

ANALYSE ET EVALUATION DES MODELES DANS LE CADRE DE L'INGENIERIE D'ENTREPRISE ET DES SYSTEMES D'INFORMATION

S. IZZA

Ecole des Mines de Saint-Étienne
Laboratoire G2I
158 cours Fauriel
42023 Saint-Etienne Cedex 2, France
izza@emse.fr

RESUME : *Ce papier présente quelques travaux qui ont été menés en partie dans le cadre du projet Easy-DIM sur l'analyse et l'évaluation des modèles d'entreprise et des systèmes d'information. Il décrit une synthèse des principales typologies de modèles ainsi que les principaux modèles de référence qui peuvent être pertinents dans le cadre d'une approche de modélisation et en particulier dans le cadre d'une ingénierie dirigée par les modèles. Il présente ensuite l'analyse et l'évaluation qui ont été menées, en se focalisant notamment sur le cadre conceptuel d'évaluation, les principaux éléments et aussi les principaux résultats qui découlent de cette étude.*

MOTS-CLES : *Modèle d'entreprise; Modèle de système d'information; Typologie des modèles; Modélisation; Méta-modèle; Modèle de référence; Ontologie; Langage; Architecture; Ingénierie par les modèles; Evaluation.*

1 INTRODUCTION

Ce papier présente quelques travaux qui ont été menés d'une part, dans le cadre du projet Easy-DIM (Easy-DIM 2007) qui porte sur l'ingénierie d'entreprise et de système d'information dirigée par les modèles, et d'autre part, dans le cadre du consortium CoPaS (CoPaS 2007) qui a pour mission de mener des recherches sur les problématiques industrielles liées à l'agilité des entreprises et des systèmes d'information en utilisant le concept de service. Il a pour objet de discuter et de présenter une première tentative de synthèse des principales typologies de modèles pouvant être mises en œuvre dans le cadre de la modélisation d'entreprise et des systèmes d'information. Il propose également de passer en revue quelques modèles de référence qui sont très utilisés dans l'industrie.

Ce papier est organisé comme suit. La section 2 présente quelques définitions liées à la notion de modèle. La section 3 expose les utilisations typiques des modèles. La section 4 décrit les grands principes de modélisation. La section 5 décrit une tentative de synthèse des principales typologies de modèles. La section 6 survole les principaux modèles de références. La section 7 décrit l'analyse et l'évaluation des modèles qui a été menée. Finalement, la section 8 clôt ce papier par quelques conclusions et perspectives.

2 DEFINITIONS

La notion de modèle est utilisée dans plusieurs disciplines. De ce fait, il existe une multitude de définitions de ce terme. Un modèle est une représentation de la structure et du comportement d'un système. Un modèle peut être défini comme une image simplifiée et malléable du monde réel au travers d'observations et de mesures. Dans le contexte de l'entreprise, un modèle est une abstraction d'un système qui spécifie ce système selon un certain

point de vue et à un certain niveau d'abstraction. Dans le contexte des systèmes d'information, on définit habituellement un modèle comme un ensemble de concepts (ou d'artefacts) et de règles pour les utiliser permettant de modéliser le système d'information à différents niveaux d'abstraction (Rolland 1988).

Par modélisation d'entreprise ou de systèmes d'information, nous entendons la mise en œuvre d'outils et de méthodes pour construire des modèles. Pour simplifier, on considère généralement que la modélisation s'articule autour de trois types d'éléments: (i) l'objet de la réalité à modéliser et qui peut être concret ou abstrait ou une combinaison d'éléments abstraits et d'éléments concrets; (ii) un modèle conceptuel définissant le ou les concept(s) associé(s) à l'objet modélisé; (iii) un modèle de représentation qui symbolise l'objet de la réalité et qui permet de codifier le modèle conceptuel.

La complexification des réalités à modéliser, en particulier des entreprises, a conduit à des démarches de modélisation plus globalisantes, -la modélisation systémique. Dans une première approche, dite réductionniste, la représentation du système a d'abord été essentiellement fonctionnelle en mettant l'accent sur les fonctions du système et des flux échangés. Ensuite, la représentation a été comportementale en intégrant les aspects continus et événementiels en mettant l'accent sur l'enchaînement des fonctions. Et enfin, des représentations sémantiques permettant de structurer les informations de l'univers décrit.

Notons aussi que dans la littérature, le modèle conceptuel constitue le modèle sémantique (sens); et le modèle de représentation constitue le modèle syntaxique. En pratique, il existe toujours une confusion entre ces deux types de modèles. D'ailleurs, cette confusion trouve son origine dans celle qui existe entre modèle et langage de modélisation. En effet, si l'on excepte les modèles iconi-

ques réduits, les modèles s'apparentent souvent sur le terrain à des langages de représentation (ou de modélisation), généralement de plus en plus formalisés à mesure que l'on passe de l'espace du problème à celui de la solution, en créant ainsi une certaine confusion entre résultat (modèle) et moyen de décrire ce résultat (langage). C'est d'ailleurs ce qui a conduit à une prolifération de langages et architectures de modélisation (RdP, IDEF, CIMOSA, GRAI, UML, BPEL, etc.). La figure 1, essentiellement inspirée de la norme IEEE (IEEE 2000) illustre les différentes interactions pouvant exister entre ces concepts intervenant dans le cadre d'une modélisation d'entreprise. Cette figure met également en évidence le fait qu'au-delà même de leur diversité, les modèles présentent une caractéristique commune du fait d'une part, qu'ils sont des éléments d'architecture qui sont porteurs d'information et qui véhiculent de la connaissance sur les systèmes; et d'autre part, qu'ils sont l'expression dans un langage donné d'un point de vue particulier du système.

De part la complexité des systèmes à modéliser et la multitude des dimensions à considérer, la plupart des architectures doivent être multi-modèles et doivent s'appuyer sur plusieurs langages de modélisation. Pour cela, les multiples cadres de modélisation qui existent (CIMOSA, GRAI-GIM, PERA, GERAM, etc.) permettent de situer les différents modèles les uns par rapport aux autres et d'assurer surtout la cohérence de l'ensemble. Nous reviendrons sur les principales typologies de modèles dans la section 5.

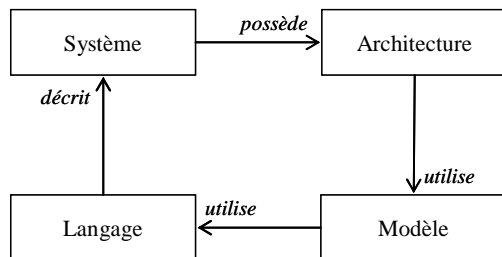


Figure 1. Modèles, architectures et langages

3 UTILISATIONS TYPIQUES

Les utilisations typiques des modèles d'entreprise sont (Nathan et Wood 1991) (Curtis et al. 1992) (Snodgrass 1993) (Adams 1995) (Reimann et Sarkis 1996) (Whitman et Presley 1997) (Vallespir et Doumeingts 2005): (i) comprendre, (ii) analyser, (iii) raisonner, (iv) simuler, (v) communiquer, (vi) piloter le fonctionnement, (vii) capitaliser et partager les connaissances, (viii) concevoir, (ix) spécifier les applications informatiques, (x) conduire l'évolution, et (xi) évaluer la performance, (xii) faciliter la certification aux normes nationales ou internationales de l'entreprise. Comme on peut le remarquer, les points (i) à (iv) concernent la vision des scientifiques, les points (v) à (vii) concernent la vision des managers, et les points (viii) à (xi) concernent la vision des ingénieurs. De son côté, (Petrie 1992) décrit l'importance des modè-

les d'entreprise dans la compréhension commune de l'entreprise et de ses interactions.

