

# Modélisation pour l'étude de l'interopérabilité d'entreprise en conception de produits

GUILLAUME VICIEN<sup>1,2</sup>, CHRISTOPHE MERLO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ESTIA

Technopole Izarbel, 64210 Bidart, France

g.vicien@estia.fr

c.merlo@estia.fr

<sup>2</sup> IMS / LAPS, Université de Bordeaux

Talence, France

---

**Résumé** – Cet article traite de la modélisation d'entreprises pour l'étude de l'interopérabilité en conception de produits. De nos jours, de nombreuses entreprises de conception de produits sont emmenées à développer de nombreuses collaborations avec différents partenaires. Cela entraîne une complexification et une augmentation des informations échangées entre les partenaires. On constate alors l'apparition de problèmes d'interopérabilité qui peuvent venir perturber ces échanges d'informations. Dans cet article nous nous appuyons sur les travaux de recherche en interopérabilité menés dans le cadre du projet ISTA3 (Interopérabilité de 3<sup>e</sup> génération pour la Sous-Traitance Aéronautique). Nous décrivons dans un premier temps les outils de modélisation utilisés dans le cadre de ce projet pour étudier l'interopérabilité de sous-traitants aéronautiques en situation de collaboration et nous montrons leur mise en œuvre à travers le cas d'une entreprise de fabrication de pièces en composite. Nous considérons ensuite les entreprises de conception – fabrication de produits propres pour proposer une évolution de ces outils de modélisation dans la perspective d'adapter les méthodologies de résolution de problèmes d'interopérabilité des entreprises de production aux entreprises de conception. Nous nous appuyons sur un second cas d'étude pour faire un retour d'expériences de ces travaux.

**Abstract** - This article deals with enterprise modeling for studying interoperability in product design. Nowadays, many companies developing products have to develop collaborations with various partners. This situation involves increasing information exchanges between industrial partners and generates many problems of information exchanges, transformations or misunderstanding due to interoperability. In this paper our work is based on research work carried out within the framework of ISTA3 (3<sup>rd</sup> generation Interoperability for Aeronautical Sub-Contractors) project and concerning interoperability between aeronautical subcontractors in a situation of collaboration. We initially describe the modeling tools used for studying interoperability and we illustrate their implementation through the case study of a manufacturing company of composite-made parts. We then consider design and manufacturing companies to propose an evolution of those modeling tools with the aim to adapt interoperability methodologies from manufacturing companies to design companies. We present a second case of study to make an experience feedback on this work.

**Mots clés** - modélisation d'entreprise, systèmes PLM, interopérabilité, approche MDI, conception de produits.

**Keywords** – enterprise modelling, PLM systems, interoperability, MDI approach, product development process.

---

## 1 INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Dans cette première partie, nous allons introduire les travaux présentés dans le cadre de cet article ainsi que la problématique générale. Nous présenterons également brièvement le projet ISTA3 dont nous utiliserons certains résultats dans la suite de l'article.

### 1.1 Introduction

De nos jours, de nombreuses entreprises développant de nouveaux produits sont amenées à développer toujours davantage de collaborations avec leurs clients, leurs partenaires et leurs fournisseurs dans le cadre de la chaîne logistique. Les échanges entre partenaires sont donc devenus de plus en plus nombreux et de plus en plus complexes. De nombreux problèmes d'interopérabilité apparaissent alors et peuvent venir perturber les différents processus de collaboration entre partenaires. Les problèmes d'interopérabilité rencontrés peuvent être de différentes natures et depuis quelques années, de nombreux travaux de recherche sont consacrés à la résolution des problèmes d'interopérabilité

et notamment dans le cadre de la chaîne logistique [Chen et Doumeings, 2003] [ATHENA, 2003].

Dans cet article nous avons décidé de nous appuyer sur les travaux de recherches menés sur l'interopérabilité dans le cadre du projet ISTA3. Pour résoudre ces problèmes d'interopérabilité, qui sont plus communément appelés barrières d'interopérabilité, il existe trois types d'approches :

- L'approche intégrée utilise des standards pour assurer les échanges d'informations.

- L'approche unifiée utilise des méta-modèles pour assurer les échanges d'informations.

- L'approche fédérée utilise quant à elle les ontologies afin d'adapter de façon dynamique les échanges d'informations. Cette approche permet d'apporter plus de flexibilité que les deux précédentes approches. C'est sur cette troisième approche, appelée interopérabilité de troisième génération, que les travaux de recherche du projet ISTA3 se sont focalisés.

Les premières applications de ce projet concernent essentiellement des entreprises de production, pour lesquelles les activités de conception sont réduites, voire inexistantes.

Nous souhaitons étendre ces premiers travaux aux entreprises développant des produits propres, seules ou en faisant appel à des partenaires. Celles-ci, du fait de leurs spécificités et du nombre important d'échanges d'informations entre partenaires, nécessitent des moyens méthodologiques différents des entreprises de production pour éviter les problèmes d'interopérabilité qui peuvent perturber leurs processus collaboratifs. Nous présenterons dans cet article une proposition d'évolution des outils de modélisation utilisés, dans la perspective d'adapter les méthodologies de résolution de problèmes d'interopérabilité des entreprises de production aux entreprises de conception.

### 1.2 Le projet ISTA3

Le projet ISTA3 a pour objectif de développer une méthodologie spécifique afin de résoudre les problèmes d'interopérabilité de sous-traitants aéronautiques en adoptant l'approche fédérée. Cette méthodologie doit alors prendre en compte trois domaines qui sont explorés, à savoir :

- La modélisation d'entreprise qui va permettre à partir de l'étude des systèmes existants d'en déduire le système cible afin de coordonner et d'optimiser le fonctionnement des entreprises du niveau stratégique au niveau opérationnel. La modélisation doit également permettre de mettre en évidence les différents processus collaboratifs entre les partenaires et faire ainsi apparaître les différents problèmes d'interopérabilité qui peuvent exister. Cette modélisation peut s'appuyer sur une approche de type BPM (Business Process Modelling).

- L'évaluation de performance qui va se dérouler en deux étapes avec l'identification des possibilités et de l'intérêt de l'interopérabilité (maturité des organisations), puis la mesure des résultats de l'implantation des solutions et évaluer le degré d'interopérabilité entre les partenaires.

