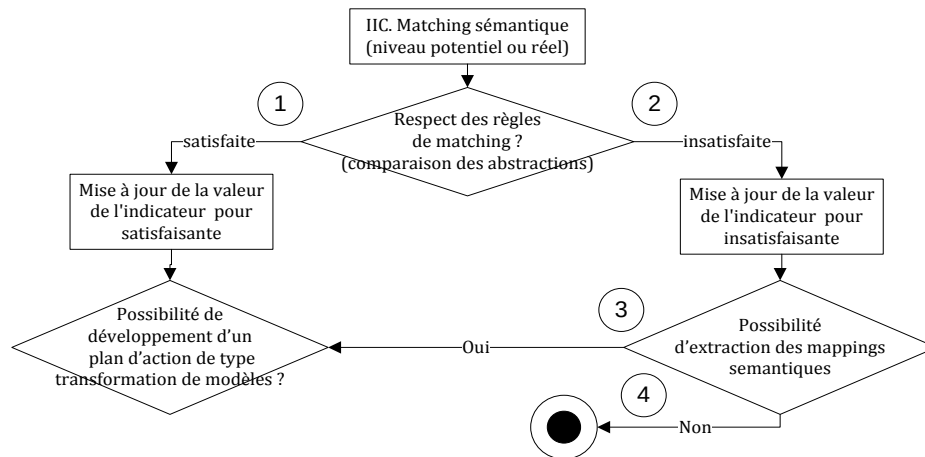


Figure 2- 39, Extrait du logigramme du cadre concernant le matching syntaxique

Les résultats possibles de l'ensemble des matchings sémantiques aux niveaux potentiel et réel pour une collaboration par paire sont résumés dans le Tableau 3- 7. Le contenu de ce tableau peut être détaillé :

- Dans le cas où il n'y a pas de « CommunicationTypes » dans la collaboration, certains résultats du matching sémantique ne sont pas logiquement possibles : les stéréotypes Sém2 et Sém 3. En effet, lorsque la communication ne dispose pas des moyens tels que des solutions d'interopérabilité, les résultats potentiel et réel sont identiques.
- Dans le cas où il y a des CommunicationTypes dans la collaboration :
 - Le stéréotype Sém2 indique l'incapacité des « CommunicationTypes » ou des outils de conception. En effet, les CommunicationTypes ont dégradé le niveau potentiel. Par conséquent, il est jugé nécessaire de les retirer de la collaboration.
 - Le stéréotype SyM4 indique que les deux règles, aux niveaux potentiel et réel, ne sont pas satisfaites. Par conséquent, les CommunicationTypes n'améliorent pas les résultats. De fait, soit les outils de conception doivent être modifiés soit de nouvelles solutions sémantiques d'interopérabilité sont nécessaires.

Tableau 3- 7, Cas possibles de matching sémantique

Entrée	Règle 1 (Potentiel)	Règle 2 (Réel)	Traduction		Stéréotype	Plan d'action
Une collaboration par pair	satisfaite	satisfaite	Pas de mismatch	Matching Sémantique (potentiel) = 1 Matching Sémantique (Réel) = 1	Sém1	-
		insatisfaite	mismatch entre les fichiers livré et requis	Matching Sémantique (potentiel) = 1 Matching Sémantique (Réel) = 0	Sém2	Les Communication Types doivent être retirés *
	insatisfaite	satisfaite	mismatch entre les fichiers produit et requis	Matching Sémantique (potentiel) = 0 Matching Sémantique (Réel) = 1	Sém3	-
		insatisfaite	mismatch entre les fichiers produit et requis, et entre les fichiers livré et requis	Matching Sémantique (potentiel) = 0 Matching Sémantique (Réel) = 0	Sém4	Modifications des outils de conception ou des Communication Types

* Ce cas ne peut se produire que si les CommunicationTypes existent dans la communication

Deux mécanismes, un manuel et un outillé, sont proposés pour le matching sémantique. Ces deux mécanismes sont présentés dans les sections suivantes.

3.3.3.1. Matching sémantique manuel

Le matching sémantique peut être réalisé manuellement pour les problèmes de petite taille. Dans cette section, ce mécanisme est expliqué en utilisant l'exemple fil rouge. Similaire au matching syntaxique, le matching sémantique est effectué individuellement sur chaque collaboration. Après avoir identifié une collaboration représentée par la classe CollaborativeWork dans le modèle de processus, elle est étudiée une nouvelle fois. Ceci a pour objectif d'identifier les abstractions des fichiers associés à la collaboration. Considérant le modèle de processus de l'exemple, pour la collaboration CW 01-02, les fichiers DF01, DF02 et DF03 sont identifiés respectivement comme les fichiers produit, livré et requis. A cette fin, l'ordre illustré dans la Figure 3- 13 doit être suivi. Après les points 3.1 à 3.3, pour chaque fichier, son abstraction peut être trouvée dans l'association « Has Abstraction ». Ensuite, l'engagement des concepteurs peut être nécessaire pour extraire les concepts existants dans ces abstractions. Ces dernières peuvent également être disponibles pour les fichiers avec les formats ouverts.

Dans la variante 1 de l'exemple :

- DF01 est le fichier de données produit par la première activité de conception AV01. L'abstraction de ce fichier est nommée « ADF01 ».
- DF02 est le fichier de données livré par la communication CM01-02. L'abstraction de ce fichier est nommée « ADF01 ».
- DF03 est le fichier de données requis par la deuxième activité de conception AV02. L'abstraction de ce fichier est nommée « ADF03 ».

On observe que l'abstraction du fichier DF02 (le fichier livré) est la même que l'abstraction du DF01 (le fichier produit). C'est logique car dans la variante 1 aucun CommunicationTypes n'existe dans la communication. Ainsi, cette dernière n'affecte pas le fichier produit. Par conséquent, les matchings aux niveaux potentiel et réel donnent les mêmes résultats.

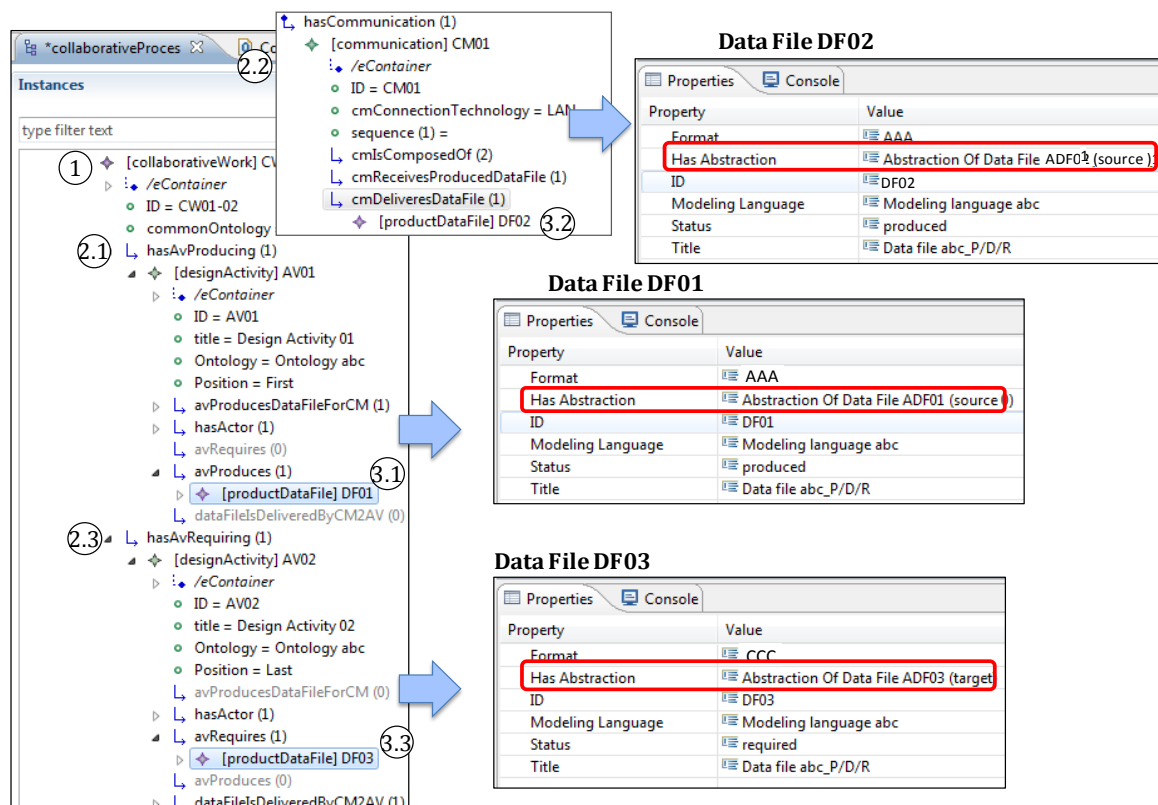


Figure 3- 13. Identification des abstractions des fichiers associées avec un CollaborativeWork

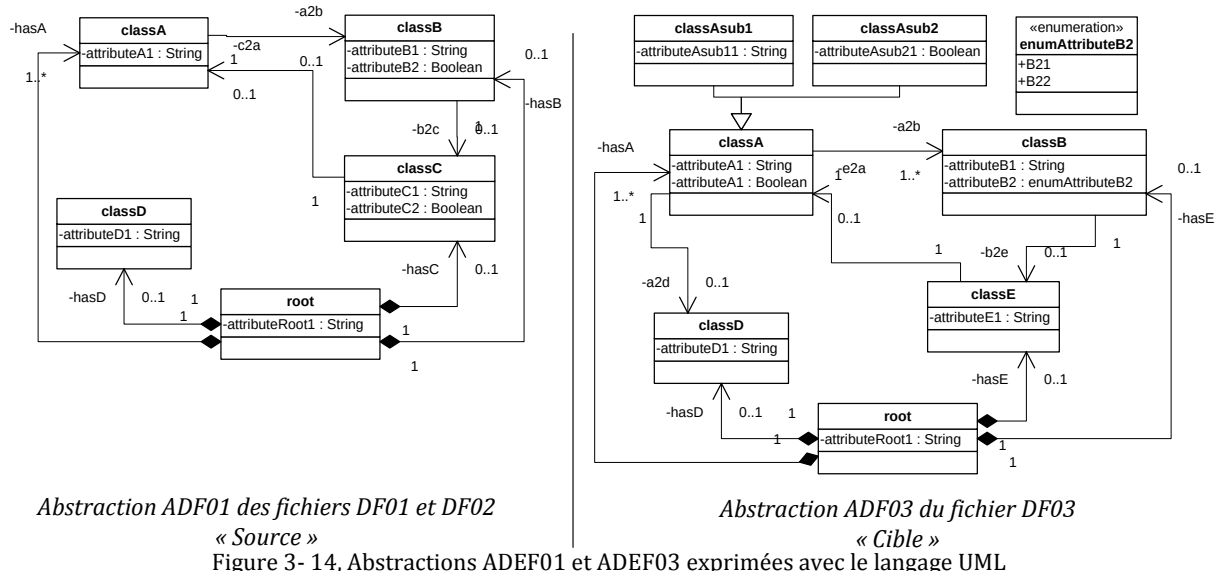
Les règles de matchings sémantiques pour cet exemple sont indiquées dans le Tableau 3- 8. Dans les points suivants, la vérification de la première règle, le niveau potentiel, est expliquée. La procédure est identique pour la seconde.

Tableau 3- 8, Règles de matching sémantique

Règle	Niveau de matching
1	POTENTIEL : Matching Sémantique (source : ADEF01, Cible : ADEF03)
2	RÉEL : Matching Sémantique (source : ADEF01, Cible : ADEF03)

Avant d'effectuer le matching manuel, il convient de vérifier que les abstractions des fichiers sont accessibles et basées sur un langage commun (par exemple M3 EMF ou UML). Si ce n'est pas le cas, un opérateur de matching plus complexe doit être appliqué incluant également le matching des langages.

Dans cet exemple, les abstractions ADF01 et ADF03 sont décrites dans les diagrammes de classes UML (Figure 3- 14).



Les étapes suivantes doivent être réalisées pour effectuer le matching sémantique manuel entre les abstractions de la Figure 3- 14.

1) Comptage des éléments de l'abstraction cible

Au début, seule l'abstraction cible est étudiée pour compter le nombre d'éléments nécessaires au matching. En effet, les variables NC, NP et NPP définies dans l'équation de compatibilité (eq. 7) en page 112 doivent être quantifiées. Concernant la variable NP, dans ces travaux, la relation d'héritage (généralisation) n'est pas considérée directement comme association :

- Pour une classe C, ses attributs / associations sont comptés également pour toutes ses classes dérivées par « héritage ».
- Pour une classe « A » possédant une association « AtoC » avec cette classe C, il est considéré que la classe « A » possède cette association avec toutes classes dérivées de C.

En outre, afin de simplifier l'illustration de la démarche proposée, dans ces travaux on se limite aux trois propriétés type, bornes supérieure et inférieure pour un attribut et trois propriétés confinement (agrégation), bornes supérieure et inférieure (cardinalités) pour une association. Par conséquent, la valeur de la NPP est 3 fois NP.

Pour l'abstraction cible de l'exemple (ADEF02) le nombre de classes, d'attributs et d'associations sont au nombre de :

- 7 classes $\rightarrow NC = 7$,
- 13 attribut et 16 associations¹³ $\rightarrow NP = 13 + 26 = 29$,
- pour chaque attribut/association, 3 propriétés sont considérés $\rightarrow NPP = 29 \times 3 = 81$.

2) Comptage des mismatches

Les résultats de cette étape indiquent le nombre de concepts de la cible manquant dans la source. En effet, les variables NMC, NMP, et NMPP sont concernées :

- 2.1. Au début de cette étape, les classes du modèle cible sont étudiées pour voir si elles se trouvent dans la source. Cela facilite le processus de matching car en cas de mismatch pour une classe, ses classes dérivées et ses propriétés sont également considérées indirectement comme mismatch.
- 2.2. Ayant vérifié toutes les classes de la cible, les propriétés des classes matchées, sont étudiées. Pour ces éléments, en cas de mismatch, leurs propriétés sont également considérées indirectement comme mismatch.
- 2.3. Finalement, les propriétés des propriétés matchées, sont vérifiées.

En comparant les abstractions cible (ADEF01) et source (ADEF03) les mismatches suivants sont identifiés :

- Mismatches au 1^{er} niveau, en vérifiant les classes : « classE », « classAsub1 » et « classAsub2 » sont mismatchées.
 - Direct : NMC = 3
 - Indirect : Ces classes ont au total 7 (3 + 3 + 1) attributs et 11 (4 + 4 + 3) associations. Ainsi, la valeur de NMP est augmentée de 18 (7 + 11) et la valeur de NMPP est augmentée de 54 (18 $\times$ 3).
- Mismatches au 2^{ème} niveau, en vérifiant les propriétés des classes (attribut/association). Pour seulement une des classes matchées, « classA », l'attribut « attributA2 » et l'association « A2D » sont mismatchés. Par conséquent, les variables NMP et NMPP sont augmentées respectivement de 2 et de 6 (2 $\times$ 3).
- Mismatches au 3^{ème} niveau, en vérifiant les propriétés des propriétés : pour les attributs/associations matchées, le type de « attributB2 » et la borne inférieure et la borne supérieure de l'association « A2B » et de l'association « hasA » sont différents dans la source. Par conséquent, la NMPP est augmentée de 5 (1+2+2).

¹³ Les attributs et les associations de la classe principale « classA » sont considérés également pour les classes dérivées « classAsub1 » et « classAsub2 ».

Les mismatches identifiés ainsi que les variables quantifiées sont résumés dans le

Tableau 3- 9.

Tableau 3- 9, Mismatches entre les abstractions des fichiers produit et requis dans le cas de l'exemple

Mismatch	Variables concernées	Modification de la valeur des variables concernées
Les concepts du niveau 1 : les classes		
ClassE	- NMC	NMC = NMC + 1
ClassAsub1	- NMP	NMP = NMP + nombre d'attributs et d'associations de la classe mismatchée
ClassAsub2	- NMPP	NMPP = NMPP + (nombre d'attribut/associations de la classe mismatchée) × (nombre de propriété considérée pour chaque abstraction/association)
Les concepts de niveau 2 : les propriétés des classes (attribut/association)		
a2d	- NMP	- NMP = NMP + 1
attributA2	- NMPP	- NMPP = NMPP + nombre de propriété de chaque abstraction/association*
Les concepts de niveau 3 : les propriétés des propriétés		
type de l'attribut "attributB2"	- NMPP	- NMPP = NMPP + 1
cardinalité inférieure de « a2b »		
cardinalité supérieure de « a2b »		

3) Mesure finale : dans cette étape, en fonction des résultats des étapes précédentes, la valeur de la compatibilité sémantique est calculée (voir le Tableau 3- 10).

Tableau 3- 10, Résultats du matching sémantique manuel de l'exemple

	Classe (NC)	Variable	Propriété de classe		Variable	Propriété de Propriété (NPP)	Variable
			attribut	association			
Nombre dans la cible	7	NC	13	16	NP	$(13+16)*3 = 87$	NPP
Nombre de mismatch	3	NMC	$7+1=8$	$11+1=12$	NMP	$(8+12)*3+5 = 65$	NMPP
Poids	1	WC	0,5	0,5	WP	0.1	WPP
Calculs							
- le poids des éléments de la cible (WE) = $7 \times 1 + (13+16) \times 0,5 + 87 \times 0,1 = 30,2$ - le poids des éléments mismatches (WME) = $3 \times 1 + (8+12) \times 0,5 + 65 \times 0,1 = 19,5$ - Compatibilité sémantique = $1 - \frac{19,5}{30,2} \cong 0,3543 < 0,5$ (Seuil)							

Les résultats ci-dessus indiquent une estimation de l'aspect sémantique d'une collaboration. Cette évaluation est effectuée au niveau potentiel. Un matching sémantique similaire entre les abstractions ADF02 et ADF03 est nécessaire afin d'extraire une valeur au niveau réel.

La section suivante propose une approche de matching sémantique outillée, qui est plus efficace pour les modèles en grande taille.

3.3.3.2. Matching sémantique outillé par EMF Compare

La synthèse bibliographique, effectuée en chapitre précédent, a souligné la difficulté de réaliser automatiquement le matching sémantique. En effet, concernant la mesure prévue dans ces travaux de recherche et dans le cadre de la conception, il manque un outil qui compare les contenus des données (leurs modèles) basé sur les sémantiques de domaine.

Afin de répondre à ce verrou, un outil appelé EMF Compare (présenté dans la section 2.5.2), est

utilisé pour le matching sémantique des abstractions des données. Cet outil réalise le matching entre les éléments de deux ou plusieurs abstractions sur la base des comparaisons de texte. Pourtant, l'utilisation de cet outil nécessite d'écrire les abstractions de données en utilisant les méta-modèles Ecore ou UML sous Eclipse. Par conséquent, dans ces travaux, le langage M3 Ecore est retenu car nécessaire pour le matching sémantique par EMF compare.

L'utilisation d'EMF Compare est illustrée par la suite sur le même exemple que celui utilisé dans la section précédente. Dans ce cas, l'objectif est de comparer les mêmes abstractions de fichiers, mais au lieu d'UML, ces dernières sont développées comme modèles « .ecore » d'Eclipse : ADF01.ecore pour la source et ADF03.ecore pour la cible.

Les étapes suivantes doivent être réalisées pour effectuer le matching sémantique outillé des abstractions illustrées par la Figure 3- 14 Les premières étapes diffèrent peu de celles du matching manuel mentionné dans la section précédente.

1) Comptage des éléments de l'abstraction cible

Dans cette étape, seul le méta-modèle cible est étudié pour compter le nombre de ses concepts. Il existe de nombreuses façons d'augmenter l'automatisation de cette étape. Ici, il est proposé d'étudier le contenu du méta-modèle cible dans un éditeur de texte. Après avoir exécuté le fichier « .ecore » dans un éditeur de texte, les mots clés suivants sont utilisés :

- ecore:EClass, le nombre trouvé indique le nombre de classes dans le méta-modèle. Le résultat de cette recherche appliqué au modèle de l'exemple est : « 7 objets trouvés ».
- ecore:EAttribute, le nombre trouvé indique le nombre d'attributs dans le méta-modèle. Ce résultat est : « 9 objets trouvés ».
- ecore:EReference, le nombre trouvé indique le nombre d'associations dans le méta-modèle. Ce résultat est : « 10 objets trouvés ».

Il convient de souligner que dans le cas où il y a des relations de type « héritage », les associations et les attributs de la classe principale doivent également être considérés pour les classes dérivées. En utilisant le mot de recherche « eSuperTypes », il est possible d'identifier cette relation d'héritage.

Après l'identification de ces associations dans le cas d'exemple, les nombres d'attributs et d'associations sont modifiés comme suit : la seule association d'héritage concerne la « classA ». Les attributs de cette classe principale sont comptés également pour ses classes dérivées « classAsub1 » et « classAsub2 ». La classe principale possède deux attributs et deux associations. Ainsi le nombre total d'attributs et d'associations est augmenté de 8 : 2 attributs et 2 associations pour la « classeAsub1 » et 2 attributs et 2 associations pour la « classAsib2 ».