Il est fondamental de retenir que le partage et la capitalisation de la connaissance sont fortement favorisés par l'utilisation des modèles. En effet, c'est à travers les modèles qu'un nouvel arrivant dans le projet ou un spécialiste doit pouvoir appréhender le système sous toutes ses dimensions afin d'en construire le modèle selon son propre point de vue. C'est aussi avec des modèles, éventuellement concrétisés sous forme de simulateurs d'entraînement, que se formeront des techniciens et des ingénieurs de plusieurs disciplines. Et c'est également grâce aux modèles que nous pouvons capitaliser nos connaissances sur les produits et les processus de fabrication dans la mesure où les modèles sont plus stables que les produits et les processus du fait de leur indépendance de l'évolution technologique.

4 PRINCIPES DE LA MODELISATION

(Ross et Schoman 1977) listent quatre principaux besoins de toute technique de modélisation: (i) l'objectif du modèle, (ii) le périmètre ou le scope du modèle, (iii) le point de vue du modèle, et (iv) le niveau de détail du modèle. (Vernadat 1996) étend cette liste dans le cadre de la modélisation avec CIMOSA en ajoutant huit principes supplémentaires: (i) le principe de séparation des préoccupations, (ii) le principe de décomposition fonctionnelle, (iii) le principe de modularité, (iv) le principe de généricité, (v) le principe de réutilisation, (vi) le principe de séparation du comportement et des fonctionnalités, (vii) le principe de découplage des processus et des ressources, et (viii) le principe de conformité. (Vernadat 1996) cite aussi d'autres principes empruntés à (Ward et Mellor 1985): (i) le principe de visualisation, (ii) le principe de simplicité versus adéquation, (iii) le principe de management de la complexité, (iv) le principe de la rigueur en représentation, (v) le principe de séparation du contrôle et des données.

Ces principes peuvent être plus ou moins évalués en utilisant des critères d'évaluation des modèles. En littérature, ces critères sont aussi divers que variés. Dans le contexte de la modélisation d'entreprise, nous pouvons retenir les critères suivants qui nous paraissent les plus représentatifs et dont certains sont repris dans les sections 5 et 7 traitant respectivement des typologies et de l'évaluation des modèles (Van Belle et Eccles 1999): conformité, fiabilité, complétude, vérifiabilité, validité, exécutabilité, pertinence, simplicité, concision, actualité, et coût.

5 TYPOLOGIE DES MODELES

Les modèles peuvent différer selon plusieurs dimensions, issues pour la plupart des principes exposés précédemment: les supports d'expression employés, les points de vue, les niveaux d'abstraction, les niveaux de détail, etc. Chacune de ces dimensions peut donner naissance à

une typologie de modèles. Dans le contexte du projet Easy-DIM (Easy-DIM 2007), nous nous sommes focalisés sur quelques typologies qui nous paraissent les plus représentatives et qui portent selon:

- le degré de formalité;
- la nature de l'usage;
- les vues de l'entreprise;
- la nature de l'objet de modélisation;
- le degré de vivacité;
- le niveau de modélisation;
- et le niveau de généralité.

5.1 Typologies selon le degré de formalité

Tout d'abord, les modèles peuvent être classifiés selon le degré de formalité. (Brifaut 2006) distingue dans le cadre de la gestion de l'entreprise les types de modèles de décisions suivants: (i) modèle rationnel: dont le problème est complètement structuré et dont les décisions peuvent être calculées sur la base d'une modélisation rationnelle; (ii) le modèle intuitif: dont le problème est partiellement structuré et dont les décisions sont prises sur la base d'intuitions et d'expérience; et (iii) le modèle primitif: dont le problème n'est pas structuré et dont les décisions sont improvisées. Bien entendu, dans le contexte de l'ingénierie et l'intégration d'entreprise menée dans le cadre du projet Easy-DIM (Easy-DIM 2007), nous nous intéressons principalement aux modèles rationnels.

En lien avec le degré de formalité, les modèles peuvent être aussi classifiés selon le moyen d'expression employé. Dans ce sens, nous pouvons distinguer (Edmonds 1999) (Lyytinen 1987): (i) les modèles physiques incluant les modèles iconiques réduits utilisés en architecture et en mécanique (Achinstein 1973) (Suppe 1973) et les modèles de Fisher employés pour la modélisation de la masse monétaire en utilisant des liquides colorés (Morgan 1996); (ii) les modèles mathématiques qui sont basés sur des symboles et équations mathématiques; (iii) les modèles analogiques qui offrent une certaine analogie entre le modèle et l'objet; (iv) les modèles symboliques qui sont basés sur des symboles abstraits; des modèles schématiques qui utilisent des diagrammes ou des organigrammes; (v) les modèles informatiques qui sont exécutables par des machines; et (vi) des modèles linguistiques qui se basent sur l'utilisation des langages naturels.

Une autre typologie est celle qui distingue les modèles syntaxiques et les modèles sémantiques. Les modèles syntaxiques sont ceux qui reposent sur une approche syntaxique de description permettant des constructions valides des modèles (Ayer 1936) (Chomsky 1965) (Miller et Torris 1989), tandis que les modèles sémantiques reposent sur approche sémantique favorisant l'interprétation ainsi que les relations entre les concepts (Katz et Fodor 1964) (Suppes 1967) (Sowa 1984) et qui reposent très souvent sur la sémantique issue de la linguistique (Giere 1985). C'est dans cette dernière catégorie de mo-

dèles que nous pouvons classer la notion d'ontologie qui est définie par (Gruber 1993) comme la "spécification formelle et explicite d'une conceptualisation" et qui peut faire l'objet d'un traitement totalement automatique.

Notons qu'il existe une autre typologie liée au degré de formalité et qui permet de classer les modèles selon le degré d'exploitabilité: les modèles visualisables et exécutables (Van Belle et Eccles 1999): En effet, certains modèles ne sont utilisés que pour la compréhension et la communication, ils sont donc essentiellement visualisables, tandis que d'autres exploitent des langages de programmation et peuvent donc être exécutables. Comme on peut le constater, il est bien entendu que le degré d'exploitabilité d'un modèle est proportionnel à son degré de formalité.