- L'architecture MDI (Model Driven Interoperability – Interopérabilité Pilotée par les Modèles) qui va permettre de conserver une cohérence le long des différents niveaux de l'architecture en se basant sur les modèles métiers.

La méthodologie s'appuie sur une architecture spécifique MDI, dérivée de l'approche MDA (Model Driven Architecture) qui permet de décomposer la méthodologie en cinq phases :

- La phase 1, **définition du degré d'interopérabilité**, est une phase préliminaire qui a pour objectif d'évaluer le potentiel de collaboration entre les partenaires.

- La phase 2, **modélisation du niveau CIM** (Computation Independent Model), permet de modéliser le modèle de collaboration des partenaires. Ainsi, il est alors possible de représenter, comprendre et optimiser les relations entre les partenaires des niveaux stratégiques aux niveaux opérationnels. La modélisation est effectuée au niveau global de chaque entreprise dans un premier temps, c'est le CIM Haut, puis en décrivant les processus métiers pertinents la modélisation met en évidence les processus collaboratifs, c'est le niveau CIM Bas.

- La phase 3, **modélisation des niveaux PIM** (Platform Independent Model) et **PSM** (Platform Specific Model), permet la caractérisation détaillée des différents processus collaboratifs ainsi que leur modélisation. C'est durant ces deux étapes qu'il est nécessaire d'utiliser les ontologies afin de définir un cadre sémantique et taxonomique commun aux partenaires. A la fin de cette phase, il est alors possible de réaliser un diagnostic afin de voir les améliorations à apporter aux processus collaboratifs en vue d'assurer une interopérabilité optimale. Le diagnostic doit également permettre de définir les solutions à mettre en place et de définir leurs spécifications.

- La phase 4, **implantation des solutions**, est consacrée à l'implantation des solutions définies dans la phase précédente, à savoir les services techniques et métiers ainsi qu'un bus de services afin de permettre la synchronisation entre services.

- La phase 5, **évaluation**, est consacrée à l'évaluation du degré d'interopérabilité après l'étude qui sera mesurée au travers d'indicateurs de performance spécifiques.

### 1.3 Problématique

Dans le cadre de la conception de produits, il a été montré dans [Merlo et Girard, 2003] que la conduite des processus de développement de produits nécessite une adaptation de l'approche GRAI pour prendre en compte les spécificités de la conception. Les travaux menés en ce sens ont abouti à la méthode GRAI Ingénierie qui permet d'envisager la conduite de la conception de façon opérationnelle.

Notre problématique est d'évaluer les modèles utilisés dans le cadre de la méthodologie pour l'interopérabilité récemment développée, vis-à-vis d'entreprises structurées pour le développement de produit. Plus précisément, nous cherchons à savoir comment modéliser des entreprises développant des produits propres et leurs mécanismes collaboratifs pour prendre en compte le point de vue de l'interopérabilité dans ce contexte. De même nous devons prendre en compte l'utilisation des systèmes de gestion du cycle de vie du produit (ou PLM - Product Lifecycle Management [Saaksvuori et Immoen, 2004]), désormais très répandus dans les entreprises développant des produits propres, notamment en aéronautique, comme faisant partie intégrante du problème d'interopérabilité des partenaires. Nous pensons que la méthode GRAI Ingénierie peut apporter des éléments de réponse qui sont étudiés dans cet article.

Cet article se compose de trois parties principales.

La première partie est consacrée à la présentation des différents modèles utilisés dans la méthodologie ISTA3 ainsi que leur application dans le cadre de la collaboration de deux entreprises de production.

La seconde partie est consacrée à notre contribution concernant la proposition d'outils de modélisation adaptés pour la résolution de problèmes d'interopérabilités entre entreprises développant des produits propres. Ces outils sont étudiés en complément des outils existants pour les entreprises de production. Nous présentons également dans cette partie un cas d'étude afin de bien montrer comment sont utilisés les nouveaux modèles que nous avons décidés d'intégrer.

La troisième partie est un retour d'expérience du cas d'étude présenté dans la seconde partie afin de montrer l'intérêt des modèles que nous avons intégrés et l'apport par rapport aux modèles dédiés aux entreprises de production.

## 2 MODÈLES UTILISÉS DANS LA MÉTHODOLOGIE ISTA3

La méthodologie développée dans le cadre du projet ISTA3 s'appuie sur différents modèles durant les différentes phases afin de répondre aux besoins et exigences du projet et des partenaires industriels.

Dans cette première partie, nous présenterons les différents modèles utilisés dans la méthodologie ISTA3 avant de montrer leur utilisation au travers de la présentation d'un cas d'étude.

### 2.1 Présentation des modèles

Les modèles utilisés dans le cadre du projet ISTA3 peuvent être classés en trois catégories comme le montre la (Figure 1).

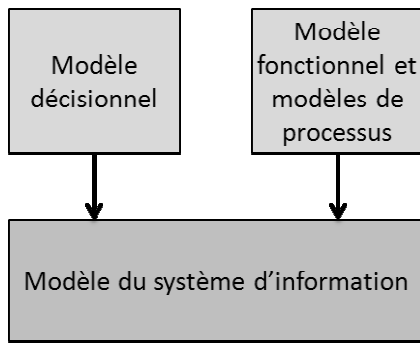


Figure 1. Les modèles de la méthodologie ISTA3

2.1.1 Le modèle décisionnel

Le **modèle décisionnel** a pour objectif de modéliser la structure décisionnelle des différents partenaires afin d'illustrer les différentes prises de décisions ainsi que les échanges d'informations nécessaires aux prises de décisions. La modélisation décisionnelle est réalisée à l'aide de la grille GRAI [Doumeings et al., 1998]. Cette modélisation intervient uniquement lors de la première phase de la méthodologie ISTA3 à savoir le niveau CIM haut et se déroule en deux étapes avec dans un premier temps la construction de la grille GRAI de chaque partenaire puis la construction d'une grille GRAI collaborative.