2) Utilisation d'EMF Compare. Cette étape démarre par la sélection des deux méta-modèles de la source et de la cible : les fichiers ecore. Ensuite, via l'option « Compare with ». Les résultats de la comparaison sont présentés dans un nouvel onglet (Figure 3- 15).

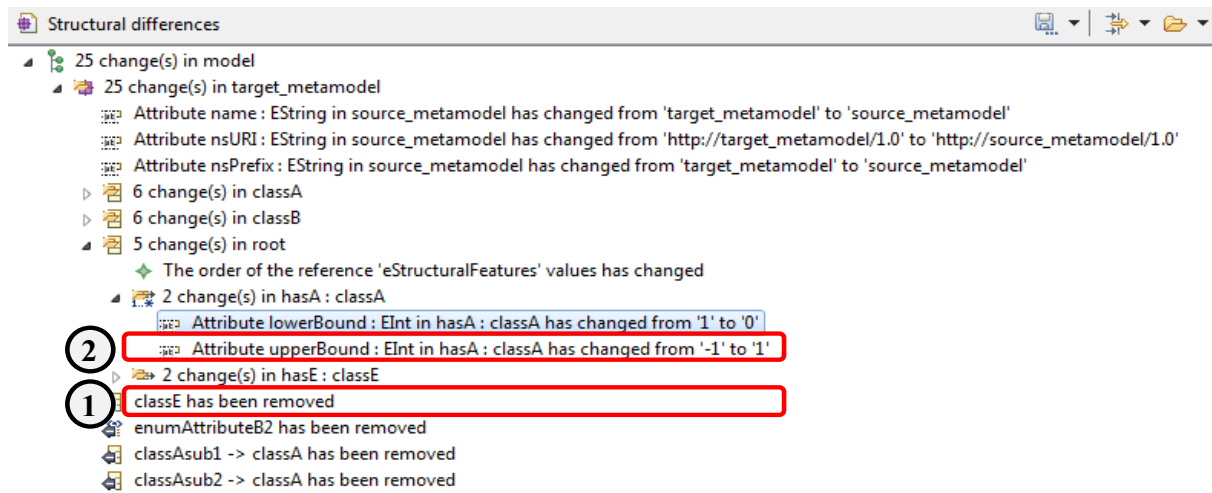


Figure 3- 15, Résultats de l'EMF Compare

3) Comptage des mismatches

Cette étape utilise les résultats de l'étape précédente. Ces résultats indiquent les différences entre le méta-modèle cible et le méta-modèle source. Chaque changement peut être considéré comme un mismatch sémantique. Les changements sont étudiés individuellement afin de compter les mismatches. Trois possibilités sont envisagées face à une différence :

- Le changement concerne la suppression d'un élément. Ce dernier se distingue par la phrase clé « has been removed », « to null » ou « attribut name ». Par conséquent, ces concepts et leurs concepts inférieurs sont considérés comme étant mismatchés. Par exemple, l'élément noté (1) dans la Figure 3- 15 indique que la « classAsub1 » a été supprimée. Par conséquent, cette classe, ses attributs/associations et les propriétés de ces derniers sont des mismatches.
- Le changement concerne la modification d'une propriété d'un élément. Ce changement se distingue par la phrase clé « has changed to » dans l'outil. Basées sur la nature de la propriété, les valeurs des variables de mismatch sont incrémentées. Par exemple, pour l'élément noté (2) dans la Figure 3- 15, la cardinalité supérieure de l'association « hasA » a été changée. Par conséquent le nombre de mismatches pour les propriétés de propriétés, portés par la variable NMPP, est augmenté de 1.
- D'autres changements peuvent apparaître mais ne sont pas étudiés dans ces travaux. En effet, il est considéré qu'ils portent sur des concepts appartenant à des niveaux conceptuels faibles.

Dans l'étude des changements, il doit être pris en compte qu'un mismatch peut être mentionné par deux modifications. Afin d'éviter toute redondance, pour un élément associé à un changement, aucun nouveau mismatch n'est pris en compte si l'élément a déjà été identifié comme étant un mismatch par un autre changement.

4) Mesure finale : dans cette étape, en fonction des résultats des étapes précédentes stockés dans plusieurs variables, la valeur de la compatibilité sémantique est estimée. Pour le cas exemple, ces résultats correspondent aux résultats obtenus manuellement pour le matching (voir le Tableau 3- 10).

Les résultats des matchings manuel et outillé pour le cas exemple sont résumés dans le Tableau 3- 11. Dans les sections précédentes, l'objectif est seulement d'illustrer les différentes étapes du cadre d'une façon générique. Par conséquent, les matchings qui suivent les mêmes tâches ne sont pas expliqués en détails pour empêcher les répétitions.

Tableau 3- 11, Résumé des résultats des matchings pour le cas d'exemple

Variante 1 de l'exemple					
Matching Syntaxique*		Matching Sémantique		Pertinence d'information*	
<i>Potentiel</i>	<i>Réel</i>	<i>Potentiel</i>	<i>Réel</i>	<i>Potentielle</i>	<i>Réelle</i>
insatisfaisant	insatisfaisant	insatisfaisant	?	insatisfaisant	insatisfaisant
Variante 2 de l'exemple					
insatisfaisant	satisfaisant	non mesurée	insatisfaisant	insatisfaisant	insatisfaisant
* Pertinence d'information = Matching syntaxique & Matching sémantique					

Les résultats du Tableau 3- 11 peuvent être détaillés :

- Pour la variante 1 de l'exemple, en raison de l'incompatibilité entre les formats de fichiers, les données produites ne peuvent pas être échangées. Afin de résoudre ces problèmes, la conversion de formats est utilisée dans la variante 2.
- Pour la variante 2, il est observé que malgré la résolution des problèmes syntaxiques et plus particulièrement l'incompatibilité des formats, la compatibilité sémantique n'est pas encore satisfaisante.

Les conclusions sur ces résultats sont limitées car l'exemple utilisé dans cette section est un exemple simplifié. Dans les points suivants, le cadre est illustré sur un cas académique dans le cadre de la conception.

Comme l'illustre le logigramme du cadre méthodologique (la Figure 3- 2), après avoir effectué l'estimation de la performance des collaborations, des plans d'action peuvent être proposés pour améliorer le niveau réel de la performance. Le choix de ces derniers dépend de leur disponibilité dans le processus mais également de la décision des parties prenantes. Cette décision peut être basée sur le coût, le temps ou l'amélioration de la performance. Après la sélection d'un plan d'action, le cadre doit être de nouveau utilisé.

Dans ces travaux, les plans d'actions suivantes sont proposés en fonction des résultats de matching (sans analyser le coût ou le temps d'installation des plans d'action) :

- Si les formats sont spécifiques et propriétaires, il est proposé de :
 - changer les outils de conception pour l'activité de conception produisant ou demandant l'information, ou
 - utiliser les conversions de formats qui sont généralement intégrés dans les outils initiaux. Par exemple pour l'outil CATIA, l'export des données sous format STEP peut être utilisé.
- Si les formats sont génériques et ouverts (par exemple basés sur XML) et les mappings sémantiques sont extractibles entre ces formats, l'utilisation de transformations de modèles dans la communication entre les activités de conception est proposée.

3.4. Illustration sur un cas de conception

Dans cette section, l'applicabilité du cadre proposé est illustrée sur un projet de conception. Ce cas d'étude est basé sur un processus de conception défini dans un projet appelé DELVION, principalement étudié à l'Université de Technologie de Troyes (Klein Meyer 2008) et au laboratoire LSIS d'Arts et Métiers ParisTech, campus d'Aix-en-Provence (Iraqi-houssaini et al. 2011). L'objectif de ce processus est de concevoir un couplage mécanique entre une hélice d'avion et un moteur diesel (voir la Figure 3- 16). Dans ces travaux, une partie de ce processus de conception est étudié.

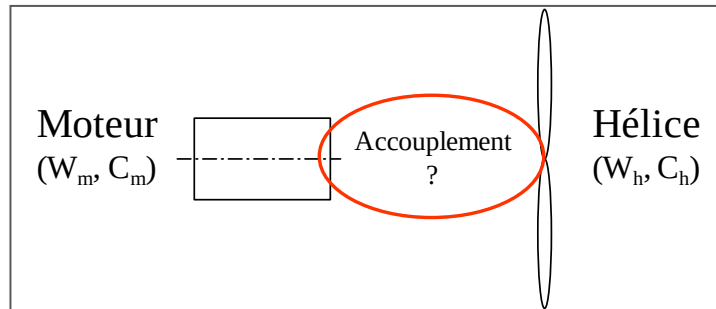


Figure 3- 16, Système de couplage mécanique (Klein Meyer 2008)

Périmètre d'étude : Concernant l'étude de cas, les principales activités du processus de conception et les échanges de données entre eux, sont illustrés dans la Figure 3- 17.

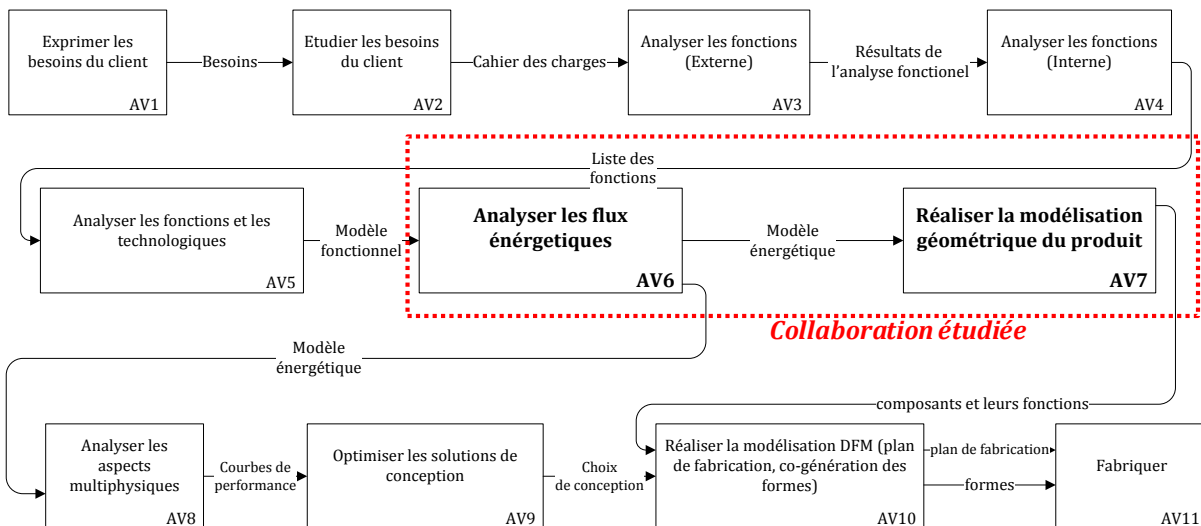
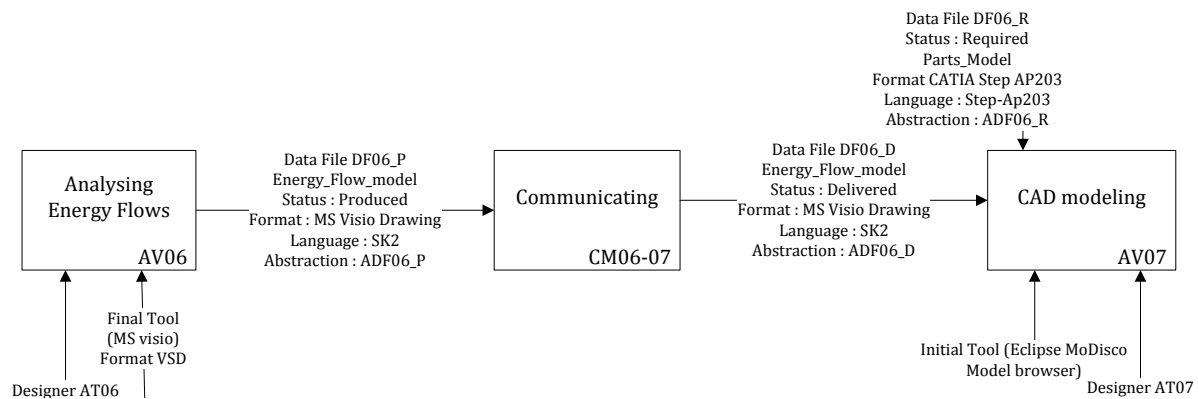


Figure 3- 17, Processus de conception concerné par l'étude de cas

Compte tenu du processus de la Figure 3- 17, cette étude se concentre sur une unique collaboration par paire (CpP). Cette collaboration, détaillée dans la Figure 3- 18, est formée par un flux de données, unidirectionnel et unique, entre les deux activités de conception. L'objectif de ce flux est de fournir des données sur les composants et leurs flux énergétiques en vue de faciliter le choix des composants dans la modélisation géométrique.



Les activités de conception et les données transmises dans la collaboration exemple sont étudiées dans les points suivants.

Activité 1, Modélisation de flux énergétique : Cette activité a pour objectif de produire un modèle des flux énergétiques entre les composants du produit. Ces composants sont choisis sur la base des fonctions attendues du produit.

Dans cette étude de cas, le flux énergétique est développé sur la base d'un modèle appelé SK2 (SKin : peaux, SKeleton : Squelette) qui est décrit dans (Klein Meyer 2008). Dans un modèle SK2, pour les composants du produit, des peaux externes sont considérées et peuvent être liées l'une à l'autre. De plus, le squelette du produit, qui support les flux d'énergie, est formé sur la base de fonctions externes entre les peaux et les fonctions internes à l'intérieur des composants. Chaque fonction possède également des propriétés énergétiques individuelles.

Activité 2, Modélisation géométrique : Cette activité est réalisée dans le but de définir les données géométriques du produit : sa forme et celle de ses composants. Actuellement, elle est prise en charge par des outils de CAO comme CATIA.

Dans la collaboration, la deuxième activité est celle qui exige des données. Par conséquent, on ne se concentre pas sur les résultats de cette activité, mais sur les informations qu'elle requiert. Ces dernières doivent être au format CATIA STEP AP-203 qui est considéré comme le format d'échange d'informations géométriques.

Le cadre proposé dans ces travaux de recherche peut être appliqué sur le cas d'étude afin d'évaluer la performance de la collaboration entre les concepteurs. Dans ce qui suit, l'utilisation du cadre sur le cas est expliquée.

3.4.1. Modélisation du processus

Compte tenu de la première étape du cadre, le modèle de processus doit être généré puis validé pour être en mesure de passer à l'étape suivante :

- Tâche IA : le modèle de processus est généré sous le format XMI à partir du méta-modèle de processus collaboratif (voir l'annexe E). Un extrait de l'arborescence du modèle généré est illustré par la Figure 3- 19.

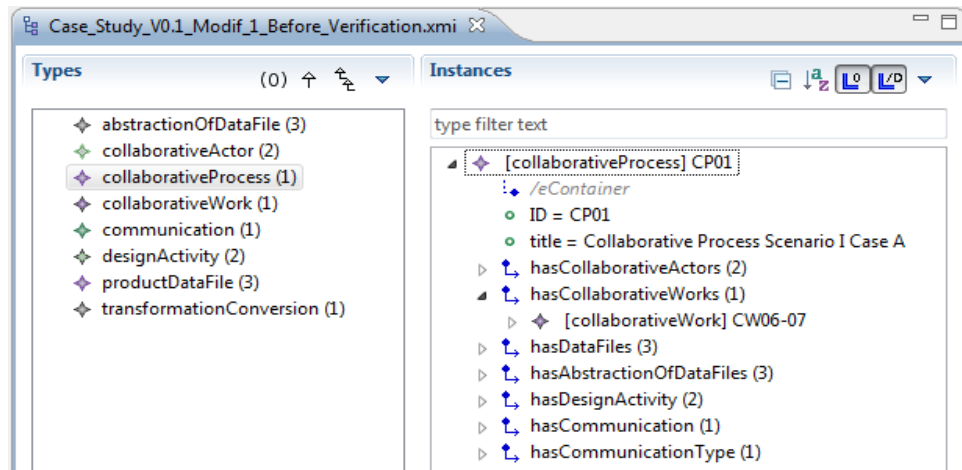


Figure 3- 19, Extrait de l'arborescence du modèle de processus collaboratif du cas d'étude

- Tâche IB : Le modèle généré est validé via l'option « validate » (voir la Figure 3- 20). Même si les problèmes de validation indiquent que certaines contraintes ne sont pas satisfaites, le modèle est toujours considéré comme valide car ces contraintes sont associées au matching syntaxique dans la prochaine étape du cadre.

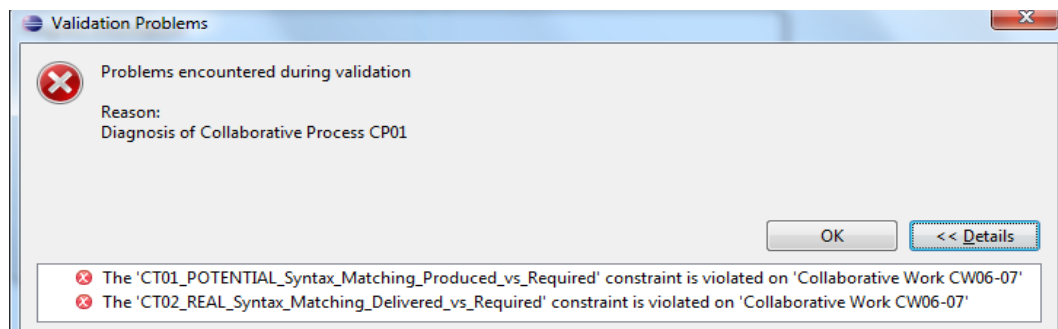


Figure 3- 20, Résultats de la validation du modèle de processus

Après la validation du modèle de processus, ce modèle est fourni à l'étape suivante.

3.4.2. Mesure de performance¹⁴

Dans la deuxième étape, le modèle du processus fourni à partir de l'étape précédente est analysé dans le but d'estimer la performance de ses collaborations.

Tâche IIA : Tout d'abord les Collaborations par Paires sont identifiées. A cette fin, la classe « CollaborativeWork » dans le modèle de processus est étudiée. Cette classe a seulement une instance de la classe CollaborativeWork ; l'instance CW06-07 (voir la Figure 3- 19).

Tâche IIB : La compatibilité des fichiers de données, dans la collaboration identifiée dans la tâche précédente, est étudiée via à un matching syntaxique. Dans le modèle de processus, il n'existe qu'une seule collaboration, reconnue par CollaborativeWork CW06-07, et les matchings suivants sont effectués pour cette dernière :

- Matching syntaxique au niveau potentiel (entre le fichier DF06_P (données produites) et le fichier DF06_R (données requises))
- Matching syntaxique au niveau réel (entre le fichier DF06_D (données livrées) et le fichier DF06_R (donnée requises))

¹⁴ Les tâches à suivre sont illustrées et expliquées en détaille dans la section 3.2 sur un cas académique.

Compte tenu de la taille du cas d'étude, les deux processus (outillé et manuel) de matching peuvent être appliqués. Dans un premier temps, la procédure outillée est effectuée. À cette fin, à l'aide de l'option de validation d'Eclipse sur le modèle de processus (le fichier XMI), les règles de matching syntaxique sont vérifiées par le biais des contraintes OCL. Les résultats sont identiques à ceux de la première validation effectuée à l'étape I (voir la Figure 3- 20).

Le Tableau 3- 12 montre que pour l'instance CollaborativeWork CW06-07, les règles de matching ne sont pas satisfaites. Ces résultats sont stéréotypés de SyM4 (voir le Tableau 3- 2 sur la page 108).

Tableau 3- 12, Résultats du matching syntaxique

Contexte	Règle 1		Règle 2		Stéréotype*
	OCL	Manuel	OCL	Manuel	
CollaborativeWork CW06-07	CT01_POTENTIAL n'est pas satisfaite (Faux)	insatisfaite	CT01_REAL n'est pas satisfaite (Faux)	insatisfaite	SyM4

Les règles insatisfaites sont vérifiées. Considérant les informations du cas d'étude (voir la Figure 3- 18), les problèmes de matchings syntaxiques sont dus à :

- L'incompatibilité de formats (MS Vision Drawing ≠ CATIA Step AP203) entre les deux fichiers DF06_P (produit) et DF06_R (requis). Ceci montre que le format de fichier produit ne correspond pas au format de fichier requis. Cette incompatibilité est située au niveau potentiel.
- Les mêmes incompatibilités entre les fichiers DF06_D (livré) et DF06_R (requis) sont identifiées. Ceci montre que le format de fichier livré ne correspond pas au format de fichier requis. Cette incompatibilité est situé au niveau réel.

Pour l'instance CollaborativeWork CW06-07, les résultats montrent que les deux règles de matching au niveau réel et potentiel ne sont pas satisfaites. Ces résultats sont identiques car la communication dans la collaboration ne dispose pas de CommunicationTypes. En effet, le fichier produit n'est pas impacté par la communication et par conséquent son format est le même que celui du fichier livré.

Compte tenu du logigramme du cadre proposé, après le matching syntaxique :

- Les deux valeurs potentielle et réelle de la pertinence d'information sont mises à jour comme « insatisfaites ».
- Les résultats indiquent que la collaboration se réfère au stéréotype SyM4 qui nécessite un plan d'action technique car la valeur réelle n'est pas satisfaisante. L'utilisation d'un tel plan d'action est donc proposé dans le logigramme du cadre. En cas de la disponibilité de ce plan, il sera utilisé dans le processus de conception.

