

---

**UNIVERSITÉ de REIMS CHAMPAGNE – ARDENNE**

**INSTITUT DE FORMATION TECHNIQUE SUPERIEURE**

**ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE**

**THÈSE**

pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR en INFORMATIQUE**

présentée et soutenue publiquement

le 15 décembre 2010

par

**Benoît BERTRAND**

---

**Contribution à la prise en compte des points de vue dans la  
modélisation des processus en ingénierie**

---

**JURY**

Directeur de thèse :	Yvon Gardan	Professeur à l'URCA (IFTS)
Rapporteurs :	Dominique DENEUX	Professeur à l'université de Valenciennes
	Benoît EYNARD	Maître de Conférences à l'Université de Technologie de Compiègne
Examineurs :	Patrice Billaudel	Professeur à l'URCA Directeur de l'IFTS

# REMERCIEMENTS

---

Ce manuscrit a été réalisé au sein de l'Equipe de Recherche Technologique Gaspard Monge (CReSTIC/CMCAO Concepts et Modèles pour la CAO) à l'IFTS (Institut de Formation Technique Supérieure de Charleville-Mézières), sous la direction de Monsieur le Professeur Yvon Gardan, professeur de l'Université de Reims Champagne Ardennes. Mes recherches ont été financées par le conseil général des Ardennes.

Mes premiers remerciements iront bien évidemment à mon directeur de thèse, Monsieur YVON GARDAN. Tous les doctorants qui ont pu travailler avec lui ont pu avoir la chance d'avoir un directeur de thèse qui est à leur écoute, qui les guides et les conseille. C'est avec le plus grand respect que je remercie cet homme gentil et intelligent qui aura dû me supporter pendant 3 ans.

Je remercie très respectueusement Monsieur le Professeur DOMINIQUE DENEUX de l'Université de Valenciennes ainsi que Monsieur BENOIT EYNARD Maître de Conférences à l'Université de Technologie de Compiègne, qui ont accepté la tâche de rapporteur : merci tout d'abord d'avoir trouvé le temps de lire mon manuscrit, d'avoir apporté des critiques constructives et des corrections sur mon travail.

Je suis reconnaissant à Monsieur le Professeur PATRICE BILLAUDEL d'avoir accepté de faire partie de mon jury de soutenance de thèse et de juger mon travail. Je remercie tous les membres du jury d'avoir accepté de se déplacer et de s'être libéré pour assister à ma soutenance.

Mon travail a pu être réalisé grâce à un financement du Conseil Général des Ardennes, j'ai pu travailler dans divers projets, ESPOIR<sup>2</sup> (co-financé par le Conseil Régional de Champagne-Ardenne, le Conseil Général des Ardennes et le FEDER), E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM (Projet Européen co-financé par le Conseil Général des Ardennes, le Conseil Régional de Champagne-Ardenne et Oséo), Nanosurf, NUM3D. Ces projets m'ont permis de travailler en collaboration avec différentes entreprises, comme Brion, Trelleborg, La fonderie Rollinger, Fornara...

Je remercie également tous les membres de l'ERT ainsi que tous les personnels de l'IFTS pour leur aide au quotidien.

La suite des remerciements est plus personnelle, pour ne pas en oublier je remercie toutes les personnes qui ont pu m'aider pendant ma thèse. Tout d'abord je remercie Nicolas et Frédéric qui m'ont beaucoup aidé et supporté car cela n'a pas toujours été évident. Merci à Mickael, Oana et Cosmin pour leur amitié et leur bonne humeur au quotidien. Je remercie Jérôme pour m'avoir patiemment écouté même si j'ai très souvent fait planter ses développements. Je remercie les Alexandres pour l'aide qu'ils m'ont apporté. Je remercie Estelle pour son aide, sa patience et ses

conseils avisés. Je remercie Elvis pour ses conseils inhabituels et ses remarques pertinentes. Je remercie Sebastien et Laurent pour l'aide, les conseils la bonne humeur et les bons moments passés ensemble. Je tiens à remercier plus particulièrement Romain et Mélanie pour leur patience et le support morale qu'ils ont pu m'apporter. Je remercie Guillaume et Marie pour leur amitié et le soutien qu'ils m'ont apporté. Je remercie tous mes amis qui m'ont soutenu.

Je finis ces remerciements par ma famille, qui a toujours été présente pour moi. Mes parents qui m'ont aidé pour toutes mes études. Ma sœur qui m'a toujours soutenue. Je terminerai par Audrey ma compagne à qui je dis je t'aime et qui m'a soutenue durant toute cette épreuve, même si cela n'a pas toujours été facile.

Merci à TOUS.

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>10</b>
<b>CHAPITRE I : MODELISATION DES PROCESSUS .....</b>	<b>14</b>
1. Modélisation des processus industriels : modèles et langages.....	15
1.1. Méthode formelle.....	17
1.2. Méthode descriptive.....	23
2. Modélisation d'un processus.....	34
2.1. Méthodes de modélisation.....	35
2.2. Outils pour modéliser les processus.....	36
2.3. Modélisation alternative.....	38
2.3.1. <i>Représentation d'un processus sans formalisme</i> .....	38
2.3.2. <i>Moyens alternatifs pouvant représenter un processus</i> .....	40
3. Conclusion .....	43
<b>CHAPITRE II : P<sup>4</sup>LM ET NOTIONS DE POINT DE VUE .....</b>	<b>45</b>
1. Généralités du projet et méthodologie.....	46
1.1. Définitions .....	47
1.1.1. <i>Projet</i> .....	48
1.1.2. <i>Produit</i> .....	48
1.1.3. <i>Procédé</i> .....	49
1.1.4. <i>Processus</i> .....	50
1.2. Modèle.....	50
1.3. Approche modulaire.....	52
1.3.1. <i>Module d'interface homme machine</i> .....	55
1.3.2. <i>Module de visualisation</i> .....	55
1.3.3. <i>Module superviseur</i> .....	55
1.3.4. <i>Module historique</i> .....	56
1.3.5. <i>Module de connaissances</i> .....	56
1.4. Design for X.....	59
1.5. Synthèse .....	60
2. Notion de point de vue dans un processus .....	61
2.1. Définition du point de vue.....	61
2.2. Différence entre les points de vue.....	61
2.2.1. <i>Visualisation d'un objet</i> .....	62
2.2.2. <i>Représentation d'un objet</i> .....	62
2.3. Connaissances.....	64
2.3.1. <i>Connaissances tacites</i> .....	65
2.3.2. <i>Connaissances explicites</i> .....	65
2.3.3. <i>Capitalisation et transfert des connaissances</i> .....	66
2.3.4. <i>Ontologie et connaissances</i> .....	68
2.4. Synthèse .....	69
3. Conclusion .....	69
<b>CHAPITRE III : INTEGRATION DE POINTS DE VUE DANS LA MODELISATION D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL. ....</b>	<b>71</b>
1. Modélisation du processus industriel .....	72
1.1. Apport et modification du modèle P <sup>4</sup> LM.....	72

1.2.	Les intervenants du projet .....	74
1.2.1.	<i>Intervenant</i> .....	75
1.2.2.	<i>Chef de projet</i> .....	75
1.2.3.	<i>Synthèse</i> .....	75
1.3.	Processus collaboratif .....	76
1.4.	Ajout d'informations par un intervenant.....	76
1.4.1.	<i>Information</i> .....	77
1.4.2.	<i>Connaissance</i> .....	77
1.4.3.	<i>Contrainte</i> .....	77
1.5.	Création du diagramme d'interaction .....	77
1.5.1.	<i>Possibilité de liaisons</i> .....	79
1.5.2.	<i>Vérification des liaisons</i> .....	79
1.6.	Synthèse .....	79
2.	Méthodologie et application au logiciel DFX.....	79
2.1.	Présentation de DFX::Manager .....	80
2.2.	Proposition d'un découpage modulaire du logiciel .....	80
2.2.1.	<i>Module de fonctionnement</i> .....	80
2.2.2.	<i>Module superviseur</i> .....	81
2.2.3.	<i>Module interpréteur</i> .....	81
2.2.4.	<i>Module comparateur des informations</i> .....	82
2.2.5.	<i>Module lieur</i> .....	83
2.3.	Intégration du point de vue dans DFX .....	83
2.3.1.	<i>Visualisation 2D</i> .....	85
2.3.2.	<i>Visualisation 3D</i> .....	89
2.4.	Travail collaboratif avec DFX.....	90
2.5.	Synthèse .....	97
3.	Conclusion .....	97

## **CHAPITRE IV : MISE EN ŒUVRE..... 98**

1.	Modélisation du processus de création automatique de système de remplissage d'un moule en fonderie à sable .....	99
1.1.	Généralité sur le système d'alimentation .....	100
1.2.	Modélisation du processus .....	104
1.2.1.	<i>Point de vue de l'ingénieur CAO</i> .....	104
1.2.2.	<i>Point de vue de l'ingénieur Calcul/Simulation</i> .....	104
1.3.	Développement informatique .....	105
1.4.	Modélisation du processus avec DFX ::Manager.....	110
1.4.1.	<i>Comparaison et liaison des processus</i> .....	111
1.5.	Diagramme d'interaction.....	112
1.6.	Synthèse .....	113
2.	Modélisation du processus du projet Nanosurf .....	114
2.1.	Présentation du projet.....	115
2.2.	Processus collaboratif .....	116
2.2.1.	<i>Point de vue DINCCS</i> .....	116
2.2.2.	<i>Point de vue ERT</i> .....	117
2.2.3.	<i>Point de vue CTIF</i> .....	117
2.3.	Diagramme d'interaction.....	117
2.4.	Travail collaboratif.....	118
2.5.	Synthèse .....	119
3.	Conclusion .....	120

## **BILAN ET PERSPECTIVES..... 122**

<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>126</b>
<b>ANNEXE A : PROCESSUS GENERAL APRES AJOUT DE POINT DE VUE.....</b>	<b>137</b>
<b>ANNEXE B : SOUS-PROCESSUS « DEFINIR LE CAHIER DES CHARGES ».....</b>	<b>138</b>
<b>ANNEXE C : DOCUMENTS FOURNI PAR NICE .....</b>	<b>139</b>
<b>ANNEXE D : EVOLUTION D'UN PROJET .....</b>	<b>140</b>
<b>ANNEXE E : PROJETS FINAUX.....</b>	<b>141</b>
<b>ANNEXE F : EXEMPLE DE CREATION D'UN PROJET AVEC TOUS LES MODULES DE L'OUTIL.....</b>	<b>142</b>
<b>ANNEXE G : PROCESSUS DE FONDERIE .....</b>	<b>147</b>

## Table des figures

Figure 1 - <i>Activités du DINCCS</i> .....	11
Figure 2 - <i>Présentation des différents éléments du Business Process Management</i> .....	16
Figure 3 - <i>Décomposition d'un objet</i> .....	18
Figure 4 - <i>Décomposition en diagrammes d'UML [Audibert, 2002]</i> .....	19
Figure 5 - <i>L'approche systémique</i> .....	20
Figure 6 - <i>Une sélection de modèles couramment employés dans les entreprises, qui utilisent souvent un langage dédié.[Anaya et al., 2010]</i> .....	23
Figure 7 - <i>Décomposition en niveau de l'approche ascendante et descendante.</i> .....	24
Figure 8 - <i>Modèle SADT et IDEF [Jaulent, 1993]</i> .....	26
Figure 9 - <i>Mécanisme de décomposition descendante dans SADT et IDEF</i> .....	27
Figure 10 - <i>Composants de la méthodologie GERAM</i> .....	30
Figure 11 - <i>Cycle de vie d'une entreprise quelconque représenté avec la méthode GERAM</i> .....	31
Figure 12 - <i>Décomposition de la structure ARIS</i> .....	32
Figure 13 - <i>les différents niveaux du modèle SCOR</i> .....	34
Figure 14 - <i>Carte de processus</i> .....	37
Figure 15 - <i>Modèle d'environnement de travail</i> .....	37
Figure 16 - <i>Modèle de processus opérationnel</i> .....	37
Figure 17 - <i>Collapsible Cylindrical Tree</i> .....	39
Figure 18 - <i>Hyperbolic Tree Demonstration from Deep Green Research Tree</i> .....	39
Figure 19 - <i>Résolution du problème par Euler</i> .....	40
Figure 20 - <i>Représentation d'une entreprise avec le concept OnMap</i> .....	41
Figure 21 - <i>Modélisation d'une partie du processus de conception d'un moule en fonderie</i> .....	42
Figure 22 - <i>Projet, Processus, Procédé, Produit</i> .....	49
Figure 23 - <i>modèle P<sup>4</sup>LM</i> .....	51
Figure 24 - <i>Décomposition du modèle P<sup>4</sup>LM</i> .....	51
Figure 25 - <i>Une approche modulaire</i> .....	52
Figure 26 - <i>Approche hiérarchique</i> .....	53
Figure 27 - <i>Exemples d'éléments de dialogue</i> .....	54
Figure 28 - <i>Création d'un trou borgne lamé et chanfreiné sous Catia V5</i> .....	54
Figure 29 - <i>Représentation du produit suivant les environnements</i> .....	55
Figure 30 - <i>L'architecture du module de connaissances</i> .....	57
Figure 31 - <i>Description des éléments suivant différents environnements.</i> .....	58
Figure 32 - <i>Liaisons Projet, Produit, Processus, Procédé avec la méthodologie P<sup>4</sup>LM</i> .....	59
Figure 33 - <i>Deux points de vue d'une même image de Rex Whistler « Le gai et le revêche »</i> .....	62
Figure 34 - <i>Le triangle du sens</i> .....	63
Figure 35 - <i>Représentation d'objets par différents utilisateurs</i> .....	63
Figure 36 - <i>Différentes vues d'un "modèle" en accord avec</i> .....	64
Figure 37 - <i>Différents types de connaissances</i> .....	66
Figure 38 - <i>Un SBC développé avec le logiciel CATIA V5 avec les copies optimisées.</i> .....	67
Figure 39 - <i>Architecture d'un système expert</i> .....	68
Figure 40 - <i>Modèle P<sup>4</sup>LM avec ajout de précisions</i> .....	73
Figure 41 - <i>Méthodologie P<sup>4</sup>LM avec les propositions de modifications</i> .....	74
Figure 42 - <i>Décomposition en différentes classes des intervenants</i> .....	74
Figure 43 - <i>Intervenants du projet sur le processus collaboratif.</i> .....	76
Figure 44 - <i>Diagramme d'interaction possible</i> .....	78
Figure 45 - <i>Module de fonctionnement</i> .....	81
Figure 46 - <i>Module superviseur</i> .....	81
Figure 47 - <i>Module interpréteur</i> .....	82
Figure 48 - <i>Exemple d'un BPMN en 3D avec le logiciel QA dans un environnement virtuel</i> .....	83