2.1.2 Le modèle fonctionnel et les modèles de processus

Le **modèle fonctionnel** permet de décrire le fonctionnement général des différents partenaires. Le modèle fonctionnel est par la suite complété par **les modèles de processus** qui vont permettre d'avoir une vue plus détaillée des différents processus de l'entreprise. Les modèles de processus se déclinent en deux catégories avec les modèles de processus internes, propres à chaque partenaire, et les modèles de processus collaboratifs, dont l'objectif est de caractériser les échanges entre partenaires en vue d'assurer l'interopérabilité entre les processus métiers des partenaires. Le modèle fonctionnel qui est construit uniquement au niveau CIM Haut, est réalisé à l'aide des actigrammes de la méthode GRAI. En revanche, les modèles de processus sont construits du niveau CIM Haut au niveau PIM afin d'augmenter leur niveau de

détails à chaque niveau. Les modèles de processus sont réalisés pour les plus hauts niveaux à l'aide des actigrammes étendus de la méthode GRAI alors que les modèles de plus bas niveaux sont réalisés à l'aide du formalisme BPMN (Business Process Modeling Notation) [White et Miers, 2008] pour préparer l'étude technique des environnements informatiques.

2.1.3 Le modèle du système d'information

Le **modèle du système d'information** réalisé à partir de diagrammes de classe [Quatrani, 2000] a pour objectif d'identifier les différentes informations intervenant au cours des processus collaboratifs. Il est donc réalisé après analyse des modèles de processus, au niveau CIM.

2.2 Application sur un cas d'étude d'entreprise de fabrication de pièces en composite

L'objectif de cette section est d'illustrer par un cas d'application industriel comment ces différents modèles sont utilisés et quels sont les liens existents entre eux. Pour cela, nous avons décidé de nous appuyer sur le cas d'étude développé dans le cadre du projet ISTA3. Ce cas d'étude fait intervenir deux partenaires ayant pour objectif d'améliorer leurs processus de collaboration en vue d'assurer l'interopérabilité.

2.2.1 Élaboration du modèle décisionnel

Comme illustré dans la partie précédente, le modèle décisionnel est réalisé au niveau CIM Haut à l'aide de la grille GRAI. La (Figure 2) montre la grille GRAI établie pour l'entreprise et décrivant son système décisionnel.

La grille présentée permet de montrer les différentes prises de décision assurant la conduite de l'entreprise de l'un des partenaires ainsi que les différents échanges d'informations nécessaires aux prises de décision. Les différentes colonnes de la grille correspondent aux fonctions principales de l'entreprise en vue de leur pilotage. Une fois la grille du deuxième partenaire réalisée il a alors été possible d'établir la grille de collaboration illustrant les prises de décision communes aux deux partenaires avec les différents échanges d'informations associés.

	Informations Externes	Gérer la relation client	Gérer l'industrialisation	Gérer les approvisionnements	Gérer la coordination et la synchronisation générale	Gérer la fabrication (ressources)	Gérer les livraisons	Gérer la qualité	Informations Internes
	IE	GRC	GI	GA	GCS	GFR	GL	GQ	II
H = 5 ans P = 6 mois 10-ST	Marché - Technologies disponibles	Stratégie commerciale (DC)	Stratégie d'industrialisation (DI)	Stratégie logistique amont (DL+DC)	Plan stratégique industriel (DG)	Stratégie pour les ressources (DI)	Stratégie logistique aval (DI)	Stratégie qualité (DQ)	Bilan semestriel d'activité (direction générale) (niveau groupe Mipnet)
H = 1 an P = 3 mois 20-TA	Clients	Choisir répondre à AO, Négocier offres, Carnet de commande, Plan prévisionnel de vente (DC)	Investissement matériel indus, Formations indus (DI + ROI)	Choisir fournisseurs, Commande appro critiques (RA)	PDP, Budget annuel (DG)	Investissements matériels fab, Formations, Recrutement (ROI)	Volume stock produit fini et contrat cadre transporteurs (RL)	Contenu du SMQ, Délai de mise en œuvre, Revue de direction (RQ)	Bilans trimestriels
H = 6 mois P = 1 semaine 30-OP	Clients	Accepter commande, Révision du plan prévisionnel (DI)	Mode de fabrication des produits, Valider documents (RM)	Commander les appro, Gérer le stock (RL)	Plan de charge (ROI)	Gérer les ressources moyen terme, Affectation prévisionnelle (ROI)	Gestion stock produit fini (RL)	Relation qualité client, Libération des commandes? (RQ)	Bilans hebdomadaires
H = 2 semaines P = 1 jour 40-OP	Clients	Suivi des commandes (RL)	Intervention à court terme (urgences) (RP)	Gérer les stocks, Relance des fournisseurs (RA)	Planification court terme (ordonnancement) (RP)	Gérer les ressources court terme, Affectation réelle (RP)	Planifier les livraisons (RL)	Gérer les NC (RQ)	Bilan journalier
	IE	GRC	GI	GA	GCS	GFR	GL	GQ	II

Figure 2. Grille GRAI décrivant le modèle décisionnel de l'entreprise

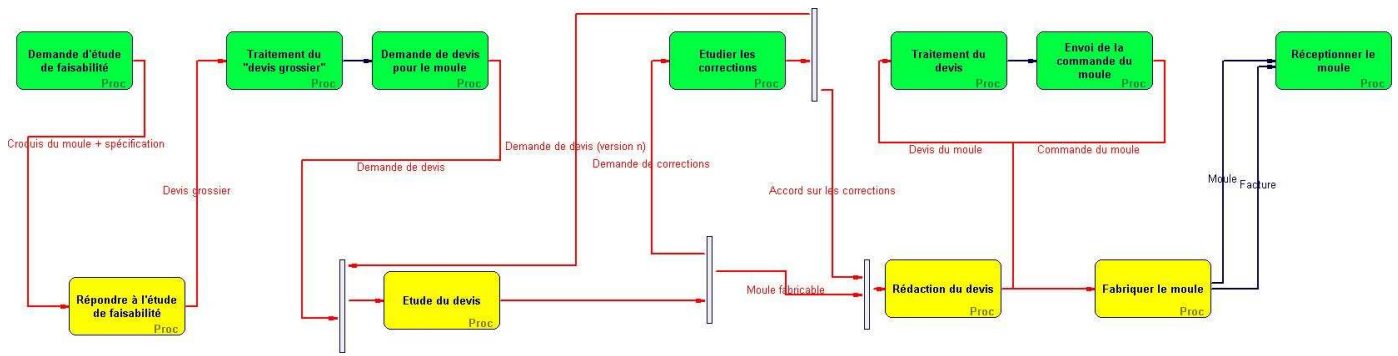


Figure 5. Exemple de modèle de processus collaboratif au niveau CIM Bas

### 2.2.2 Modélisation fonctionnelle et modélisation des processus

Les premiers modèles réalisés ont été les modèles fonctionnels des deux partenaires, ce qui a contribué à définir précisément le périmètre étudié dans chaque entreprise. La (Figure 3) montre le premier modèle fonctionnel de l'un des deux partenaires.