Dans un premier temps, l'échange des données basé sur XML, qui est une solution commune et classique d'interopérabilité technique, est appliqué en tant que plan d'action technique. Cette solution, impose une modification du processus de conception qui consiste en une conversion de formats VSD-XML fournie par l'outil MS Visio. Les modifications nécessaires sont effectuées dans le modèle de processus. Elles sont également illustrées par la Figure 3- 21.

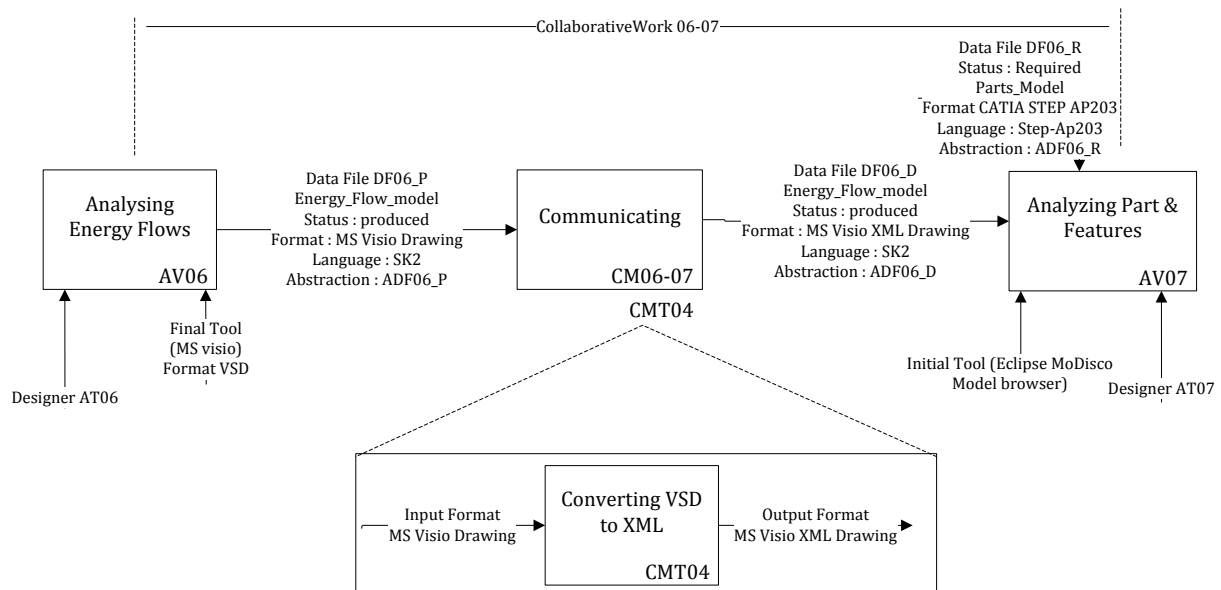


Figure 3- 21, Processus concerné par l'étude de cas après la première modification

Suite à cette modification, une transformation Conversion est ajoutée au modèle de processus. Cette dernière est nommée CMT04 et est associée à la communication CM06-07. La nouvelle version du modèle de processus est de nouveau validée sur Eclipse.

Ensuite, les collaborations existantes sont identifiées. La modification dans ce cas n'affecte pas le nombre des collaborations. La collaboration étudiée précédemment l'est de nouveau par le matching syntaxique. Les résultats sont illustrés dans le Tableau 3- 13. Ces résultats sont stéréotypés de SyM4 (voir le Tableau 3- 2 sur la page 108).

Tableau 3- 13, Résultats du matching syntaxique après l'ajout de la conversion

Contexte	Règle 1 (potentiel)		Règle 2 (réel)		Stéréotype
	OCL	Manuel	OCL	Manuel	
CollaborativeWork CW06-07	CT01_POTENTIAL n'est pas satisfaite (Faux)	insatisfaite	CT01_REAL n'est pas satisfaite (Faux)	insatisfaite	SyM4

Il est observé qu'au niveau réel, l'incompatibilité entre MS Visio XML et CATIA STEP a causé encore une fois la violation de la règle CT01_REAL. Compte tenu du logigramme du cadre proposé, après le matching syntaxique :

- Les deux valeurs potentielle et réelle de la pertinence d'information sont mises à jour respectivement comme « insatisfaite ».
- Les formats MS Visio Drawing, MS Visio XML et STEP sont ouverts. En d'autres termes, il est possible d'extraire ou d'accéder à leurs abstractions. Donc l'étape de mesure est suivie par une deuxième procédure de matching : le matching sémantique.

À première vue, pour la collaboration CW06-07, l'abstraction des données appliquée au matching doit être identifiée dans le modèle de processus. Il en résulte les matchings sémantiques suivants :

- Matching sémantique potentiel (Abstraction ADF06_P : source1, Abstraction ADF06_R : cible).
- Matching sémantique réel (Abstraction ADF06_D : source2, Abstraction ADF06_R : cible).

Dans les matchings ci-dessus :

- ADF06_P, est l'abstraction des données qui sont produites par le premier concepteur. Puisque les données sont produites dans MS Visio, l'abstraction est basée sur la structure de données de cet outil qui inclut principalement les concepts graphiques (shapes). Ces structures sont formalisées comme méta-modèle Ecore (voir la Figure 3- 22) d'après les travaux de (Kern & Kühne 2009).

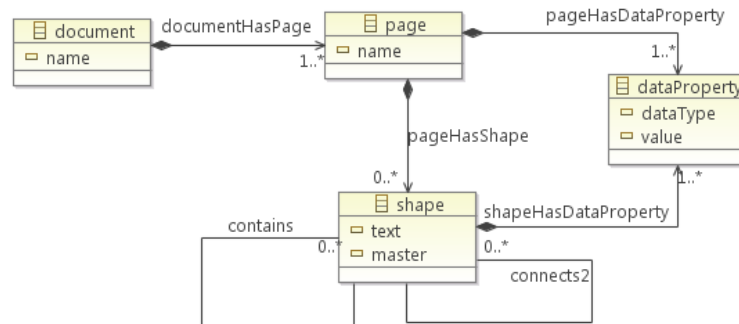


Figure 3- 22, Extrait du méta-modèle Ecore du format MS Visio Drawing d'après (Kern & Kühne 2009)

- ADF06_D est l'abstraction des données livrées après la communication. Cette abstraction est basée sur le format MS Visio XML. Pour elle, un méta-modèle Ecore est généré à partir de la structure de données (XSD) fourni par (Microsoft 2011) pour MS Visio (voir la Figure 3- 23).

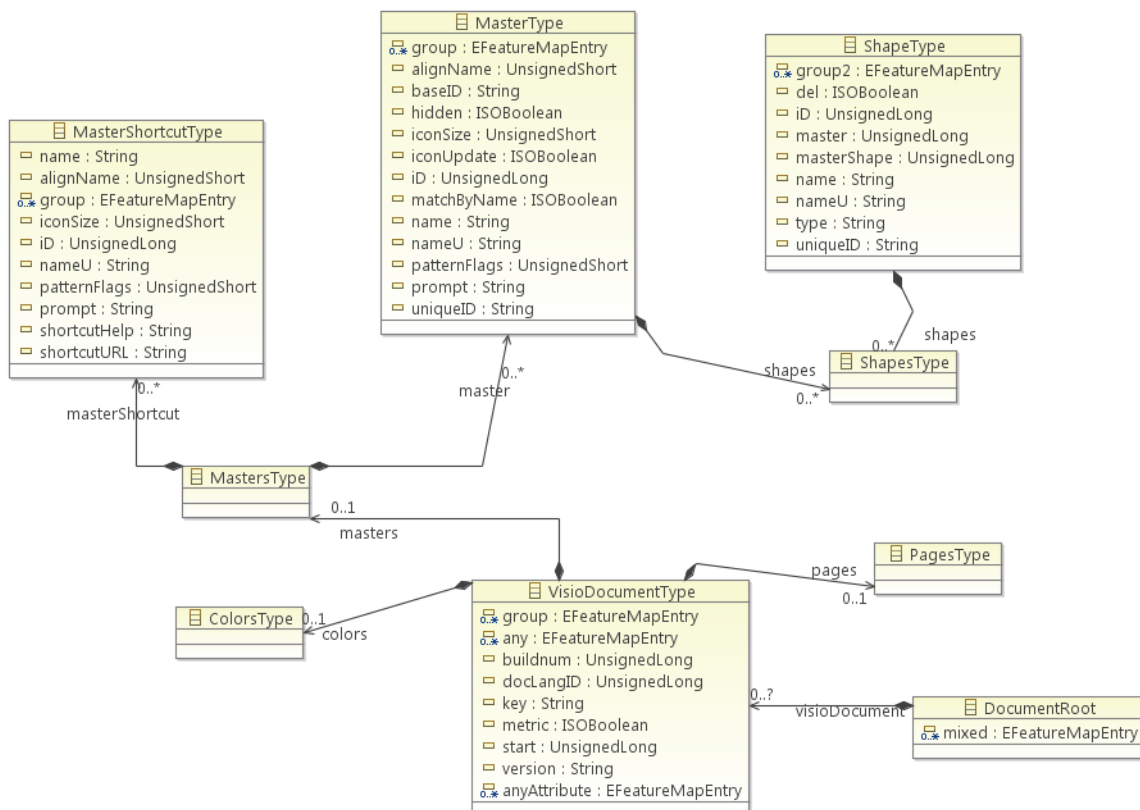


Figure 3- 23, Extrait du méta-modèle Ecore du format MS Visio XML d'après (Microsoft 2011)

- ADF06_R est l'abstraction des données requises par le deuxième concepteur. Ce dernier s'attend à recevoir un fichier de données basé sur la norme STEP-AP 203. Pour cette abstraction un méta-modèle EMF est utilisé (voir la Figure 3- 24).

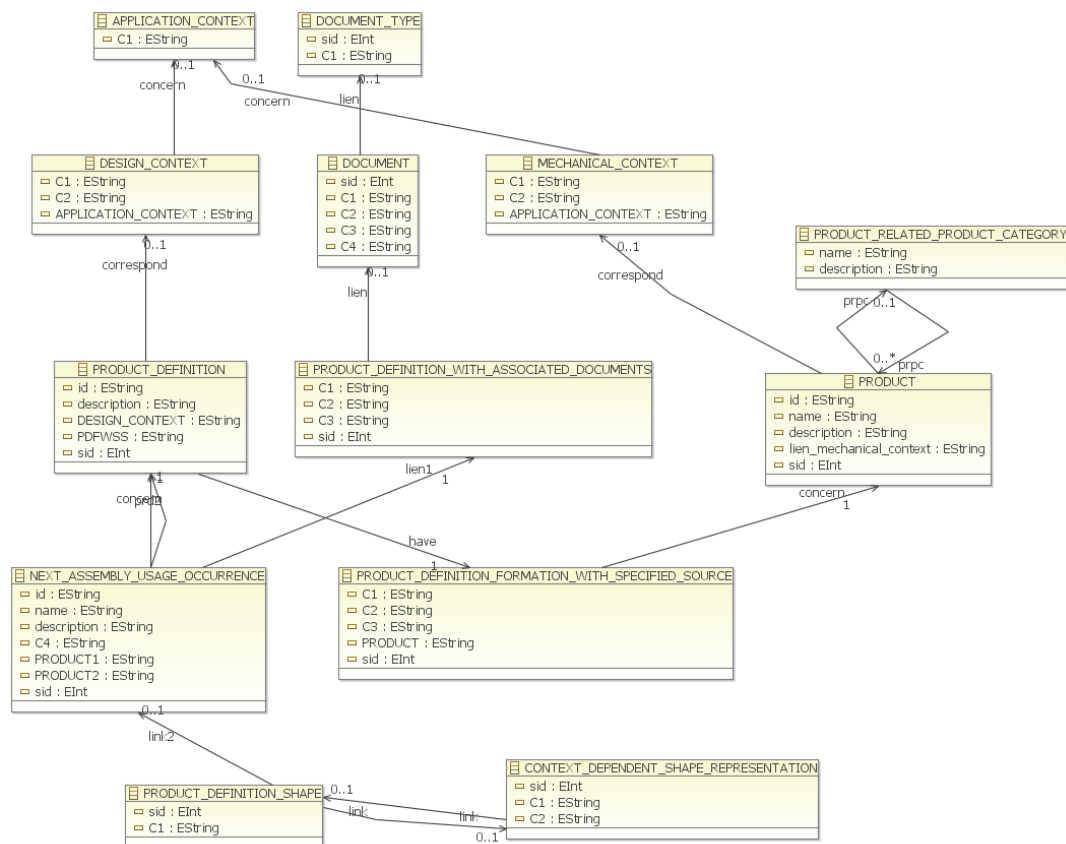


Figure 3- 24, Extrait du méta-modèle Ecore du format STEP-AP203

Ici, compte tenu de la taille des abstractions, les méta-modèles ci-dessus, les matchings sémantiques entre ADF06_P et ADF06_R et entre ADF06_D et ADF06_R sont effectués de façon manuelle et outillée. Il convient de mentionner que dans ces matchings, aux niveaux potentiel et réel, la cible est identique : l'abstraction du fichier requis ADEF06_R. Les résultats des deux matchings sont résumés dans le Tableau 3- 14.

Tableau 3- 14, Résultats des matchings sémantiques après la première modification dans le cas d'étude

	Classe (NC)	Variable	Propriété de classe		Variable	Propriété de Propriété (NPP)	Variable
			attribut	association			
Nombre d'éléments dans la cible (ADEF06_R)	13	NC	47	16	NP	$(47+16)*3 = 189$	NPP
Nombre de mismatches selon la source 1 (ADEF06_P)	13	NMC1	47	16	NP1	$(47+16)*3 = 189$	NMPP1
Nombre de mismatches selon la source 2 (ADEF06_D)	13	NMC2	47	16	NP2	$(47+16)*3 = 189$	NMPP2
Poids	1	WC	0,5	0,5	WP	0,1	WPP
Calculs : - le poids des éléments de la cible (WE) = $13 \times 1 + (47+16) \times 0,5 + 189 \times 0,1 = 63,4$ - le poids des éléments mismatches 1 (WME) = $13 \times 1 + (47+16) \times 0,5 + 189 \times 0,1 = 63,4$ Matching 1. Compatibilité sémantique entre la cible et la source 1 (niveau potentiel) = $1 - \frac{63,4}{63,4} = 0 < 0,5$ (seuil) - le poids des éléments mismatches2 (WME) = $13 \times 1 + (47+16) \times 0,5 + 189 \times 0,1 = 63,4$ Matching 2. Compatibilité sémantique entre la cible et la source 2 (niveau réel) = $1 - \frac{63,4}{63,4} = 0 < 0,5$ (seuil)							

Les résultats du Tableau 3- 14 sont également traduits en fonction des règles de matching sémantique dans le Tableau 3- 15.

Tableau 3- 15, Résultats du matching sémantique selon les règles de matching

Contexte	Règle 1 (niveau potentiel)		Règle 2 (niveau réel)		Stéréotype*
	via EMF Compare	Manuel	via EMF Compare	Manuel	
CollaborativeWork CW06-07	-	Insatisfaisante	Insatisfaisante	-	SÉM4

Considérant le stéréotype du matching sémantique, la collaboration nécessite encore des plans d'action. Dans le premier plan d'action, l'enregistrement d'un fichier sous le format MS Visio XML, ne permet pas de réaliser l'interopérabilité même si le format du fichier livré est basé sur XML. En effet, malgré la possibilité d'ouvrir ce fichier dans un éditeur basic de XML, son contenu est principalement basé sur les concepts graphiques correspondant à la structure de données manipulées en MS Visio. Par conséquent, en suivant le logigramme du cadre (Figure 3- 2), en cas de disponibilité d'un nouveau plan d'action, ce dernier doit être maintenant capable de surmonter à la fois les problèmes technique et sémantique d'interopérabilité.

Concernant le deuxième plan d'action, la transformation de modèles est appliquée afin d'améliorer la performance de la collaboration. Cette transformation est développée sur la base des relations sémantiques entre les concepts du domaine. Suite à l'application de cette solution, les modifications sont effectuées dans la première version du modèle de processus :

- Deux instances de type modelTransformation sont ajoutées au modèle en tant que CommunicationType. Ces transformations sont nommées CMT05 et CMT06 et sont associées à la communication (CM06-07) dans cet ordre.
- L'outil final du concepteur produisant les données (AV06) est changé. Le concepteur doit utiliser un éditeur de modèle dans Eclipse à la place de MS Visio. En effet, au lieu de dessiner un schéma pour le modèle énergétique, il instancie ce modèle partir d'un méta-modèle prédéveloppé.
- L'abstraction des données produites (ADF06_P) est changée. En effet, en utilisant un nouvel outil, le concepteur instancie et développe un fichier à partir d'un méta-modèle Ecore prédéfini. Ce dernier est l'abstraction des modèles SK2 (voir la Figure 3- 25).

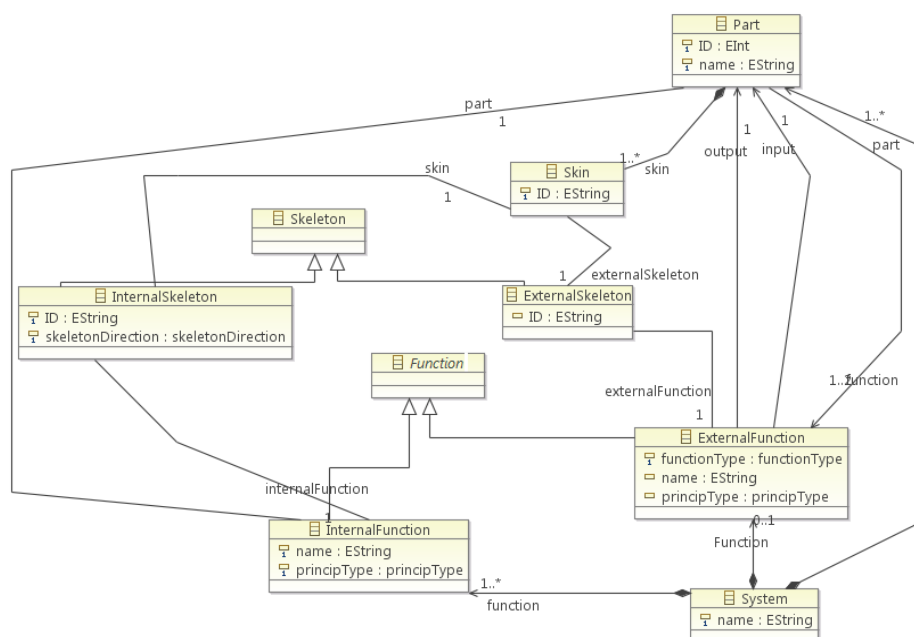


Figure 3- 25, Extrait du méta-modèle SK2

- L'abstraction des données livrées (ADF06_D) est changée. En effet, en utilisant la transformation de modèles dans la communication, les fichiers livrés après la communication sont basés sur le mécanisme de transformation. L'abstraction de tels fichiers est définie comme un méta-modèle Ecore (voir la Figure 3- 26)

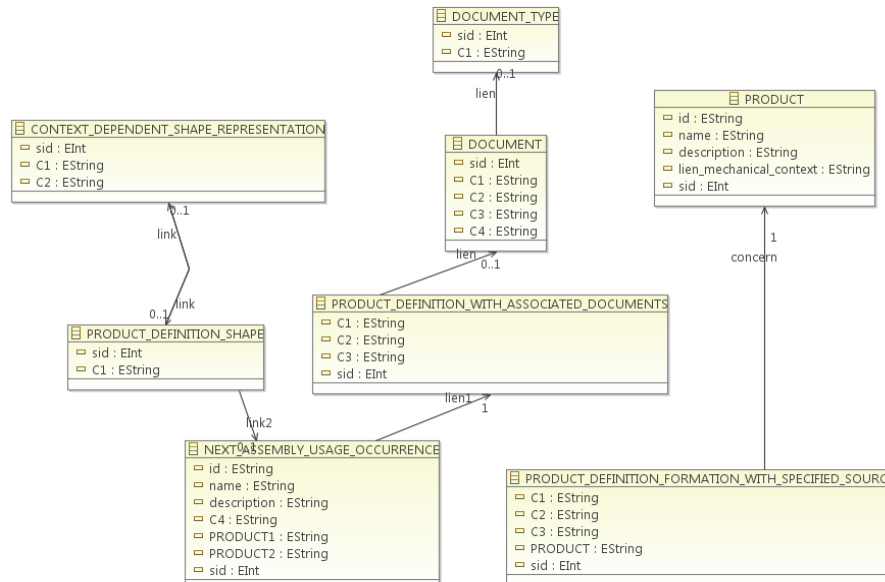


Figure 3- 26, Extrait du méta-modèle STEP du fichier livré après la transformation de modèle

Les modifications sont également illustrées par la Figure 3- 27.