5.2 Typologies selon la nature de l'usage

Il est également possible de classer les modèles en fonction du type d'usage. (Afis 2007) propose les types de modèles suivants:

- Les modèles cognitifs qui sont utilisés pour l'analyse et l'exploration du problème ainsi que la validation des concepts opérationnels de la solution. Notons que la recherche et la validation des concepts opérationnels nécessitent des modélisations globales de haut niveau et que la définition des scénarios opérationnels suppose la modélisation du comportement des systèmes de l'environnement.
- Les modèles normatifs qui participent à la définition de la solution à différents niveaux d'abstraction et de granularité. A chaque niveau, on utilise deux types de modèles normatifs: des modèles prescriptifs qui représentent ce à quoi la solution doit satisfaire et supportent ainsi la définition des exigences, et des modèles constructifs qui représentent les architectures du système et leur fonctionnement.
- Les modèles prédictifs qui sont utilisés pour prévoir et valider le comportement des systèmes. Généralement, les techniques de spécification et de modélisation formelles permettant d'établir des preuves théoriques de conformité de comportement répondent à ce besoin dans de multiples domaines dont celui du logiciel et de l'électronique numérique. Plus généralement, les exigences de performances et de sûreté de fonctionnement sont estimées grâce à des modèles prévisionnels analytiques, éventuellement statistiques ou stochastiques et à des techniques de simulation associées, sous réserve d'utiliser les modèles dans leurs limites de validité.

Cette dernière typologie rejoint quelque peu celle proposée par (Brifaut 2006) qui distingue trois typologies de modèles: (i) les modèles de connaissance, (ii) les modèles de comportement, et (iii) les modèles de compréhension. Les modèles de connaissance font appel aux lois de la nature, de la logique formelle ou à celle des comportements humains, et ont un caractère prédictif et explicatif, nécessitant l'existence d'une théorie. Les modèles de comportement ne reproduisent pas les lois descriptives

du processus réel modélisé, mais reproduisent le comportement des opérations du processus tel qu'il est perçu de l'extérieur, essentiellement au travers des entrées/sorties. Les modèles de compréhension sont généralement des modèles élémentaires que se font les opérateurs amenés à travailler sur un processus.

5.3 Typologies selon les vues de l'entreprise

La description de l'entreprise par modèles comporte principalement (Brifaut 2006): (i) les modèles de contrôle (MoC); (ii) les modèles de fonction (MoF); (iii) les modèles de processus (MoP); et (iv) les modèles de l'organisation (MoO). Les modèles de contrôle décrivent les processus primaires d'une entreprise et la façon dont ces processus sont pilotés. L'objet central de ces modèles est de faire apparaître principalement les déclencheurs d'action et les fonctions de pilotage. Les modèles de fonction sont une description des activités constituant les fonctions de l'entreprise. L'objet central de ces modèles est de décrire les tâches rassemblées en activités en faisant abstraction des contraintes organisationnelles. Les modèles de processus reprennent les fonctions du MoC et les activités du MoF et définissent l'enchaînement logique des activités et des événements subordonnés sous forme de processus. Les modèles de l'organisation (MoO) permettent de décrire la structure organisationnelle de l'entreprise en termes de rôles, de responsabilités et d'acteurs de l'entreprise.

Cette typologie est globalement similaire à celle proposée dans UEML et qui préconise les types de modèles suivants: (i) modèles de processus et de fonctions permettant de représenter les fonctionnalités et le comportement de l'entreprise, (ii) des modèles informationnels pour collecter des connaissances sur les objets de l'entreprise, (iii) les modèles de ressources qui permet de représenter les ressources humaines et techniques de l'entreprise, (iv) et les modèles d'organisation qui représentent les responsabilités les relations d'autorité au sein de l'entreprise.

En ce qui concerne, la modélisation des processus d'entreprise (MoP), et en particulier des processus métier, nous devons constater que l'analyse de la littérature permet d'établir plus ou moins une certaine convergence des concepts utilisés. A ce titre, l'analyse des modèles les plus représentatifs du moment comme les modèles issus de l'outil ARIS, de l'outil ADONIS, de la méthode OSSAD, du formalisme BPMN et du langage UML permet de confirmer cette constatation. En effet, ARIS (IDS Sheer 2007) se base sur le modèle de processus qui inclut principalement les diagrammes de chaîne de processus événementiel (CPE), le diagramme de chaînes de processus (DCP) et la structure d'organisation (l'organigramme); ADONIS (BOC 2007) se base sur trois types de modèles qui sont: la carte de processus, le modèle d'environnement de travail, et le modèle de processus opérationnel; OSSAD (Chappelet et Snella 1997) se base le modèle abstrait, le modèle de rôles, le modèle de pro-

cédures, le modèle d'opérations, la matrice activités-rôles, et le modèle d'unités organisationnelles; BPMN repose sur un formalisme permettant de fournir une notation qui soit réellement compréhensible par tous les utilisateurs de l'entreprise; et enfin UML (Rumbaugh et al. 2005) est un langage graphique de modélisation et qui propose de modéliser les processus grâce principalement à quatre types de modèles qui sont: le diagramme de cas d'utilisation, le diagramme de séquence, le diagramme de collaboration, et le diagramme d'activité.

En ce qui concerne la modélisation de l'organisation, (Brifaut 2006) soutient qu'une entreprise peut être modélisée de différentes manières en fonction de l'objectif poursuivi: (i) comme centre d'activités recevant et émettant des flux; (ii) comme une structure fonctionnelle; (iii) comme une structure procédurale, ou (iv) de façon transverse en utilisant une approche par les processus.

5.4 Typologies selon la nature de l'objet

Une autre typologie très largement utilisée dans le cadre de la modélisation d'entreprise et des systèmes d'information, est celle qui distingue les modèles de produit et les modèles de processus. Par modèles de produit on entend une représentation des informations relatives à la définition d'un produit que l'on désire réaliser, tandis que les modèles de processus servent à spécifier les activités du projet de fabrication de ces produits.

Il existe dans la littérature plusieurs typologies des modèles de produit. La plus connue est probablement celle liée à la dimension du produit prise en compte par le modèle. Cette typologie contient deux types de modèles: les modèles statiques et les modèles dynamiques (Whitman et al. 1998): Un modèle statique permet une représentation statique et constitue une image de l'entreprise à un instant particulier, qui peut inclure sa structure, ses frontières avec l'environnement, ses processus, ses objectifs stratégiques, etc. Un modèle dynamique permet de représenter la manière avec laquelle les éléments du modèle statique peuvent changer avec le temps. Les modèles organisationnels d'apprentissage, les modèles de maturité appartiennent plutôt à cette catégorie de modèles. Une autre typologie largement utilisée dans les méthodes systémiques consiste à classer les modèles en fonction du niveau d'abstraction auquel ils se situent. Dans cette typologie, il y a principalement trois types de modèles: (i) les modèles conceptuels; (ii) les modèles logiques; et (iii) les modèles physiques. Enfin une dernière typologie consiste à classer les modèles de produit en fonction de l'activité du processus (perspective) qui les construit. Cette typologie conduit aux principaux modèles suivants: (i) les modèles de besoins; (ii) les modèles d'analyse; (iii) les modèles de conception; et (iv) les modèles d'implantation.