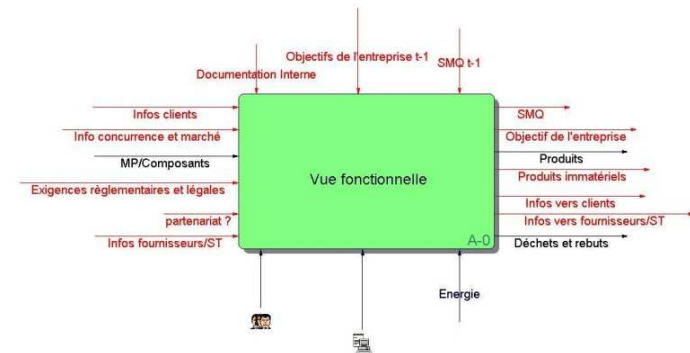


Figure 3 Exemple de modèle fonctionnel

Une fois les modèles fonctionnels élaborés, l'objectif a été de modéliser de façon plus détaillée les différents processus internes des deux partenaires. Puis les processus collaboratifs ont été identifiés par comparaison des processus de chaque partenaire dans le but d'étudier la collaboration des deux partenaires afin de la rendre interoperable. La modélisation des processus collaboratifs se décline sur plusieurs niveaux avec dans un premier temps une modélisation au niveau CIM Haut. La (Figure 4) montre un exemple de modélisation de processus collaboratif au niveau CIM Haut, faisant intervenir les deux partenaires et les principaux échanges d'information.

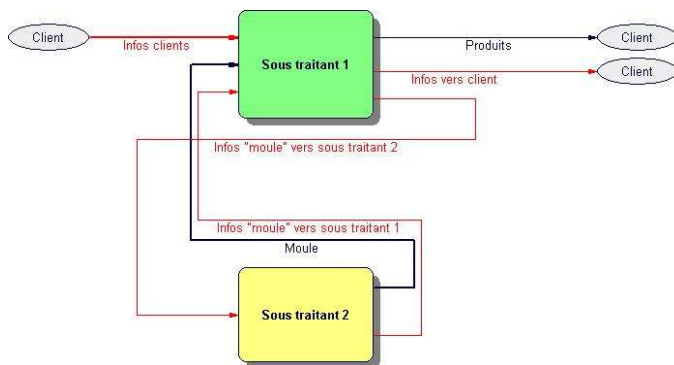


Figure 4. Exemple de modèle de processus collaboratif au niveau CIM Haut

Une fois ce processus identifié, il est détaillé au niveau CIM Bas de façon à caractériser les différentes activités réalisées par les deux partenaires lors des échanges et les différents échanges d'informations intra et inter partenaires. Le processus détaillé au niveau CIM Bas est présenté dans la (Figure 5). Cette modélisation permet d'étudier les différents traitements que subissent les informations concernées et de préparer une analyse plus technique centrée sur les données.

Une fois l'ensemble des processus collaboratifs modélisés sur les niveaux CIM Haut et CIM Bas, il est alors nécessaire de transformer les modèles de plus bas niveaux en modèles BPMN. Le choix a été fait d'utiliser la modélisation BPMN au niveau PIM afin de pouvoir faire apparaître les premiers éléments de l'architecture support aux processus collaboratifs. La (Figure 6) montre un exemple de processus collaboratif au niveau PIM modélisé à l'aide de BPMN. Dans ce cas d'étude, le choix après analyse a été de mettre en place une médiation au travers d'un bus de services.

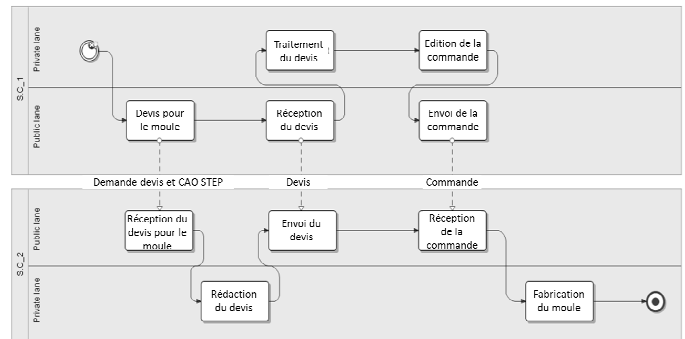


Figure 6. Exemple de modèle de processus collaboratif au niveau PIM

On peut voir qu'à la différence du modèle au niveau CIM Bas, un modèle BPMN fait intervenir une médiation entre les deux partenaires. Cela va permettre d'identifier et de caractériser les informations qui seront diffusées au travers du bus de services.

### 2.2.3 Modélisation du système d'information

La modélisation du système d'information durant ce cas d'étude a été réalisée uniquement à partir de diagrammes de classe. L'objectif étant d'enrichir les modèles tout au long des différents niveaux de la démarche afin d'obtenir au plus bas niveau, un modèle détaillé des informations présentes chez les deux partenaires et entrant en compte dans les processus collaboratifs. Au niveau PIM, ce diagramme devient suffisamment précis pour permettre une étude centrée sur les outils informatiques.

### 3 VERS UNE MÉTHODOLOGIE INTÉGRANT LES PROJETS DE CONCEPTION

Dans le cadre des travaux de [Girard et al., 1999], il a été démontré que les activités de conception présentent des caractéristiques spécifiques nécessitant l'adaptation des modèles utilisés ainsi que la définition d'une méthodologie propre de façon à assurer leur conduite.