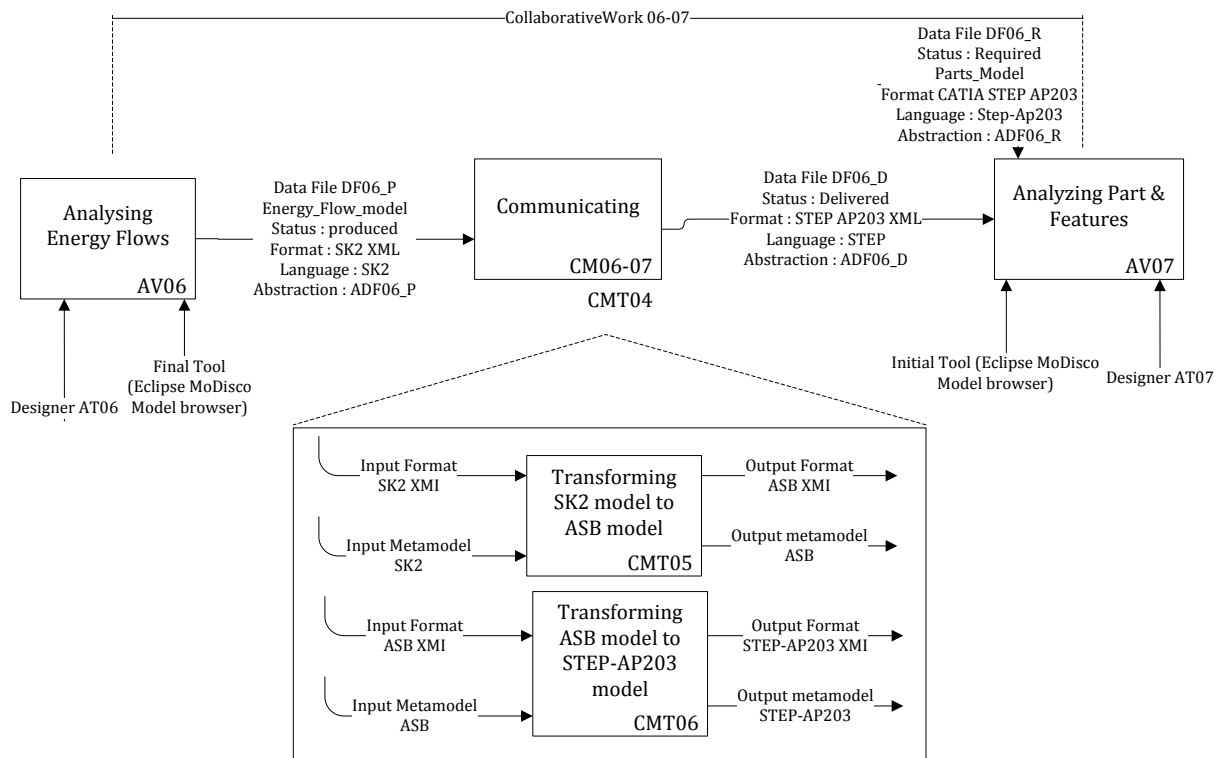


Figure 3- 27, Processus concerné par l'étude de cas après la deuxième modification

Après l'application de la modification ci-dessus, le modèle de processus est à nouveau généré et validé. Le matching syntaxique est également effectué pour s'assurer que les modifications n'ont pas affecté les compatibilités de formats. Les résultats sont toujours satisfaisants. Par conséquent, le matching sémantique sur cette version améliorée du cas d'étude peut être lancé.

Compte tenu de la taille des méta-modèles, les matchings sémantiques sont effectués seulement via EMF Compare. Les résultats des deux matchings sémantiques au niveau potentiel et réel sont résumés dans le Tableau 3- 16.

Tableau 3- 16, Résultats du matching sémantique après la deuxième modification

	Classe (NC)	V*	Propriété de classe		V	Propriété de Propriété (NPP)	V
			attribut	association			
Nombre d'éléments dans la cible (ADEF06_R)	13	NC	47	16	NP	$(47+16)*3 = 189$	NPP
Nombre de mismatches selon la source 1 (ADEF06_P)	13	NMC1	47	16	NP1	$(47+16)*3 = 189$	NMPP1
Nombre de mismatches selon la source 2 (ADEF06_D)	5	NMC2	14	5	NP2	$(14+5)*3 = 57$	NMPP2
Poids	1	WC	0,5	0,5	WP	0,1	WPP
Calculs : - le poids des éléments de la cible (WE)* = 63,4 - le poids des éléments mismatches1 (WME)* = 63,4 Matching 1. Compatibilité sémantique entre la cible et la source 1 (niveau potentiel) = $1 - \frac{63,4}{63,4} = 0 < 0,5$ (seuil) - le poids des éléments mismatches2 (WME) = $5 \times 1 + (14+5) \times 0,5 + 57 \times 0,1 = 20,2$ Matching 2. Compatibilité sémantique entre la cible et la source 2 (niveau réel) = $1 - \frac{20,2}{63,4} = 0,680 > 0,5$ (seuil)							

Les résultats du Tableau 3- 14 sont également traduits en fonction des règles de matching dans le Tableau 3- 17.

Tableau 3- 17, Résultats du matching sémantique selon les règles de matching

Entrée	Règle 1 (niveau potentiel)		Règle 2 (niveau réel)		Stéréotype*
	via EMF Compare	Manuel	via EMF Compare	Manuel	
Collaboration CW06-07	insatisfaite	-	satisfaite	-	Sém3

Considérant le stéréotype des résultats, la collaboration ne nécessite pas un plan d'action., Compte tenu également du logigramme du cadre proposé, après le matching syntaxique les deux valeurs potentielle et réelle de la pertinence d'information sont mises à jour respectivement comme « insatisfaite » et « satisfaite ». L'utilisation du cadre arrive également à son point final

Une synthèse des résultats de l'application du cadre est proposée dans le Tableau 3- 18.

Tableau 3- 18, Résumé des résultats du cadre

Résultats d'étape I : Modélisation				
Une Collaboration Par Paire, reconnue par la classe « CollaborativeWork CW06-07 », est identifiée				
Résultats d'étape II : Mesure				
		Cas initial	Plan d'action 1 (conversion XML)	Plan d'action 2 (Transformation de Modèles)
Matching Syntaxique sur CW06-07	P*	insatisfaisant	insatisfaisant	insatisfaisant
	R*	insatisfaisant	insatisfaisant	satisfaisant
Matching Sémantique sur CW06-07	P	Non mesuré**	insatisfaisant	insatisfaisant
	R	Non mesuré**	insatisfaisant	satisfaisant
La pertinence d'information	P	insatisfaisant	insatisfaisant	insatisfaisant
	R	insatisfaisant	insatisfaisant	satisfaisant
* P : Potentiel, R : Real, ** les formats ne sont pas ouverts.				

Compte tenu des résultats ci-dessus, il est observé que l'indicateur de performance des collaborations possède de faibles valeurs réelle et potentielle dans le cas initial. Ces valeurs ne sont pas améliorées après la première modification car l'aspect sémantique n'est toujours pas satisfait. En réalité, le fait d'échanger des fichiers de données sous format XML n'est pas suffisant pour l'interopérabilité car leurs sémantiques ne sont pas compatibles avec les outils et les besoins du concepteur recevant les données. Contrairement à la première modification, la valeur réelle de l'indicateur est améliorée en utilisant des transformations de modèles dans la collaboration : après cette seconde modification les aspects tant technique que sémantique sont satisfaits. Les observations ci-dessus peuvent être détaillées :

- Impact de la conversion de fichier XML : selon l'étude de cas, l'enregistrement d'un fichier dans MS Visio sous le format MS Visio XML donne la possibilité au deuxième concepteur d'ouvrir ce fichier dans un éditeur générique d'XML. Malgré cette possibilité, les informations contenues dans le fichier XML sont principalement basées sur les concepts graphiques correspondant à la structure de données manipulées en MS Visio. En d'autres termes, si un utilisateur emploie cet outil pour développer un modèle dans un langage spécifique, les concepts du modèle peuvent être perçus seulement comme des objets graphiques par un autre utilisateur qui ne connaît pas cette langue. Et même s'il arrive à comprendre les concepts manipulés grâce à leurs titres ou leurs instances, il ne peut pas identifier les liens sémantiques entre les concepts. En effet, l'application de conversions XML, principalement utilisée par le biais de l'option enregistrer-sous dans les outils, n'offre pas de compatibilité sémantique, en particulier lorsque l'outil n'est pas fondé sur la sémantique du domaine. Dans ce cas, l'annotation des données et particulièrement les objets peut être une solution complémentaire pour la conversion XML.

- Concernant le deuxième plan d'action dans l'étude de cas, une transformation de modèles développée sur la base des relations sémantiques entre les concepts du domaine est appliquée. Une telle transformation est capable d'assurer l'aspect sémantique de la pertinence d'information. Cette transformation doit également être basée sur un format de fichier commun, XMI ou XML, en vue d'assurer la compatibilité entre les applications métier.

- Impact des solutions d'interopérabilité sur les valeurs potentielles. Dans cette étude de cas, la première modification n'affecte pas les valeurs potentielles des résultats des matchings. Ceci est basé sur le fait que la première modification n'affecte pas les activités ou les outils de conception. Elle n'est appliquée que dans la communication. Cependant la seconde modification affecte la valeur potentielle de matching syntaxique. En effet cette modification impacte non seulement la communication, mais impose aussi le changement de l'outil de conception MS Visio en Eclipse. Ces modifications dans les activités de conception, les concepteurs et leurs outils sont considérées comme changements radicaux. Dans ce cas, la prise de décisions peut être importante.

Conclusions et Perspectives

A) Conclusions

L'évolution des processus de conception montre que les activités de conception sont de plus en plus distribuées entre les concepteurs aux expertises diverses et nombreuses. Dans ces travaux de recherche, il est considéré que la collaboration entre les concepteurs est réalisée uniquement par l'échange de données numériques. Dans ce contexte, un faible niveau de performance des collaborations peut causer des problèmes tels que : des flux de données imprécises ou approximatives et donc des interprétations erronées. Ces problèmes peuvent également influencer le résultat final du processus de conception : le produit conçu. Par conséquent, la problématique de cette thèse est la suivante : « **Comment définir et évaluer la performance des collaborations dans un processus de conception ?** ».

Afin de préciser le périmètre de ces travaux, plusieurs **hypothèses de travail** sont définies :

- Hypothèses 1 et 2 : la collaboration entre les concepteurs implique toujours des transmissions de données. Ces dernières sont toujours produites, échangées et consommées numériquement.
- Hypothèse 3 : l'entreprise fournit le squelette du processus de conception, un modèle à analyser qui comprend, les liens entre les acteurs de conception, leur ordonnancement, ainsi que les ressources qu'elles consomment.

Dans un premier temps, la problématique de la recherche est traitée comme un problème de mesure de performance. En effet, la démarche de cette thèse est d'adapter un tel problème aux processus collaboratif dans le cadre de la conception. Dans ce contexte, les études sur les solutions existantes qui définissent les éléments de mesure de performance ont abouti à l'identification de plusieurs verrous. Concernant ces verrous, une étude de la littérature a été réalisée. Elle se conclut par les remarques suivantes :

i. La définition de l'objet en cours d'évaluation par un modèle conceptuel dans la mesure de la performance. Ce modèle est extrait de la littérature afin de définir les processus collaboratifs. Il contient les éléments clés de collaboration dans le cadre de la conception.

ii. Parmi les critères classiques de performance (le temps, le coût et la qualité), l'interopérabilité est retenue comme un critère de l'évaluation de la performance des collaborations représentant l'aspect de la qualité de la performance. Considérant les définitions et l'objectif de l'interopérabilité, il est considéré que ce concept peut couvrir un grand groupe de capacités requises pour la collaboration de concepteurs. En effet, nous considérons que quand l'interopérabilité est réalisée dans une collaboration, la performance de cette dernière est maximisée.

iii. Considérant le caractère multidimensionnel de l'interopérabilité, la pertinence d'information est retenue comme indicateur d'interopérabilité. Les informations non-pertinentes, manquantes, peuvent entraîner les défaillances dans les tâches individuelles des concepteurs. Nous focalisons sur ces problèmes qui portent en même temps sur les barrières conceptuelles et techniques d'interopérabilité.

iv. La mesure de l'indicateur dépend de la compatibilité des fichiers échangés. Compte tenu du périmètre de ces travaux et du fait que le processus de conception en cours d'évaluation n'est pas encore démarré, il est considéré que seulement le squelette du

processus est disponible. Dans ce squelette les fichiers ne sont donc pas encore instanciés. Pourtant, certaines informations sont déjà disponibles sur les fichiers de données : leurs formats d'échange et leurs abstractions. Nous considérons ces éléments, un de type technique et l'autre de type sémantique, comme variable de mesure pour évaluer la performance de la collaboration. En effet, la valeur de cet indicateur dépend des compatibilités entre les formats et entre les abstractions.

v. Les variables d'actions, sur lesquelles le pilotage de processus peut agir pour améliorer le processus de conception, sont identifiées et étudiées. A cette fin, dans un premier temps les éléments clés d'un processus collaboratif sont pris en considération. En effet, tout élément du processus qui a un impact sur l'abstraction ou le format des fichiers échangés peut être considéré comme une variable d'action. Dans un second temps, les éléments qui existent dans les collaborations d'après application des solutions d'interopérabilité sont étudiés. Ces solutions sont étudiées afin de monter leurs impacts principaux sur l'abstraction ou le format des fichiers échangés. Les variables d'action identifiées et leurs liens avec les éléments clés de collaboration sont ajoutés au modèle conceptuel initial des processus collaboratif.

vi. L'approche de Matching est adoptée afin de mesurer la performance de la collaboration. Dans ces travaux de recherche, la pertinence d'information est considérée comme l'indicateur d'interopérabilité. Compte tenu de cet indicateur et des caractéristiques requises pour une mesure adaptée, il est décidé de mesurer la pertinence d'information tout en se concentrant sur les matchings entre les fichiers. Il est mentionné que dans cette recherche, l'objectif n'est pas d'évaluer les méthodes de mesure, ni d'appliquer la méthode la plus efficace. En effet, ici, nous cherchons à appliquer la méthode qui présente les caractéristiques permettant de trouver une réponse initiale à une partie de la question de la recherche.

vii. EMF Compare est retenue pour réaliser les matchings des abstractions des fichiers échangés. Cet outil compare principalement les modèles EMF et est capable de faire des comparaisons automatiques dans l'environnement Eclipse. Ceci augmente l'automatisation de la mesure, spécifiquement dans un contexte Ingénierie Dirigée par les Modèles.

En se basant sur ces conclusions déduites de l'étude bibliographique, la proposition principale de cette thèse qui peut répondre à la problématique de recherche est obtenue. Cette proposition est **un cadre d'évaluation de la performance des collaborations dans un processus de conception basé sur la mesure de l'interopérabilité.**

Dans ces travaux, face aux verrous techniques, nous avons posé les **hypothèses simplificatrices** suivantes :

- Hypothèse 4 : les mêmes termes utilisés dans différentes définitions ont des significations corrélées.
- Hypothèse 5 : les informations sont toujours produites correctement et elles sont compréhensibles pour les acteurs.
- Hypothèse 6 : Il est considéré que les termes équivalents représentent un concept unique pour les concepteurs

Le cadre proposé comprend deux étapes principales :

- La première étape est une procédure de **modélisation** dont l'objectif est de fournir une représentation d'un processus collaboratif traitable dans la suite de l'approche. Cette représentation est essentiellement basée sur un modèle conceptuel de collaboration, créé à partir de la littérature. Le modèle conceptuel est exprimé grâce au méta-modèle Ecore. Cela permet d'une part d'avoir une meilleure compréhension du modèle conceptuel initial car la syntaxe des méta-modèles EMF est formalisée, et d'autre part, en utilisant l'outil Eclipse, il est possible de générer un modèle de processus collaboratif à l'aide d'un tel méta-modèle. Ceci permet d'assurer le processus de modélisation.
- La deuxième étape est une procédure de **mesure** de la performance. Dans cette étape, le modèle de processus, fourni par l'étape précédente, est analysé. Dans la mesure, nous décomposons un processus collaboratif en sous éléments : les Collaborations par Paire (CpP). Puis, par l'intermédiaire de deux procédures de matching, les compatibilités sémantique et syntaxique des fichiers sont estimées.

Les tâches à suivre dans les étapes ci-dessus sont présentées tout d'abord en utilisant un exemple. Ensuite, l'utilisation du cadre est illustrée à l'aide d'une étude de cas dans le cadre de la conception, qui aborde une collaboration potentielle dans un tel processus. Plutôt que de tester l'applicabilité du cadre, l'autre objectif de cette étude de cas est de mettre un accent sur le rôle des méthodes de communication, appelé également les solutions d'interopérabilité, sur la performance de collaborations.

B) Discussions

Les innovations et les limites du cadre proposé sont également discutées. Les innovations principales sont :

▪ **La capacité d'adaptation aux environnements collaboratifs.** Cela est l'avantage principal de ce cadre car ses différents éléments sont fondés sur l'état de l'art de la collaboration et de l'interopérabilité. En réalité, le cadre est adapté à ces concepts afin de distinguer la performance de la collaboration de la performance des activités individuelles. Cela fournit la possibilité d'une identification des éléments clés de l'évaluation de la performance d'un processus de collaboration. D'une part, le cadre augmente l'accent sur les aspects collaboratifs et d'autre part, il diminue le risque d'interférence des paramètres qui sont à l'extérieur du périmètre d'une collaboration. Par exemple, dans l'étape de modélisation, parmi tous les éléments du processus, seuls les éléments qui affectent la performance des collaborations sont retenus. C'est ce qui manque dans les modélisations et évaluations actuelles de la performance. De plus, dans l'étape de mesure, le critère et son indicateur sont dérivés du concept de la collaboration via l'échange de données. Ceci est également oublié dans les cadres d'évaluations de performance car ils sont en général basés sur les critères non collaboratifs tels que le cout et le temps.

▪ **L'outillage.** Il est considéré de plusieurs façons dans le déroulement du cadre. Par exemple, dans l'étape de modélisation, en utilisant le méta-modèle développé sous Eclipse, il est possible de générer automatiquement une instance initiale du modèle de processus. La validation de ce modèle peut également être effectuée automatiquement. D'ailleurs, dans l'étape de mesure, en utilisant des contraintes OCL et l'outil EMF Compare, les matchings

peuvent être outillés. Ces exemples de l'outillage peuvent réduire le risque d'erreur humaine dans l'application du cadre. Ils diminuent également le temps d'exécution qui est importante dans un projet de conception.

- **Les aspects à la fois techniques et sémantiques.** La performance de collaborations est évaluée sur la base de l'interopérabilité : technique et sémantique. Considérant le rôle complémentaire de ces niveaux pour réaliser la pertinence d'information, dans les échanges de données, il est considéré qu'on ne peut pas étudier l'un sans tenir compte l'autre et leurs liens.

- **La capacité d'évolution.** La caractéristique modulaire du cadre fournit la possibilité de remplacer ou faire évoluer ses outils ou ses méthodes. Par exemple, le processus de modélisation peut évoluer par le remplacement ou la modification du méta-modèle de processus. Cependant, les informations nécessaires pour la mesure doivent être encore extractibles à partir du modèle de processus. L'étape de modélisation, qui fournit une base pour une modélisation de processus de collaboration, peut évoluer en utilisant des interfaces graphiques ou éventuellement devenir un langage de modélisation formalisé.

En ce qui concerne les mesures de la compatibilité (les matchings), les fonctions de similarité peuvent également être remplacées par des fonctions plus avancées. Le choix des fonctions de similarité est appuyé par le fait que ces travaux ne sont pas focalisés sur le développement de ce type de fonction. En réalité, l'accent est mis sur le « où » et le « comment » de l'utilisation des méthodes de matchings afin d'avoir une meilleure évaluation des aspects syntaxique et sémantique de la collaboration. Par conséquent, l'application des fonctions de similarité plus complexes est considérée comme un travail perspectif.

Le matching sémantique via l'outil EMF Compare peut également évoluer. Malgré l'automatisation du matching par cet outil, les sémantiques de domaine ne sont pas gérées. Par conséquent, afin d'augmenter la précision des résultats, ils doivent être vérifiés par un expert du domaine ou par une ontologie de domaine. Par exemple, cet expert doit avoir des connaissances sur les concepts manipulés dans les méta-modèles comparés par l'outil.

C) Perspectives des travaux futurs

Les limites du cadre proposé sont abordées par le premier axe dans les perspectives de ce travail de recherche.



Axe de perspective 1, améliorations du cadre proposé

Dans cet axe, les champs d'évolution du cadre sont principalement discutés :

- L'utilisation du cadre proposé exige des dispositions techniques, des compétences et connaissances de son utilisateur. Par exemple, l'environnement Eclipse et les connaissances de base de la modélisation dans cet environnement sont nécessaires pour réaliser la tâche de modélisation du processus. Par conséquent, la disponibilité de ces dispositions pour les utilisateurs doit être étudiée, en particulier dans les entreprises qui sont les utilisateurs potentiels. En outre, l'intelligibilité des tâches et des résultats du cadre pour les utilisateurs doivent être examinés. Ceci permet de définir le niveau d'autonomie des utilisateurs dans la réalisation des différentes tâches du cadre.