Figure 49 - <i>Création ou modification d'un élément du processus</i> .....	84
Figure 50 - <i>Liaison entre deux éléments</i> .....	84
Figure 51 - <i>Insertion de commentaires et de graphiques</i> .....	84
Figure 52 - <i>Interface du logiciel DFX::Manager</i> .....	85
Figure 53 - <i>Outils dans DFX::Manager</i> .....	86
Figure 54 - <i>Carte de visite</i> .....	87
Figure 55 - <i>Ajout d'image dans le diagramme d'interaction</i> .....	88
Figure 56 - <i>Image explicative du processus</i> .....	88
Figure 57 - <i>Point de vue 2D des axes</i> .....	89
Figure 58 - <i>Point de vue 3D des axes</i> .....	89
Figure 59 - <i>Visualisation 2D des modèles CAO</i> .....	90
Figure 60 - <i>Visualisation 3D des modèles CAO</i> .....	90
Figure 61 - <i>Déroulement du projet</i> .....	91
Figure 62 - <i>Gestion des intervenants sur le portail collaboratif</i> .....	93
Figure 63 - <i>Gestion des dossiers</i> .....	93
Figure 64 - <i>Processus collaboratif du projet Nice</i> .....	93
Figure 65 - <i>Document associé à « Réaliser un schéma technique »</i> .....	94
Figure 66 - <i>Visualisation synchrone d'un objet</i> .....	95
Figure 67 - <i>Diagramme d'interaction</i> .....	96
Figure 68 - <i>Système d'alimentation</i> .....	101
Figure 69 - <i>Différentes sections du bassin de coulée</i> .....	101
Figure 70 - <i>Descentes dégressives ou non avec sections différentes</i> .....	102
Figure 71 - <i>Formes pour le pied de coulée</i> .....	102
Figure 72 - <i>Attaque point de vue Sirris</i> .....	103
Figure 73 - <i>Attaque point de vue CTIF</i> .....	103
Figure 74 - <i>Formes couramment utilisées pour le masselottage</i> .....	103
Figure 75 - <i>Processus réalisé sous DIA</i> .....	104
Figure 76 - <i>Intégration des paramètres dans le logiciel de simulation de fonderie Experto</i> .....	105
Figure 77 - <i>Base de l'application</i> .....	106
Figure 78 - <i>Décomposition du processus</i> .....	107
Figure 79 - <i>Utilisation des copies optimisées pour l'automatisation de la construction</i> .....	108
Figure 80 - <i>Création du bol de coulée</i> .....	109
Figure 81 - <i>Paramètres du modèle Cao évoluant au fur et à mesure du calcul</i> .....	109
Figure 82 - <i>Système complet</i> .....	110
Figure 83 - <i>Processus collaboratif de création d'un système d'alimentation en fonderie</i> .....	110
Figure 84 - <i>Résultat du calcul du retrait</i> .....	111
Figure 85 - <i>Processus réalisé sous DFX::Manager</i> .....	111
Figure 86 - <i>Diagramme d'interaction</i> .....	112
Figure 87 - <i>Comparaison des éléments grâce au diagramme d'interaction</i> .....	113
Figure 88 - <i>Représentation de similarité des composants selon [Betz et al., 2008]</i> .....	113
Figure 89 - <i>Organisation du projet Nanosurf</i> .....	115
Figure 90 - <i>Processus collaboratif du projet</i> .....	116
Figure 91 - <i>Diagramme d'interaction</i> .....	118
Figure 92 - <i>Décomposition en groupe de travail</i> .....	118
Figure 93 - <i>Diagramme utilisant le mode « prise de note rapide »</i> .....	119

## Table des tableaux

Tableau 1 - <i>Modèles en fonction des découpages de Merise</i> .....	21
Tableau 2 - <i>Description des méthodes IDEF</i> .....	25
Tableau 3 - <i>Grille GRAI</i> .....	28
Tableau 4 - <i>Différence entre les deux modèles</i> .....	50

## Positionnement du problème

Le concept de PLM (Product Lifecycle management) s'intègre dans la chaîne numérique et propose une approche processus du projet, qui est de plus en plus utilisée dans les entreprises. Le projet intégrant de nombreux intervenants internes ou externes à l'entreprise fait qu'on parle de plus en plus de travail collaboratif autour du projet. La multiplication des intervenants a conduit à des outils de plus en plus difficiles à utiliser par des personnes qui ne sont pas formées.

C'est pourquoi l'objectif de ce manuscrit est de s'intéresser à la modélisation des processus industriels de PME (Petite et Moyenne Entreprise). Les outils disponibles sur le marché sont difficilement accessibles pour les PME. Il faut pour cela notamment souvent une formation lourde qui ne peut malheureusement pas être prise en charge par des PME à l'heure actuelle. Nous proposons donc une méthodologie de travail ainsi qu'un outil simple d'utilisation pour la modélisation de leurs processus.

Les travaux présentés dans ce manuscrit décrivent comment un utilisateur peut simplement ajouter son point de vue dans un processus collaboratif, comment il peut rapidement retrouver des informations et comment les exploiter. Pour cela nous prenons différents exemples qui sont liés aux PME ardennaises et qui prennent en compte la liaison CAO/Simulation.

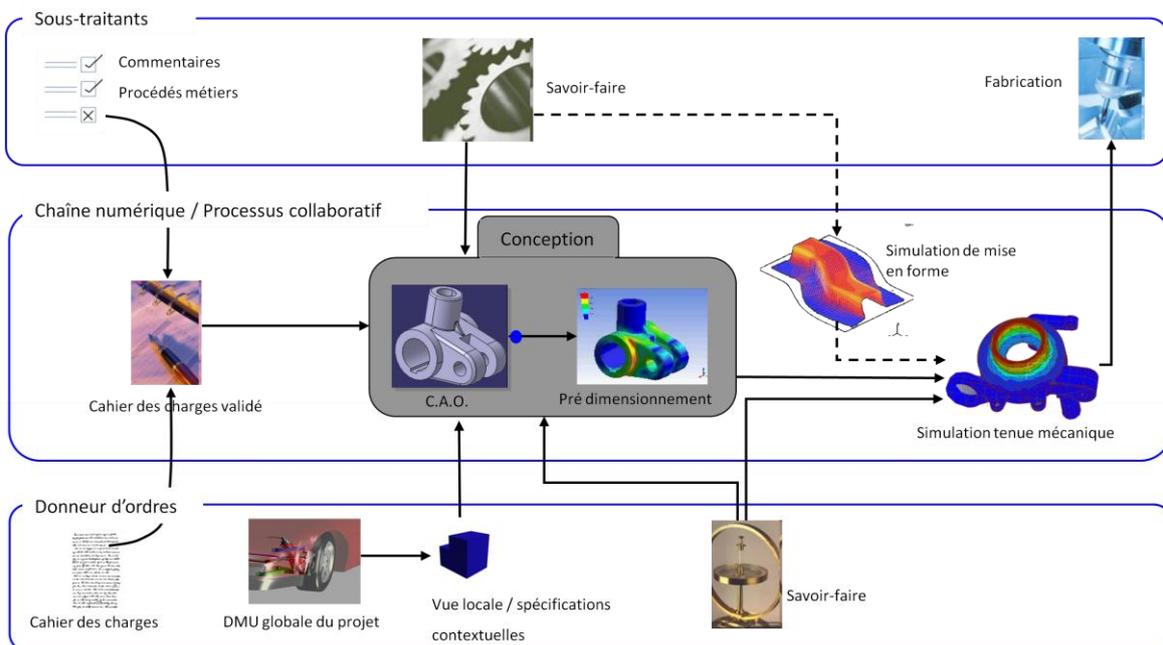
## Contexte de travail

Notre équipe de recherche (CReSTIC/CMCAO<sup>1</sup>) labélisée Equipe de Recherche Technologique (ERT) Gaspard Monge vise un verrou technologique précis : aider les entreprises sous-traitantes de fabrication à devenir des entreprises de sous-traitance fonctionnelle (passer de rang  $i+1$  à rang  $i$ ) en s'appuyant sur la chaîne numérique dans un contexte d'entreprise étendue et sur les compétences métiers. Elle vise aussi à simplifier l'utilisation des outils de CAO, afin de les rendre utilisables par tous, tout en intégrant les connaissances métiers. Le système d'assistance à la conception est intégré dans un logiciel développé en JAVA qui se nomme DIJA. Ce logiciel fait travailler plusieurs chercheurs sur des approches différentes, tout en gardant à l'esprit l'intégration de la chaîne numérique dans la conception. Dans cet objectif, l'utilisation d'outils et de méthodes est abordée. Dans

---

<sup>1</sup> Laboratoire CReSTIC, équipe CMCAO (Concepts et Modèles pour la CAO)

[Gardan, 2005], une méthodologie de travail collaboratif est mise en place afin de prendre l'aspect co-conception comme une approche importante. Cette méthodologie découle d'un travail de recherche qui met en avant l'aspect 4P, Projet, Processus, Procédé et Produit autour d'un projet fédérateur P<sup>4</sup>LM. C'est à partir de ce travail de recherche que ce manuscrit présente des apports à cette méthodologie de travail et un outil d'aide à la modélisation des processus. Afin de garder une liaison industrielle mes recherches se déroulent en collaboration avec le centre technique DINCCS<sup>2</sup> de l'Association Française des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Ingénierie Numérique Micado, créé par l'initiative du Professeur Yvon Gardan. Le DINCCS aide les entreprises à effectuer le saut technologique indispensable à leur compétitivité, particulièrement dans le cadre de relations donneur d'ordres / sous-traitants. L'objectif est de donner aux entreprises, en particulier ardennaises, la possibilité de s'intégrer très vite dans la conception d'un nouveau produit et de faire ainsi face à la délocalisation et à la mondialisation, en mettant en place une sous-traitance dite fonctionnelle et performante. Ce centre technique offre ainsi la possibilité de s'intégrer très tôt dans la chaîne numérique ou de participer aux phases de conception, simulation, etc., et de travailler en étroite collaboration avec les donneurs d'ordres Figure 1.



**Figure 1 - Activités du DINCCS**

Mes travaux de recherche se sont basés sur différents projets, aussi bien universitaire, industriels ou européens. J'ai tout d'abord participé à un projet Franco-Belge Espoir<sup>2</sup> en

<sup>2</sup> Centre Technique Dédié à l'Ingénierie Numérique Conception Collaborative et Simulation.

collaboration avec le Centre de Recherche de l'Industrie des Fabrications (CRIF). L'objectif est d'améliorer la compétitivité des entreprises de la zone Liège / Charleville-Mézières en mettant à disposition des compétences dans les TIC, l'usine numérique, l'organisation moderne de production, la conception fonctionnelle et le travail collaboratif. Ce projet a donné lieu à une plate-forme technologique offrant une large gamme de services aux entreprises par :

- ~ le développement d'un outil de travail collaboratif ;
- ~ une sensibilisation constante aux technologies de conception, de simulation et de fabrication ;
- ~ l'intégration de ces technologies dans des cas concrets.

Ce projet a permis de réaliser plus de 100 projets et de visiter plus de 800 entreprises.

J'ai pu participer à un projet universitaire en collaboration avec l'INRIA de l'Université de Nice Sophia Antipolis. Ce projet a donné lieu à la réalisation d'une étude complète avec la création de prototypes fonctionnels pour les étudiants de Nice. A l'origine, les étudiants de Nice, spécialisés en programmation d'objets communicants, réalisaient leurs prototypes à l'aide de boîtes en carton. La proposition de travail collaboratif entre les deux universités a donc permis à différents groupes de travailler à distance et de pouvoir mettre en avant la difficulté de compréhension et de communication entre des personnes de métiers différents. Cette opportunité pour les étudiants en charge de projets a permis la réalisation de plusieurs objets. Ce projet est renouvelé cette année à une plus grande échelle.

Enfin j'ai pu participer à la réalisation du projet Nanosurf, ce projet multidisciplinaire fait appel à des partenaires locaux. Le but est d'optimiser la durée de vie d'un disque de frein. Les partenaires sont l'entreprise Gigant, le CTIF<sup>3</sup>, DINCCS et l'ERT Gaspard Monge. Ce projet sera détaillé par la suite.

L'objectif de cette thèse est d'intégrer le point de vue des différents intervenants d'un projet dans la modélisation d'un processus, tout en tenant compte des méthodologies mises en place par l'ERT Gaspard Monge et en s'appuyant sur les études des différents projets réalisés. Cette thèse a permis de contribuer à la création d'un outil permettant d'aider à cette modélisation, elle a permis d'intégrer la notion de point de vue et les modifications de la méthodologie P<sup>4</sup>LM dans l'outil.

---

<sup>3</sup> Centre Technique de l'Industrie de la Fonderie

## Organisation du document

Ce mémoire expose notre proposition d'apport à la méthodologie et à l'intégration du point de vue dans une modélisation de processus pour les PME dans le cadre de projets collaboratifs s'intégrant dans la chaîne numérique, il s'organise comme suit :

- ~ Le chapitre I (*Les processus industriels et leurs modélisations*) présente une étude des différents modèles et langages permettant la modélisation d'un processus industriel à l'heure actuelle. Une fois l'étude des langages et modèles réalisée, une étude des méthodes et outils disponibles sur le marché est présentée, pour montrer le réel besoin d'une méthodologie claire et d'outils simples d'utilisation pour des personnes non initiées à la modélisation des processus.
- ~ Le chapitre II (*Présentation du projet P<sup>4</sup>LM et notions de point de vue*) présente une description du projet de recherche antérieur sur lequel notre travail de recherche est basé. Dans ce chapitre, nous définissons tous les éléments importants, ainsi que l'approche modulaire qui est étudiée. Nous présentons la liaison avec les autres travaux fédérateurs de notre équipe de recherche et nous intégrons la notion de point de vue ainsi que la liaison avec les connaissances autour d'un projet collaboratif.
- ~ Le chapitre III (*Intégration de points de vue dans la modélisation d'un processus industriel*) présente les différents apports et les modifications réalisées à la méthodologie P<sup>4</sup>LM. Il présente aussi l'outil mis en place pour la modélisation d'un processus avec un exemple des différentes étapes à réaliser pour modéliser correctement un processus avec différents points de vue.
- ~ Le chapitre IV (*Mise en œuvre*) présente deux cas d'études : la réalisation d'un outil d'aide à la conception de système de descente en fonderie en appliquant la méthodologie et en réalisant le processus de conception, puis le développement d'un projet collaboratif autour du projet Nanosurf en utilisant un portail collaboratif. Ces deux applications permettent de valider les concepts mis en place pendant nos recherches présentées dans le chapitre III et permettent de tester l'outil développé.
- ~ Enfin, le chapitre *Bilan et perspectives* présente une synthèse du contenu de ce manuscrit, les résultats obtenus et les améliorations ainsi que les évolutions possibles.

# CHAPITRE I

---

## MODELISATION DES PROCESSUS

Thèmes abordés

Modèles et langages

Modélisation

Méthodes de modélisation

## Introduction

Aujourd'hui, un projet fait intervenir un grand nombre d'entreprises, qu'elles soient donneurs d'ordres ou sous-traitantes. Chaque entreprise impose des exigences sur le produit de plus en plus grandes pour augmenter la qualité. Suivant son rang, elle fait pression sur le sous-traitant direct afin d'obtenir des pièces manufacturières le plus rapidement possible avec un coût de plus en plus bas. Cette demande fait donc appel à une révision du mode de gestion et de fabrication d'un produit. L'intervention d'un grand nombre d'entreprises implique un nombre considérable d'intervenants. Qu'ils soient de la même entreprise ou d'entreprises différentes, ils apportent leur connaissance, leur savoir-faire et leur point de vue au projet.

C'est pourquoi, une étude approfondie des processus, aussi bien de l'entreprise que du projet, s'impose. D'une façon générale l'étude du processus est reliée au cycle de vie du produit, plus connu sous le sigle PLM (Product Lifecycle Management) et répandu dans les grandes compagnies manufacturières. Le PLM s'intègre à la chaîne numérique et permet de gérer tous les éléments d'un projet, que ce soit les entreprises, les moyens humains et matériels. Dans notre cadre de recherche, nous nous intéressons au cas des PME (Petites et Moyennes Entreprises). Nous étudions les moyens qu'elles ont à leur disposition pour s'intégrer facilement dans la chaîne numérique, tout en adaptant notre méthodologie de modélisation des processus.

La modélisation des processus est donc une tâche importante qui ne doit pas être prise à la légère. Dans cette modélisation, chaque intervenant va pouvoir venir ajouter des informations. Un formalisme commun doit être mis en place à l'aide d'un outil sur un poste informatique du fait de la diversité des intervenants.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps les différents langages étudiés pour la modélisation des processus. Pour optimiser l'utilisation des langages, il faut une méthode. Dans un second temps, nous présentons des modélisations de processus dans différents contextes.