Regroupés au sein de la méthodologie GRAI Ingénierie, les différents modèles utilisés ont été mis en œuvre en vue d'assurer l'ingénierie de la conception ainsi que la conduite des activités de conception. Dans un premier temps, nous décrivons les modèles utilisés et les adaptations envisagées par rapport à la présentation de la section 1 dans le cas général. Puis nous présenterons un second cas d'étude qui montrera leur utilisation au sein d'une entreprise qui possède des activités de conception portant sur des produits propres. Nous aborderons la question de leur utilisation dans un contexte d'interopérabilité et non plus de conduite.

#### 3.1 Modèles pour la conception

Dans [Merlo et Girard, 2003], différents modèles sont préconisés pour modéliser le système de conception d'une entreprise. Le périmètre du système de conception peut être défini comme englobant l'ensemble des activités participant au développement d'un nouveau produit ou d'une nouvelle version d'un produit existant. Ces activités, centrées sur les phases de conception et d'industrialisation, peuvent donc couvrir une partie des activités assurées par le marketing ou le service commercial, ainsi que par l'atelier en mobilisant des moyens de prototypage, essais, contrôle. La (Figure 7) décrit l'ensemble des modèles utilisés pour cette modélisation.

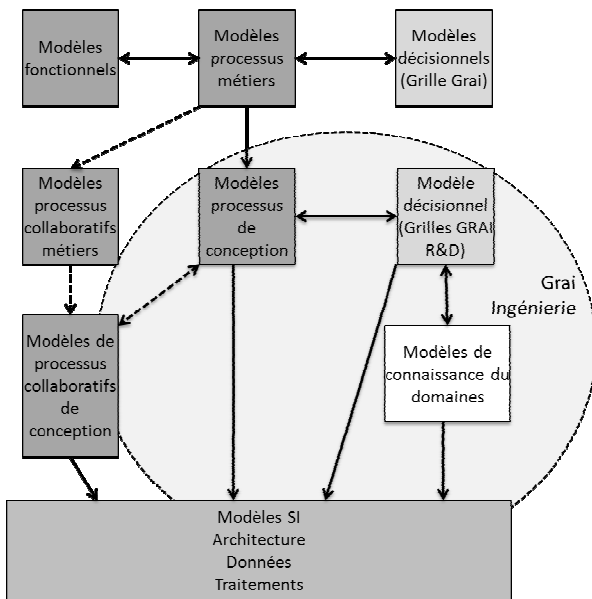


Figure 7. Les modèles proposés pour la conception

##### 3.1.1 Le modèle décisionnel

Le modèle décisionnel est représenté par l'utilisation de la grille GRAI R&D, qui étend la grille GRAI. Une partie de la grille, centrée sur les décisions de gestion de projet (planification ou gestion des ressources humaines par exemple) est commune à l'ensemble des projets de développement de produits de l'entreprise. Une autre partie est spécifique à chaque projet et adresse les décisions portant sur le pilotage des acteurs confrontés à des problèmes de conception (respect des besoins clients, démarche à mettre en œuvre ou réutilisation de connaissances existantes par exemple).

##### 3.1.2 Le modèle fonctionnel et les modèles de processus

Le modèle fonctionnel a le même objectif que dans le cas général en caractérisant le périmètre du système de conception. Il est suffisamment détaillé pour décrire les relations entre les différents départements de l'entreprise.

Les modèles de processus sont plus détaillés pour décrire le processus de développement de produit de l'entreprise. Toutefois, en raison de la nature exploratoire de la conception, le processus réel de conception se construit tout au long du développement du produit. Pour cette raison, même décrites de façon détaillée, les activités de conception confiées aux concepteurs ne peuvent pas être complètement définies et nécessitent une planification et un suivi régulier.

##### 3.1.3 Le modèle de connaissances

Pour cette même raison de nature de la conception, il est nécessaire pour assurer sa conduite de prendre en compte les connaissances manipulées par les acteurs de la conception. Cette connaissance ne peut toutefois être entièrement décrite et représentée à travers des systèmes informatiques qui seraient ainsi capables de « concevoir » tout ou partie d'un produit. Le modèle de connaissances préconisé a donc pour objectif de caractériser les connaissances manipulées par les concepteurs qui peuvent être utiles pour la prise de décision des responsables assurant le pilotage du développement du produit. Ce modèle assure la traçabilité des informations pouvant caractériser ces connaissances et facilite leur exploitation comme un retour d'information pour les responsables. Le modèle de connaissances intègre ainsi les connaissances pour la prise de décision à l'aide d'indicateurs de performances et la planification et le suivi du processus de conception.

##### 3.1.4 Le modèle du système d'information

Dans le contexte de la conduite, l'un des objectifs de la modélisation du système d'information est d'évaluer la pertinence d'améliorer l'environnement informatique pour la conception et sa conduite à travers les différents développements de produit : outils à conserver, outils à améliorer, outils devant communiquer par exemple, en vue d'améliorer l'interopérabilité globale comme spécifique entre certains outils. Il faut donc être capable de modéliser les informations à un niveau conceptuel puis à un niveau technique, d'un point de vue statique mais aussi dynamique pour en déduire les fonctionnalités et les traitements adéquats. C'est ainsi que plusieurs modèles basés sur l'utilisation d'UML (Unified Modelling Language, [Quatrani, 2000]) ont été proposés pour compléter les diagrammes de classe : diagrammes de cas d'utilisation, diagrammes d'activités, diagrammes états-transitions, diagrammes de séquences et diagrammes de paquetage.

Dans la perspective d'étudier l'interopérabilité de deux partenaires impliqués dans des activités de conception, ces modèles ne sont peut-être plus suffisants. En effet il faudra être capable de comparer les informations déjà gérés par les outils informatiques utilisés par l'entreprise et en particulier dans les systèmes de gestion du cycle de vie du produit. Plus globalement ces modèles devront permettre d'identifier les outils devant évoluer et les outils à développer ou acquérir, ainsi que de spécifier précisément les informations à gérer et les moyens à mettre en œuvre pour assurer les échanges entre applications internes et externes.