- La granularité de mesure du cadre proposé par ces travaux est basée sur les collaborations par paire avec des transmissions de données simples. D'une part, les collaborations entre plusieurs acteurs avec des échanges multiples doivent être étudiées. D'autre part, l'impact de la performance de chaque collaboration sur la valeur globale de la performance doit être pris en compte. Pour le moment, une idée préliminaire est que la valeur globale peut être calculée en fonction de la multiplication des valeurs de la performance des collaborations en série et de la somme des valeurs de la performance des collaborations parallèles. Après la quantification de ces impacts, le processus collaboratif peut être modélisé comme un réseau de collaborations pour lequel la valeur globale de la performance est mesurable.
- Le méta-modèle de processus collaboratifs doit être étendu en ajoutant les concepts de modèles et sous-modèles afin de modéliser les différents niveaux de processus (cycle, phase, activité).
- Dans l'étape de mesure, plusieurs interactions entre l'utilisateur du cadre et les parties prenantes (concepteurs, chef du processus) sont nécessaires. Par exemple, le seuil de satisfaction pour les résultats est basé sur l'avis des concepteurs. En effet, c'est le concepteur qui définit à quel niveau de pertinence d'information, il est capable d'effectuer son activité. Ces interactions dans le cadre peuvent être améliorées en fonction des méthodes et des techniques de prise de décisions.
- Pour le matching sémantique via EMF Compare, une évaluation peut être également envisagée. En effet, afin d'augmenter la précision des résultats de matching, ils doivent être vérifiés par un expert du domaine ou par une ontologie de domaine. En effet, tant que cet outil n'est pas basé sur les sémantiques de domaine, les résultats du matching doivent être vérifiés manuellement par un expert du domaine. Cet expert doit avoir des connaissances sur les concepts manipulés dans les méta-modèles comparés.



Axe de perspective 2, la proposition de recherche selon un cadre de prises de décisions basé sur la performance du produit et de son processus de conception

En étudiant l'objectif final du processus de conception, une problématique globale est également énoncée : « Comment la performance des collaborations dans un processus de conception peut-elle impacter la performance du produit à concevoir ? ». Dans ces travaux de recherche, nous avons décidé de mettre un accent particulier sur l'un des sous-objectifs lié à cette problématique globale. Nous considérons donc que la mesure de la performance des collaborations peut être l'une des activités de la gestion du processus permettant de concevoir un produit satisfaisant les parties prenantes. En effet, le cadre proposé pour cette mesure peut être également consulté d'un point de vue supérieur (voir la Figure 3- 28).

Ce point de vue montre principalement que le cadre de mesure basé sur l'interopérabilité, y compris les étapes 1a et 2a de la Figure 3- 28, peut être appliqué en parallèle des autres mesures de la performance des collaborations, basées sur les critères tels que : coût et temps, **les étapes 1b et 2b**. **L'étape 3** montre que l'ensemble des résultats de mesures de la performance peuvent être analysés en se focalisant sur les impacts des collaborations sur le produit. A cette fin, les défaillances du produit potentiellement causées par le faible niveau de performance des collaborations peuvent être étudiées. En effet, les collaborations peuvent être classées en fonction de l'impact de ces défaillances sur la valeur du produit. Par exemple, une collaboration dans l'analyse fonctionnelle du processus de conception, peut causer la défaillance d'une fonction du produit qui, par conséquent, va diminuer sa qualité.

Dans cette étape, la criticité des collaborations peuvent être définie en utilisant les méthodes d'analyse de risque telle que l'AMDEC. En réalité, une fois l'étape 3 effectuée, les analyses locales sont terminées.

Dans **l'étape 4**, dans un premier temps, des alternatives de processus peuvent être produites en modifiant les éléments des collaborations considérées comme critiques dans l'étape précédente. Par exemple, en remplaçant les concepteurs ou les outils de conception dans une collaboration, les alternatives des collaborations peuvent être créées. Ces alternatives doivent encore être modélisées et analysées. Une autre possibilité de développement des alternatives est l'utilisation de solutions d'interopérabilité. De nombreuses solutions ont été étudiées dans ces travaux. Notre objectif principal était d'identifier leurs impacts sur les collaborations. Les analyses de coût et de temps peuvent être pris en compte prochainement dans le choix de ces solutions.

Au cours de **l'étape 5**, le processus initial et ses alternatives sont d'abord intégrés dans un modèle global. Ensuite, un modèle d'optimisation peut être utilisé sur ce modèle global. Dans cette optimisation : la fonction objectif est de maximiser la valeur du produit. Les décideurs peuvent appliquer cette optimisation pour trouver le processus de conception le plus adapté.

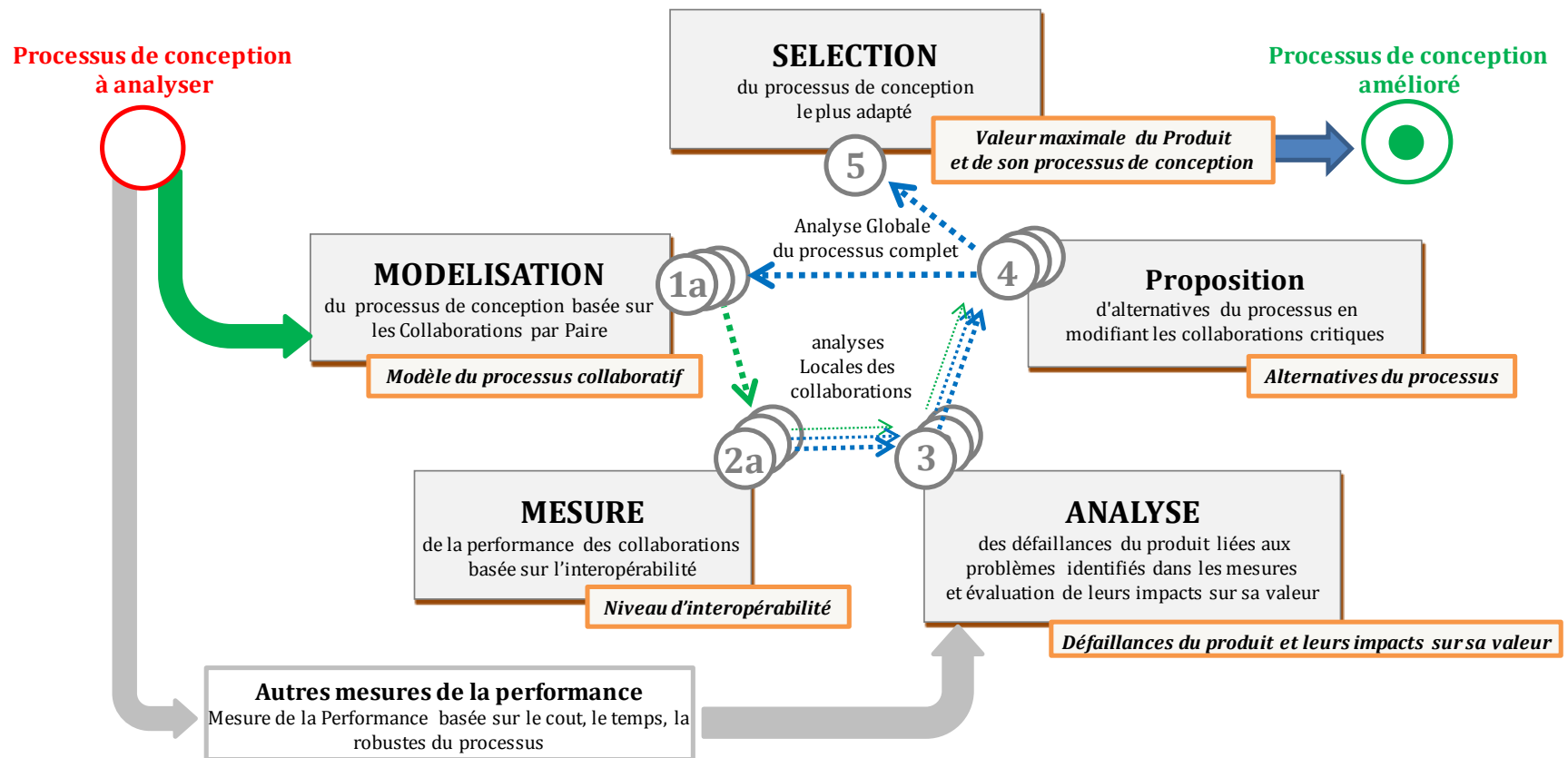


Figure 3- 28, Cadre d'évaluation proposé selon un cadre global de prise de décision

Bibliographie

- Abdul Ghafour, S., 2009. *Interopérabilité sémantique des connaissances des modèles de produits à base de features*. Thèse de l'université de Lyon Délivrée par l'université Claude Bernard Lyon 1.
- AberdeenGroup©, 2006. The Mechatronics System Design Benchmark Report - Coordinating Engineering Disciplines.
- AFNOR, 1988. French standard : "Recommandation pour obtenir et assurer la qualité en conception", standard X50-127.
- Alanen, M. & Porres, I., 2003. Difference and Union of Models - Technical Report 527. *Turku Centre for Computer Science TUCS Technical*.
- Amann, B. & Fundulaki, I., 1999. Integrating Ontologies and Thesauri to Build RDF Schemas. *Proceedings of the third European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries*, pp.234–253.
- Anderson, G. & Metcalfe, A., 2008. Calling for international collaborative research in nursing, genetics and genomics: A discussion paper. *International Journal of Nursing Studies*, 45(2), pp.323–328.
- ATHENA, 2003. Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications, FP6-2002-IST-1, Integrated Project.
- ATHENA, 2006. Deliverable D.A3.3 : Semantic Annotation language and tool for Information and Business Processes Work Package – A3.
- ATLAS, 2005. ATL : Atlas Transformation Language ATL Starter's Guide - version 0.1. , (December).
- Aubry, S., 2007. *Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif*. Thèse de l'université de technologie de Compiègne.
- Backlund, G. & Ronnback, A.O., 1999. Managing complexity in collaborative development modeling requirements and enhancing communication. *Microprocessors and Microsystems*, 23(409-416).
- Barut, M., Faisst, W. & Kanet, J.J., 2002. Measuring supply chain coupling: an information system perspective. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 8(3), pp.161–171.
- Bassetto, S., Siadat, A. & Martin, P., 2006. Etudes des interactions entre les risques des moyens de production, introduction à l'utilisation du concept de typologie des risques. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 40(6), pp.571–591.
- Baxter, P., 2007. The CCARE model of clinical supervision: bridging the theory-practice gap. *Nurse education in practice*, 7(2), pp.103–11.
- Bechhofer, S. et al., 2002. The Semantics of Semantic Annotation. *Lecture Notes in Computer Science*, 2519, pp.1152–1167.
- Bedwell, W.L. et al., 2012. Collaboration at work: An integrative multilevel conceptualization. *Human Resource Management Review*, 22(2), pp.128–145.
- Bianchini, D. et al., 2006. Semantic-enriched service discovery. In *ICDEW '06 Proceedings of the 22nd International Conference on Data*. Atlanta, GA, USA: IEEE Computer Society Washington, DC, USA, pp. 38–48.
- Blessing, L.T. & Chakrabarti, A., 2009. *DRM, a Design Research Methodology*, London, UK: Springer-Verlag.

- Bock, C. et al., 2010. Ontological product modeling for collaborative design. *Advanced Engineering Informatics*, 4, pp.510–524.
- Bonicel, M., 2012. Hypertexte et manuscrits : le défi de l'interopérabilité. *la Bibliothèque nationale de France*, 42, pp.23–28.
- Bosch Mauchand, M., 2007. *Modélisation pour la simulation de chaînes de production de valeur en entreprise industrielle comme outil d'aide à la décision en phase de conception/industrialisation*. Ecole Centrale de Nantes.
- Bouquet, P. et al., 2005. D2.2.1. Specification of a common framework for characterizing alignment, KWEB EU-IST-2004-507482 Project, v2.0.
- De Bruijn, J. et al., 2006. Ontology mediation, merging and aligning. In *Semantic Web Technologies: Trends and Research in Ontology-based Systems*. John Wiley & Sons.
- C4ISR, 1998. Architecture Working Group Final Report. , (April).
- Cassier, J.-L., 2010. *Argumentation et conception collaborative de produits industriels*. Thèse de L'Université de Grenoble.
- Catalano, C.E. et al., 2008. A product design ontology for enhancing shape processing in design workflows. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(5), pp.553–567.
- Cavaillès, J., 1995. *Méthodes de management de programme* 2nd ed., DGA-Teknea.
- Charles, S., 2005. *Gestion Intégrée des données CAO et EF-Contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures*. Thèse de l'Université de Technologie de Troyes.
- Chellali, M.-E.-A., 2009. *Étude des interactions homme-homme pour l'élaboration du référentiel commun dans les environnements virtuels collaboratifs*. Thèse de l'Université de Nantes.
- Chen, D. & Daclin, N., 2006. Framework for enterprise interoperability". In Bordeaux, France: IFAC 2nd International Workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking (EI2N'2006).
- Cheriti, S., 2011. *Conception collaborative : propositions pour construire et piloter des relations performantes avec les fournisseurs*. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG.
- Chettaoui, H., 2008. *Interopérabilité entre modèles hétérogènes en conception coopérative par des approches d'Ingénierie Dirigée par les Modèles*. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG.
- Cheutet, V., 2013. *Contribution à la continuité des ux d'informations et de connaissances dans le lien conception-production*. Thèse de l'Université de Technologie de Compiègne.
- Chiu, M.L., 2002. An organizational view of design communication in design collaboration. *Design Studies*, 23(2), pp.187–210.
- Choquet, R., 2011. *Partage de données biomédicales : modèles, sémantique et qualité*. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Clemson, B., 1984. *Cybernetics: a new management tool*. Tunbridge Wells, Kent, England: Abacus House., Tunbridge Wells: Abacus House.
- CNRT, 2013. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. Available at: <http://www.cnrtl.fr>.
- Coma, C., Cuppens-Boulahia, N. & Cuppens, F., 2010. Chapter 1 Secure interoperability with O2O contracts.

- Web-based information technologies and distributed systems*, pp.257–291.
- Creese, G., 2007. Information Scarcity to Information Overload, Enterprise Content Management. *DM Review*, (Jan.), pp.20–22.
- Czarnecki, K. & Helsen, S., 2003. Classification of Model Transformation Approaches. In *OOPSLA'03 Workshop on Generative Techniques in the Context of Model-Driven Architecture*.
- Danesi, F., Gardan, N. & Gardan, Y., 2006. Collaborative design : from concept to application. In *Proceedings of the Geometric Modeling and Imaging GMAI'06*.
- Declerck, G., Baneyx, A. & Aimé, X., 2012. A quoi servent les ontologies fondationnelles ? , (Ic).
- Dent, E.B. & Umpleby, S.A., 1998. Underlying Assumptions of Several Traditions in Systems Theory and Cybernetics. *Austrian Society for Cybernetic Studies*, pp.513–518.
- Ducq, Y. & Chen, D., 2008. How to measure interoperability: Concept and Approach. In *Proceedings of the 14th International Conference on Concurrent Enterprising: ICE2008 A New Wave of Innovation in Collaboration Networks*. Lisbon, Portugal, pp. 583–590.
- Eclipse, 2013. EMF Compare. Available at: <http://www.eclipse.org/emf/compare/>.
- Ehrig, M. & Sure, Y., 2004. Ontology Mapping - An Integrated Approach. *Lecture Notes in Computer Science*, 3053, pp.76–91.
- EIF2, 2011. *European Interoperability Framework (EIF) Towards Interoperability for European Public Services*, Belgium.
- EU, 2003. The Role of eGovernment for Europe's Future - Report. *COM*, 567.
- Euzenat, J. et al., 2006. Case-based recommendation of matching tools and techniques. In *Knowledge web NoE*. Knowledge web, 78p., December 2006.
- Euzenat, J. et al., 2004. D2.2.3: State of the art on ontology alignment, KWEB EU-IST-2004-507482 Project, v1.2.
- Euzenat, J., 2001. Towards a principled approach to semantic interoperability. In *IJCAI workshop on ontology and information sharing*. pp. 19–25.
- Euzenat, J. & Shvaiko, P., 2013. *Ontology Matching* 2nd ed., Springer.
- Fang, F.C. & Casadevall, A., 2011. Reductionistic and holistic science. *Infection and immunity*, 79(4), pp.1401–4.
- Fankam, C. et al., 2009. Towards Connecting Database Applications to Ontologies. *2009 First International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications*, (Cm), pp.131–137.
- Fortineau, V., Paviot, T. & Lamouri, S., 2013. Improving the interoperability of industrial information systems with description logic-based models—The state of the art. *Computers in Industry*, 64(4), pp.363–375.
- Freeman, R.E., 1984. *Strategic Management: A Stakeholder Approach*, Boston: Pittman.
- Frey, E., 2010. *Contribution à une méthode de chainage numérique de données pour la gestion des modifications lors de la conception de produit multi-métiers*. Université de Technologie de Belfort Montbéliard.

- Gagnon, L.L. & Roberge, G.D., 2012. Dissecting the journey: nursing student experiences with collaboration during the group work process. *Nurse education today*, 32(8), pp.945–50.
- Garcia-Camargo, S., 2006. Ingénierie Concurrente en Génie Logiciel : Céline. , pp.1–127.
- Germani, M., Mengoni, M. & Peruzzini, M., 2012. A QFD-based method to support SMEs in benchmarking co-design tools. *Computers in Industry*, 63(1), pp.12–29.
- Gero, J.S., 1990. Design prototypes: a knowledge representation schema for design, , 11, No 4, pp 26-36. 1990. *AI Magazine*, 11(4), pp.26–36.
- Giménez, D.M. et al., 2008. PProduct ONTOlogy: Defining product-related concepts for logistics planning activities. *Computers in Industry*, 59(2-3), pp.231–241.
- Girard, P. & Robin, V., 2006. Analysis of collaboration for project design management. *Computers in Industry*, 57(8-9), pp.817–826.
- Giunchiglia, F. & Shvaiko, P., 2004. Semantic Matching. *Knowledge Engineering Review journal*, 18(3), pp.265–280.
- Goh, C.H. et al., 1995. Ontologies , Contexts , and Mediation : Representing and Reasoning about Semantics Conflicts in Heterogeneous and Autonomous Systems, Working paper 3848 CISL - Technical report 95-04. , (August).
- Grebici, K., 2007. *La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative*. Thèse de Institut national polytechnique de Grenoble.
- Hämäläinen, R. & Vähäsantanen, K., 2011. Theoretical and pedagogical perspectives on orchestrating creativity and collaborative learning. *Educational Research Review*, 6(3), pp.169–184.
- Handschuh, S., 2005. *Creating Ontology-based Metadata by Annotation for the Semantic Web*. PhD Thesis, Universitat Fridericana zu Karlsruhe.
- Harsh, P. et al., 2012. Using Open Standards for Interoperability Issues , Solutions , and Challenges facing Cloud Computing. In *6th International DMTF Academic Alliance Workshop on Systems and Virtualization Management: Standards and the Cloud*.
- Hatem, W.A., Kwan, A. & Miles, J., 2012. Comparing the effectiveness of face to face and computer mediated collaboration. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), pp.383–395.
- Heuser, W., 2012. Data Conversion. Available at: <http://dataconv.org/> [Accessed July 25, 2013].
- Higuchi, K., 2012. KH Coder. Available at: <http://khc.sourceforge.net/en/>.
- Howard, T.J., Culley, S.J. & Dekoninck, E., 2008. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2), pp.160–180.
- Hsu W., W.I.M.Y., 1998. Current research in the conceptual design of mechanical products. *Computer-Aided Design*, 30(5), pp.377–389.
- Husted, K. & Michailova, S., 2010. Dual Allegiance and Knowledge Sharing in Inter-firm R&D Collaborations. *Organizational Dynamics*, 39(1), pp.37–47.
- IEEE, 1990. Standard Computer Dictionary - A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries.
- Iraqi-houssaini, M., Kleiner, M. & Roucoules, L., 2011. Model-Based (Mechanical) Product Design. *Lecture*

- Notes in Computer Science*, 6981, pp.548–562.
- Ishak, K., 2010. *Architecture distribuée interopérable pour la gestion des projets multi-sites. Application à la planification des activités de production*. Université de Toulouse.
- ISO, 2013. ISO. Available at: <http://www.iso.org> [Accessed June 15, 2013].
- ISO, 1994. ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration Product data representation and exchange - Overview and Fundamental Principles, International Standard, ISO TC184/SC4.
- Issarny, V., Bennaceur, A. & Bromberg, Y.-D., 2011. Middleware-layer Connector Synthesis : Beyond State of the Art in Middleware Interoperability. In *11th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication and Software Systems: Connectors for Eternal Networked Software Systems*. pp. 217–255.
- Jardim-Goncalves, R. et al., 2009. Knowledge framework for intelligent manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(5), pp.725–735.
- Jardim-Goncalves, R. et al., 2007. SMART-fm: setting interoperability in SME-based industrial environments. In *Advanced Manufacturing – An ICT and Systems perspective*. pp. 51–63.
- Jardim-Gonçalves, R. et al., 2007. Harmonising technologies in conceptual models representation. *Int. Journal of Product Lifecycle Management*, 2(2), pp.187–205.
- Kahn, K., 1996. Interdepartmental integration: A definition with implications for product development performance. *Journal of Product Innovation Management*, 13(2), pp.137–151.
- Kajtazi, M., Haftor, D. & Mirijamdotter, A., 2011. Information Inadequacy : Some Causes of Failures in Human , Social and Industrial Affairs. , 14(1), pp.63–72.
- Karray, M.H., 2012. *Contribution à la spécification et à l'élaboration d'une plateforme de maintenance orientée connaissances*. Thèse de l'Université de Franche-Comté.
- Kasunic, M. & Anderson, W., 2004. *Interoperability: Challenges and Opportunities*, Pittsburgh, PA: Carnegie-Mellon University—Software Engineering Institute, 2004.
- Kay, M., 2007. XSL Transformations (XSLT) Version 2.0, W3C Recommendation. Available at: <http://www.w3.org/TR/xslt20/> [Accessed July 24, 2013].
- Kern, H. & Kühne, S., 2009. Integration of Microsoft Visio and Eclipse Modeling Framework Using. In *2nd ECMDA Workshop on Model-Driven Tool \& Process Integration at Fifth European Conference on Model-Driven Architecture Foundations and Applications*. Enschede, Netherlands.
- Khamis, N., Rilling, J. & Witte, R., 2013. Assessing the quality factors found in in-line documentation written in natural language: The JavadocMiner. *Data & Knowledge Engineering*, 87, pp.19–40.
- Klein Meyer, J.-S., 2008. *Contribution à la modélisation multi-physique des systèmes complexes dans un contexte de DFX*. Thèse de l'Université de technologie Troyes.
- Kleinsmann, M., 2006. *Understanding collaborative design*. Delft: PhD Thesis, Delft University of Technology.
- Kleinsmann M., Buijs J., V.R., 2010. Understanding the complexity of knowledge integration in collaborative new product development teams-A case study,. *Journal of Engineering. Technology Management*, 27, pp.20–32.