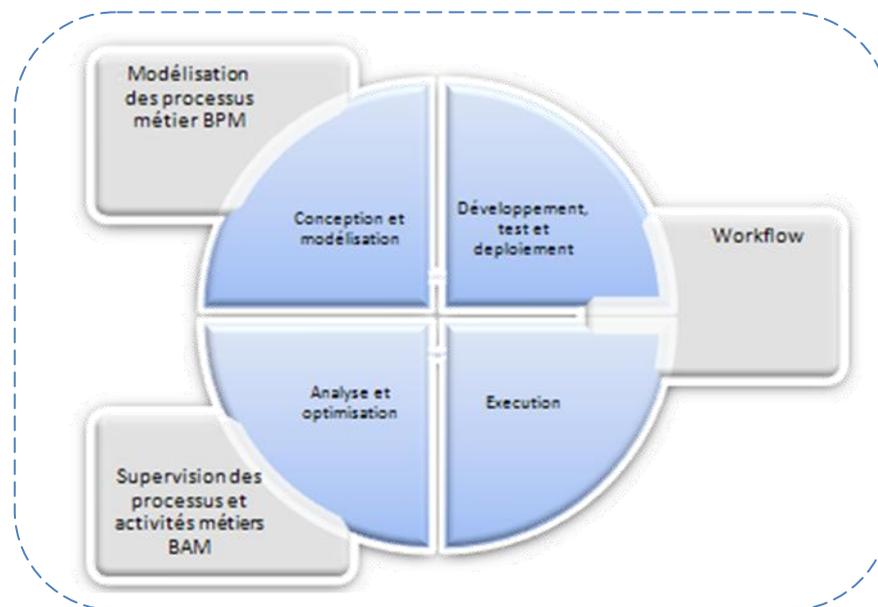
## 1. Modélisation des processus industriels : modèles et langages

La modélisation des processus métiers se retrouve dans trois grandes catégories,

- ~ La description des processus.
- ~ L'analyse des processus (BPA : Business Process Analysis).
- ~ La gestion des processus (BPM : Business Process management) (Figure 2) [van der Aalst *et al.*, 2003].

Ces trois domaines sont légèrement différents mais restent tout de même complémentaires. La description des processus se limite à leur représentation graphique à des fins de documentation ou de communication [CRP Henri Tudor, 2006]. L'analyse des processus réalise des simulations. Elle

visée à documenter et à connaître le fonctionnement des personnes dans l'entreprise [Pedrinaci *et al.*, 2008]. Cette analyse permet d'améliorer la liaison entre les différentes composantes qui interviennent dans un projet. Un élément important du BPA est le BAM (Business Activity Monitoring) [Van der Aalst, 1999] qui permet de gérer au mieux la perception de la performance des activités du processus.



**Figure 2** - Présentation des différents éléments du Business Process Management

La modélisation des processus consiste à représenter la structure et le fonctionnement avec un certain point de vue et un certain niveau de détail afin d'améliorer la compétitivité de l'entreprise. L'objectif global étant d'améliorer les performances de l'entreprise, elle permet aussi d'obtenir des objectifs qui n'ont pas été identifiés lors de la mise en place d'une gestion des processus métiers. Lors de la modélisation des processus, l'entreprise va pouvoir :

- ~ Communiquer avec un langage commun (afin de faciliter la compréhension).
- ~ Identifier des problèmes.
- ~ Faire un état des lieux, sur le personnel et les moyens.
- ~ Construire et simuler des situations et des cas d'études.
- ~ Capitaliser des connaissances.
- ~ Automatiser des processus.
- ~ ...

La modélisation des processus industriels fait appel à des connaissances orientées vers les langages qui sont très étroitement liées aux modèles. Le langage en informatique est par définition un langage formel utilisé pour la définition ou le fonctionnement d'un système d'information. Le modèle est, par définition, d'un point de vue informatique, une représentation de la réalité qui a

pour objectif de structurer les données, les traitements et les flux d'informations entre les entités. Dans la suite de ce document, nous utiliserons le mot langage, qui regroupera les modèles et les langages. Le fait d'utiliser un langage déjà mis en place permet de faciliter son intégration dans un système d'information. Nous avons étudié différents moyens de représenter un processus, notamment les langages basés sur UML et Merise, qui sont souvent utilisés pour le développement informatique, mais nous avons également analysé des modèles comme SADT ou GRAI qui sont utilisés pour la description fonctionnelle. Nous voulons élargir nos recherches à des moyens novateurs et plus facilement utilisables afin de représenter un processus pour des personnes travaillant dans des PME. Nous avons aussi étudié des modèles qui ne sont pas utilisés pour la modélisation de processus, ni pour le développement informatique, mais qui peuvent nous permettre de mettre en place un nouveau moyen de représenter le processus.

Les modèles et les langages peuvent être décomposés suivant deux grandes catégories selon [Heavey & Ryan, 2006] : la méthode formelle (section 1.1) et la méthode descriptive (section 1.2). Ces méthodes pouvant être de nouveau décomposées suivant des approches orientées objet, des approches structurées et des approches systémiques.

Une méthode est une technique qui permet de résoudre des problèmes [Laurière, 1986]. Le terme méthode recouvre plusieurs notions. C'est à la fois une philosophie dans l'approche des problèmes, une démarche ou un fil conducteur dans la résolution, des outils d'aides et enfin un formalisme ou des normes [Andre, 1995]. Nous retrouvons comme synonyme « méthodologie ». Dans notre cas, une méthode sera une approche pour résoudre un problème ou encore une démarche de résolution.

## **1.1.Méthode formelle**

Une méthode formelle est une méthode qui utilise la puissance des outils mathématiques, de ses notations rigoureuses et de sa logique éprouvée [Wordsworth, 1999]. Le fait d'utiliser une méthode formelle permet de démontrer d'une façon claire les différents éléments d'un processus. Nous constatons cependant que les bases sont souvent rejetées par les ingénieurs et encore plus par des opérateurs en production qui pourraient être amenés à modéliser leurs processus. Ils n'ont pas de représentation et de moyen de se rapprocher de la réalité. Un point fort de cette méthode est qu'elle permet d'obtenir des processus qui peuvent être simulés informatiquement afin de valider leur cohérence.

Nous présentons deux approches pour la méthode formelle : l'approche orientée objet et l'approche systémique

*L'approche orientée objet* permet de représenter une partie du monde réel avec des outils informatiques. Si chaque concepteur (que ce soit dans le domaine du logiciel, de l'automobile ou

encore de l'architecture) devait reconstruire les bases pour concevoir un nouvel élément, il n'y aurait pas beaucoup d'évolution. C'est pourquoi ils réutilisent tous des éléments créés qui ont une fonction bien particulière, au fur et à mesure de leur conception. [Legay, 2003]

Un objet est caractérisé par plusieurs notions (Figure 3) :

- ~ Les attributs ou états sont les données qui caractérisent l'objet. Ce sont des variables qui permettent de stocker des informations en rapport avec l'état de l'objet.
- ~ Les méthodes ou comportements regroupent toutes les compétences d'un objet et décrivent les actions et les réactions de cet objet.
- ~ L'identité est propre à chaque objet, elle est indépendante de son état, ce qui permet de le distinguer d'un autre objet. [Khoshafian & Copeland, 1986]

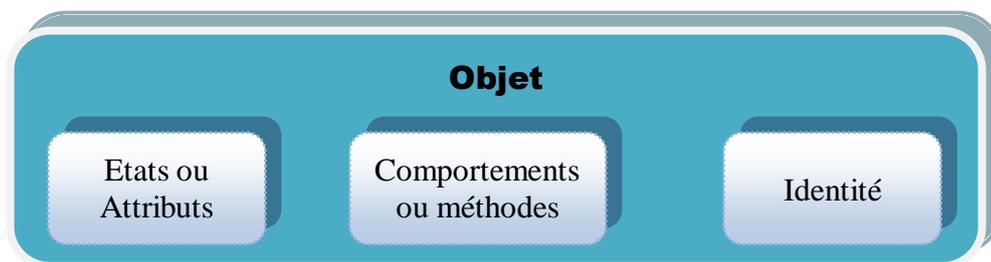


Figure 3 - Décomposition d'un objet

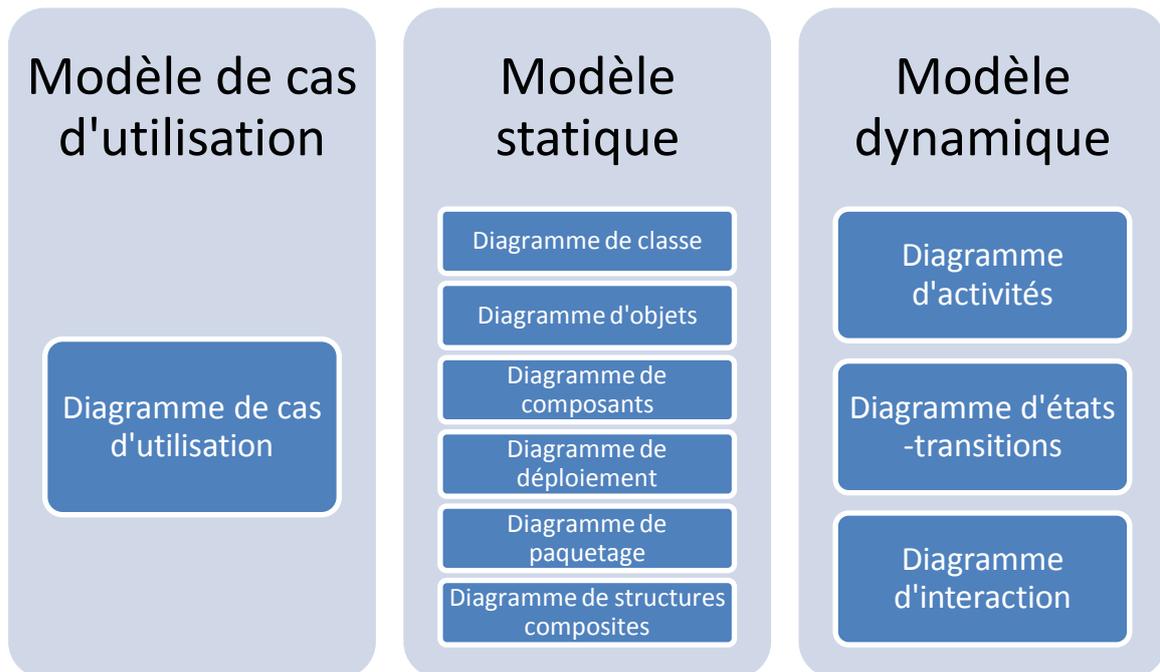
L'utilisation massive des approches orientées objet dans tous les domaines a bouleversé les méthodes de conception des logiciels, mais aussi des systèmes d'informations. C'est pourquoi de nouvelles méthodes et de nouveaux langages ont été créés [Mueller *et al.*, 2006]. Parmi ces derniers, **UML** [Muller & Gaertner, 2000], se veut être un langage fédérateur de tous ces courants. En effet, il est basé sur la mise en commun de trois méthodologies pour le développement orienté objet [Booch *et al.*, 1999]. Cette méthode a été mise en place par Rational Software et ensuite acceptée en tant que standard par l'OMG (Object Management Group) en 1997. UML est un outil complet qui couvre toute les étapes du développement d'un logiciel [Pichel *et al.*, 2003].

Selon [Kim *et al.*, 2002], la modélisation UML se décompose en trois parties (Figure 4) : le modèle de cas d'utilisations, le modèle statique et le modèle dynamique. Cette décomposition peut s'adapter à la modélisation des processus industriels.

Nous détaillons une partie des diagrammes qui sont les plus utilisés et qui peuvent servir pour la modélisation des processus [Dobing & Parsons, 2006] :

- ~ Le diagramme de cas d'utilisation [Astesiano & Reggio, July 2002] est le premier diagramme à réaliser, il permet de gérer les relations entre les utilisateurs et les objets du système.

- ~ Le diagramme de classes est considéré comme le diagramme le plus important dans le développement orienté objet. Il représente l'architecture conceptuelle du système.
- ~ Le diagramme d'objets précise le diagramme de classes avec un exemple.
- ~ Le diagramme d'états-transitions décrit l'évolution des objets appartenant à une classe.
- ~ Le diagramme d'activités montre l'enchaînement des activités qui permettent de décrire le processus.
- ~ Le diagramme de séquence et de communication permet de représenter les étapes successives chronologiquement de l'utilisation d'objets par un utilisateur.



**Figure 4 - Décomposition en diagrammes d'UML [Audibert, 2002]**

UML est une base fondamentale pour le développement informatique [Eustache, 2002], cependant cette méthode permet de décrire le même objet de plusieurs façons différentes, ce qui peut apporter des confusions.

L'utilisation du modèle à base d'UML en tant que formalisme ne permet pas toujours de représenter toutes les étapes d'un processus. C'est pourquoi des évolutions ont été apportées aux diagrammes d'UML [Willard, 2007]. Par exemple, [Dahchour *et al.*, juin 2007] introduit une extension d'UML par les rôles, pour relier l'aspect statique d'une classe avec l'aspect dynamique des rôles.

Le fait de modifier un élément, ou d'ajouter une fonctionnalité à UML vient de nouveau compliquer la modélisation d'un processus. Il est vrai que pour les personnes qui sont associées à un même projet, cela facilite grandement la modélisation. Si on adapte ces concepts à une PME, il faut tout d'abord former les différents utilisateurs à toutes les bases d'UML et ensuite ajouter les

modules complémentaires. Cette méthode est donc difficile à mettre en œuvre pour des petites structures qui n'en ont pas forcément les moyens (financiers, humains ou matériels).

*L'approche systémique* se base sur l'interaction des systèmes et plus particulièrement sur l'analyse des flux. Selon l'AFSCET [Donnadieu *et al.*, 2003], l'approche systémique est une nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques. Cette démarche est relative à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste. De plus elle pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou encore des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe.

Avec l'approche systémique, chaque système peut se décomposer en deux sous systèmes (Figure 5) :

- ~ Le système de pilotage composé d'un système de décision et d'un sous-système d'information.
- ~ Le système opérant, qui réalise les opérations du système.

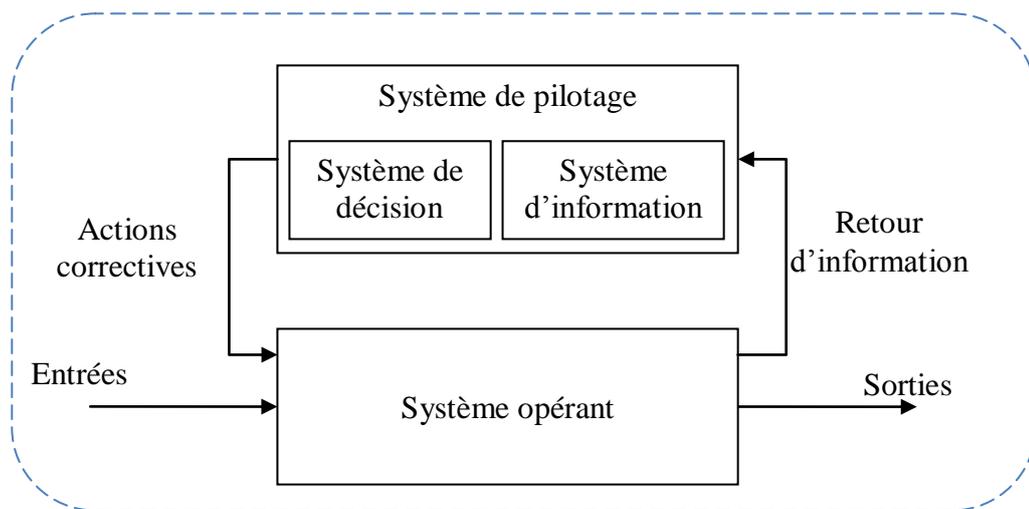


Figure 5 - L'approche systémique

Cette approche a donc fait appel à de nombreuses études et de nombreux moyens de représenter un système d'information ou un logiciel. Nous allons détailler deux méthodes qui sont utilisées, Merise et UEML (Unified Enterprise Modelling Language).

La méthode **Merise** permet d'étudier le développement de l'informatique dans une entreprise ou même dans tous systèmes. Pour cela, elle analyse les échanges internes et externes entre les systèmes et la réaction aux différents échanges [Matheron, 2000] [Tardieu *et al.*, 1998].