#### 3.2 Application sur un cas d'étude d'entreprise de conception et fabrication de sous-ensembles mécaniques

Pour ce second cas d'étude, une PME sous-traitante de l'aéronautique nous a sollicités pour établir le schéma directeur



fonction	Info. Externe	Concevoir Atelier	Gérer les connaissances produit-processus Méthodes	Concevoir Méthodes	GERER LES BESOINS Méthodes	Gérer les Connaissances Produit-Process Etudes	Concevoir Etudes	GERER LES BESOINS Etudes	GERER LES INFOS PROJET	PLANIFIER	GERER LES RESSOURCES	Info. Interne
Niveaux		CA	GCPP	CI	GBI	GCPP	CE	GBE	GIP	P	GR	
H= 1 Année(s) P= 2 Mois 10							Gérer les phases du projet	Vérifier évolution demande client et recettage	Faire suivre les procédures Qualité	Planifier les échéances du projet avec le client	Confirmer responsable de projet et autres ressources	
H= 3 Mois P= 1 Mois 20		Définir les objectifs proto.	Superviser la production de la doc.	Définir les séquences de tâches	Vérifier adéquation / demande client	Capitaliser	Décomp. suivant les problèmes et suivant la doc.	Vérifier adéquation solution / spéc. client	Synthétiser	Planifier les séquences	Gérer les affectations	
H= 1 Mois P= 1 Semaine(s) Temps Réel 30		Organiser les tâches		Organiser tâches individuelles		Superviser doc.	Organiser les tâches individuelles			Gérer les écarts		

Figure 8. Grille décisionnelle pour des projets à finalité « prototype »

de son système d'information. Elle fabrique des produits destinés à être assemblés dans des systèmes mécaniques pour plusieurs ensembles nationaux et certains sont des produits propres qu'elle développe directement. La démarche globale mise en œuvre repose sur la méthode GRAI mais elle a été étendue à l'aide de la méthode GRAI Ingénierie pour étudier plus en détail les processus de développement de produit.

### 3.2.1 Réalisation des modèles fonctionnel et de processus

Le périmètre d'étude portant sur l'ensemble de l'entreprise, une première série d'interviews a permis de formaliser les modèles fonctionnels puis les modèles de processus métiers existants correspondant aux processus logistique et processus de développement de produit. L'analyse des activités a permis de caractériser trois types de processus distincts lors du développement d'un produit :

- un processus de pré-étude, qui couvre les activités depuis le contact entre l'équipe commerciale et un client potentiel porteur d'un besoin, et l'envoi à ce client potentiel d'une offre technique et financière de développement et de fabrication ;
- un processus de développement standard, démarrant avec une commande client et aboutit à un dossier de fabrication validé ;
- un processus de développement de prototypes, qui est initié également par la commande d'un client mais a pour but de valider des principes techniques innovants par la production de prototypes et par la réalisation d'expérimentations.

### 3.2.2 Modélisation du modèle décisionnel

Du fait de la double orientation de l'étude, un premier modèle décisionnel a été établi en réunissant les différents responsables de l'entreprise, sous la forme d'une grille GRAI. Un second modèle élaboré avec les acteurs des processus de développement de produit a été construit à l'aide des grilles GRAI R&D. En réalité trois grilles distinctes ont été formalisées, correspondant aux trois processus détaillés précédemment. Chaque grille reflète la façon dont l'entreprise pilote ses processus de développement et les coordonne.

La (Figure 8) illustre la grille élaborée pour le processus de développement de prototypes. Au niveau le plus haut les

responsables du projet assurent la gestion des projets à l'aide d'indicateurs traditionnels basés sur le suivi temporel des jalons, l'affectation des ressources en fonction de leur disponibilité et la vérification des livrables prévus, et cela avec une vision globale de l'ensemble des projets.

Au niveau intermédiaire, le pilotage intègre la dimension technique et des décisions plus locales sont prises : soit dans les activités d'études, soit dans les activités d'industrialisation, soit dans les activités de prototypage. Les prises de décision conditionnent encore la planification et l'affectation de ressources en tenant compte de l'ensemble des projets.

Au niveau le plus opérationnel, les décisions sont internes à chaque projet pour coordonner les tâches quotidiennes.

### 3.2.3 Modélisation des connaissances et étude du système d'information

Le modèle des connaissances n'a pas été élaboré lors de ce cas d'étude dans la mesure où l'objectif de l'entreprise consistait en un diagnostic et un schéma directeur en vue de remettre éventuellement en cause son outil de gestion industrielle.

L'ensemble du système d'information de l'entreprise a été modélisé dans ce même but. Une attention particulière a été portée aux systèmes informatiques impliqués dans le développement de produit pour mieux comprendre les problèmes liés aux collaborations de l'entreprise et faire évoluer notre méthodologie pour l'interopérabilité.

En particulier l'entreprise dispose d'un outil de gestion de données techniques (ou PDM - Product Data Management, centré sur les besoins du bureau d'études) pour gérer les documents de conception et les structures produits qu'elle sera amenée à fabriquer. Nous avons identifié plusieurs situations de collaboration pour lesquelles l'outil de gestion de données techniques est impliqué :

- En début de processus, l'entreprise reçoit des données techniques constituées d'un ensemble mécanique qui définit le contexte dans lequel elle doit concevoir son produit. Cet ensemble est composé des données (fichiers) le décrivant et générées via un outil CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et d'une nomenclature (fichier texte) récapitulatif

l'ensemble des composants de cet ensemble. Au sein de l'outil PDM, un projet est créé et configuré dans lequel sont intégrés l'assemblage 3D, la structure produit correspondant à la nomenclature et plusieurs documents techniques spécifiques au processus de développement concerné. Ce produit est un produit support à partir duquel sera conçu et réalisé le produit de l'entreprise. Tous ces « objets » sont des données stockées dans l'outil de gestion de données techniques, que nous devons modéliser à un niveau conceptuel pour en étudier les relations et les transformations lors des activités collaboratives.

- Au cours de la conception, le produit est progressivement décrit sous forme de structure produit et d'assemblages 3D. Certaines pièces de fonderie seront sous-traitées. Dans ce cas l'entreprise exporte les modèles 3D correspondants.