En ce qui concerne les modèles de processus de conception et/ou de développement, ils constituent un jeu de concepts avec lequel on peut définir des processus pour

réaliser des produits. La typologie la plus usuelle consiste à classer les modèles de processus en trois classes : (i) les modèles orientés activités; (ii) les modèles orientés produits; et (iii) les modèles orientés décisions. Une autre typologie est basée sur l'organisation des activités à l'intérieur d'un processus de conception/développement. Cette typologie conduit principalement (Pfleeger et Atlee 2005) aux types suivants: (i) le modèle en cascade permettant la définition de processus composés d'un ensemble d'activités organisées de manière séquentielle; (ii) le modèle en V dont le principe majeur est que chaque étape de décomposition du système possède une phase de test; (iii) le modèle par incrément où le produit est développé progressivement en versions et où à chaque version, de nouvelles fonctionnalités venant combler les exigences sont ajoutées; (iv) le modèle en spirale qui est plus adapté pour les projets complexes et qui permet de décomposer le processus en cycles tout en mettant l'accent sur la réduction des risques qui sont alors sans cesse évalués à chaque cycle.

5.5 Typologies selon le degré de vivacité

Selon le degré de vivacité, on peut distinguer principalement les modèles actifs et les modèles passifs (Whitman et Huff 1997): Un modèle passif est tel qu'une fois créé, il devient totalement indépendant de la réalité qu'il modélise. Les changements opérés dans la réalité ne sont pas répercutés sur le modèle. En revanche, dans un modèle actif (ou plus exactement les modèles vivants, en anglais living model), les relations entre le modèle et la réalité modélisée est maintenue de telle manière que le modèle reflète l'état courant du système décrit.

Pour être efficace, les modèles actifs doivent être (Whitman et Huff 1997): maintenables, extensibles, décomposable, consistants par rapport aux métriques de l'entreprise, directement dirigés par les données actuelles de l'entreprise. La maintenabilité et l'extension permettent d'assurer une certaine dynamique au modèle. La nature décompositionnelle du modèle permet de prendre en charge les différentes vues de l'entreprise. La consistance du modèle et le fait qu'il soit basé sur les données d'entreprise permet de définir des rôles duaux nécessaires pour l'exécution.

5.6 Typologies selon le niveau de modélisation

Le niveau de modélisation conduit à la notion de méta-modélisation qui constitue la base de l'architecture dirigée par les modèles ou MDA (pour l'Anglais Model Driven Architecture) qui est une démarche de réalisation de logiciel, proposée et soutenue par l'OMG. Le principe de la méta-modélisation consiste à produire des modèles comme instances d'un même méta-modèle. C'est à dire, elle permet la représentation de multiples modèles comme instances d'un même moule et de ce fait vise à l'harmonisation, à la comparaison et à l'intégration de méthodes et de modèles par référence à un méta-modèle commun.

Le principe de base du MDA est l'élaboration de modèles d'exigence (Computer Independent Model, CIM) qui représente le futur système indépendamment de l'informatique, et leur transformation en modèles d'analyse et de conception indépendants de plate-formes (Platform Independent Model, PIM) et ensuite la transformation de ces derniers en modèles dépendants de plates-formes (Platform Specific Model, PSM) pour l'implémentation concrète du système. Les techniques employées sont donc principalement des techniques de modélisation et des techniques de transformation de modèles.

La distinction entre modèle, méta-modèle, et méta-méta-modèle est illustrée dans l'architecture à quatre couches du tableau 1.

Niveau	Type	Exemples de constructs
M3	Méta-méta-modèle	"MetaEntity"; "Package" et "MetaRelationship"
M2	Méta-modèle	"Process"; "Class"; "Method" et "Attribute"
M1	Modèle	"Customer"; "OrdersFrom"; et "Employee.Name"
M0	Instance	"Facture # 92432"; "€500" et "Anaïs"

Tableau 1. Architecture à quatre couches du MDA

Il est important de préciser que la traduction entre CIM et le PIM et la traduction entre le PIM et les PSM sont normalement effectuée à l'aide d'outils automatisés, par exemple des transformations de modèles réalisées avec des outils comme VIATRA ou ATL. Ces langages de transformation sont plus ou moins compatibles avec le standard de l'OMG nommé QVT. Le passage du PSM à la génération du code est la suite logique de ce traitement. Elle peut être réalisée par des générateurs tels que ceux-ci afin de produire tout type de cibles technologiques. Notons également que les travaux actuels autour du MDA tendent à renforcer les prérogatives des modèles et des méta-modèles, avec l'utilisation de métadonnées, et en particulier des ontologies.

5.7 Typologies selon le niveau de généricité

Selon le degré de généricité, il est généralement établi de classifier les modèles en modèles génériques, partiels et particuliers (Vernadat 1996). De plus, certaines méthodologies de modélisation comme CIMOSA introduisent la notion de modèle de référence qui est peut être un modèle générique ou un modèle partiel, et qui peut très bien ne pas s'appliquer uniquement à un cas spécifique de problème (système) mais, plutôt à une classe de problèmes (systèmes). Le modèle de référence est intimement lié à une classe de problèmes. L'objectif principal d'un modèle de référence est d'exposer les éléments constants d'une classe. A ce titre, (Galland, 2001) précise qu'un modèle de référence peut être: (i) un modèle complet et caractéristique des problématiques appartenant à une classe de problèmes, (ii) un modèle statistique correspondant à la moyenne des problématiques de la classe de problèmes, (iii) un modèle paramétré dont cer-

tains éléments sont des fonctions de variables extérieures au modèle, (iv) un modèle minimal correspondant à la partie invariante de toutes les problématiques appartenant à la classe de problèmes.

Il est important de noter qu'il y a souvent une confusion entre modèles de références et méta-modèles. En effet, la différence entre ces deux types de modèles n'est toujours pas triviale: les deux types de modèles se recouvrent dans le sens où certains méta-modèles sont des modèles de référence, et certains modèles de référence sont plutôt des méta-modèles.

L'analyse de la littérature a permis de révéler une multitude de modèles de référence qui peuvent être mis en œuvre dans le cadre de la modélisation d'entreprise, et en particulier dans le cadre du projet Easy-DIM (Easy-DIM 2007). Un exemple de modèle de référence très souvent cité est le modèle de haut niveau proposé par (Marshall 2000) dans le cadre de la modélisation des organisations et qui présente des similitudes avec ceux utilisés dans le cadre du génie logiciel au sein de l'OMG (Herzum et Sims 1999). Vu leur importance, nous allons dans la section suivante (§ 6) présenter brièvement quelques uns des modèles et langages de référence qui nous paraissent les plus représentatifs (OMA, OASIS SOA RM, CMMi, COBIT, ITIL, etc.).