Merise se veut une méthode qui permet de faire la liaison entre les utilisateurs et l'informaticien. Si nous prenons l'exemple du système d'exploitation Windows XP, l'utilisateur doit valider la fonction démarrer pour arrêter son ordinateur. On peut voir que la logique de l'un n'est pas forcément la logique de l'autre, d'où la notion de point de vue qui s'intègre très tôt dans la modélisation des données et des besoins.

La méthode Merise se décompose en trois grandes parties :

- ~ Communication, qui représente les flux entre les systèmes et plus précisément les flux d'informations ou les messages.
- ~ Traitement, qui gère les messages, les flux d'informations et qui décrit les tâches qui sont à effectuer.
- ~ Données, qui permet de structurer la mémorisation des informations, afin de faire une liaison avec l'informatique.

Pour spécifier les moyens informatiques, il faut définir les besoins de l'utilisateur et la structure du travail. L'enchaînement de l'informatique, de l'organisation et de la fonction, nécessite un découpage de la démarche en niveaux. Ces niveaux sont nommés :

- ~ Conceptuel pour l'étude des fonctions
- ~ Organisationnel pour l'étude de l'organisation
- ~ Pour le niveau décrivant les moyens informatique, il faut le décomposer en deux,
  - o Le niveau logique, qui permet de définir les spécifications informatiques sans outils ;
  - o Le niveau physique, qui représente la partie finale de l'informatisation de l'entreprise.

Ce découpage nous amène à la production de douze modèles différents (Tableau 1).

	<b>Communication</b>	<b>Données</b>	<b>Traitement</b>	
Conceptuel	MCC	MCD	MCT	Quoi ?
Organisationnel	MOC	MOD	MOT	Qui fait quoi?
Logique	MLC	MLD	MLT	Avec l'air de quoi?
Physique	MPC	MPD	MPT	Comment?

**Tableau 1 - Modèles en fonction des découpages de Merise**

La méthode Merise permet donc de gérer l'implantation et le développement d'outils informatiques dans une entreprise. Cependant elle ne permet pas de représenter simplement les différents aspects techniques. Comme nous l'avons montré, il faut douze modèles pour réussir à passer toutes les étapes de modélisation d'un système d'information. Le nombre important des

modèles, impose de passer un certain temps sur la modélisation, ainsi que la connaissance de chacun d'eux. Pour cela, il faut que chaque personne soit formée à cette méthode, ce qui induit un coût en plus au projet.

**UEML** [Petit *et al.*, 1997] s'oriente aujourd'hui vers un consensus entre les différents acteurs et les différents organismes de normalisation travaillant dans le domaine de l'ingénierie et de l'intégration d'entreprise. Le fait de travailler en utilisant de nombreux outils avec souvent des langages dédiés ne permet pas toujours une communication simple entre eux. UEML se veut une plaque tournante permettant de gérer tous les moyens utilisés lors de la modélisation d'une entreprise [Opdahl & Berio, 2006]. Il permet de gérer les différents modèles utilisés (Figure 6), UEML doit devenir une base pour gérer la liaison de chaque modèle. Les modèles existants ne sont plus indépendants l'un de l'autre mais deviennent des interfaces opérationnelles d'UEML. UEML n'est pas un nouveau langage utilisant les notions d'UML mais il pourrait être un « Esperanto<sup>4</sup> » dans le domaine de la modélisation. [Vallespir *et al.*, 2003]

UEML s'approche d'un standard pour l'utilisation des différents modèles, il a pour finalité un langage compatible avec les langages opérationnels les plus couramment utilisés. Le fait d'unifier tous ces langages autour d'un langage unique (UEML), permet d'étudier les différentes approches envisageables pour son développement.

- ~ L'approche ascendante débute par une analyse des langages existants de modélisation des entreprises.
- ~ L'approche descendante fait appel à une analyse conceptuelle.
- ~ L'approche hybride choisit un compromis entre ces deux approches.

C'est cette dernière qui est utilisée pour la modélisation avec le standard UEML. Elle est réalisée suivant plusieurs étapes qui sont tirées des deux approches.

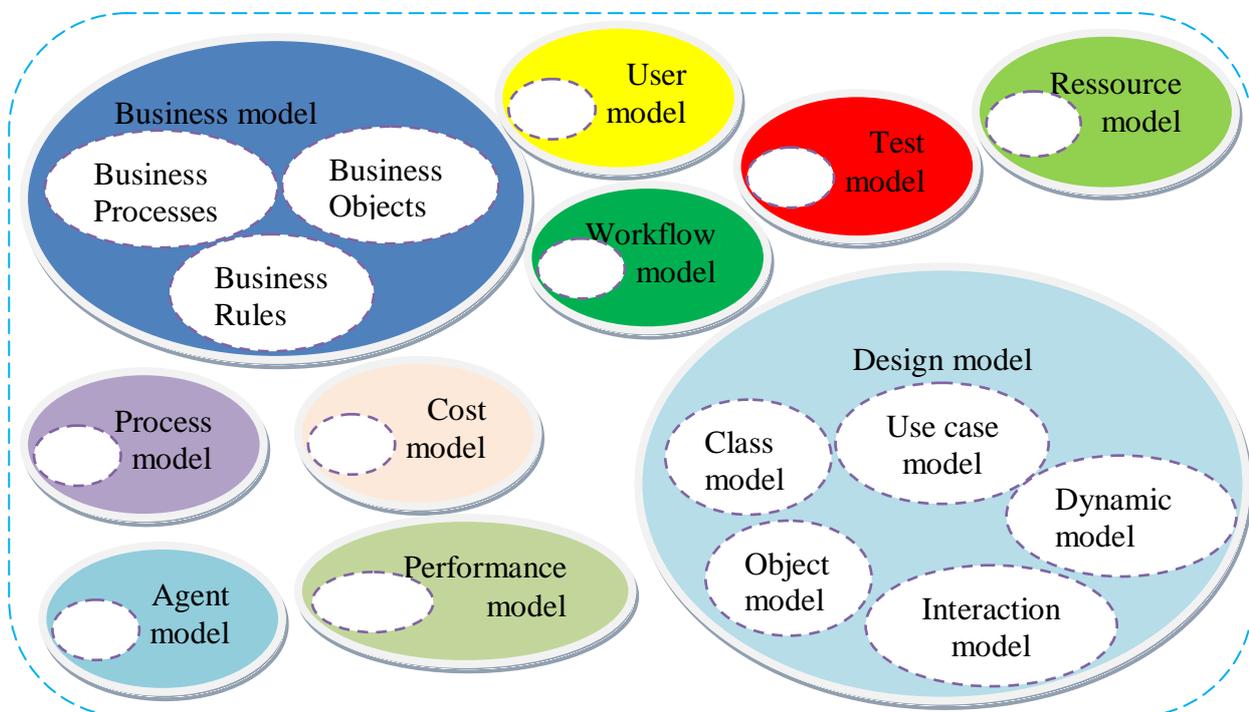
- 1) Définition des besoins fonctionnels.
- 2) Choix des langages existants en relation avec les fonctionnalités étudiées.
- 3) Définition d'un ensemble de concepts élémentaires obtenue par décomposition des langages choisis.
- 4) Regroupement des concepts élémentaires et élimination des redondances.
- 5) Etablissement de la syntaxe des concepts élémentaires.

La méthode UEML permet d'utiliser tous les types de modèles sur le marché, elle est donc évolutive et doit s'adapter au fur et à mesure de l'évolution des langages et modèles étudiés. Le fait de pouvoir mélanger tous ces types de modèles permet d'introduire deux notions importantes dans

---

<sup>4</sup> L'esperanto est à la base un langage commun pour améliorer la communication entre les personnes. Il reprend les bases de différents langages et l'adapte pour la compréhension de tous. L'esperanto a été construit par Ludwik Lejzer Zamenhof en 1887. C'est à partir de cette idée de mise en commun des langages que nous utilisons ce terme.

UEML : présentation et représentation. [Opdahl, 2006] admet que pour le même système, il peut y avoir plusieurs présentations, mais il n'y aura qu'une seule représentation. Merise a été le premier modèle à utiliser ce système de mise en commun des différentes approches en détaillant sa méthode suivant différents niveaux d'abstraction.



**Figure 6** - Une sélection de modèles couramment employés dans les entreprises, qui utilisent souvent un langage dédié.[Anaya et al., 2010]

Les méthodes formelles permettent de représenter les différents systèmes, que ce soit un nouveau logiciel, la mise en place d'un nouveau système de gestion informatique dans une entreprise ou encore le fonctionnement d'une entreprise elle-même. Nous avons présenté deux approches différentes, l'approche orientée objet et l'approche systémique qui nous montre que la méthode formelle s'adapte facilement à différents domaines mais aussi à différents niveaux de compétences.

La méthode formelle ne possède pas de moyens graphiques de représentation, c'est pourquoi nous allons nous intéresser à la méthode descriptive.

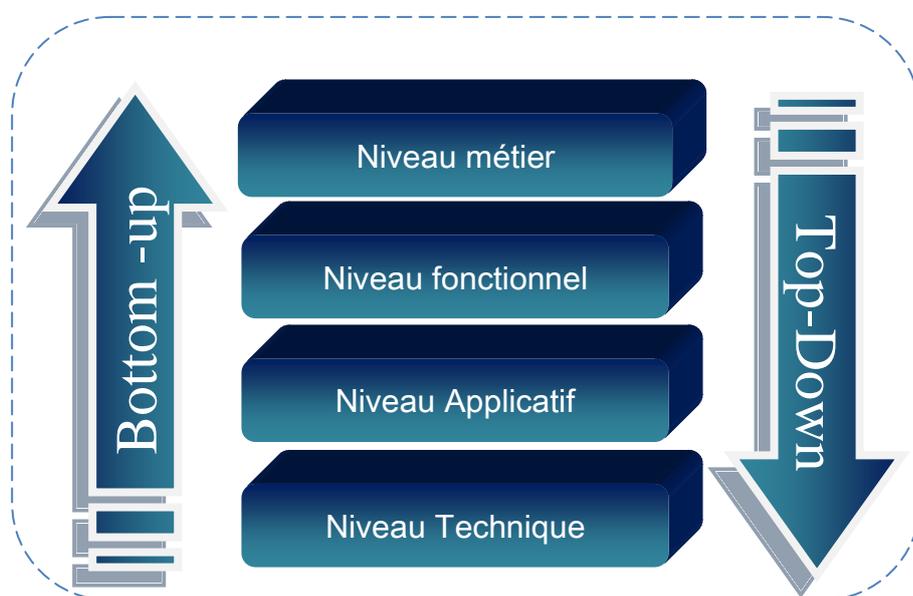
## 1.2.Méthode descriptive

Une définition philosophique de la méthode descriptive est qu'elle permet d'obtenir une description du comportement, mais n'en fournit pas nécessairement une explication causale [Tavris & Wade, 1999]. Ce qui implique que la description du système étudié n'est pas forcément son explication principale, mais elle permet de le comprendre.

Selon [Heavey & Ryan, 2006], la méthode descriptive est une méthode qui possède une base formelle mais qui est beaucoup plus graphique et représente de façon plus claire les différents éléments d'un système. Nous avons étudié cette méthode afin de simplifier la représentation d'un processus industriel. Comme [Chapurlat *et al.*, 1999], nous considérons qu'un modèle est toujours construit sur la base d'un langage, qu'il soit formel (langage mathématique par exemple), informel (langage naturel par exemple) ou semi-formel (langage au formalisme essentiellement graphique par exemple). La plupart du temps, lorsqu'un modèle est basé sur un langage informel, il est utilisé pour décrire une situation existante alors que lorsqu'on utilise un langage formel, on l'utilise pour vérifier les propriétés fixées dans un projet.

Nous pouvons décomposer la méthode descriptive en trois approches, l'approche structurée, l'approche systémique et l'approche orientée objet [Bouchiba & Cherkaoui, 2007]. Cette dernière permet de relier la méthode descriptive à la méthode formelle.

L'approche structurée est basée sur la décomposition descendante (Figure 7), modulaire et structurée qui permet d'appréhender toute la complexité d'un système. La décomposition descendante (Top-down) part d'un cahier des charges, et suivant des décompositions successives tend à arriver à une solution structurée.



**Figure 7** - Décomposition en niveau de l'approche ascendante et descendante.

Cette approche descendante permet d'avoir une vue générale d'un projet, suivant l'avancée du processus. Cette approche est indispensable, mais est très souvent liée à l'approche ascendante, pour ne pas être obligé de réinventer des parties qui ont déjà été créées dans un autre projet [Cartonnet *et al.*, 1999-2000].

De nombreuses méthodes ont été développées pour modéliser des processus industriels et la décomposition des tâches. Nous pouvons citer **IDEF** (Integration Definition for Function Modeling), SADT qui est à l'origine de la méthode précédente, mais beaucoup plus populaire dans le domaine industriel, mais aussi la méthode SA-RT (Structured Analysis-Real Time) qui est une méthode complémentaire à SADT et qui prend en compte les aspects dynamiques de la modélisation d'un système. Nous allons décrire la méthode IDEF et la méthode SADT.

La méthode IDEF<sub>x</sub> [WWW 1] (x étant une valeur numérique allant de 0 à 14) est un concept qui est défini dans plusieurs standards (Tableau 2). IDEF0 est le premier et le plus souvent utilisé pour la modélisation des processus. Cette méthode a été développée par l'ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) du nom du projet de l'U.S. Air Force mené dans les années 1970, pour représenter les fonctions d'un système [Mayer *et al.*, 1992].

Méthode	Description
<b>IDEF 0</b>	Modélisation fonctionnelle
<b>IDEF 1</b>	Modélisation informationnelle
<b>IDEF 1X</b>	Modélisation des structures de données
<b>IDEF 2</b>	Modélisation par simulation (modélisation dynamique)
<b>IDEF 3</b>	Saisie de description des processus
<b>IDEF 4</b>	Conception orientée objet
<b>IDEF 5</b>	Saisie de description d'ontologie
<b>IDEF 6</b>	Saisie de rationalités conceptuelles
<b>IDEF 7</b>	Méthode d'audit de système d'information
<b>IDEF 8</b>	Modélisation d'interfaces utilisateur
<b>IDEF 9</b>	Conception de systèmes d'information orientée scénario
<b>IDEF 10</b>	Modélisation d'architecture d'implémentation
<b>IDEF 11</b>	Modélisation d'artefacts (objets fabriqués) informationnels
<b>IDEF 12</b>	Modélisation organisationnelle
<b>IDEF 13</b>	Conception de formalisme tri-schémas
<b>IDEF 14</b>	Conception de réseaux

**Tableau 2 - Description des méthodes IDEF**

Les méthodes IDEF 0, IDEF 1X, IDEF 2, IDEF 3 et IDEF 4 ont été développées en 1995. D'autres méthodes comme IDEF 6, IDEF 8, IDEF 9 et IDEF 14 sont de nouveaux plus utilisées avec des développements plus récents, alors que les autres sont restées à l'état initial de leur développement et ne sont plus utilisées.