- Kolovos, D.S., 2009. Establishing Correspondences between Models with the Epsilon Comparison Language. *Lecture Notes in Computer Science*, 5562, pp.146–157.
- Lahti, H., Seitamaa-Hakkarainen, P. & Hakkarainen, K., 2004. Collaboration patterns in computer supported collaborative designing. *Design Studies*, 25(4), pp.351–371.
- Larousse, 2013. Terme. Available at: <http://www.larousse.fr>.
- Larsson, A., 2005. *Engineering Know-Who: Why social connectedness matters to global design teams*,. PhD Thesis, Lulea University of Technology.
- Lee, J. et al., 2009. Design of product ontology architecture for collaborative enterprises,. *Journal of Expert Systems with Applications*, 36, pp.2300–2309.
- Lemrabet, Y., 2012. *Proposition d'une méthode de spécification d'une architecture orientée services dirigée par le métier dans le cadre d'une collaboration inter-organisationnelle*. Thèse de l'Ecole Centrale de Lille.
- Levan, S.K., 2009. Ce que travail collaboratif veut dire. Available at: <http://travailcollaboratif.typepad.com/> [Accessed April 10, 2013].
- Lezoche, M., Panetto, H. & Aubry, A., 2011. CONCEPTUALISATION APPROACH FOR COOPERATIVE INFORMATION SYSTEMS INTEROPERABILITY. In 13th International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2011, pp. 101–110.
- Li, W., Lin, Y. & Liu, Y., 2007. The structure of weighted small-world networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 376(null), pp.708–718.
- Liao, Y. et al., 2012. Formalization of Semantic Annotation for Systems Interoperability in a PLM environment. In *OTM Federated conferences and workshops, 2nd Workshop on Industrial and Business Applications of Semantic Web Technologies (INBAST)*. Rome, Italy.
- Liao, Y. et al., 2011. Semantic Annotation Model Definition for Systems Interoperability What is Semantic Annotation ? In *OTM 2011 Workshops 2011 - 6th International Workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking (EI2N)*. Hersonissos, Crete : Greece.
- Lima Dutra, M., 2009. *An ontology-based approach to manage conflicts in collaborative design*. Thèse de l'Université Claude Bernard - Lyon, Universidade nova de Lisboa.
- Lin, Y., 2008. *Semantic Annotation for Process Models* : PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Lindeke, L.L. & Block, D.E., 1998. Maintaining professional integrity in the midst of interdisciplinary collaboration. *Nursing Outlook*, 46(5), pp.213–218.
- Liu, H., 2011. *Intégration des approches ontologiques et d'ingénierie dirigée par les modèles pour la résolution de problèmes d'interopérabilité*. Thèse de l'Ecole Centrale de Lille.
- Lorsch, J.W., 1965. *Product Innovation and Organization* 2d ed., New York: MacMillan.
- Lu, Y., 2012. *Approach for Information Systems Semantic Interoperability in Supply Chain Environment*. PhD Thesis, Zhejiang University.
- Madhavan, J. & Bernstein, P.A., 2001. *Generic Schema Matching with Cupid*,
- Maedche, A., 2002. Ontology learning for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), pp.72–79.

- Mchugh, R. & Zhang, H., 2010. Virtual Prototyping of Mechatronics for 21 st Century Engineering and Technology. In *ASEE IL/IN Section Conference*. West Lafayette, Indiana.
- Medin, D.L., Goldstone, R.L. & Gentner, D., 1993. Respects for similarity. *Psychological Review*, 100(2), pp.254–278.
- Microsoft, 2011. Visio 2010: XML Schema Definition (XSD) Files. Available at: <http://www.microsoft.com/>.
- Miller, J. & Mukerji, J., 2003. MDA Guide Version 1.0.1. , (June).
- Mistree, F. et al., 1990. Decision-Based Design : A Contemporary Paradigm for Ship Design. In *Annual Meeting*. San Francisco, California: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Le Moigne, J.-L., 2006. *la théorie du système général, théorie de la modélisation* Publicatio., Université Paul Cézanne - Aix Marseille.
- NATO, 2003. NATO Allied Data Publication 34 (ADatP-34), NATO C3 Technical Architecture (NC3TA), Version 4.0.
- Noy, N.F. & McGuinness, D.L., 2001. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*, Report No. SMI-2001-0880, Available at: http://protege.stanford.edu/publications/ontology_d.
- Nudurupati, S.S. et al., 2011. State of the art literature review on performance measurement. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2), pp.279–290.
- Obrst, L.J., 2004. Ontologies and Semantic Web for Semantic Interoperability. In McLean, USA: Semantic Technologies for e-Government Conference, pp. 366–369.
- Olivera, F., Goodman, S.P. & Swee-Lin Tan, S., 2008. Contribution Behaviors in Distributed Environments. *MIS Quarterly*, 32(1), pp.23–42.
- Oren, E. et al., 2006. What are Semantic Annotations ?, Technical report. *Oren, E., Hinnerk Möller, K., Scerri, S., Handschuh, S., Sintek, M. What are Semantic Annotations?. Technical report, DERI Galway (2006)*.
- Oxford, 2013a. Annotation. Available at: <http://oxforddictionaries.com/definition/english/annotation> [Accessed July 28, 2013].
- Oxford, 2013b. Lexical Meaning. Available at: <http://www.oxforddictionaries.com/>.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1996. *Engineering Design : A Systematic approach*, Ken Wallace (ed.), London, UK: Springer-Verlag.
- Panetto, H., 2007. Towards a Classification Framework for Interoperability of Enterprise Applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 8, pp.727–740.
- Panetto, H., Dassisti, M. & Tursi, A., 2012. ONTO-PDM: product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), pp.334–348.
- Paul R. Lawrence, J.W.L., 1967. Differentiation and integration in complex organization. *Administrative Science Quarterly*, 12(1), pp.1–47.
- Paviot, T., 2010. *Méthodologie de résolution des problèmes d ' interopérabilité dans le domaine du Product Lifecycle Management*. Thèse de l'Ecole Centrale Paris.
- Paviot, T., Cheutet, V. & Lamouri, S., 2011. A PLCS framework for PDM / ERP interoperabilty. *nternational*

- journal of product lifecycle management* 5, 2/3/4 (2011), 5(2/3/4), pp.295–313.
- Pc.net, 2011. File Format. Available at: http://pc.net/glossary/definition/file_format [Accessed July 10, 2013].
- Peña-Mora, F., Hussein, K. & Duvvuru Sriram, R., 1996. cairo: A system for facilitating communication in a distributed collaborative engineering environment. 29(1-2): 37-50. *Computers in Industry*, 29(1-2), pp.37–50.
- Peng, Y., 2012. *Modelling and Designing IT-enabled Service Systems Driven by Requirements and Collaboration*.
- Peristeras, V. & Tarabanis, K., 2006. The Connection , Communication , Consolidation , Collaboration Interoperability Framework (C 4 IF) For Information Systems Interoperability Defining interoperability. , 1(1), pp.61–72.
- Pirayesh, A. et al., 2011. An integrated approach for risk-assessment analysis in a manufacturing process using FMEA and DES. In *2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability*. IEEE, pp. 366–370.
- Pomffyova, M., 2010. *Process Management*, Intech.
- Rachuri, S. et al., 2008. Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards. *Computer-Aided Design*, 40(7), pp.789–800.
- Raghavendiran, T. & Patruni, P., 2009. PLM for Mechatronic Products, ATA-EIS Whitepaper.
- Rahm, E., 2011. Towards large-scale schema and ontology matching. In *Schema Matching and Mapping. Data-Centric Systems and Applications*, pp. 3–27.
- Rahm, E. & Bernstein, P. a., 2001. A survey of approaches to automatic schema matching. *The VLDB Journal*, 10(4), pp.334–350.
- Ray, S.R. & Jones, A.T., 2006. Manufacturing interoperability. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 7(6), pp.681–688.
- Reymen, I.M.M.J., 2001. *Improving Design Processes through Structured Reflection A Domain-independent Approach*,
- Rezgui, A., 2012. *Interopérabilité de modèles dans le cycle de conception des systèmes électromagnétiques via des supports complémentaires : Langage VHDL-AMS et composants logiciels ICAr*. Thèse de l'Université de Grenoble.
- Ringard, J., 2011. *Un modele de conception dédié à l'interaction collaborative colocalisée*. Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Rio, M., 2012. *A l'interface de l'ingénierie et de l'analyse environnementale : fédération pour une éco-conception proactive*. Thèse de l'Université de Technologie de Troyes.
- Romito, C., Probert, D. & Farrukh, C., 2007. Technology evaluation under information inadequacy. In *PICMET Proceedings*. Portland, Oregon, pp. 1672–1679.
- Rose, B., 2004. Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO²MED (COLlaborative CONflict Management in Engineering Design), Prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP.
- Roser, S. & Bauer, B., 2006. Ontology-Based Model Transformation. *Lecture Notes in Computer Science*,

- 3844, pp.355–356.
- Roucoules, L. et al., 2006. IPPOP: an open source collaborative design platform to link product, design process and industrial organization information. In *IDMME 2006*. Grenoble, France.
- Roussey, C. et al., 2010. Ontologies in Agriculture 2 Ontology Classification. In *AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering*. Clermont-Ferrand, France, pp. 1–10.
- Ruiz Dominguez, G.A., 2005. Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive.
- Sarraipa, J., Agostinho, C. & Panetto, H., 2009. Semantic Enrichment of Standard-based Electronic Catalogues. In *13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'2009*. Moscou, Russian Federation.
- Saur, C.D. & Ford, S.M., 1995. Quality, cost-effective psychiatric treatment: A CNS—MD collaborative practice model. *Archives of Psychiatric Nursing*, 9(6), pp.332–337.
- Scaravetti, D., 2004. *Formalisation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire*. Thèse, Arts et Métiers ParisTech.
- Schrage, M., 1990. *Shared minds: The new technologies of collaboration*, New York: Random House.
- Scopus Elsevier, 2013. Key : interoperability : 1981 to 2012, Analyze Results by subject area online tool. Available at: <http://www.scopus.com/> [Accessed March 15, 2013].
- Seguy, A., 2008. *Décision collaborative dans les systèmes distribués : application à la e-maintenance*. Thèse de l'Université de Toulouse.
- Shah, L.A., 2012. *Value-Risk based Performance Evaluation of Industrial Systems*. PhD Thesis, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- Shvaiko, P., 2005. A Survey of Schema-based Matching Approaches. *Journal on Data Semantics IV*, Lecture No, pp.146–171.
- Shvaiko, P., 2004. *Iterative schema-based semantic matching*, Technical Report # DIT-04-020, Trento, Italy.
- Söderström, E., 2003. Challenges in the field of B2B standardisation. In *Proceedings of the 1st Annual Conference on Systems Integration (CDS 2003)*. pp. 1–11.
- Spalazzese, R., 2009. Towards Mediator Connectors for Application level Interoperability Categories and Subject Descriptors. In *ESEC/FSE Doctoral Symposium'09*. pp. 35–36.
- Stenzhorn, H., Beisswanger, E. & Schulz, S., 2007. Towards a top-domain ontology for linking biomedical ontologies. *Stud Health Technol Inform.*, 129(2), pp.1225–9.
- STEP Tools Inc., 2013. What is STEP? Copyright © 1991-2013 STEP Tools Inc. Available at: <http://www.steptools.com/>.
- Stephan, M. & Cordy, J.R., 2013. Application of Model Comparison Techniques to Model Transformation Testing. In *MODELSWARD 2013 -International Conferenc on Model-Driven Engineering and Software Development*. pp. 307–311.
- Strong, K.C., Ringer, R.C. & Taylor, S.A., 2001. The Rules of Stakeholder Satisfaction. *Journal of Business Ethic*, 32, pp.219–230.

- Talantikite, H.N., Aissani, D. & Boudjlida, N., 2009. Semantic annotations for web services discovery and composition. *Computer Standards & Interfaces*, 31(6), pp.1108–1117. Available at: 8001591 [Accessed August 7, 2013].
- Tassey, G., Brunnermeier, S.B. & Martin, S.A., 1999. Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain, Final Report. , (March).
- Terzi, S., 2005. *Elements of Product Lifecycle Management: Definitions , Open Issues*. PhD Thesis, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I.
- Thérout F., 2002. *Formalisme et système pour la représentation et la mise en œuvre des processus de pilotage des relations entre donneurs d'ordre et fournisseurs*. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Toulmé, A., 2006. Presentation of EMF Compare Utility. In *Eclipse Modeling Symposium*. pp. 1–8.
- Touzi, J., 2007. *Aide à la conception de Système d'Information Collaboratif support de l'interopérabilité des entreprises*. Thèse de l'Ecole des Mines d'Albi Carmaux.
- Tsagkani, C., 2005. Inter-Organizational Collaboration on the Process Layer. In *IFIP/ACM SIGAPP INTEROP-ESA Conference*. Geneva, Switzerland, pp. 23–25.
- Tursi, A., 2009. *Ontology-based approach for product-driven interoperability of enterprise production systems*. PhD Thesis, Université Henri Poincaré, Politecnico di Bari.
- Tversky, A., 1977. Features of similarity. *Psychological review*, 84, pp.327–352.
- UsingEnglish, 2013. Text Content Analysis Tool,. Available at: <http://www.usingenglish.com>.
- Valkenburg, R. & Dors, K., 2000. The Reflective Practice in product design teams. *Design Studies*, 19, pp.249–271.
- Venkatraman, N. & Ramanujam, V., 1986. Measurement of business performance in strategic research. *Academy of Management Review*, 11(4), pp.801–814.
- Vernadat, F.B., 1996. *Enterprise modeling and integration, Principles and applications*, Chapman & Hall.
- Wagner, H., 1991. Rock engineering – an important tool to improve the profitability of mining operations. In Welkom: SANGORM Symposium.
- Wang, L. et al., 2002. Collaborative conceptual design—state of the art and future trends,. *Computer Aided Design*, 34, pp.981–996.
- Wegner, P., 1996. Interoperability. *ACM Computing Survey*, 28(1), pp.285–287.
- Wiederhold, G. & Genesereth, M., 1997. The Conceptual Basis for Mediation Services Gio Wiederhold and Michael Genesereth Attachments : The Conceptual Basis for Mediation Services. , (October 1996), pp.1–23.
- Wijayasundara, N.D., 2008. Faculty–library collaboration: A model for University of Colombo. *The International Information & Library Review*, 40(3), pp.188–198.
- Witten, I.H., 2004. Adaptive text mining: inferring structure from sequences. *Journal of Discrete Algorithms*, 2(2), pp.137–159.
- Wood, D.J. & Gray, B., 1991. Toward a Comprehensive Theory of Collaboration. *Applied Behavioral Science*,

27(2), pp.143– 149.

Yahia, E., 2011. *Contribution à l'évaluation de l'interopérabilité sémantique entre systèmes d'information d'entreprise : Application aux systèmes d'information de pilotage de la production*. Thèse de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1.

Yahia, E., Aubry, A. & Panetto, H., 2012. Formal measures for semantic interoperability assessment in cooperative enterprise information systems. , pp.1–33.

Yan, L., Li, Z. & Yuan, X., 2009. study on Method-of-robust-multidisciplinary-design-collaborative-decision for product design,. *Information Technology Journal*, 8(4), pp.441–452.

Zghal, S. et al., 2007. S ODA : Une approche structurelle pour l ' alignement d ' ontologies OWL-DL. In *1ères Journées Francophones sur les Ontologies (JFO'07)*. Sousse, Tunisie.

ANNEXE A – Définitions de la collaboration

Cross Ref.	Collaboration is defined	Année
Walcelio L Melo	· We assume that the level of granularity for collaboration is the role. The role collaboration is defined by relationships that express the semantics of the collaboration.	1995
Carol D. Saur	· Collaboration is defined as a mutual sharing and working together to achieve a common goal in such a way that each person's contribution is recognized and professional growth is encouraged (Lancaster & Lancaster, 1982). · It involves the dimensions of assertiveness (meeting one's own needs) and cooperation (meeting the other's needs) (Kilman & Thomas, 1977). · The foundation for a collaborative relationship is open communication; trust in the other's competence and mutual respect for the other's autonomy, responsibility, and accountability. · Critical attributes include coordination, cooperation, shared decision-making, and shared responsibility for implementation and outcomes (Braggs & Schmitt, 1988)	1995
Kenneth B. Kahn	· Collaboration represents the unstructured, affective nature of interdepartmental relationships. Collaboration is defined as an affective, volitional, mutual/shared process where two or more departments work together, have mutual understanding, have a common vision, share resources, and achieve collective goals [2,21].	1996
NANCY H. BUSEN	· Collaboration is defined as, "working jointly with others ... or cooperating with an agency ... with which one is not immediately connected" (Woolf, 1981, p. 217).	1997
Linda L. Lindeke	· Collaboration is a process of shared planning and action toward common goals with joint responsibility for outcomes. · Webster 4 defines "collaboration" as "laboring together." · The dictionary continues with an interesting second denotation: "to cooperate or assist, usually willingly, an enemy of one's country." This second meaning incorporates elements that may underlie interprofessional relationships in some instances of health care collaboration.	1998
Daniel C Bello	· Collaboration is defined as the joint action of OEM (Original equipment manufacturer) and vendor personnel who cooperatively perform the tasks necessary for the development of new components (Pinto and Pinto, 1990, Bonaccorsi and Lipparini, 1994) · Such joint action results in an interpenetration of organizational boundaries, because personnel from the two firms share resources and responsibility as they conduct activities in a highly coordinated and integrated way (Borys and Jemison, 1989)	1999
Ken Beatty	· Collaboration is defined as a process in which two or more learners need to work together to achieve a common goal, usually the completion of a task or the answering of a question (Benson, 2001).	2004
Linda Gask	· Seaburn, Lorenz, Gunn, Gawinski, and Mauksch (1996) of models where collaboration is defined as 'recognizing each party's presence, expertise and special talents...not a leaderless, amorphous, inefficient group process'.	2005
Philippe Girard	· For the designer, collaboration is defined according to two aspects. The first concerns the freedom of designers to collaborate with each other. The second is a reflection of the design team's collaborative experience.	2006
Pamela Baxter	· Collaboration is defined as the process of communicating with the purpose of sharing information that will result in a mutually agreed upon decision.	2007
France-Anne Gruat La Forme	· Collaboration is defined as a way by which all companies in a supply chain are actively working together toward common objectives, and is characterized by sharing information, knowledge, risks and profits.	2007
Betty D. Morgan	· Collaboration is defined as, "to work jointly with others or together, especially in an intellectual endeavor; to labor together" (Merriam-Webster's Collegiate Dictionary, 10th ed.). · Hamric, Spross, and Hanson (2000) describe "a dynamic, interpersonal process in which two or more individuals make a commitment to each other to interact authentically and constructively to solve problems and to learn from each other in order to accomplish identified goals, purposes or outcomes" (p. 318).	2007
Nada R. Sanders	· Intra-organizational collaboration is a construct defined as an affective, mutual shared process where two or more departments work together, have mutual understanding, have a common vision, share resources, and achieve collective goals (Schrage, 1990 and Stank et al., 2001). Intra-organizational collaboration requires cross-functional planning, coordination, and sharing of integrated data bases. · Inter-organizational collaboration is defined similarly to internal collaboration, with the exception that the focus of collaboration is between two or more organizations, rather	2007