6 PRINCIPAUX MODELES DE REFERENCE

Bien des modèles de référence peuvent être mis en œuvre pour analyser et représenter le fonctionnement d'une entreprise. Les uns sont orientés sur la gestion, les autres plus spécifiquement sur la production ou les systèmes d'information. Nous exposons dans le cadre de ce papier quelques modèles de référence qui nous paraissent assez représentatifs et qui couvrent plus ou moins les différents profils d'acteurs (gestion, informatique, production) intervenant dans le cadre du projet Easy-DIM:

- Les modèles génériques de modélisation des organisations qui incluent les modèles PRM, ARRI, Marshall et Miller. Le modèle PRM (Purdue Reference Model) est développé par l'université de Purdue et constitue un modèle d'entreprise élaboré pour décrire l'ensemble d'une entreprise de production. Le modèle ARRI (ARRI 2006) est un modèle de référence pour les PME/PMI qui est basé sur la méthodologie IDEF0. Le modèle de Marshall (Marshall 2000) a pour objet de décrire une organisation du point de vue métier et qui a été adopté par l'OMG. Le modèle "living" de Miller (Miller 1978) qui est un modèle pour les systèmes vivants (living) et qui a été adapté pour les organisations.
- Les modèles issus des ERP du marché tels que SAP R/3 (Curran et Keller 1998) et BAAN (Perreault et Vlasic 1998) et qui constituent de très bons exemples de modèles de référence génériques utilisés dans une multitude d'industries.
- Le modèle MESA qui est proposé par une association d'éditeurs de systèmes logiciels "MES" de pilotage de l'exécution de la fabrication et qui permet aux éditeurs

concurrents de travailler ensemble pour élargir la conscience et l'usage des technologies, produits et services liés au pilotage de la production.

- Le modèle SCOR (Supply Chain Operation Reference model) qui est issu du Supply Chain Council et qui permet de modéliser la chaîne logistique en définissant les quatre niveaux d'entreprise (Objectifs, Configuration, Processus et Implémentation) et les quatre processus de gestion élémentaires (Planification, Approvisionnement, Production, livraison) qui composent la chaîne.
- Les modèles ISO et CEN qui incluent les modèles de référence issus des normes ISO 14258 (Concepts and Rules for Enterprise Models) qui offre des concepts et des règles pour la modélisation des systèmes d'automatisation industrielle, ISO 15704 (Requirements for enterprise reference architecture and methodologies) qui prescrit des architectures de référence pour les systèmes d'automatisation industrielle, ISO 15288 (Life cycle management system/ life cycle process) qui définit les processus du cycle de vie du système, ISO 16668 (Basic semantic register) qui identifie et définit les composants sémantiques à utiliser dans un échange de données, ISO 18629 (Process specification language) qui permet de spécifier un processus ou un flux de processus, ISO 10314 (Reference model for shop floor products standards) qui permet la modélisation de la structure des ateliers de production, ISO 15531 (Manufacturing management data exchange) qui permet la représentation, gestion et échange des données de production, normes EN/ISO 19439 (Enterprise integration framework for enterprise modeling) qui permet de définir un ensemble suffisant de concepts pour la modélisation d'entreprise en se basant sur le cadre de modélisation de GERAM, ISO 19440 (Enterprise Integration – Constructs for Enterprise Modeling) permettant d'articuler les constructions liées à l'automation, et EN/ISO 62264 (Enterprise control system integration) qui définit des échanges standardisés entre applications informatique normalisés.
- Le modèle OAGIS de l'OAG (Open Application Group) qui définit les processus et protocoles d'échange entre deux entités communicantes et qui peut s'appliquer aux systèmes de production grâce notamment au modèle de la norme S95 (norme ISO 62264) qui le complète.
- Le modèle ECMA PCTE (ECMA 1993), qui est une norme pour l'intégration des différents composants de l'architecture logicielle, a été édicté conjointement par l'ECMA (European Computer Manufacturers Association) et le NIST (National Institute of Standards and Technology). Cette norme propose un modèle de référence pour les structures d'accueil d'environnements de génie logiciel. L'intégration des outils est réalisée en termes de services offerts au sein d'une architecture fonctionnelle d'environnement.
- Le modèle RM-ODP (ISO/IEC 1996), qui est un modèle de référence concernant les systèmes répartis ouverts, inclut principalement un modèle descriptif et un modèle prescriptif ainsi qu'une sémantique architecturale. Le modèle descriptif permet de définir les concepts et un cadre analytique pour une description normalisée

des systèmes répartis. Le modèle prescriptif permet de spécifier les caractéristiques requises pour juger de la conformité d'un système à la norme ODP. La sémantique architecturale permet de formaliser les concepts du Modèle Descriptif en interprétant chacun d'entre eux avec différentes techniques de description formelle.

- Le modèle OMA (Object Management Architecture) (OMG 1995), qui constitue un modèle de référence de l'OMG (Object Management Group) pour la normalisation des systèmes à objets, et qui a pour but principal de fournir des mécanismes de coopération pour des applications actives sur différentes machines d'un environnement distribué et hétérogène.

- Le modèle de référence de workflow (WfMC) qui décrit un modèle commun pour la construction de systèmes de workflow, identifie comment il peut être relié aux approches variées d'implémentation.

- Les modèles de référence issus de l'initiative FEA (Federal Enterprise Architecture) de l'Office américain pour le Management et le Budget et qui permettent de développer une taxonomie et une ontologie communes pour la description des ressources informatiques (OMD 2007). Ces modèles incluent: le modèle PRM (Performance Reference Model), le modèle BRM (Business Reference Model), le modèle SRM (Service Component Reference Model), le modèle DRM (Data Reference Model) et le modèle TRM (Technical Reference Model).

- Le modèle de référence SOA d'Oasis qui permet de définir de façon standardisée les principaux concepts et principes pour guider et stimuler la création d'architectures orientées service spécifiques.

- Le modèle CMMI (Capability Maturity Model Integration) qui est un modèle intégré pour la gestion des niveaux de maturité des projets et des entreprises et qui est une extension de la spécification CMM première, créée pour le ministère de la Défense américain en 1989 afin de déterminer si un projet interne ou tiers serait terminé dans les temps, selon le budget et les spécifications.

- Le modèle ITIL (Information Technology Infrastructure Library) qui est créé à la fin des années 80, à l'initiative du secteur public britannique, et qui ne cesse d'accroître en popularité. Il constitue un ensemble de meilleures pratiques de fourniture et de support de services (informatiques) de production.

- Le modèle COBIT (Control Objectives for Information & related Technology) qui est édité par l'Information Systems Audit and Control Association (ISACA) en 1996, et qui fournit un cadre de contrôle qui vise à aider le management à gérer les risques (sécurité, fiabilité, conformité) et les investissements informatiques.