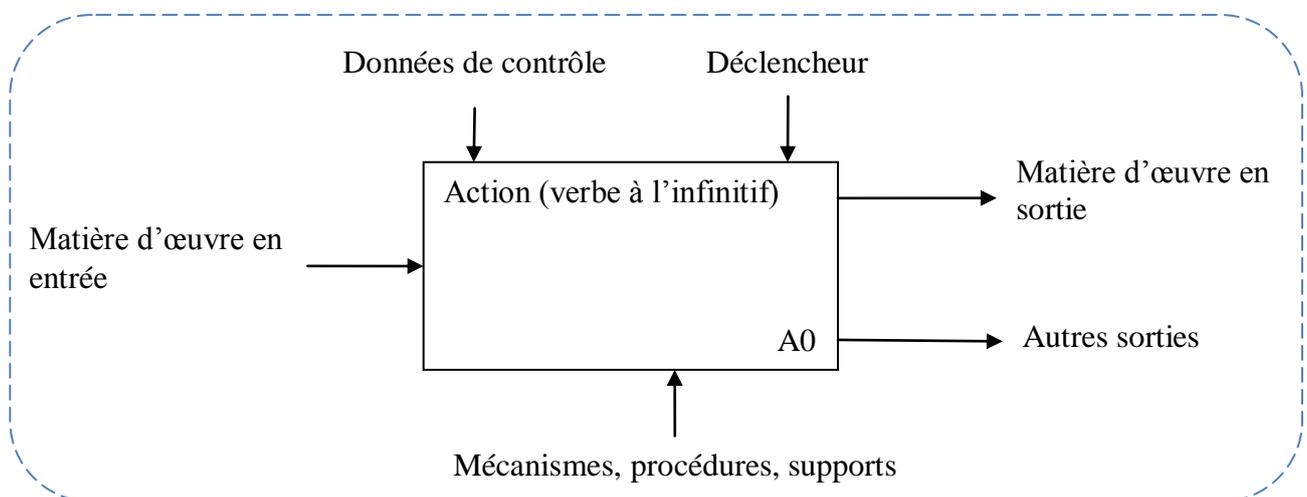
La méthode IDEF s'est basée sur le modèle **SADT** (System Analysis and Design Technic) qui a été développé en 1976 par la société américaine SOFTECH. Cette méthode a été développée pour décrire tout type de système, elle ne s'arrête pas aux systèmes informatiques. Elle permet de définir des systèmes existants, idéaux, réalisables compte tenu des contraintes du projet. Elle permet de modéliser une vue du système que l'on veut appréhender. Cette technique d'analyse structurée identifie et organise les détails du système suivant une hiérarchisation très rigoureuse [Alquier *et al.*, 2005].

La méthode IDEF étant basée sur la méthode SADT, nous allons associer IDEF à SADT pour la suite du document.

La modélisation de ces méthodes utilise une syntaxe simple. Elle représente une activité par une boîte rectangulaire numérotée et les relations entre ces activités par une flèche orientée. Cette décomposition hiérarchique décrit, ce que fait le système, ce qui contrôle le système, sur quoi il travaille, ce qu'il produit et les moyens mis en œuvre, à plusieurs niveaux de décomposition [Lattanzio, 2006].

Les avantages de ces méthodes sont multiples :

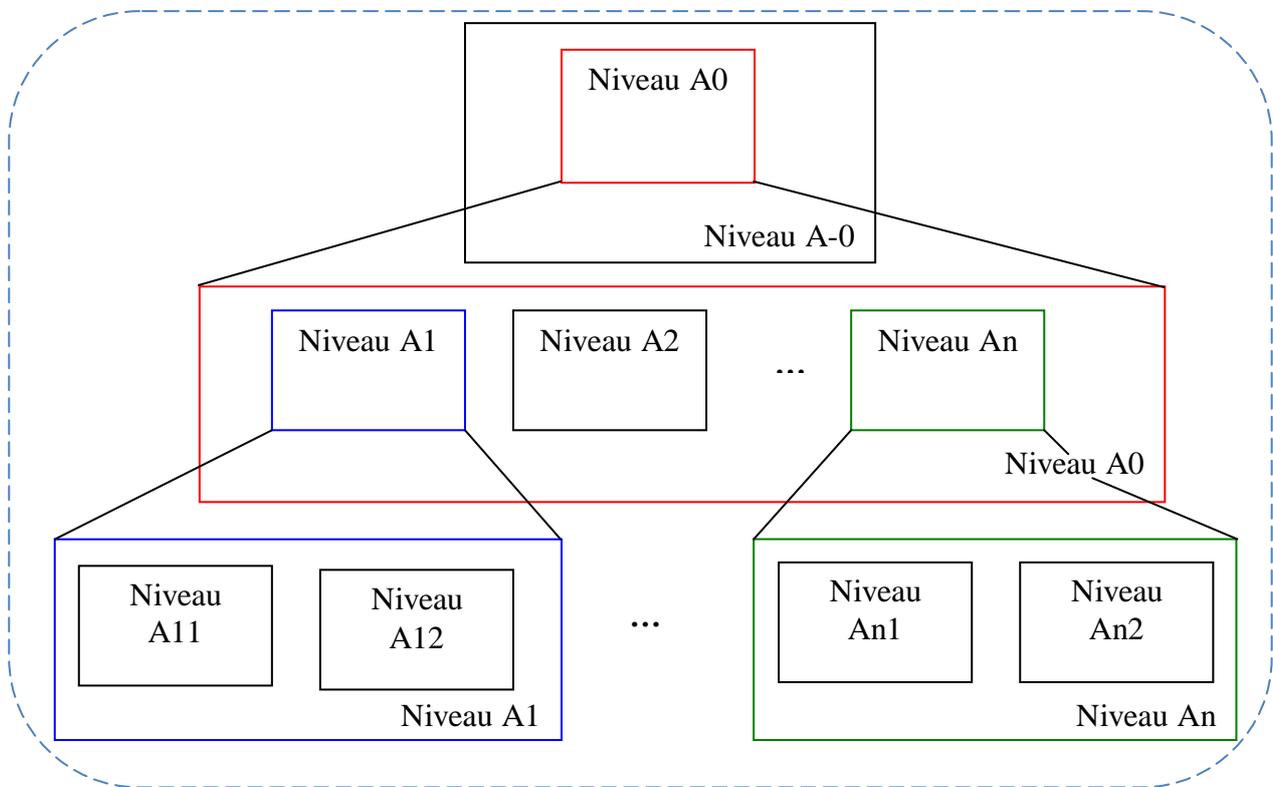
- ~ Elles possèdent un formalisme de modélisation rigoureux (Figure 8), qui oblige la personne qui modélise le système à définir pour chaque activité, les entrées sorties, les déclencheurs de l'activité, les supports ou mécanismes utilisés pour la réalisation de l'activité.



**Figure 8 - Modèle SADT et IDEF [Jaulent, 1993]**

- ~ Elles font appel à un formalisme descendant (Figure 9) avec une décomposition des activités globales en activités « enfants » plus détaillées. A l'exception du premier niveau (nommé A-0), tout diagramme est rattaché à un diagramme « parent ». Chaque niveau est identifié par son numéro de nœud, un titre et un identifiant qui lui est propre.

En conclusion, dans nos recherches, nous avons vu que IDEF et SADT sont des méthodes similaires, pour la modélisation des processus. Elles permettent de représenter « simplement » un système de n'importe quel type. Elles utilisent la méthode descendante afin de hiérarchiser et de décomposer en éléments de plus en plus détaillés, pour exprimer le système étudié.



**Figure 9 - Mécanisme de décomposition descendante dans SADT et IDEF**

SADT ou IDEF 0 utilise un formalisme graphique uniquement, ce qui est un problème pour les développements informatiques, mais ce qui est un avantage si l'on veut une description avec des outils simples d'utilisation et compréhensibles par tous. Elles ne traitent que le point de vue statique du système, elles ne prennent pas en compte les évolutions dans le temps et l'exécution des différentes activités.

Dans la suite de cette section, nous présentons l'approche systémique qui est possible dans une méthode descriptive. Nous avons voulu séparer les deux méthodes avec différentes approches afin de montrer les différences possibles. Nous présentons deux exemples de méthodes systémique, la méthode GRAI et la méthode GERAM.

La méthodologie **GRAI** (Grphe de Résultats et Activités Inter-reliés) est une méthode d'analyse et de conception des systèmes de décision et de gestion de production développée par les professeurs Pun et Doumeingts du laboratoire GRAI de Bordeaux [Trilling *et al.*, 2004]. Le modèle conceptuel GRAI peut se décomposer en trois systèmes. Le système physique (machines, hommes, matières premières) est décomposé en centres de charge. Ces centres sont des îlots de fabrication

définis par des techniques de groupement. Le système de décision se décompose en niveaux de décisions, caractérisés par un **horizon** de prise de décision et une **période** qui est une durée de temps au bout de laquelle les décisions prises sont remises en question. Enfin le système d'information permet de lier le système physique et le système de décision. Le système de pilotage de production qui est utilisé, est constitué du système de décision et du système d'information (Figure 5).

L'objectif de cette méthodologie est de pouvoir définir tous types de systèmes, que ce soit dans des entreprises industrielles ou de services. Cette méthode fournit une base de gestion des projets pour améliorer les performances de l'entreprise. Un de ses atouts majeurs est de pouvoir fournir aux modélisateurs la possibilité de représenter efficacement le système décisionnel de l'entreprise et donc de proposer une modélisation du processus de décision mis en place. Cette méthode est intégrée dans un logiciel dédié qui permet de représenter les aspects de l'entreprise tout en proposant des outils d'aide à la conception de systèmes décisionnels. La méthodologie GRAI appliquée à un système existant permet de retrouver les points forts et les points améliorables. Elle a été largement utilisée pour la modélisation des systèmes de gestion de production dans les entreprises manufacturières depuis 1981.

Cette méthode repose sur deux types d'analyses : une analyse ascendante et une analyse descendante. L'analyse descendante permet d'identifier la structure hiérarchique du système de pilotage et prend en compte les contraintes des structures. Cette analyse se base sur un outil qui est la grille GRAI. Celle-ci permet d'avoir une vision globale et macroscopique de la structure du système étudié. Elle situe les différents centres de décisions les uns par rapport aux autres, ainsi que les informations (représentées par une flèche simple) et les décisions du système étudié (représentées par une flèche double) [Roboam, 1993] :

Fonctions H/P	Informations externes	Gérer les produits		Planifier la production	Gérer les ressources		Informations internes
		Acheter	Approvisionner		Humaines	Technologiques	
H= P=							
H= P=				↓ Centre de décision			
H= P=							

Tableau 3 - Grille GRAI

- ~ H étant pour l'horizon de prise de décision.
- ~ P étant la période, la durée au bout de laquelle les décisions peuvent être modifiées.

L'analyse ascendante permet à l'analyste de réaliser une enquête sur chacun des responsables des centres de décisions qui ont été mis en évidence dans la grille GRAI. Il utilise pour cela l'outil lié à la méthodologie, qui est le réseau GRAI. Les réseaux GRAI peuvent être considérés comme une adaptation des outils de représentation graphique, tels que les réseaux de Pétri, les Grafset ou encore les diagrammes PERT, pour modéliser les activités décisionnelles d'un système. Les réseaux GRAI intègrent trois nouveaux concepts qui sont :

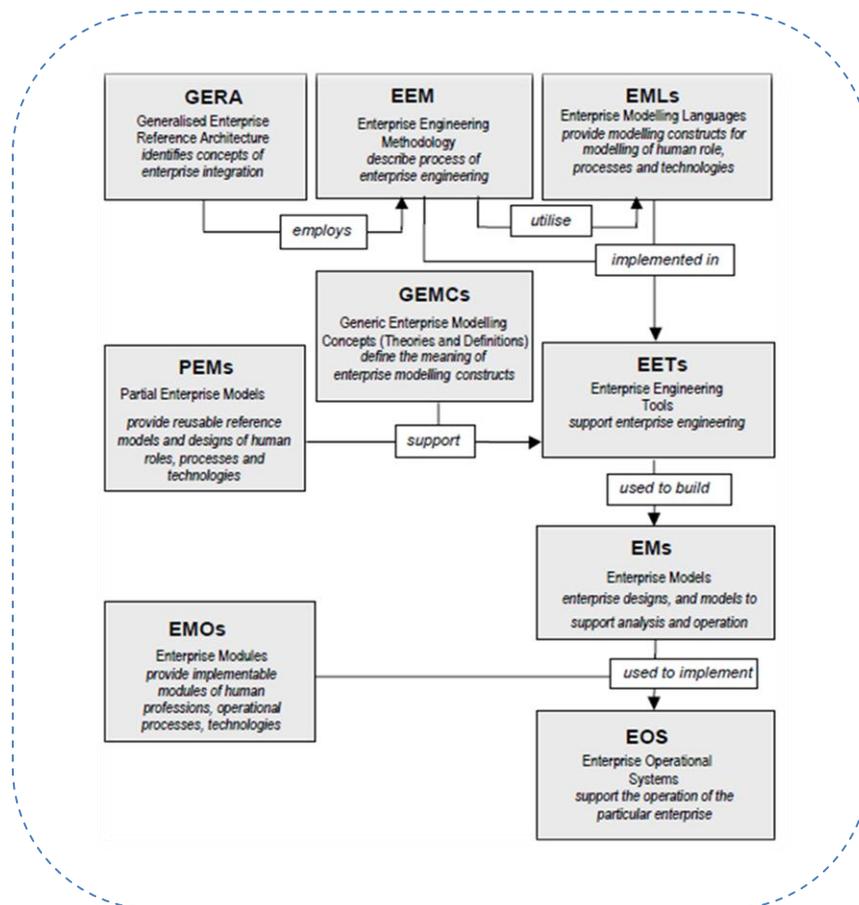
- ~ Le concept d'**activité** de décision ou d'exécution qui caractérise la transformation d'un état en un autre état.
- ~ Les concepts de **supports** qui peuvent être reliés aux résultats et aux autres activités (information ou ressource nécessaire à l'exécution de l'activité)
- ~ Les concepts de l'automatique classique, avec les **états** et les paramètres.

La superposition des deux analyses, ascendante et descendante, permet de relever les incohérences au niveau de la structure, des informations et des ressources.

Cette méthode permet une analyse globale du système en prenant en compte l'aspect décisionnel, cependant il devient très difficile de l'utiliser lorsqu'il faut décrire plusieurs activités à la fois. Elle utilise une partie qui permet de gérer les décisions et de les représenter à l'aide d'un outil graphique, cependant elle ne permet pas de représenter tous les cas de figures qui peuvent être vus dans les entreprises. Il est vrai qu'à la base elle était dédiée à la modélisation de tous types, mais les systèmes à étudier devenant de plus en plus complexes, cette méthode n'est plus adaptée. Des méthodes complémentaires ont donc été développées, comme GIM (**Grai Idef 0 Merise**) ou encore ECOGRAI ou GERAM.

Cette dernière, **GERAM** (Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology), est une méthodologie complète qui a été développée par le groupe de travail IFAC/IFIP task Force on Architectures Enterprise Integration [IFIP-IFAC, 1999]. Cette méthodologie est basée sur le regroupement de plusieurs autres : CIMOSA [Abdmouleh, 2004], GRAI-GIM et de PERA ainsi que de certaines architectures comme ARIS ou IEM2.

GERAM se structure en neuf composants indispensables pour l'ingénierie des processus industriels, que nous présentons en Figure 10.



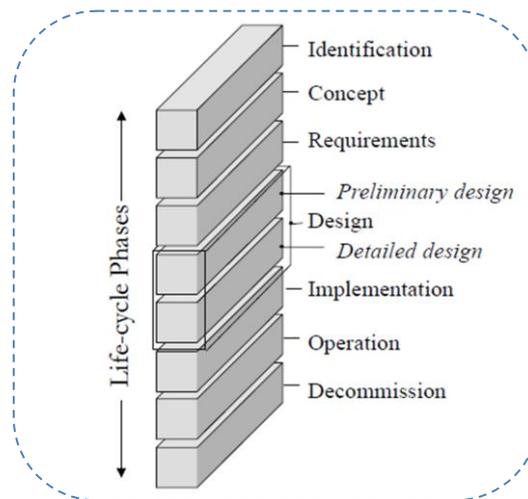
**Figure 10 - Composants de la méthodologie GERAM**

Parmi ces neuf méthodes, nous nous intéressons à la plus importante dans nos recherches, GERA (Generic Enterprise Reference Architecture). Cette structure permet de définir l'entreprise liée à des concepts génériques utilisés dans l'ingénierie d'entreprise et l'intégration de projets. Ces concepts peuvent être orientés suivant différentes catégories :

- ~ Les concepts orientés humain qui permettent de décrire le rôle de l'homme comme faisant partie intégrante du système étudié et pour les aider lors de la conception d'entreprise, la construction et les changements.
- ~ Les concepts orientés processus qui permettent la description du processus métier de l'entreprise.
- ~ Les concepts orientés technologies qui décrivent le processus métier qui soutient la technologie.