- Parfois le client fait évoluer l'ensemble mécanique initial et fournit alors à l'entreprise une nouvelle version de l'assemblage 3D et de la nomenclature, ce qui oblige l'entreprise à intégrer ces nouveaux composants au sein de l'outil de gestion de données techniques. Cette nouvelle version du produit support entraîne un changement de statut de l'ensemble des composants du produit conçu de façon à évaluer les modifications à apporter, tant en conception qu'en industrialisation. Une nouvelle version majeure du produit est générée avant de poursuivre le processus de développement.

- De même quand une nouvelle version de pièces est générée, l'entreprise doit fournir cette nouvelle version au sous-traitant. Ces situations de collaboration permettent de caractériser un ensemble d'actions qui ne se limitent pas qu'à des échanges de fichiers : plusieurs actions sont nécessaires pour préparer l'échange et de même plusieurs actions suivent la réception de fichiers. Par exemple, pour une pièce qui sera sous-traitée, l'outil de gestion de données techniques a été configuré pour qu'un cycle de vie permettant de gérer les états de validation interne, puis de sous-traitance, puis de vérification après fabrication soit exécuté. De même quand l'entreprise reçoit une nouvelle version du produit support, l'article identifiant le produit conçu bascule dans un état « modification » jusqu'à ce qu'une nouvelle version du produit conçu soit validée. Ces actions sont des prétraitements ou des post-traitements qui sont nécessaires pour synchroniser les processus de développement de chacune des entreprises.

La (Figure 9) synthétise cette problématique générale en montrant que pour un composant, doté d'une version, d'un cycle de vie et parfois d'un processus automatisé de validation, le fait de l'échanger a un impact sur son numéro de version et/ou sur son cycle de vie par un changement d'état et/ou sur le processus automatisé en déclenchant des actions spécifiques.

Quand une partie de la structure produit est présente dans les outils de gestion de données techniques de deux entreprises collaborant, et que les échanges sont bidirectionnels, il faut en outre être capable de gérer la correspondance entre les désignations qui peuvent être différentes, entre les règles de numérotation des versions, les états des cycles de vie et l'état d'avancement des processus automatisés dans au moins l'un des outils de gestion de données techniques.

L'étude du système d'information de l'entreprise a donc porté sur plusieurs vues complémentaires :

- une vue globale, centrée sur l'identification des informations manipulées à travers les processus métiers et des flux associés, via des diagrammes de classe,
- une vue centrée sur l'infrastructure informatique, détaillant l'architecture actuelle, à travers les différents logiciels et outils utilisés (diagrammes d'architecture),
- une vue spécialisée, décrivant pour chaque outil pertinent, comme ici l'outil de gestion de données techniques, les

informations et leurs traitements, afin d'analyser l'impact des flux entre applications, et au besoin avec des applications de partenaires externes (utilisation des autres types de diagrammes UML).

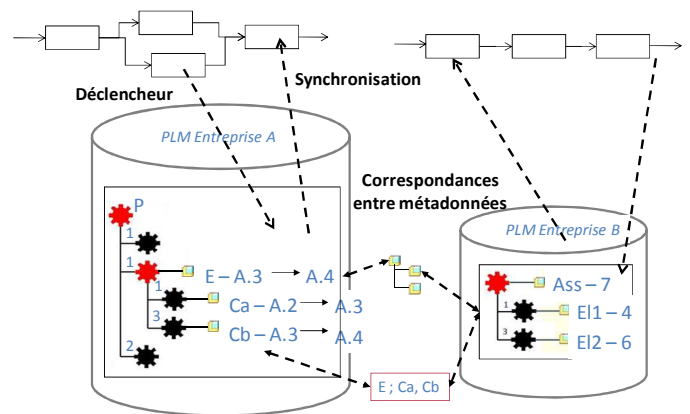


Figure 9. Problématique de l'interopérabilité entre outils PDM

#### 4 RETOUR D'EXPÉRIENCE

Ce cas d'étude dans une entreprise développant des produits mécaniques permet d'identifier plusieurs points importants portant sur les modèles et leur mise en œuvre.

En premier lieu, la grille GRAI R&D construite pour assurer la conduite des activités de conception via la caractérisation des décisions de pilotage est étroitement liée au processus de développement de produit mis en œuvre au sein d'une entreprise. Si plusieurs types de processus peuvent être mis en œuvre, une grille GRAI R&D est associée à chacun d'eux. Par conséquent, quand un projet de conception évolue en cours de route, et que le processus se construit progressivement, la grille GRAI R&D mise en œuvre évolue également. C'est généralement le cas en conception innovante.

En second lieu, la formalisation très détaillée des processus de développement, qui a permis de distinguer les différents types de processus, met aussi en évidence des séquences d'activités élémentaires portant sur la gestion des informations manipulées durant le processus, notamment à travers le système de gestion de données techniques. Ces séquences font partie de processus supports liés à des procédures internes, aux processus qualité, ... Certaines sont parfois supportées par des outils informatiques comme par exemple les outils de gestion de données techniques qui gèrent l'évolution des données techniques et notamment des procédures de validation ou de modification. L'analyse doit donc être menée simultanément à plusieurs niveaux en ce qui concerne l'étude du système d'information car ces processus manipulant les données sont suffisamment élémentaires pour ne pas pouvoir être relié directement aux processus de développement de produit, même détaillés. En réalité ils sont activés par les acteurs de la conception lors d'activités trop détaillées pour apparaître dans les activités du projet, et parfois même non décrites dans une planification. L'enjeu est malgré tout de les identifier puisque ces processus sont directement impliqués dans les collaborations inter-partenaires.

Ce niveau de détail permet de caractériser de façon précise les mécanismes collaboratifs identifiés dans les processus métiers. Les actions de prétraitement, d'échanges et de post-traitements sont identifiées et caractérisées. Leur analyse conduit à :

- distinguer des actions sans valeur ajoutée (recherche d'information, double saisie, conversion, etc) amenant à des pertes de temps ou des erreurs,

- proposer des évolutions dans la nature des actions et leur enchaînement, ainsi que dans les fonctionnalités des outils logiciels supports.