- Les ontologies de référence issues de la communauté de Knowledge management et de celle du Web Sémantique et qui sont à titre d'exemple dans le contexte de la modélisation d'entreprise: Enterprise Ontology d'AIAl (Uschold et al. 1998) qui permet de définir les termes relatifs à la gestion des affaires; TOVE (TOronto Virtual

Enterprise) (Fox 1992) qui permet de définir une terminologie partagée au sein d'une entreprise virtuelle; Cyc (Lenat et al. 1990) et SUO (Standard Upper Ontology) (SUMO 2005) de IEEE qui contiennent des concepts génériques indépendants des domaines d'entreprise; OWLS (OWLSC 2004) de la coalition OWLS et qui permet de représenter sémantiquement des services web, UNSPSC (The United Nations Standard Products and Services Codes) (UNSPSC 2007) qui est créé par UNDP (United Nations Development Program) et qui permet de codifier de façon standard les produits et les services; NAICS (North American industry Classification System) (NAICS 2007) qui permet de classifier les produits et les services en général et qui est utilisé aux USA, au Canada et au Mexique; RosettaNet (RosettaNet 2007) qui permet de classifier les produits et les services dans le domaine des high-techs.

Il est important de noter que la plupart des modèles de référence présentés ci-dessus se basent sur des langages et/ou formalismes de référence tels que:

- BPML, BPMN issus du consortium BPMI (Business Process Initiative) (BPMI 2003) et qui permettent de définir un modèle abstrait d'interaction entre collaborateurs participant à une activité de l'entreprise, voire entre une organisation et ses partenaires.

- Les formalismes IDEFX qui sont issus des méthodes IDEF0, IDEF3 et de façon plus générale IDEFX et qui permettent la modélisation de l'entreprise selon plusieurs points de vue.

- Les diagrammes issus du langage de modélisation UML (Rumbaugh et al. 2005) qui est un standard de l'OMG, et qui permet la modélisation d'entreprise et des systèmes d'information à base d'objets distribués.

7 ANALYSE ET EVALUATION DES MODELES

Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques éléments de l'analyse et de l'évaluation des modèles d'entreprise et des systèmes d'information qui a été menée sur le terrain.

7.1 Cadre d'analyse et d'évaluation des modèles

Pour l'analyse et l'évaluation des modèles d'entreprise, nous avons proposé un cadre qui repose sur trois axes: Conception, Intégration, et Usage. L'évaluation est concrétisée sous forme de critères qui portent sur ces trois axes (figure 2). La quantification des critères est menée dans une logique de conduite d'interview en utilisant un questionnaire.

Comme l'illustre le méta-modèle précédent, le cadre d'évaluation s'inscrit dans une logique de générique et concerne les modèles, les langages et les architectures. Cependant, nous nous focalisons dans le cadre de ce travail que sur l'évaluation des modèles.

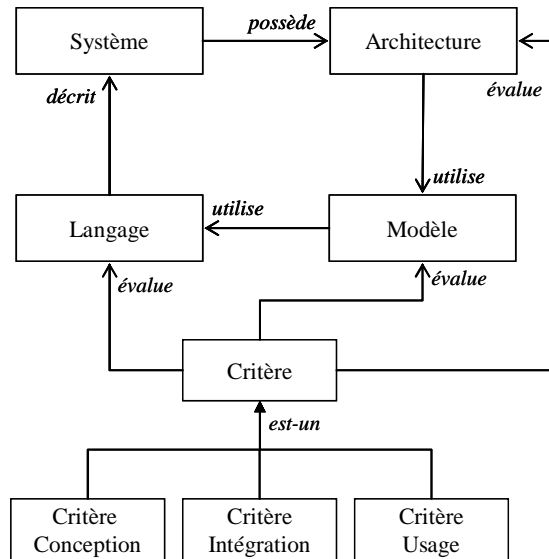


Figure 2. Cadre d'évaluation des modèles

7.2 Principaux résultats de l'évaluation

Sans trop entrer dans le détail de l'évaluation qui a été menée en partie dans le cadre du projet Easy-DIM (Easy-DIM 2007) et du consortium CoPaS (CoPaS 2007), il est toutefois possible d'en donner les principaux éléments.

Tout d'abord, l'évaluation menée concerne principalement les modèles de référence dont certains sont présentés en section 6, et elle est effectuée selon le type d'usage. Ainsi, le tableau 2 qui résume le principe de cette évaluation ne reprend que certains des modèles pouvant être utilisés dans la cadre d'une approche de modélisation, donc en faisant essentiellement intervenir que des critères d'évaluation de l'axe conception.

Modèle	E	E'	F	F'	G	I	M	N	N'	O	U	U'	U''	V
AIAI	2	2	4	2	4	1	2	3	4	2	3	2	3	1
ARRI	3	3	3	3	2	1	3	1	3	3	3	2	2	2
BAAN	4	3	2	2	3	1	3	1	4	5	4	3	3	2
CYC	2	1	3	1	4	1	2	3	4	2	3	2	3	1
FEA	4	3	3	4	3	1	3	2	3	3	3	3	3	2
ISO 9000x	4	4	3	4	4	0	5	2	3	3	2	4	1	0
Marshall	3	3	4	3	3	1	3	3	3	2	3	3	2	2
MESA	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	2	2	2	1
Miller	3	3	3	3	3	1	3	3	3	2	3	2	2	2
OASIS RM	4	3	4	3	4	1	4	2	2	3	2	4	3	1
OWL-S	3	2	4	2	3	1	3	2	2	3	2	3	2	1
PRM	4	4	3	4	3	0	3	2	4	3	3	4	3	2
RM-ODP	4	3	3	3	3	1	5	2	4	3	3	4	2	1
RosettaNet	2	1	4	2	1	1	4	1	1	5	3	3	1	2
SAP	4	3	3	4	3	0	3	1	4	5	4	3	3	2
SCOR	4	3	3	4	4	0	4	1	3	4	3	4	3	1
TOVE	3	2	4	2	4	0	4	3	4	3	3	4	3	2
WfMC	3	2	3	2	3	0	4	1	2	4	4	3	2	3

Tableau 2. Extrait de l'évaluation des modèles

Pour cette évaluation, on associe aux modèles des métriques permettant de quantifier des critères d'évaluation. Les principaux critères retenus dans le cadre de l'évaluation des modèles de conception sont en majorité issus de l'étude de l'état de l'art et sont (cf. §4, §5): efficacité (E), efficacité (E'), formalité (F), flexibilité (F'), degré de généralité (G), interopérabilité (I), maturité (M), niveau de modélisation (N), nature de la modélisation (N'), outillage (O), usage (U), utilité (U'), utilisabilité (U''), vue de modélisation (V), et degré de vivacité (V').

Comme illustré sur le tableau précédent, nous pouvons noter que les critères utilisés dans notre enquête sont généralement évalués sur une échelle de 0 à 5 (en rapport avec les grilles CMMI) et qui correspondent en fait à des moyennes des observations recueillies. Plus la valeur du critère est importante et plus le modèle favorise davantage la réalisation de ce critère. Pour les critères qui sont associés à des modalités booléennes, les valeurs sont soit 1 ou 0 selon que le critère est rempli ou non. A titre d'exemple, les modalités associées au critère de maturité (M) sont respectivement: (5) standard, (4) en cours de standardisation, (3) finalisé, (2) en cours de finalisation, (1) non finalisé, (0) en projet.