Nous avons étudié cette approche à cause de sa représentation spatiale du processus. Nous pouvons représenter le cycle de vie d'un produit avec cette méthode dans la Figure 11 et nous modélisons les différents éléments représentatifs de la gestion de cycle de vie d'un produit dans une entreprise. Cette méthode permet de gérer une visualisation en trois dimensions du modèle. Ceci

peut être appliqué en utilisant donc sur l'axe x les instances, sur l'axe y les phases de cycle de vie du produit et sur l'axe z les différentes vues possibles du projet.



**Figure 11** - Cycle de vie d'une entreprise quelconque représenté avec la méthode GERAM

L'approche par les systèmes permet de représenter tous les systèmes d'une entreprise et nous facilite la compréhension et l'amélioration des interactions entre elles. Nous avons montré différents modèles qui prennent en charge les moyens (physique ou matériel) ainsi que les informations qui sont traitées. Ces méthodologies utilisent parfois l'approche processus que nous allons décrire dans le prochain paragraphe.

L'approche orientée processus est un élément important de notre recherche, nous ne présenterons que deux exemples dans l'état de l'art car nous détaillerons cette approche dans les parties suivantes. La structure **ARIS** (Architecture for integrated Information Systems) a été développée par le professeur Sheer à l'Université de Saarbrück en Allemagne [Sheer &, 1999]. La structuration de la modélisation est similaire à la méthode CIMOSA (CIM Open System Architecture), cependant l'orientation de l'approche sur les systèmes de CIM est remplacée par une orientation métier pour ARIS, qui prend en compte les plannings de production, les inventaires de contrôle et tous les moyens mis en place dans les entreprises. L'éditeur de logiciel IDS Sheer propose une suite complète ARIS pour la modélisation des processus métiers d'une entreprise. IDS Sheer propose des outils sous forme de quatre plateformes : stratégique, conception, implémentation et contrôle [WWW 2]. La structure de modélisation de la méthode ARIS présentée dans la Figure 12, est une approche qui se décompose suivant trois niveaux (conceptuel, technique et implémentation) et quatre vues (fonction, information, organisation et contrôle).

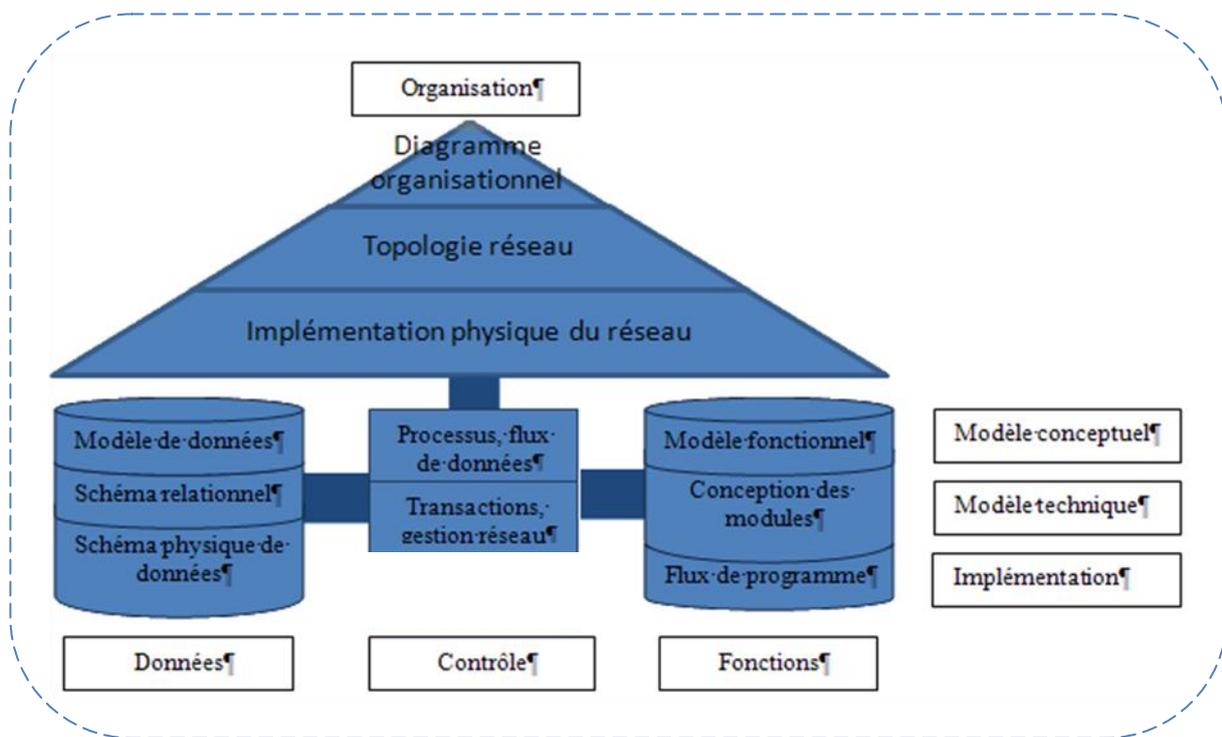


Figure 12 - Décomposition de la structure ARIS

La structuration ARIS fait appel à de nombreux diagrammes qui sont utilisés pour tous les niveaux de décompositions. Nous pouvons citer le diagramme d'application pour la vue organisationnelle, l'organigramme, l'arbre de fonction pour la vue fonction, le modèle entité-relation pour la vue données ou encore la chaîne de processus événementielle pour la vue contrôle.

ARIS est un outil de modélisation permettant de représenter toutes les vues d'une entreprise, tout en vérifiant la cohérence du système en le décomposant en processus. Les outils liés à cette architecture sont facilement utilisables et permettent de réaliser des diagrammes clairs et précis du système étudié, tout en améliorant la communication entre les différents partenaires et les responsables de l'analyse du système. Cette approche permet de relier les différents outils sur une même plateforme suivant le besoin de l'utilisateur.

Le deuxième exemple que nous présentons est le modèle **SCOR** (Supply Chain Operation Reference), ce modèle est développé par le Supply Chain Council (SCC) depuis 1996. Le SCC est une association mondiale qui regroupe un certain nombre d'industriels, de distributeurs, de développeurs de logiciels, d'acteurs du transport et de la logistique, d'universitaires qui souhaitent s'associer pour confronter, développer et partager leurs connaissances et leurs expériences dans le domaine de la gestion des processus et du supply chain. Le modèle SCOR est décomposé en trois niveaux (Figure 13). Le niveau 1 est le plus haut niveau de représentation pour modéliser le processus. Il utilise cinq grands processus :

- ~ Plan : qui permet de planifier la demande et les ressources.

- ~ Source : qui gère les ressources, l'approvisionnement (marchandises, personnel, moyens de production,...).
- ~ Make : qui permet de gérer la fabrication.
- ~ Deliver : qui gère les livraisons.
- ~ Return : qui gère les retours depuis les clients et vers les fournisseurs.

Le deuxième niveau décompose les cinq grands processus du niveau 1 en processus de différentes catégories représentant les différents modes de configuration de la supply chain. Par exemple, le niveau fabriquer se décompose en fabriquer pour stocker, fabriquer sur commande... A ce niveau, les redondances peuvent être identifiées et supprimées. Afin d'aider à la modélisation, une batterie de 22 outils est mise à la disposition du modélisateur (version 5.0). Avec tous ces outils, la méthode SCOR permet de modéliser tous types de supply chain. De plus, des méthodes ont été adaptées pour encore améliorer ses compétences, comme le montre [Röder & Tibken, 2006].

Le troisième niveau permet de décomposer chaque processus du niveau 2 en différentes étapes. Par exemple : le processus « fabriquer pour stocker » se décompose en cinq étapes : planifier, choisir le produit à fabriquer, fabriquer et tester, emballer et libérer le produit fabriqué. Ce niveau permet d'identifier les interactions entre les différents processus.

Le quatrième niveau, qui n'est pas décrit dans la méthodologie SCOR mais qui est présenté dans [Huang *et al.*, 2005] présente les détails de chaque élément décrit dans le niveau 3. Ce dernier niveau est équivalent à la définition d'un processus qualité selon la norme ISO 9000.

Ces méthodologies présentées sont utilisées dans différents domaines de la chaîne numérique, ils permettent de modéliser tous les éléments et événements qui influent dans le cycle de vie d'un produit. Ils utilisent tous un formalisme dédié et ne permettent pas souvent de le modifier suivant le cas d'étude. C'est pourquoi nous avons étudié des moyens de pouvoir représenter un processus industriel sans formalisme, ou alors des moyens qui ne sont pas du tout utilisés pour la modélisation des processus, mais pour lesquels on pourrait utiliser leur représentation dans notre étude.

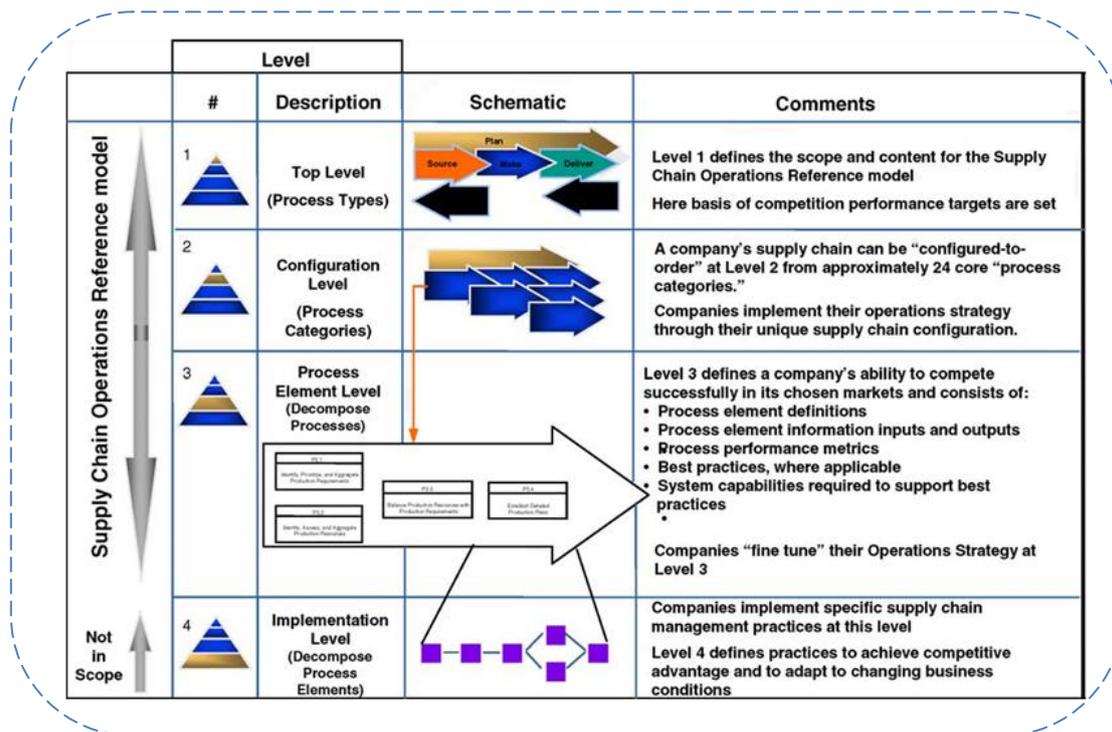


Figure 13 - les différents niveaux du modèle SCOR

Nous avons présenté une sélection de modèles et langages dans cette section, afin de montrer le nombre important qui a été mis au point. Ces langages et modèles peuvent se décomposer en deux grandes méthodes, les méthodes formelles et les méthodes descriptives. Les méthodes formelles permettent de modéliser un système avec des moyens mathématiques et précis. Cette approche n'est pas intuitive et n'est compréhensible que par des personnes initiées. C'est pourquoi nous avons détaillé les méthodes descriptives, qui utilisent des schémas pour modéliser les systèmes. Là encore de nombreux modèles et langages ont été développés, et pour chacun d'entre eux, un apprentissage lourd et coûteux doit être fait. De plus, la complexité des systèmes étudiés fait qu'il doit y avoir parfois des liaisons entre les différents modèles. L'utilisation des deux méthodes ne permet pas de représenter simplement et explicitement un système pour les PME/PMI.

Dans cette deuxième section, nous nous intéressons à la modélisation d'un processus. Nous présentons les méthodes et les outils qui permettent de modéliser un processus avec ce qui est déjà sur le marché. Ensuite nous nous intéressons à des moyens alternatifs qui nous permettent de modéliser le processus.

## 2. Modélisation d'un processus

La modélisation des processus industriels utilise le plus souvent une méthode descendante. Comme nous l'avons vu dans les sections précédentes, cette méthode se décompose en différents niveaux. Le niveau macroscopique, représentant l'entreprise avec ses objectifs et ses projets, est

affiné pour représenter des informations de plus en plus précises jusqu'à définir complètement le processus. Pour obtenir ces différents niveaux, une méthode pour la modélisation des processus doit être mise en place. Le centre de Recherche Public Henri Tudor propose neuf étapes pour un projet de modélisation de processus basées sur la roue de PDCA<sup>5</sup> de Deming [Morley *et al.*, 2005]. L'étape de modélisation est décrite comme une étape qui permet de choisir les points de vue, le niveau de détail de modélisation, le ou les langages utilisés, le ou les outils de modélisation, le type de modèle par niveau d'analyse, le fonctionnement pour capitaliser les informations et comment les structurer. Lors de la modélisation d'un processus, il faut tout d'abord étudier le système à modéliser, afin de comprendre et d'appréhender les problèmes pour les décrire précisément. Ensuite, il faut définir le langage ou le modèle le mieux adapté pour la description et la compréhension de chaque intervenant, enfin il faut choisir un moyen pratique de déterminer les éléments à modéliser pour tous les intervenants du système, du projet ou du processus. Nous avons décrit certains langages ou modèles, nous détaillerons les points de vue dans le chapitre suivant. Dans un premier temps, nous décrirons dans cette section, les méthodes pour modéliser les processus. Nous détaillons deux méthodes : une modélisation fonctionnelle et une modélisation en utilisant des scénarios. Ensuite dans un second temps, nous décrirons des outils de modélisation de processus et enfin nous présentons des moyens alternatifs qui pourraient nous permettre de représenter un processus d'une façon innovante.

## 2.1.Méthodes de modélisation

Pour modéliser un processus, nous détaillons deux approches, une approche fonctionnelle et une approche par les scénarios.

Pour *l'approche fonctionnelle*, il faut tout d'abord définir ce qu'est une fonction. D'un point de vue strictement littéral, la norme « AFNOR X50-150 » définit une fonction comme « les actions d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimées exclusivement en termes de finalités ». La finalité permet de distinguer la fonction et le comportement qui n'est pas toujours facilement compréhensible. La fonction associe souvent des connaissances. Nous donnons une définition de la connaissance dans le chapitre suivant.

Définir les fonctions d'une entreprise ou d'un projet n'est pas toujours chose aisée, les fonctions peuvent être adaptées à tous les niveaux d'une décomposition descendante d'un processus. Cette méthode est tirée de la conception fonctionnelle d'un produit. En effet la conception fonctionnelle consiste à décrire de manière structurée les fonctions requises par le produit [Vexo, 2000]. Ces fonctions sont très souvent déduites du cahier des charges donné par le

---

<sup>5</sup> PDCA pour Plan / Do /Check /Act

donneur d'ordres. Elles représentent les actions possibles à réaliser pour obtenir le produit, mais aussi les attentes du produit. Cela permet de modifier la conception en prenant en compte les différentes fonctions.

Une autre approche pour modéliser les processus est une *approche par les scénarios* [Lim & Sato, 2006]. Nous avons montré que toutes les étapes d'un processus peuvent être décrites par des fonctions, mais elles peuvent de même être décrites par des scénarios.