En se focalisant sur les problèmes d'interopérabilité, l'étude du système d'information se décline sur plusieurs niveaux :

- aux niveaux CIM Haut et Bas pour l'identification des processus collaboratifs au sein des processus métiers, et notamment dans les processus de développement de produit ;
- au niveau PIM en étudiant l'infrastructure informatique et en déclinant les actions supports des collaborations ;
- au niveau PSM enfin en décrivant les informations échangées ainsi que les processus de gestion qui supportent leurs traitements et leur évolution.

Ce dernier point est essentiel pour ne pas réduire les problèmes d'interopérabilité uniquement à des problèmes de format, tout en assurant la liaison entre gestion des données et processus collaboratifs de haut niveau. Plus globalement, la comparaison entre le niveau de description des modèles issus des 2 cas d'étude présentés permet de mettre en évidence que les modèles élaborés pour la conception sont d'un niveau de granularité plus fin que ceux élaborés dans un cadre général. En particulier les modèles de processus métiers comme les modèles de processus collaboratifs pour la conception complètent les modèles initiaux au niveau CIM Bas et pour les processus centrés données au niveau PIM. Ce travail amènerait à élaborer des spécifications pour des prestataires externes ou des départements informatiques internes, à un niveau PSM.

Concernant le modèle décisionnel, la grille GRAI R&D est clairement d'un niveau de granularité plus élevé que celui de la grille GRAI. Dans le premier cas d'étude, aucune décision ne portait précisément sur les activités de pilotage de conception d'outillage. Nous envisageons d'étudier plus précisément les relations entre les prises de décision au niveau entreprise et au niveau des projets de développements de produits de façon à caractériser leurs interactions.

Enfin la modélisation des connaissances, en tenant compte des informations qui peuvent les représenter dans des systèmes de gestion du cycle de vie du produit est donc aussi établie à travers les niveaux CIM et PIM. Toutefois ce modèle a pour objectif de faciliter l'interopérabilité des partenaires. Il fait encore l'objet de travaux dans le cadre du projet ISTA3, notamment pour la définition d'ontologies permettant d'automatiser la synchronisation entre des concepts proches entre les deux entreprises mais aussi entre des concepts intégrés dans des systèmes de gestion du cycle de vie produit.

## 5 CONCLUSION ET DISCUSSION

Dans la première partie de cet article, nous avons présenté les différents outils de modélisation d'entreprise pour étudier l'interopérabilité de sous-traitants aéronautiques en situation de collaboration utilisés dans le projet ISTA3. Nous avons alors vu que ces outils de modélisation peuvent être classés en trois catégories à savoir, le modèle décisionnel, les modèles fonctionnels et de processus ainsi que le modèle du système d'information. Nous avons également montré l'utilisation de ces différents modèles au travers d'un cas d'étude faisant intervenir une entreprise de fabrication de pièces en composite. Nous avons ensuite considéré les entreprises développant des produits propres pour proposer une évolution des outils de modélisation dans la perspective d'adapter les méthodologies de résolution de problèmes d'interopérabilité des entreprises de production aux entreprises de conception. Nous avons alors fait le choix d'inclure certains modèles présents dans la méthodologie GRAI Ingénierie afin d'enrichir la modélisation de telles entreprises dans le but d'étudier les problèmes

d'interopérabilité de ce type particulier d'entreprises. Notre proposition porte donc sur :

- l'extension du modèle décisionnel avec la grille GRAI R&D ;
- la modélisation des processus métiers et collaboratifs complétés par un niveau de détail supplémentaire permettant de représenter les processus de conception ;
- la réalisation d'un modèle de connaissances en relation directe avec les ontologies métiers et de services nécessaires ;
- l'identification des modèles nécessaires pour représenter le système d'information afin de couvrir toutes les phases de diagnostic et de spécifications des solutions technologiques. Ces modèles sont réalisés à un niveau conceptuel lors de phase CIM, puis à un niveau technique lors des phases PIM et PSM. Les modèles ainsi élaborés permettent ainsi de spécifier les évolutions du système d'information puis de les décliner sur les outils existants ou à venir sous forme de pré-spécifications afin d'engager les phases suivantes d'acquisitions de nouvelles solutions ou outils ou bien de développements spécifiques. Nous nous sommes appuyés sur un cas d'étude afin de mettre en application ces modèles complémentaires et réaliser un retour d'expérience sur nos travaux.

Ce retour d'expérience nous a permis de mettre en évidence le fait que les modèles élaborés pour la conception sont d'un niveau de granularité plus fins mais nécessaires pour être capable d'intégrer les processus collaboratifs prédéfinis ou émergents lors du développement de produits dans l'étude de l'interopérabilité entre cotraitants. Ces modèles doivent à présent être intégrés dans la méthodologie ISTA3 pour prendre en compte les activités de conception au sein d'entreprises équipées ou non d'outils de gestion du cycle de vie produit.

## 6 REMERCIEMENTS

Nous remercions Aerospace Valley pour son soutien, l'ensemble des membres du projet ISTA3 pour leur contribution dans l'élaboration de la méthodologie ISTA3 et nos partenaires industriels pour leurs cas d'étude.

## 7 RÉFÉRENCES

- ATHENA, (2003) Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications, FP6-2002-IST1, Integrated Project.
- Chen, D., Doumeings, G., (2003) European initiatives to develop interoperability of enterprise applications—basic concepts, framework and roadmap. *Annual Reviews in Control*, 27, pp. 153–162.
- Doumeings, G., Vallespir, B., Chen, D., (1998) GRAI Grid Decisional Modelling - In Handbook on Architecture of Information Systems. Edited by P. Bernus, K. Mertins, G. Schmith, *International Handbook on Information Systems*, Springer Verlag, pp. 313-337.
- Girard, P., Eynard, B., Doumeings, G., (1999) Proposal to control the systems design process: application to manufactured products. In *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering'98*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Quatrani, T., (2000) Modélisation UML avec Rational Rose 2000. Eyrolles, Paris, France.
- Merlo, C., Girard, P., (2003) GRAI Engineering: A Knowledge Modelling Method to Co-ordinate Engineering Design, 2003 CIRP Design Seminar, Grenoble, France.
- Saaksvuori, A., Immoen, A., (2004) Product Lifecycle Management. Springer-Verlag, Berlin.
- White, A., Miers, D., (2008). BPMN Modeling and Reference Guide. *Future Strategies Inc*. ISBN 978-0-9777-5272-0.