L'étude menée concerne en réalité un échantillon représentatif de 36 modèles et langages de référence, et les enquêtes ont concerné pour le moment que 6 entreprises. L'analyse des données issue de cette étude peut conduire à des résultats graphiques plus expressifs en utilisant des outils appropriés, permettant ainsi une bonne interprétation de ces résultats. La figure 3 qui un extrait de graphique statistique, illustre une représentation schématique qui correspond à l'échantillon de données présenté dans le tableau 2.

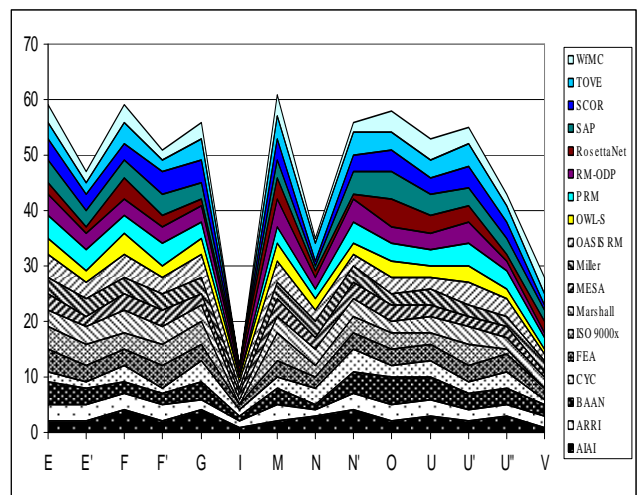


Figure 3. Représentation graphique de l'évaluation

De plus, l'étude menée conduit à un certain nombre d'autres constats dont les principales sont comme suit. Premièrement, les modèles issus de la norme ISO 9001, CEN ainsi que le modèle SCOR, constituent une catégorie de modèles de plus en plus répandus au sein des en-

treprises françaises. Cette constatation peut être justifiée par la quête de ces entreprises dans leur processus de certification. Deuxièmement, le modèle ITIL, qui était initialement cantonné à la Grande-Bretagne, constitue pratiquement l'unique référent pour les opérations récurrentes du système d'information et il commence sérieusement à intéresser un nombre d'entreprises. Troisièmement, le modèle COBIT, plus orienté gouvernance, contrôle et audit de l'information et des technologies associées, commence à faire sa percée au sein des entreprises, et notamment des grandes entreprises. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces entreprises ont plus que jamais besoin de référentiel de bonnes pratiques pour mieux gérer leurs systèmes d'information. Quatrièmement, le modèle CMM(I) constitue un modèle émergent, qui commence à percer au sein de nos entreprises. Son implantation est très timide car il demeure pour le moment mal outillé.

Enfin, pratiquement tous les autres modèles restants tels que MESA, OAGIS, ECMA, FEA, RM-ODP, OMA et les ontologies de référence constituent une catégorie de modèles peu répandus. A notre sens, la justification tient du fait que ces modèles sont soit peu génériques, soit trop génériques. De plus, certains souffrent du manque d'interopérabilité, ce qui réduit considérablement leur utilisabilité.

Une étude similaire a été menée en ce qui concerne les langages de référence. Cette étude révèle que UML constitue un modèle fort utilisé par la modélisation d'entreprise. Ceci peut notamment s'expliquer par le fait que la communauté des informaticiens l'utilise beaucoup pour la conception et l'intégration des systèmes d'information. Nous pouvons également retenir que BPMN et BPML constituent des modèles assez utilisés. Ceci peut également s'expliquer par la percée de ces modèles dans tout ce qui concerne la modélisation des processus, et en particulier celle à destination des gens métiers.

Il est à noter que la plupart de ces constatations sont quelque peu triviales et prévisibles. Ceci nous réconforte dans le choix du modèle d'évaluation retenu, et notamment de la pertinence des critères choisis et de la justesse de l'enquête menée.

8. CONCLUSIONS

Ce papier a présenté une synthèse des principales typologies de modèles d'entreprise ainsi que les principaux modèles de référence qui peuvent être mis en œuvre dans le cadre d'une démarche de modélisation d'entreprise et de son système d'information. A l'issue de cette étude, nous croyons pouvoir affirmer que les modèles constituent des briques de base nécessaire pour toute démarche d'ingénierie de systèmes, et en particulier de l'ingénierie d'entreprise. Notre étude nous a conduits à proposer une approche d'évaluation en rapport avec les axes du projet Easy-DIM.

Au terme de cette étude, nous pouvons retenir qu'au vu de leur capacité à favoriser la réutilisation et la personnalisation des modèles, les modèles de référence (et les méta-modèles) présentent une importance capitale pour les entreprises. En effet, ils permettent de mieux utiliser et de gérer les modèles, et notamment si l'on se place dans le cadre d'une approche MDA. Il faut également noter que les modèles issues des normes sont des référentiels et ne fournissent pas de réponses pratiques à l'intégration des fonctions de l'entreprise. De plus, la plupart des modèles de référence présentés précédemment sont très souvent théoriques et d'accès difficile n'ont par conséquent pas débouché sur des réalisations concrètes. Nous devons également retenir l'importance de l'interopérabilité pour faire communiquer des modèles différents, et ainsi favoriser l'ingénierie par les modèles.

Bien que cette étude soit limitée elle a cependant pour mérite de servir d'essai de tentative de synthèse et de définir un cadre global pouvant servir de base à l'évaluation des modèles. En perspective, nous souhaitons étendre l'étude à une liste plus complète de modèles, et à un échantillon plus représentatif des entreprises.

REMERCIEMENTS

Ce travail est en partie réalisé dans le cadre du projet Easy-Dim et du consortium CoPaS. L'auteur tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près pour l'aboutissement de ce travail.

REFERENCES

- Achinstein P., "History and Philosophy of Science: a reply to Cohen", In Suppe F. (ed.) The Structure of Scientific Theories. Urbana, IL: University of Urbana Press, 1973. pp. 350-360.
- Adams S., "Business Engineering Functions". D. Appleton Co. 1995.
- Afis, Association Française d'Ingénierie Système, <http://www.afis.fr/>. Accédé Septembre 2007.
- ARRI, Small Integrated Manufacturing Enterprise Model, <http://arri.uta.edu/enteng/sime/sime.pdf>, 2006.
- Ayer A. J., "Language, Truth and Logic". London: Victor Gollanz, 1936.
- BOC, Business Objects Consulting, ADONIS, www.boc-eu.com, Accédé en Septembre 2007.
- Briffaut J. P., Processus d'entreprise pour la gestion - Changements Induits Par Le E-commerce et le E-business. Hermès. ISBN : 9782746209428. 2004.
- Chappelet J.-L. and Snella J.-J., "Un langage pour l'organisation : l'approche OSSAD". Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 1997.
- Chomsky N., "Aspects of the Theory of Syntax", MIT Press, 1965.
- CoPaS, Community of Practices Around Service Oriented Architectures. www.copas.fr.nf. 2007.
- Curran T. and Keller G. "SAP R/3 Business Blueprint: Understanding the Business Process Reference Model". Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- Curtis B. et al., "Process Modeling". Communications of the ACM 35(9). 1992. pp. 75-90.