Un scénario est une structure permettant de décrire le déroulement d'un événement grâce à une série de tâches et de sous tâches. Comme l'explique [Caroll, 2000], les scénarii permettent de proposer une structure de base pour la coordination des actions en conception. Il y a principalement deux courants de recherche qui se sont intéressés à cette notion de scénario. Le premier est l'Intelligence Artificielle. Schank et Abelson [Schank & Abelson, 1977] ont mis en place une structure de données caractérisant un scénario en affirmant qu'il existe des milliers de scénarii dans la mémoire humaine. Leurs recherches sont surtout utilisées dans l'analyse syntaxique et sémantique de texte. Le second courant de recherche est le Scenario Based Design. Ce domaine s'intéresse particulièrement à l'utilisation de scénarii dans les systèmes d'information. La description des scénarii se fait principalement grâce à la notation particulière UCM (Use Case Maps) [Amyot *et al.*, 1997]. Il existe ainsi de nombreuses notations pour décrire un scénario. Ces différentes notations sont disponibles dans [Hurlbut, 1998]. L'utilisation dans des cas réels de structures basées sur des scénarii existe principalement à des niveaux d'abstraction élevés (mise en place de méthodologies collaboratives dans le domaine aéronautique (Projet CASH)) ou dans des applications sur les Interfaces Homme Machine.

Le scénario permet de représenter la connaissance procédurale et semble être une structure intéressante pour représenter un processus de conception. Cependant, une représentation strictement procédurale de la connaissance est trop rigide. En effet, ce type de représentation ne permet pas de représenter de manière optimale la connaissance en raison de sa structuration assez faible. Il faut pouvoir y associer de la connaissance de type déclarative.

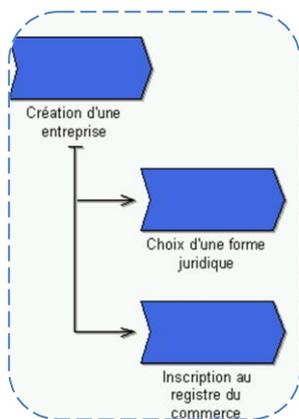
Nous détaillons dans la section suivante les outils de modélisation des processus.

## **2.2. Outils pour modéliser les processus**

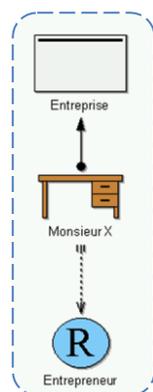
Nous avons présenté dans la section précédente des modèles et des langages, pour aider les personnes qui sont en charge de modéliser les processus, des outils ont été développés. Ces outils peuvent modéliser différents langages ou modèles, mais ils ne peuvent pas réaliser toutes les applications possibles avec des outils de modélisation de processus qui proposent un langage dédié.

Pour la modélisation des processus, nous avons étudié différents outils, certains permettent uniquement de gérer la représentation graphique du processus. Par exemple, nous avons l'outil Dia

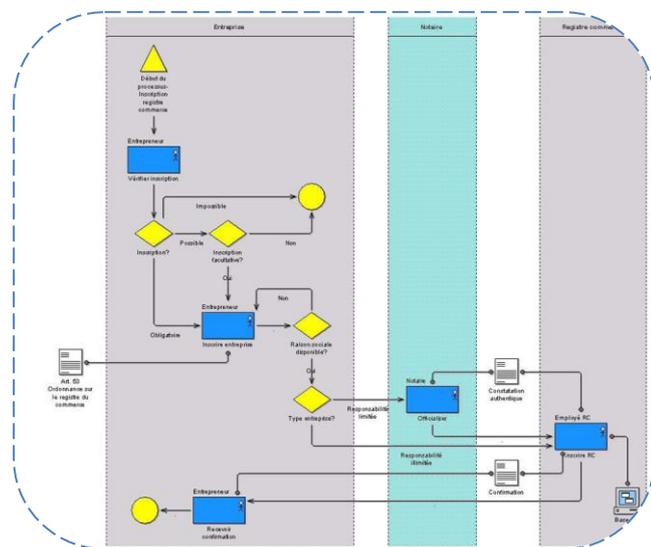
développé par Gnome [WWW 3] qui nous a permis de modéliser en premier lieu le processus de fonderie que nous détaillons par la suite dans le chapitre 4. Cet outil permet de représenter différents types de modèles (UML, SADT et bien d'autres...). Cependant, il ne permet pas d'interagir avec le processus. Ces outils généraux nous ont permis d'identifier les difficultés qui sont présentes dans les outils pour modéliser un processus. Il n'est pas toujours évident de réaliser un « simple » processus. C'est pourquoi des outils sont utilisés pour modéliser un seul modèle et de gérer tout le système de gestion des processus intégré à la chaîne numérique. C'est-à-dire que le processus peut être utilisé pour piloter un projet et gérer toutes les interactions des intervenants. Nous pouvons citer des outils (ou des suites d'outils) comme ADONIS développé par l'entreprise Business Objects Consulting (BOC) [Glasse & Chapelet, 2002]. Cet outil est basé sur trois types de modèles, *une carte des processus* (Figure 14), qui permet de visualiser rapidement les processus ou sous processus de l'entreprise, *un modèle d'environnement de travail* (Figure 15), qui permet de représenter la structure d'une organisation et enfin *un modèle de processus opérationnel* (Figure 16), qui montre le chemin suivi par un processus. Nous avons utilisé la version d'évaluation ADONIS:Community Edition qui nous a permis de tester les différentes fonctionnalités de l'outil. Sans formation spécifique, la prise en main de cet outil n'est pas intuitive. Il permet d'obtenir de très bons résultats si l'on paramètre correctement toutes les options mais la connaissance du langage dédié et du modèle est obligatoire pour travailler correctement.



**Figure 14 - Carte de processus**



**Figure 15 - Modèle d'environnement de travail**



**Figure 16 - Modèle de processus opérationnel**

Nous pouvons citer un autre outil, qui est un acteur très important dans la gestion des processus industriels (BPM) : Intalio [Brentini & Daehne, 2003], développé par l'entreprise du même nom, propose cet outil en version open source. Il permet de représenter tous les processus et

de réaliser les simulations et les intégrations en temps réel d'informations. Cet outil est tout comme Adonis peu intuitif. Cependant, il permet de gérer le processus d'une façon claire.

Dans la section suivante, nous décrivons des moyens de modélisation alternative. Ce ne sont pas des outils, des modèles ou des représentations traditionnels pour de la modélisation de processus.

## **2.3.Modélisation alternative**

### ***2.3.1. Représentation d'un processus sans formalisme***

La représentation d'un processus permet à la personne qui modélise un système complexe de pouvoir retrouver une information, une tâche, un évènement rapidement et de pouvoir l'identifier. Le fait de multiplier les outils, les approches et les modèles complique cette tâche. Si le modélisateur du processus met en place dès le départ les différents moyens de représenter un processus, il permet de gagner du temps pour les personnes qui liront le processus. Il existe de nombreux moyens de représenter un processus, nous en avons cité une partie dans la section précédente, cependant ils sont liés aux outils ou aux modèles utilisés. Ils ne peuvent pas être modifiés facilement et rapidement. C'est pourquoi nous décrivons d'autres moyens de représenter un processus, nous pouvons présenter deux types de représentations étudiées, la construction des arbres et la construction des graphes dans le domaine de l'informatique.

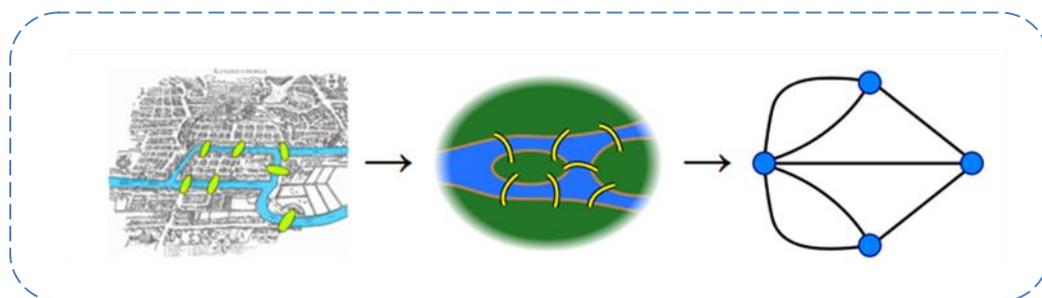
La théorie des arbres pour représenter la hiérarchisation des infrastructures des logiciels apporte un moyen de représenter les processus.

Le système collapsible cylindrical tree [Dachselt & Ebert, 2001] est un système que nous avons pensé à étudier pour l'intégrer à un modèle, il permet de modéliser un suivi d'actions dans un menu déroulant. Ce moyen de représentation de menu, utilisé pour des logiciels, permet de faire une représentation de la hiérarchie d'une nouvelle façon. Il s'applique pour des arbres de petite et de moyenne taille afin de s'adapter aux nouvelles techniques de modélisation 3D qui sont sur le marché à l'heure actuelle. Cette approche utilise la métaphore de la longue vue. Nous présentons un exemple dans la Figure 17 qui montre un projet décomposé en six éléments principaux, qui sont visualisés avec de grands cylindres. Nous constatons la décomposition du cylindre en troisième position, en différents autres cylindres qui s'imbriquent les uns dans les autres. Cela permet à l'utilisateur de comprendre très rapidement la hiérarchie entre les différents éléments. La visualisation de l'élément sélectionné se fait par un code de couleurs et un système d'ombrage du cylindre.



Cette méthode permet de représenter un arbre aussi bien en 2D qu'en 3D. De plus elle permet de hiérarchiser les informations et de les relier les unes aux autres. Cependant, pour des exemples trop complexes la lisibilité de l'arbre n'est pas immédiate comme nous pouvons le voir dans [Robertson *et al.*, 1991] qui représente des arbres en trois dimensions.

La construction des arbres découle directement de la théorie des graphes qui est à l'origine une méthode mathématique proposée par Leonhard Euler à l'académie de Saint Petersburg en 1735 pour la résolution du problème des sept ponts de Königsberg représenté en Figure 19. Pour notre cas d'étude, les graphes nous permettent de représenter un processus d'une façon générale. [Herman *et al.*, 2000] proposent une présentation des différents graphes et arbres possibles ainsi que les actions qui peuvent être effectuées dessus.



**Figure 19 - Résolution du problème par Euler**

Ces méthodes peuvent s'adapter aux différents types de processus que nous voulons représenter dans le cadre de notre étude. Cependant l'aspect graphique de ces méthodes n'est pas attrayant pour des personnes qui n'ont pas l'habitude de modéliser des processus ou des systèmes. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à des moyens alternatifs afin de représenter les processus, dans le but qu'ils puissent paraître plus conviviaux et que leur compréhension soit plus simple.

### ***2.3.2. Moyens alternatifs pouvant représenter un processus***

Les moyens alternatifs que nous avons étudiés permettent de représenter un processus d'une façon nouvelle. Nous voulons une approche plus dynamique, non pas du point de vue des interactions entre les systèmes mais plutôt des interactions Homme-Machine. Lors de la modélisation des processus, nous avons étudié le concept OnMap développé par la société Nomia, qui cartographie une entreprise. Cet outil est capable de représenter rapidement et virtuellement une entreprise. Cette solution a été approuvée depuis 2003 et facilement mise en œuvre. Elle apporte une visualisation très graphique d'un processus industriel et permet de gérer les interactions et les événements entre les intervenants et les différentes structures d'une entreprise. Le fait de pouvoir personnaliser la carte est un atout majeur pour la compréhension de la modélisation du processus

étudié. De plus, ce concept utilise une représentation graphique en deux dimensions et demie, étant donné qu'il n'y a qu'un ajout de perspective sur la carte.

Le suivi des actions et des événements se fait via une représentation graphique qui suit un cheminement prédéfini et passant par les différents acteurs concernés du projet. Les actions sont représentées simplement et avec une animation claire et professionnelle. On entend par professionnelle, une animation qui est comprise rapidement et ne fait pas perdre du temps à la personne qui la regarde. Sur la Figure 20, nous présentons en 1, le chargé des actions dans l'entreprise, qui définit les tâches à opérer 2 et qui transmet les informations par mail à ses collègues 3. Cette représentation, fidèle à la réalité, permet aux personnes extérieures de pouvoir retrouver la structure de l'entreprise. Par la même occasion, elle permet aux personnes internes de pouvoir s'identifier, et structurer leur travail et indiquer les interactions entre les différents acteurs.



**Figure 20** - Représentation d'une entreprise avec le concept OnMap

Cette solution permet de réaliser rapidement une présentation d'une entreprise virtuellement, mais elle n'est pas elle-même une solution utilisable directement pour la gestion des processus industriels. Elle permet de présenter une façon innovante de modéliser une partie d'un processus et de pouvoir gérer les flux d'informations.

L'IHMC (Institute for Human & Machine Cognition) de Floride a développé un outil de modélisation des connaissances, nous allons décrire son utilisation pour la modélisation des processus industriels. Cet outil est présenté comme un système basé sur des concepts. [J.Canas *et al.*, 2004] définissent un concept et proposent une modélisation de celui-ci par des cartes. Cette approche descendante, que nous avons définie précédemment, permet de structurer les éléments à modéliser. Cette méthode permet de représenter rapidement des informations et le lien entre elles.



modification et la liaison entre les différents acteurs du projet. La liaison entre la réalité virtuelle et le contexte industriel devient de plus en plus important dans des grands groupes, il est déjà mis en place des systèmes immersifs, qui utilisent la réalité virtuelle pour la modélisation informatique d'objets physiques.

### **3. Conclusion**

Dans ce premier chapitre, nous nous sommes attachés à présenter différents moyens de modéliser les processus. Dans un premier temps, nous avons présenté des modèles et des langages, qui ne sont pas obligatoirement utilisés lors d'une modélisation de processus. Ces modèles pouvant être décrits sous deux méthodes : formelle et descriptive. Pour synthétiser, la méthode formelle permet de décrire un processus sans avoir une approche graphique simple, alors que l'approche descriptive utilise une approche graphique. Ces deux méthodes ne permettent pas de représenter un processus d'une façon compréhensible pour tous. Alors nous avons présenté la modélisation d'un processus, afin de suivre une démarche précise.

La démarche de modélisation des processus est très importante. C'est elle qui permet de définir l'outil qui devra être utilisé. Ces méthodes sont basées soit sur une modélisation fonctionnelle, en décomposant en différents éléments, soit sur une modélisation à partir des scénarios, qui permet de décrire des actions.

Afin de s'intégrer au mieux dans la chaîne numérique, les méthodes de modélisation des processus s'appliquent avec l'aide d'outils, pour gérer au mieux les langages et les modèles. Ces outils peuvent soit, uniquement donner la représentation graphique du processus, soit intégrer directement des aides à la modélisation et à la gestion des processus industriels.

Nous avons de plus présenté des moyens non conventionnels qui peuvent être utilisés pour modéliser un processus industriel. Cela a permis de décrire les approches par les graphes ou encore par les arbres qui sont utilisés en informatique, mais plus particulièrement des moyens plus dynamiques, utilisant des moyens graphiques trois dimensions (deux dimensions et demi le plus souvent) par exemple, ou alors des outils utilisés pour la réalité virtuelle.