Cross Ref.	Collaboration is defined	Année
	than departments. Inter-organizational collaboration requires sharing of information across the full range of supply chain participants, as well as sharing of internal cross-functional processes (Schrage, 1990).	
Juan Pavón	· Agents of the organization collaborate to achieve common goals. Such collaboration is defined in terms of workflows, which identify agents' interactions and tasks.	2007
E. William East	· Collaboration is defined as working together on joint intellectual effort [The American Heritage® Dictionary of the English Language (4th Ed.)Houghton Mifflin (2004)]	2008
Gwen Anderson	· Collaboration is defined by the American Nurses Association as a "true partnership, in which the power on both sides is valued by both, with recognition and acceptance of separate and combined spheres of activities and responsibility, mutual safeguarding of the legitimate interests of each party, and a commonality of goals that is recognised by both parties" (ANA, 1980). · Collaboration requires building mutual trust, respect and consistent communication among all partners involved.	2008
Tove Lindhardt	· In the Cambridge Advanced Learner's Dictionary "Collaboration" is defined as a process where two or more people "work together to create or achieve the same thing" (Woodford and Jackson, 2003).	2008
Nayana Darshani Wijayasundara	· In Montiel-Overall's model, the collaboration is defined as "a trusting, working relationship between two or more equal participants involved in shared thinking, shared planning, and shared creation of innovative integrated instruction" (Montiel-Overall, 2005). · Vygotsky (1978) defines collaboration as a social process in which meaning is constructed from discussion among group members. · According to Schrage, "collaboration is the process of shared creation; two or more individuals with complementary skills, interacting to create a shared understanding that none had previously proposed or could have come to on their own. Collaboration creates a shared meaning about a process, a product or an event" (Schrage, 1989) · Literally, collaboration means working together (Donham & Green, 2004) · Fishbaugh (2000) states that collaboration is working together for a common end.	2008
Hsien-Pin Hsu	· There are three types of collaborations: the horizontal, vertical and lateral collaborations (Togar & Sridharan, 2002). · Horizontal collaboration: occurs when two or more unrelated or competing organizations cooperate to share their private information or resources, such as joint distribution centers. · Vertical collaboration: occurs when two or more organizations such as the manufacturer, the distributor, the carrier and the retailer share their responsibilities, resources, and performance information to serve relatively similar end customer. · Lateral collaboration: aims to gain more flexibility by combining and sharing capabilities in both vertical and horizontal manners.	2008
Liaquat Hossain	· Collaboration is defined as the working together of researchers to achieve the common goal of producing new scientific knowledge (Katz & Martin, 1997).	2009
Francesca d'Angella	· In the present study, collaboration is defined as formal institutionalized relationships among existing networks of institutions, interests and/or individual stakeholders.	2009
KENNETH HUSTED	· Collaborations: where two or more firms share some of their R&D activities while remaining independent economic agents and organizational entities.	2010
Gilbert N. Nyaga	· Collaboration is defined as occurring when "two or more independent companies work jointly to plan and execute supply chain operations with greater success than when acting in isolation" (Simatupang and Sridharan, 2002, p. 19).	2010
Raija Hämäläinen	· According to Arvaja, Salovaara, Häkkinen, and Järvelä (2007), collaboration is defined as a shared knowledge construction in which it is not enough that participants cumulatively share knowledge together, but the knowledge construction has to be built on others' ideas and thoughts (Mercer, 1996).	2010
Sonja Stork	· in contrast to two monologues, collaboration is defined by the synchronization of activities.	2010
Tondi M. Harrison	· In this model, collaboration is defined as "interactions in which participants' roles are complementary or with some leading and others following, supporting, or actively observing" (Rogoff, 1998, p. 723).	2010
Yamini Jha	· Multifaceted collaboration is defined as a particular kind of collaborative interaction in which two scientists collaborate on multiple activities (or facets) such as grant proposals, conference papers and journal articles, product development, and patent application at the same time.	2010
Brynn M. Evans	· Collaboration is defined to be the "act of working jointly" (WordNet. Definition of "collaboration", 2009). WordNet. Definition of "collaboration." (2009). < http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn?s=collaboration >.	2010

Cross Ref.	Collaboration is defined	Année
American Medical Directors Association Ad Hoc Work Group on the Role of the Attending Physician and Advanced Practice Nurse	· Collaboration is a joint and cooperative enterprise that integrates the individual perspectives and expertise of various team members. (i) Collaboration is a process in which a nurse practitioner works with one or more physicians to deliver health care services within the scope of the practitioner's expertise, with medical direction and appropriate supervision as provided for in jointly developed guidelines or other mechanisms as provided by the law of the State in which the services are performed. (ii) In the absence of State law governing collaboration, collaboration is a process in which a nurse practitioner has a relationship with one or more physicians to deliver health care services. Such collaboration is to be evidenced by nurse practitioners documenting the nurse practitioners' scope of practice and indicating the relationships that they have with physicians to deal with issues outside their scope of practice. Nurse practitioners must document this collaborative process with physicians. (iii) The collaborating physician does not need to be present with the nurse practitioner when the services are furnished or to make an independent evaluation of each patient who is seen by the nurse practitioner. Regulations 42 CFR 410.75 - Nurse practitioners' services. Code of Federal Regulations - Title 42: Public Health	2011
Raija Hämäläinen	· This article is in line with the notion of Arvaja, Salovaara, Häkkinen, and Järvelä (2007), according to whom collaboration is defined as a shared knowledge construction in which it is not enough that participants cumulatively share knowledge together (Mercer, 1996), but where the knowledge construction needs to be jointly built on others' ideas and thoughts (Mercer, 2010). · Therefore, collaboration is typically described based on certain types of (a) shared learning processes such as joint creation of understanding (Barron, 2003 and Littleton and Whitelock, 2005), knowledge building (Scardamalia and Bereiter, 1991 and Scardamalia and Bereiter, 2006), constructing group cognition (Stahl, 2006), collaborative co-construction of knowledge (e.g. Baker, 2002), shared knowledge construction (Arvaja et al., 2008), conceptual knowledge construction (Krange & Ludvigsen, 2008), intersubjective learning (Suthers, 2005), constructing shared understanding (Puntambekar & Young 2003) and collective thinking (Baker, 2010), and/or (b) shared learning activities such as coordination (Barron, 2000), negotiation of shared meanings (Miell and Littleton, 2004, Miell and Littleton, 2008 and Pea, 1993), elaboration and co-elaboration (e.g. Baker, 2003 and Hamilton, 1997), argumentation (Andriessen, 2006, Leitão, 2000 and Marttunen et al., 2005), explaining (Sandoval, 2003), mutual explaining (e.g. Webb, 1989 and Webb and Palincsar, 1996), observation of problem solving (Barron, 2003), questioning (Chin, 2002), providing and receiving constructive criticism (Sawyer, 2007), synthesizing multiple perspectives (Bielaczyc & Collins, 2006) or reasoning (e.g. Cobb and Yackel, 1996, Mercer et al., 2004 and Resnick et al., 1993)	2011
Faridah Pawan	· In this study, collaboration is defined as the collective action (D'Amour, 1997) undertaken by ESL (English as a Second Language) and content area teachers to address the needs of ELLs (English language learner) · Plus précisément, on peut dire qu'elle est un acte collectif posé par des personnes aux connaissances, expériences et provenances diverses dont on attend qu'elles produisent un résultat global qualitativement supérieur à la somme des actes posés par chacune prise séparément (D'Amour 2002). · D'Amour D, Sicotte C, Lévy R. (2002), L'action collective au sein d'équipes interprofessionnelles dans les services de santé. Sciences Sociales et Santé, 17 (3) : 67-94.	2011
Marcus Antonius Ynalvez	· Scientific collaboration is defined in many ways (Shrum et al., 2007). For Melin and Persson (1996) and Katz and Martin (1997), scientific collaboration is a form of interaction among producers of knowledge, allowing effective communication and exchange; sharing of skills, competencies and resources; working, generating and reporting findings together.	2011
Felix T.S. Chan	· As pointed out by Thomas and Griffin (1996), coordination creates significant value in the relationships along the value chain.	
Frank J. van Rijnsoever	· In this paper disciplinary research collaboration is defined as: "the collaboration between scientists from the same discipline with the goal of producing new knowledge." Interdisciplinary research collaboration is defined as: "the collaboration between scientists from different disciplines with the goal of producing new knowledge." The participating scientists often have different educational backgrounds, though this is not always the case. The distinctive feature of interdisciplinary collaboration is rather that scientists bring in skills, techniques or concepts originating from different disciplines. Also note that our definition does not imply that organizational boundaries are crossed; interdisciplinary collaborations can occur within university departments as well.	2011
Bingli Xu	· MacEachren et al. defined geo-collaboration from two aspects of activity and field of research as: ① "As an activity", geo-collaboration is "group work about geographic scale problems facilitated by geospatial information technologies"; ② "As a field of research", geo-collaboration is "the study of these group activities, together with the development of methods and tools to facilitate them" [25]. Geo-collaboration in CVGE supports six dimensions, which are summarized in Table 1.	2011
Obed Mfum-Mensah	· Collaboration is defined as "joint work for joint purposes" in one or more areas of shared concern, promoting mutual survival of member institutions. · It is also a condition that occurs when two or more people or organizations join forces over a long period of time to produce something neither can achieve alone. In the process, each participant contributes something significant and different, derives something of personal and/or organizational benefits, and acknowledges the mutual dependence on the other required to achieve the mutually desired results (Lawrence et al., 2002, Freeman, 1993 and Wallace, 1998).	2011
Felix T.S. Chan	· (Chong et al., 2009b and Kioses et al., 2007). Cohen and Roussel (2005) defined collaboration as the means by which supply chain members work together to achieve mutual	2012

Cross Ref.	Collaboration is defined	Année
	objectives by sharing ideas, information, knowledge, risks, and rewards. · Supply chain members in the collaborative SCM environment will therefore work together, have common objectives, share important information, and collaborate on supply chain activities (Serve et al., 2002 and Chong et al., 2009b).	
Lissa L. Gagnon	· In the work of Way et al., (2000, p.3) collaboration is defined as “a way of working, organizing, and operating within a practice group or network.”	2012
Althea L. Davies	· Collaboration is defined as a form of participation where stakeholders are jointly involved in priority setting and in the planning, implementation and evaluation stages of the process, thus allowing diverse stakeholders to work together to develop a more comprehensive understanding of the situation, to attempt to resolve a conflict or to develop solutions (Koontz, 2006). · It incorporates the notion of pooling resources and sharing responsibility to address issues that no party can solve individually (Berkes, 2009; Gray, 1985; Wondolleck and Yaffee, 2000)	2013
William H.A. Johnson	· Internal collaboration (exemplified by communication, information sharing and use of integrated teams from functional areas of product development, marketing and manufacturing) · Internal collaboration is defined as the association (via sharing of information and developmental activities in the NPD process) among functional departments within the firm (Brown and Eisenhardt, 1995). · External collaboration is related to the involvement of external entities in the development process. These entities are usually suppliers (e.g. Primo and Amundson, 2002 and Petersen et al., 2005) and customers (e.g. Campbell and Cooper, 1999 and Griffin and Hauser, 1993).	2013
Andreas Gegenfurtner	· Key conditions of the nature of joint working (e.g., shared goals, co-construction of knowledge, co-regulation, etc.)	2013
Novica Zarvić	· We create following core definition: collaboration is a joint work with a common goal.	2013
Peggy Hines	· Schrage (1991) defines collaboration by stating that “collaboration is the process of shared creation: two or more individuals with complementary skills interacting to create a shared understanding that none had previously possessed or could have come to on their own. Collaboration creates a shared meaning about a process, a product, or an event”	1998
Christopher Durugbo	· Collaboration means working together to achieve a common goal or to solve a problem, and	2011
Dinesh P. Chapagain	· Collaboration is a multi-dimensional and multi-level coordinated and co-operative relationship for development and growth. · Collaboration is defined as “co-operation with agencies, which are not immediately connected.” (Merriam Webster’s dictionary)	2012
Maud RIO	· The collaboration addresses a collaborative work activity among stakeholders in a broad sense, occurring during the process of product design.	2012
Bruno Chaudet	· According to K. Levan, “The first basic process, without which the other two can not take place, is communication. This process allows the interactions between individuals (actors / subjects) in a group. The second process, made possible by the communication is cooperation. This process enables the sharing and pooling of resources useful for coaction. The third process, optimized and made possible through communication and cooperation is coordination. This process allows the synchronization of actors and actions interdependence within a work process ”	2011
Elise GENDRON	· In our work, when we talk together, we consider the broad definition: “Collaborating is to work together in a joint work (Zaibet 2006).” “Collaboration occurs when two or more people communicate and interact in a common goal” (Weiseth 2006). It is a complex process in which actors perform tasks in a certain organization and distribution.	2010
Jean-Laurent Cassier	· Collaborating is work in a common work with a general purpose shared but with individual local goals. (Zouinar & Salembier, 2000; Darses, Détienne & Visser, 2001).	2010
Mohamed-El-Amine CHELLALI	· Collaboration is a common and synchronous work in which partners share resources and problems to reach a common goal: to achieve a common task (but they may also have personal goals). They synchronous and common reflection activities that solves the problem. At the end it can be difficult to distinguish the contribution of each partner in the solution finale.	2009
Gregory DYKE	· Collaboration and cooperation have been distinguished (Dillenbourg, 1999) as being respectively an activity which is made with an effort to maintain a joint conception of a problem and an activity wherein roles are distributed and tasks are executed in parallel in a co-ordinated way.	2009
Jean-Bernard BLUNTZER	· “The collaboration means a situation of collective work in which task and goal are common. All actors working on the same issues.” [Zaibet, 2006]	2009
JACQUELINE KONATE	· [BdV]03 : La collaboration est un effort conjoint vers la réalisation d'un but commun.	2009
Hanène CHETTAOUI	· Collaboration is a process in which actors with diverse interests, work together to find solutions to a common goal.	2008

Cross Ref.	Collaboration is defined	Année
Nassima OURAMDANE	· it represents all the actions of users working together to achieve a common goal.	2008
·Ali OUNI	· Collaboration refers to a group of people working together to produce a service or product. (Bannon et al., 1989). · This is a mutually beneficial relationship between two or more parties who work toward common goals by sharing responsibility, authority, and the need for accountability for achieving results (Chrislip, et al., 1995) · This is a process of "working together" to achieve a common goal where participants are mutually engaged, and interrelated through shared responsibilities and shared benefits. (Light, et al., 2001) · Commitment (stronger or weaker) between several parties, complementarity (particularly skills and resources) between the parties together, the interdependence of parts that collaborate with each other, sharing: objectives, risk, profits, authorities and responsibilities.	2008
Stéphanie GERBAUD	· The collaboration represents the fact of acting on several in order to achieve a common task	2008
Imen AMMAR KHELIL	· Larousse [Lar], To collaborate is to "work with the other" It is a common action where each partner finds her account without any guarantee of consistency of the respective objectives.	2007
Khadidja GREBICI	· In Management, Rioux [Rioux 2002] considers collaboration as "the establishment of a working method known common and optimized between a client and its suppliers." · In innovation, Perrin [Perrin et al design. 1999] defines collaboration as "the act of working together to combine knowledge and efforts to achieve something. The result is not a priori defined "	2007
· Thomas Nguyen Van	· [Peña-Mora 1996, Ruland 1995] define the collaboration as the capability to make sure that the communication between business entities, whereas for Dustdar and Webste	2006
Bertrand ROSE	· The collaboration involves the creation of a common vision of issues and a common space to store and share information. It is based on a mutual commitment of participants in a coordinated effort to solve the whole arised problem. · as the state "through which the various participating parties, observing the different aspects of a problem, can constructively explore their differences and search for solutions that go beyond their own limited vision of the possibilities."	2004
Charlotte DEJEAN-THIRCUIR	· Collaboration is a coordinated, synchronous activity that is the result of an ongoing effort that aims to maintain and build a shared representation to solve a problem. [...] The collaborative work is accomplished through a division of labor among participants, J. Roschelle et S. Teasley (1995), repris par P. Dillenbourg et al. (1996). · « Collaboration is a coordinated, synchronous activity that is the result of a continued attempt to construct and maintain a shared conception of a problem. » Roschelle , Teasley, 1995 : 8)91.)	2004
Razan TAHER	Collaboration: This concept refers to two visions of common work. The first focuses on the relationships in which there is an "applicant" defining an expected result for a "doer" responsible for realizing the result. In the second vision, roles are less defined hierarchically. People working together on a job and trying to achieve by combining their different perspectives, skills and abilities.	2003
Sihem MALLEK	The collaboration represents a collective effort in which the activities are carried out by all to accomplish a mission.	2011

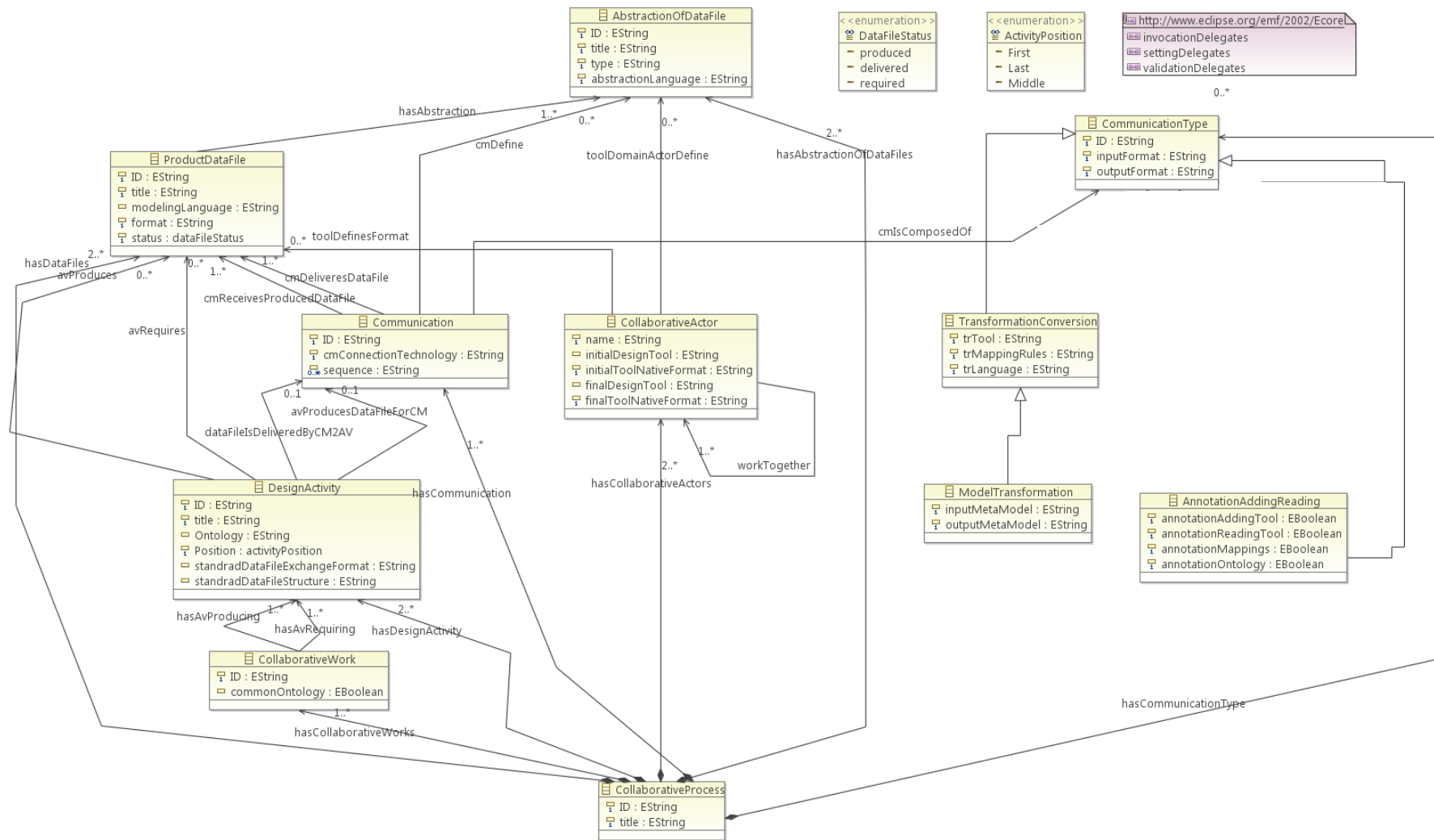
ANNEXE B – Classifications de la collaboration et leurs