- Easy-DIM, "Deliverables of Easy-DIM project". www.easy-dim.org, 2007.
- ECMA, European Computer Manufacturers Association, "A reference model for frameworks of software engineering environments (version 3)", ECMA Report N° TR/55, NIST Report NSP 500-xxx, April 1993.
- Edmonds B., "Syntactic Measures of Complexity". Doctoral Thesis, Dept of Philosophy, University of Manchester, 1999.
- Fox M. S., "The TOVE Project: A Common-sense Model of the Enterprise". In Belli F., Radermacher F. J. (eds) *Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*. Springer Verlag, Berlin, Germany, 1992. pp. 25-34.
- Galland S., "Approche multi-agents pour la conception et la construction d'un environnement de simulation en vue de l'évaluation des performances des ateliers multi-sites", Thèse de 3ème cycle, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint- Etienne - Université Jean Monnet, décembre 2001.
- Geib J. M., et Merle P., "CORBA : des concepts à la pratique". *Techniques de l'ingénieur*, 2000.
- Giere R. N., "Constructive Realism". In Chrchland P. M., Hooker C. W. (eds) *Images of Science*, Chicago: University of Chicago Press, 1985. pp. 75-98.
- Gruber T., "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications". *Knowledge Acquisition*, Vol. 5 (No. 2) pp. 199-220, 1993.
- Herzum P. and Sims O., "Business Component Factory ". John Wiley & Sons, 1999.
- IDS-Scheer, ARIS, <http://www.ids-scheer.fr/>. Accédé en Septembre 2007.
- IEEE, IEEE Std 1471 - 2000 IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. New York, NY, IEEE Computer Society, 31, 2000.
- ISO/IEC IS 10746-x, "Basic Reference Model of Open Distributed Processing". 1996.
- Katz J. and Fodor J., "The structure of semantic theory", Prentice Hall, Englewoods Cliffs, 1964.
- Lenat D.B., Guha R.V., Pittman K., Pratt D. and Shepherd M., "CYC: Toward Programs With Common Sense". *Communications of The ACM*, Vol. 33 No. 8. 1990, pp. 31-49.
- Lyytinen K., "A Taxonomic Perspective of Information Systems Development: Theoretical Constructs and Recommendations." In proceeding of BOLA87, 1987. pp.3-41.
- Marshall C. "Enterprise Modelling with UML. Designing Successful Software Through Business Analysis". Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 2000.
- Miller P. et Torris T. eds, "Formalismes syntaxiques pour le traitement automatique du langage naturel", Hermes, 1989.
- Miller J. C. "Living Systems". New York: McGraw-Hill, 1978.
- Morgan M. S., "The Technology of Analogical Models". *Philosophy of Science*, 64(proc), 1996. pp. S304-S314.
- NAICS (North American industry Classification System). <http://www.naics>. Accédé en Aout 2007.
- Nathan, B., and Wood J., "The use of IDEF0 to Document a methodology - a Novices Point of View". Automation and Robotics Research Institute, FortWorth, Texas. 1991.
- OMB, US Office of Management and Budget, "FEA Consolidated Reference Model Document Version 2.2", http://www.whitehouse.gov/omb/egov/documents/FEA_CRM_v22_Final_July_2007.pdf. 2007. Accédé en Aout 2007.
- OMG, Object Management Group, "CORBA 2.0 / Interoperability, Universal Networked Objects", OMG document No 95.3.10, Framingham, USA, Mars 1995.
- OWLSC, OWLS Coalition, "OWL-S: Semantic Markup for Web Services". OWL-S Coalition, <http://www.daml.org/services/>, 2004. Accédé en Mars 2006.
- Perreault Y. and Vlasic T. "Implementing Baan IV". Indianapolis, Indiana: Que, 1998.
- Petrie C., editor, "Enterprise Integration Modelling". The MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- Pfleeger S. L. and Atlee J. M., "Software Engineering: Theory and Practice". Prentice Hall, 2005. ISBN-10: 0131469134.
- Reimann M. D. and Sarkis J., "An integrated functional representation of concurrent engineering". *Production Planning and Control*, 7(5), 1996, pp. 452-461.
- Rolland C. and Ben Ayed M., "Understanding the Lyee1 Methodology through Meta Modelling", CAISE'02 Workshop on EMSAD, Toronto, 2002.
- Rolland C., Foucaut O., Benci G., "Conception des systèmes d'information La méthode REMORA", Eyrolles 1988.
- RosettaNet, <http://www.rosettanet.org>. Accédé en Aout 2007.
- Ross D. T., Schoman K. E., "Structured Analysis for Requirements Definition." *IEEE Transactions on Software Engineering* SE-3(1), 1977. pp.6-15.
- Rumbaugh J., Jacobson I., and Booch G., "UML 2.0 : Guide de Référence". *Campus Press France*, 2005.
- Snodgrass, N., "Integrating Activity Based Costing with IDEF Modeling". D. Appleton Co. 1993.
- Sowa J. F. "Conceptual Structures - Information Processing in Mind and Machine", Addison-Wesley, 1984.
- SUMO home page, <http://ontology.teknowledge.com>, Accédé en 2005.
- Suppe F., "The Search for Philosophical Understanding of Scientific Theories". Suppe, F (ed.) *The Structure of Scientific Theories*. Urbana, IL: University of Urbana Press, 1973, pp. 3-243.
- Suppes P., "Set theoretic Structures in Science". Stanford: Stanford University Press, 1967.
- UNSPSC (The United Nations Standard Products and Services Codes), <http://www.unspsc.org>. Accédé en Aout 2007.
- Uschold M., King M., Moralee S., Zorgios Y., "The Enterprise Ontology". *The Knowledge Engineering Review*, 13(1). 1998. pp. 31-89.
- Vallespir B. et Doumeingts G., "Modélisation d'entreprise: Vers le Système d'Information". Deuxième école de Modélisation d'Entreprise, Nimes, 2005.
- Van Belle J. P. and Eccles M., "Discovering Information Systems". Durbanville, South Africa: South African Universities Press, 1999.
- Vernadat F. B., "Enterprise Modeling and Integration". London, Chapman & Hall. 1996.
- Ward P. T. and Mellor S. J., "Structured Development for Real-Time Systems". Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1985.
- Whitman L. and Presley A., "Structured Models and Dynamics Analysis: The Integration of the IDEF0/IDEF3 Modeling Methods and Discrete Event Simulation". Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, ed Andradotir S., Healy K. J., Whithers D. H., Nelson B. L., 1997.
- Whitman L.E. and Huff B.L., "A Living Enterprise Model". Proceedings of the Sixth Industrial Engineering Research Conference. Miami Beach, Florida, 1997, pp. 598-603.
- Whitman L.E., Huff B.L. and Presley A. "Issues Encountered Between Model Views". *Flexible Automation and Integrated Manufacturing*. Portland, Oregon. 1998, pp. 117-130.