Reference	Cross-reference	Criterion
<i>Criterion is more related to the actors in collaboration</i>		
Ynalvez, 2011	-	Degree of involvement and location
Xu, 2007	MacEachren et al. 2007	Interaction characteristics
Husted, 2010	-	Profile of individual collaborators and the group
	-	Number of firms involved
Jha, 2010		Heterogeneity
Chellali, 2009	-	Number of participants
Girard, 2006	-	Definition of process
	-	Freedom to collaborate
	-	Collaborative experience
Rose, 2004	crow, 2002	Level of collaboration and degree of membership
<i>Criterion is more related to the communication in collaboration</i>		
Xu, 2011	MacEachren et al. 2007	Interaction characteristics
	MacEachren et al. 2008	Mediator
Segond, 2011	Johansen, 1988	Time
Chettaoui, 2011	Johansen, 1988	Time
Husted, 2010	-	Profile of individual collaborators and the group
	-	Communication channels adopted
	-	Frequency, duration of interaction
Jha, 2010		Intensity
		Modality
Chellali, 2009	-	Time-based distribution of participants
Neubert, 2009	-	Intensity of relation
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: applied IT (Information Technology)
Lima Dutra, 2009	-	Collaborative system features
Sarjoughian, 2000	Grudin, 1994	Time, Space
Yahia, 2012	-	Semantic Interoperability
	ISO (ISO FDIS 11354-1 2010)	Different types of Interoperability
	(Camara, Ducq et Dupas 2010)	Key Performance Indicators of interoperation
	(AFIS 2009)	Different types of Interoperability
	(Ducq et Chen 2008)	Compatibility (in Interoperability Evaluation)
	(Chen, Vallespir et Daclin 2008)	Performance of interoperation
	(Autran, et al. 2008)	Different types of Interoperability
	(Ford, et al. 2007)	Interoperability-Score in different types of Interoperability
	(Daclin, Chen et Vallespir 2006)	Different types of Potential Interoperability
	(Bianchini, et al. 2006)	Degree of coupling in different types of Interoperability
	(Gallaher, et al. 2004)	Cost of Interoperability
	LCIM (Tolk 2003)	Integration approach of interoperability
	EIMM (ATHENA 2003)	Organizational Interoperability
	(Barut, Faisst et Kanet 2002)	Degree of coupling in supply chain concerning conceptual Interoperability
	OIM (Clark et Jones 1999)	Organizational Interoperability
	NIST (Tassey, Brunnermeier et Martin 1999)	Cost of Technical Interoperability
	LISI (C4ISR 1998)	Technical Interoperability
	IAM (Leite 1998)	Technical Interoperability
	(Castano et Antonellis 1998)	Degree of coupling in different types of Interoperability
	MCISI (Amanowicz et Gajewski 1996)	Technical Interoperability
	QoIM (Mensch, Kite et Darby 1989)	Different types of Interoperability
	SoIM (LaVeau 1980)	Technical Interoperability
<i>Criterion is more related to the process in collaboration</i>		
Hébert, 2013	-	collaboration formats

Reference	Cross-reference	Criterion
Xu, 2011	-	Tasks in geo-collaboration
	-	decision making
	MacEachren et al. 2004	Collaborative task
	MacEachren et al. 2006	Spatial and temporal context
Segond, 2011	Johansen, 1988	time
Chettaoui, 2011	Johansen, 1988	temps
	Hoc, 2001	Process of cooperation
	Nezamirad, 2005	Distribution of tasks, coordination
Husted, 2010	-	Formality of collaboration
	-	nature of norms and the corresponding sanctions
	-	how the collaboration is resourced
	-	the nature of interaction among individual workers
	-	the frequency, duration of interaction
	-	History of collaboration
Evans, 2010	-	shared entity
Jha, 2010	-	Extent
	-	Velocity
	-	Formality
Chellali, 2009	-	Division du travail
	-	Time-based distribution of participants
	Bardram, 1998	dynamic of cooperative work
Neubert, 2009	Derrouiche et al, 2008a	Number of relations
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: structure de la relation
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: applied IT (Information Technology)
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: life cycle of relation
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation:: generality of enterprise and its environment
Lima Dutra, 2009	-	Collaborative system features
Touzi, 2009	-	Common and exchanged elements
Gruat La Forme, 2007	-	Capacity and maturity of collaboration
	-	Existence of a stimulus
	-	Dimension
Girard, 2006	-	Perimeter
	-	Definition of process
	-	Collaborative experience
Villareal, 2005	-	Tempos
	-	Confidentiality
Sarjoughian, 2000	JGrudin, 1994	Time, Space
<i>Criterion is more related to the shared and common elements between actors of collaboration</i>		
Johnson, 2013	-	Actors/Organization borders
Hébert, 2013	-	Collaboration formats
Xu, 2011	-	Data storage
	MacEachren et al. 2003	Problem context
	MacEachren et al. 2005	Commonality of perspective
Segond, 2011	Johansen, 1989	Space
Cheriti, 2011	Johnsen et al. 2008	Characteristics of relation
Chettaoui, 2011	Johansen, 1989	Space
Husted, 2010	-	The profile of individual collaborators and the group
	-	Knowledge distance between the individual collaborators and between the companies they represent
	-	Nature of interaction among individual workers
	-	geographical scope
Evans, 2010	-	Shared entity
Jha, 2010	-	Substance/content
	-	Heterogeneity

Reference	Cross-reference	Criterion
Chellali, 2009	-	Space-based distribution of participants
Neubert, 2009	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: climate of relation
	Derrouiche et al, 2008a	Context of relation: climate of relation: structure of relation
Touzi, 2009	-	Common and exchanged elements
Sanders, 2007	-	Actors/Organization borders
	-	Participants location
Rose	crow, 2002	Level of collaboration and degree of membership
Togar & Sridharan	-	Competency
Gask, 2005	-	Goals conflict

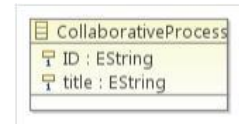
ANNEXE C – Méta-modèle de processus collaboratif



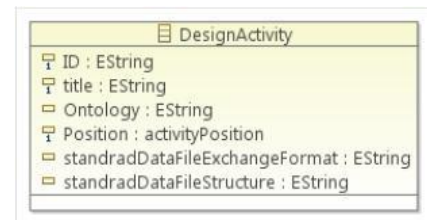
A) Concepts (Classes)

Dans les points suivants d'abord les principaux éléments, les concepts, du modèle conceptuel sont expliqués.

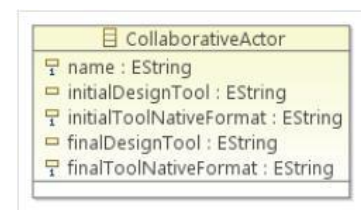
- 1) **CollaborativeProcess** : cet élément du modèle conceptuel est la racine de celui-ci. Il dispose d'un identifiant (ID : CPxx) et d'un titre (Title).



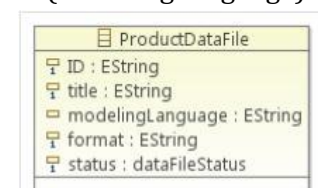
- 2) **DesignActivity** : Cet élément représente les activités de conception dans le processus. Chaque activité de conception est une activité avec un seul concepteur. Les attributs d'une activité sont: l'identifiant (ID : AVxx), le titre (Title), l'ontologie utilisé dans l'activité (Ontology : False ou le nom d'ontologie associé), la position de l'activité dans le processus (Position : First, Middle ou Last), la norme de format d'échange (standradDataFileExchangeFormat) et la norme de la modélisation de donnée (standardDataFileStructure). En effet, si ces normes existent pour une activité, elles doivent être respectées par le concepteur qui gère cette activité.



- 3) **CollaborativeActor** : cet élément représente les concepteurs (ou un groupe de concepteurs identité unique) travaillant sur les activités de conception. Les attributs sont : le nom (name), un outil de conception initiale pour récupérer les fichiers d'entrée (initialDesignTool) et un outil de conception finale (initialDesignTool) pour développer les fichiers de sortie. Chaque outil de conception a également un format de fichier natif (initialToolNativeFormat et finalToolNativeFormat).

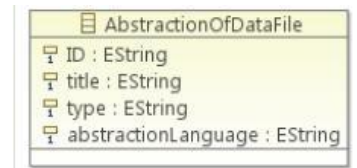


- 4) **productDataFile** : cet élément représente les fichiers, contenant des données de produit, échangés entre les activités de conception. Chaque fichier peut être un fichier produit ou un de requis par une activité de conception, ou un fichier livré à une activité (via une des moyen de communication). En effet, chaque fichier de données a un statut (status : produit, delivered ou required). Un fichier a également les attributs suivants : l'identifiant (ID : DFxx), le titre (title), le format (format), et le langage de modélisation (modelingLanguage).



- 5) **abstractionOfDataFile** : cet élément représente l'abstraction d'un fichier de données. Une

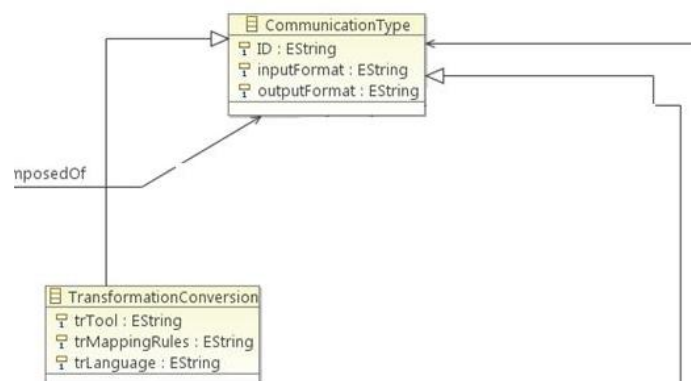
abstraction elle-même est un fichier avec les attributs suivants : l'identifiant (ID : ADFxx), le titre (title), le type (type : meta-model, conceptual model, XML schema (XSD), etc) et un langage d'abstraction (abstractionLanguage : EMF, UML, XML, etc). L'abstraction de fichier de données peut être définie par l'outil de conception, le domaine ou l'acteur.



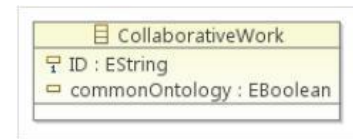
- 6) **Communications** : cet élément représente le lien entre les activités de conception et il a le rôle de la réception et la livraison des fichiers de données d'une activité à une autre. Chaque communication a les attributs suivants : l'identifiant (ID : CMxx), la technologie de connexion (cmConnectionTechnology : LAN, email, etc) et la séquence qui désigne la combinaison chronologique de CommunicationTypes appliquée dans la communication (sequence : CMTaa-CMTbb-CMTcc-...) (voir point 6 pour CMT).



- 7) **communicationType** : Cet élément représente un mode particulier de communication qui peut être une solution d'interopérabilité telle que la transformation de modèles, qui modifie la syntaxe ou les sémantiques d'un fichier de données. En réalité, un CommunicationType n'est pas une activité (de conception) à valeur ajoutée, mais il facilite l'interopérabilité technique ou sémantique. En effet, même si le CommunicationType est géré par un designer, ce n'est pas une activité de conception. En outre, il est également considéré qu'un communicationType est une tâche séparée qui est réalisée après la production de donnée par l'activité de conception. Cet élément a les attributs obligatoires suivants : l'identifiant (ID : CMTxx), le format de fichier d'entrée (inputFormat) et le format de fichier de sortie (outputFormat). Le reste des attributs dépend du mécanisme de communication. Certains des mécanismes actuels ont été identifiés sur la base des études bibliographiques sur les solutions d'interopérabilité existants : la conversion/transformation, la médiation, le service web, l'annotation, etc. Dans le modèle conceptuel, ces mécanismes sont connus par des concepts distincts avec un lien généralisation (héritage) avec le concept « CommunicationType ».



- 8) CollaborativeWork** : cet élément est un concept intermédiaire qui groupe les activités de conception et les communications associées comme un travail collaboratif. Cette classe possède les attributs suivants : l'identifiant (ID), l'ontologie ontologie commune entre les activités (commonOntology : True ou False).



B) Associations (liens entre les concepts)

Dans les points suivants, les liens, les associations, entre les principaux concepts exposés ci-dessus, sont expliqués. Il doit être mentionné que ces associations sont directionnelles. En effet, s'il est orienté d'un concept vers un autre, le premier est en possession de cette association.

- 1) Les associations du concept du processus collaboratif (CollaborativeProcess) :** Ces associations indiquent les concepts existants dans un processus collaboratif.

2) Les associations du concept d'activité de conception (designActivty) :

- avProducesDataFileForCM et DataFileIsDeliveredByCM2AV : Ces associations sont entre les activités de conception et la communication :
 - la première indique que l'activité de conception produit un fichier de données pour la communication qui s'occupera de ce fichier.
 - La deuxième indique que la communication livre un fichier de données à l'activité de conception.
- cmRequiresDataFile et cmProducesDataFile : Ces associations sont entre les activités de conception et les fichiers.
 - La première indique que les fichiers sont requis par l'activité.
 - La deuxième indique que les fichiers sont produits par l'activité.
- avHasActor : Cette association est entre une activité de conception et un acteur (concepteur). L'acteur gère cette activité.

3) Les associations du concept d'acteur de collaboration (CollaborativeActor) :

- toolDefinesFormat : Cette association est entre un acteur et un ou plusieurs fichiers (productDataFile). Le premier outil (initailDesignTool) utilisé par le concepteur, pour l'exécution des fichiers requis, définit le format de ces fichiers. En outre, le dernier outil (finalDesignTool) utilisé par le concepteur, pour produire les fichiers, définit le format des fichiers produits.
- toolDomainActorDefine : Cette association est entre un acteur et un ou plusieurs abstraction de contenu des fichiers (abstractionOfDataFile). Pour un fichier de données, l'abstraction de contenu peut être défini par l'outil de conception, par le nom de domaine ou par le concepteur (acteur).

4) Les associations du concept de fichier de données de produit (productDataFile) :

- hasAbstraction: Cette association est entre un fichier et une abstraction de ses contenus (abstractionOfDataFile).

5) Les associations du concept de communication :

- cmIsComposedOf: Cette association est entre une communication et zéro ou plusieurs mécanismes de communication (CommunicationType). Cela indique les différents mécanismes de communication inclus dans la communication entre les activités de conception et de production nécessitant des fichiers de données.
- cmReceivesProducedDataFile et cmDeliveresDataFile : ces associations sont entre la communication et les fichiers :
 - La première indique qu'une communication reçoit certains fichiers de données avec le statut « produced ».
 - La deuxième indique qu'une communication livre certains fichiers de données avec le statut « delivered ».
- cmDefine : Cette association est entre une communication et une ou plusieurs abstractions. La communication définit l'abstraction des fichiers qu'elle livre.

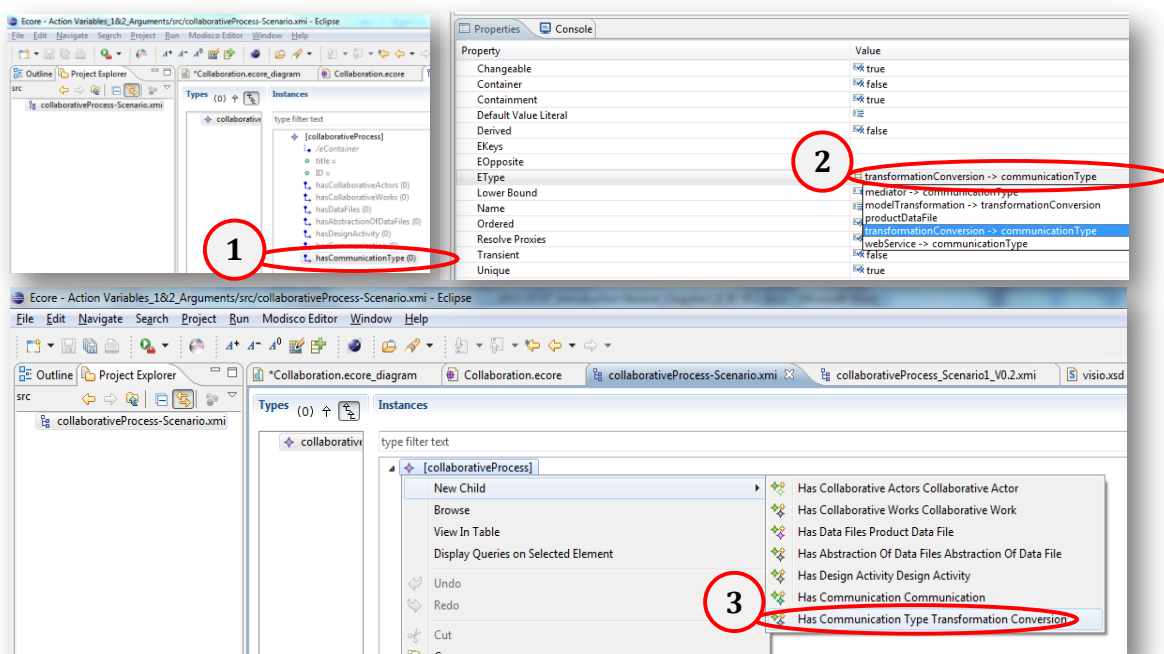
6) Les associations du concept de travail collaboratif (CollaborativeWork) :

- hasAcRequiringData et hasAcRequiringData : ces associations sont entre les travaux collaboratifs et les activités :
 - la première indique qu'un travail collaboratif est associé à une ou plusieurs activités de conception qui produisent des fichiers.
 - la deuxième indique qu'un travail collaboratif est associé à une ou plusieurs activités de conception qui requièrent des fichiers

ANNEXE D – Instructions pour l'ajout de l'élément « CommunicationType »

L'ajout d'élément CommunicationType au modèle de processus (fichier XMI généré dans Eclipse), est illustré par la figure ci-dessous :

- 1) Sélectionner « hasCommunicationType »
- 2) Modifier les propriétés considérant le type de communication
- 3) Ajouter le type de communication au modèle



ANNEXE E – Contraintes OCL

```

class CollaborativeWork
{
    invariant CI002_Final_Tool_Produced_Data_File:
    self.hasAvProducing.hasActor.finalToolNativeFormat =
    self.hasAvProducing.avProduces.format;

    invariant CI004_OK_Same_Produced_and_Received_Data_File:
    self.hasAvProducing.avProduces =
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmReceivesProducedDataFile;

    invariant CI001_OK_Same_Communication:
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM =
    self.hasAvRequiring.dataFileIsDeliveredByCM2AV;

    invariant CT01_POTENTIAL_Syntax_Matching_Produced_vs_Required:
    self.hasAvProducing.avProduces.format =
    self.hasAvRequiring.avRequires.format;

    invariant CI005_Production_Delivery_Same_In_Situation_I:
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmIsComposedOf->size() =
    0 implies
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmReceivesProducedDataFile.format =
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmDeliveresDataFile.format;

    invariant CT02_REAL_Syntax_Matching_Delivered_vs_Required:
    self.hasAvRequiring.avRequires.format =
    self.hasAvProducing.avProducesDataFileForCM.cmDeliveresDataFile.format;

    invariant CI003_Initial_Tool_Required_Data_File:
    self.hasAvRequiring.hasActor.initialToolNativeFormat =
    self.hasAvRequiring.avRequires.format;
}

```

CONTRIBUTION À L'ANALYSE DES PERFORMANCES DANS LES ÉCHANGES DE DONNÉES D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE

RÉSUMÉ : Un processus de conception que ce soit d'un produit ou d'un service est composé d'un grand nombre d'activités reliées par des échanges nombreux de données et d'informations. La qualité de ces échanges, appelés collaborations, nécessite d'être capable d'envoyer et de recevoir des informations et données utiles, compréhensibles et univoques pour les différents concepteurs impliqués. La problématique de ces travaux de thèse se focalise donc sur la définition et l'évaluation de la performance des collaborations, et par extension, du processus de conception dans sa totalité. Cette évaluation de la performance exige la définition de plusieurs éléments clefs tels que : les objets à évaluer, les indicateurs de performance et les variables d'actions. Afin de définir l'objet d'évaluation, ces travaux s'appuient sur une étude de la littérature afin de proposer un méta-modèle de la conception collaborative. La mesure de la performance dans les échanges de données est quant à elle basée sur le concept d'interopérabilité. Cette mesure estime ainsi l'interopérabilité technique et sémantique des différents échanges de données élémentaires. Ces travaux se concluent par la proposition d'un cadre méthodologique outillé d'évaluation de performance. Par une approche en deux étapes (modélisation puis évaluation), ce cadre facilite l'identification des échanges de données peu performants et de leurs causes. Ce cadre est illustré et validé à l'aide d'un exemple académique et d'une étude de cas dans le cadre de la conception.

Mots clés : Processus de conception, collaboration, échange de données, analyse de performance, interopérabilité, méta-modèle, modélisation de processus, matching.

CONTRIBUTION TO THE PERFORMANCE ANALYSIS IN DATA EXCHANGES OF A COLLABORATIVE DESIGN PROCESS

ABSTRACT: A design process, whether for a product or for a service, is composed of a large number of activities connected by several data and information exchanges. The quality of these exchanges, called collaborations, requires being able to send and receive data which are useful, understandable and unambiguous to the different designers involved. The research question is thus focused on the definition and evaluation of the performance of collaborations, and by extension, of the design process in its entirety. This performance evaluation requires the definition of several key elements such as object(s) to be evaluated, the performance indicator(s) and action variable(s). In order to define the object of evaluation, this research relies on a study of the literature resulting in a meta-model of collaborative process. The measurement of the performance of the collaborations is for its part based on the concept of interoperability. The measurement of this performance is for its part based on the concept of interoperability. Furthermore, this measure estimates the technical and conceptual interoperability of the different elementary data exchanges. This work is concluded by proposing a tooled methodological framework for performance evaluation in data exchanges. Through a two-step approach (modeling and evaluation), this framework facilitates the identification of inefficient data exchanges and their causes. This framework is illustrated and validated using an academic example and a case study in design domain.

Keywords : design process, collaboration, data exchange, performance analysis, interoperability, meta-model, process modeling, matching.