Les modèles et langages sont nombreux et ils permettent de décrire aussi bien un développement informatique qu'un processus industriel. Nous avons donc étudié comment nous pourrions utiliser ces modèles et langages pour améliorer la modélisation des processus. Nous en avons conclu que les méthodes formelles demandaient beaucoup de travail de compréhension et de modélisation pour des personnes qui n'ont pas obligatoirement les connaissances requises. La méthode descriptive permet quand à elle de représenter plus facilement un processus et d'intégrer des moyens de compréhension plus facilement. C'est pourquoi nous avons étudié différents moyens de modélisation, par des approches spécifiques. Ces moyens de modélisation nous ont permis de

d'associer l'approche par les scénarios avec l'approche fonctionnelle pour développer notre méthodologie de travail. Nous avons étudié des moyens qui peuvent permettre de représenter un processus d'une autre manière, ces moyens peuvent être associés aux différents modèles pour améliorer la compréhension et l'utilisation d'un processus. Nous retiendrons donc que pour nos recherches, nous prenons une approche fonctionnelle utilisant des moyens alternatifs nous permettant d'intégrer au mieux le point de vue d'un intervenant lors de la modélisation d'un processus industriel d'une PME. Ce modèle a pour objectif de pouvoir être mis en place par des personnes qui n'ont pas eu de formation spécifique et de s'adapter à différents cas de figure (modélisation de processus, prise de notes rapides, audits...). Il doit permettre de lier les intervenants, les connaissances, les points de vue, les contraintes tout en intégrant le travail collaboratif.

Dans le chapitre suivant, nous présentons le projet fédérateur de notre étude ainsi que des notions sur l'intégration d'un point de vue d'un utilisateur. Cette approche par les points de vue fait appel à une liaison avec les connaissances. Nous présentons ainsi les connaissances qui peuvent être liées à la modélisation des processus et nous décrivons comment les capitaliser et comment les retranscrire dans notre projet.

# CHAPITRE II

---

## P<sup>4</sup>LM ET NOTIONS DE POINT DE VUE

Thèmes abordés

Projet, produit, procédé, processus

Approche modulaire

Point de vue et connaissance

## Introduction

Le premier chapitre nous a permis de faire un état des lieux des modèles et outils existants pour la modélisation des processus ainsi qu'un point sur les méthodologies utilisables pour la modélisation, et sur de nouveaux moyens de représentations. Nous avons montré qu'ils ne permettent pas à des PME de pouvoir facilement modéliser les processus, et encore moins de les utiliser pour améliorer leur travail.

Dans ce chapitre, nous présentons une méthodologie issue d'un projet de notre équipe de recherche (section 1). La première phase du projet a permis la définition de la méthodologie globale et la création de processus manuellement. La seconde phase du projet qui est présentée dans ce manuscrit est l'intégration du point de vue et une assistance à la modélisation du processus, avec la réalisation d'un outil. Cette méthodologie permet de guider la gestion du projet autour du processus. Nous proposons une décomposition de cette méthodologie en différents modules que nous présentons en section 1.3. Nous introduisons aussi des notions de point de vue dans la modélisation des processus (section 2). Ces points de vue faisant appel aux connaissances, nous faisons un rappel de différentes connaissances ainsi que leurs capitalisations (section 1).

### 1. Généralités du projet et méthodologie

Notre équipe de recherche vise un verrou technologique précis : aider les entreprises sous-traitantes de fabrication à devenir des entreprises de sous-traitance fonctionnelle (passer de rang  $i+1$  à rang  $i$ ) en s'appuyant sur la chaîne numérique dans un contexte d'entreprise étendue et sur les compétences métiers. Pour cela elle se repose sur un projet P<sup>4</sup>LM [Danesi *et al.*, 2008]. L'objectif de ce projet consiste à faire une évaluation des besoins, des méthodes et des points critiques dans une démarche de travail collaboratif comprenant la conception, la modélisation numérique et la simulation dans un contexte donneur d'ordres / sous-traitants. Il s'agit d'étudier la meilleure stratégie et les méthodologies pour faire intervenir le sous-traitant le plus tôt possible dans la démarche pour optimiser qualité, coûts et délais (ainsi que la confidentialité et la contractualisation).

Il s'agit donc, par une expérimentation en vraie grandeur, d'aider les entreprises sous-traitantes à mieux s'insérer dans les appels d'offres avec la mise en œuvre de processus de conception et de fabrication qui assurent une réponse plus rapide et de meilleure qualité par :

- ~ la capitalisation et l'utilisation du savoir-faire métier ;
- ~ une maîtrise des outils et méthodes de collaboration (travail collaboratif, échanges de données, protection du savoir-faire ...)

- ~ une gestion de la qualité numérique aux standards des donneurs d'ordres ;
- ~ l'étude de solutions alternatives et l'optimisation des solutions proposées par la modélisation et la simulation numérique.

De manière très schématique, il s'agit notamment d'aider les entreprises à passer d'une conception non fonctionnelle à une conception fonctionnelle.

Ce projet est financé par le conseil général des Ardennes, le conseil régional de Champagne Ardenne, et l'association Micado par le biais du centre Technique DINCCS.

Ce projet a duré trois ans et a permis à des entreprises de pouvoir utiliser des outils qu'elles ne pourraient avoir quotidiennement. Il a servi à des PME à pouvoir évoluer vers la simulation numérique et le travail collaboratif tout en restant dans un cadre de confiance et de confidentialité. P<sup>4</sup>LM est la base du projet européen E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM financé par le conseil général des Ardennes, le conseil régional de Champagne Ardenne, OSEO et l'association Micado par le biais de son centre technique DINCCS. Il a permis de préciser la méthodologie mise en place par un travail s'orientant vers la modélisation des processus en intégrant les connaissances et d'intégrer le travail collaboratif avec l'aide d'un portail collaboratif. Il a de plus permis la rédaction de guides de bonnes pratiques pour la simulation numérique et le travail collaboratif ainsi que le développement de divers outils informatique.

Cette méthodologie s'intègre dans la gestion du cycle de vie d'un produit. La prise en compte de la gestion d'un projet par les processus est un élément très important dans le cadre de l'ingénierie simultanée. Elle permet un gain en productivité considérable. Il est donc intéressant de construire un modèle qui permet d'intégrer le tryptique Produit / Procédé / Processus dans le Projet. Il existe d'autres recherches dans ce domaine. [Thibault, 2008] propose de développer une démarche IP3FR Intégration Produit-Procédé-Processus de Fabrication-Ressources, afin de faciliter la prise en compte dès la conception des contraintes liées au domaine de fabrication. Cette démarche intègre aussi les points de vue conception et fabrication. Dans un premier temps nous allons définir les éléments importants de la méthodologie (section 1.1). Dans un second temps nous présentons le modèle en lui-même (section 1.2).

## **1.1.Définitions**

La méthodologie P<sup>4</sup>LM est basée sur la méthodologie Pro<sup>3</sup> que nous pouvons retrouver détaillée dans [Gardan, 2005]. [Gardan, 2003] définit le tryptique Produit / Procédé / Processus, en intégrant les notions de connaissances dans un travail de co-conception.

### ***1.1.1. Projet***

La norme ISO 10006 nous donne comme définition pour projet : processus unique qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées, comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques, telles que les contraintes du délai, de coûts et de ressources. Pour [Gardan, 2003], le projet est représenté par l'ensemble des objets et des relations nécessaires à la réalisation des objectifs du cahier des charges, à travers un portail collaboratif dans le cadre de l'exemple P<sup>4</sup>LM (Figure 22.1).

Dans nos recherches, Un projet est l'ensemble des actions à entreprendre afin de réaliser un objectif dans des délais impartis. Un projet est donc un objet temporaire impliquant des ressources humaines et matérielles définies et identifiables.

Un projet contient des produits, des procédés, des processus, des intervenants, des contraintes et des connaissances.

Pour spécifier un projet, on souhaite pouvoir produire une description complète du projet (qui inclura également la description des procédés, processus et produits). On doit disposer également d'informations permettant de spécifier le produit de départ (CdC) et le processus initial ... La notion de projet doit également permettre de prendre en compte les droits des intervenants et leurs responsabilités. Ces notions seront administrées au niveau des processus. Au niveau du projet, il doit être possible de désigner un responsable.

Enfin, le projet doit pouvoir être contraint, par exemple en termes de délai ou de validation de certains indicateurs ...

### ***1.1.2. Produit***

Le produit est défini comme l'ensemble des informations représentant un objet conçu ou en cours de conception (Figure 22.5). Il doit répondre à l'attente d'un client et satisfaire les contraintes économiques et fonctionnelles demandées.

Le produit représente toute information permettant de caractériser le produit au sens du modèle. Le produit peut avoir une représentation différente selon son niveau d'abstraction. Par exemple, une bielle est un produit au sens physique à un niveau d'abstraction élevé mais une bielle va avoir une représentation topologique et géométrique à un niveau d'abstraction représentant la CAO.

Un produit est spécifié par un type (virtuel ou physique). Il est décliné en différentes versions, disposant chacune d'un critère de qualité et pouvant avoir des cycles de vie indépendants. Chaque produit peut être associé à des contraintes.

### 1.1.3. Procédé

Le procédé représente les données abstraites ou physiques qui vont entraîner la modification du produit. Un procédé peut représenter à un certain niveau d'abstraction un procédé de fabrication mais il peut par exemple également représenter à un niveau d'abstraction proche métier des caractéristiques de forme.

Un procédé est soit un procédé de base (terminal Figure 22.3), qui effectue l'action de transformation du produit (ou de production d'un produit Figure 22.5), soit décrit par un processus (encapsulé, non terminal Figure 22.4).

Respectivement, un procédé est donc soit une tâche ou soit une action. Si le procédé est non terminal, il est décrit par un processus et représenté par un nom. Si le procédé est terminal, on utilisera un nom et une description. Un processus pourra être classifié en procédé :

- ~ Virtuel, par exemple logiciel
- ~ Physique, par exemple machine
- ~ Méthodologique, par exemple visioconférence, validation, procédure ...

Un procédé dispose d'entrées et de sorties. Il peut être contraint et dispose de certaines connaissances. Les intervenants permettant son accomplissement sont également nommés.

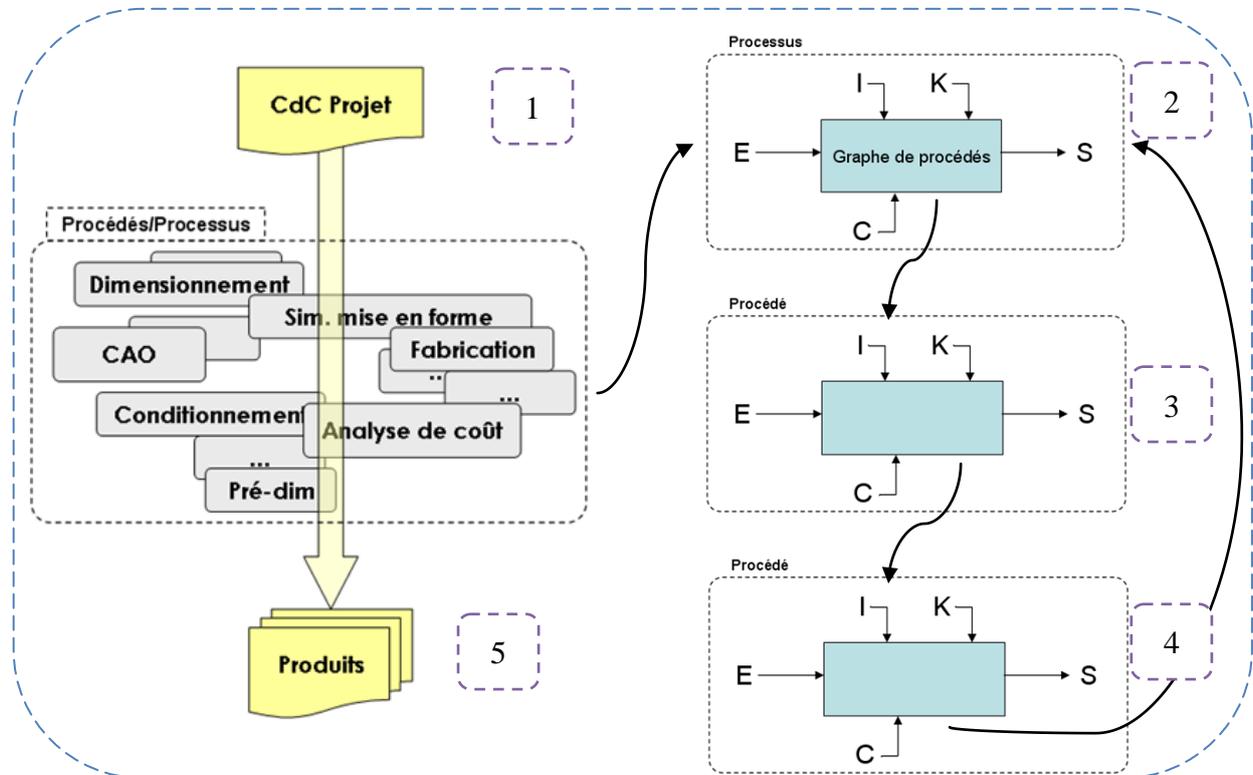


Figure 22 - Projet, Processus, Procédé, Produit

### 1.1.4. Processus

Le processus est déterminé par un ensemble de phases dont la mise en œuvre procure un résultat transformant le produit ou modifiant son environnement (Figure 22.2). Il s'agit donc d'une notion qui se rapproche de la gamme de fabrication par exemple. Cependant la notion de processus peut également s'appliquer à une activité abstraite (par exemple lors des premières phases de conception). Selon [Théroude, 2002], un processus est un enchaînement partiellement ordonné d'exécution d'activités qui, à l'aide de moyens techniques et humains, transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie en vue de réaliser un objectif dans le cadre d'une stratégie. Cette définition est basée aussi sur la norme ISO 9001:2000 qui donne comme définition : Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforment les éléments d'entrée en éléments de sortie. Ces éléments sont soit des objets matériels soit des informations, soit les deux. L'approche du processus est transversale dans l'entreprise.

Nous avons défini les quatre grands axes de P<sup>4</sup>LM, nous allons maintenant présenter le modèle associé à cette méthodologie.

## 1.2.Modèle

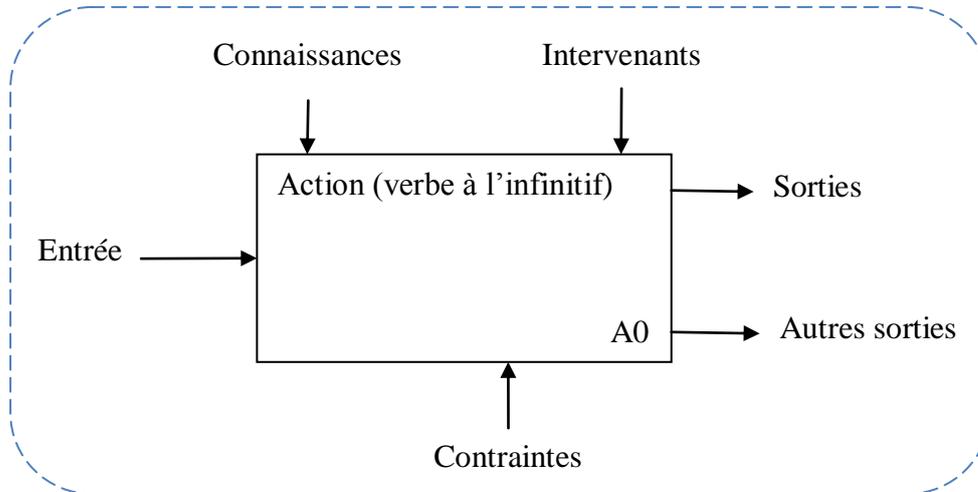
Nous avons présenté dans le chapitre 1 des modèles existants. Pour le projet P<sup>4</sup>LM, nous utilisons une adaptation du modèle SADT. C'est une méthode descriptive, avec une approche de décomposition hiérarchique fonctionnelle. Schématiquement la méthode SADT est basée sur une construction hiérarchique de boîtes-fonctions. Si nous comparons les deux approches SADT et P<sup>4</sup>LM, nous avons donc :

	SADT	P <sup>4</sup> LM
<b>Entrée</b>	Matière d'œuvre entrante	Entrée
<b>Sortie</b>	Matière d'œuvre sortante	Sortie
<b>Contrôle</b>	Données de contrôle Déclenchement	Connaissance Intervenant
<b>Mécanismes, processeurs</b>	Mécanismes, procédures, supports	Contraintes

**Tableau 4 - Différence entre les deux modèles**

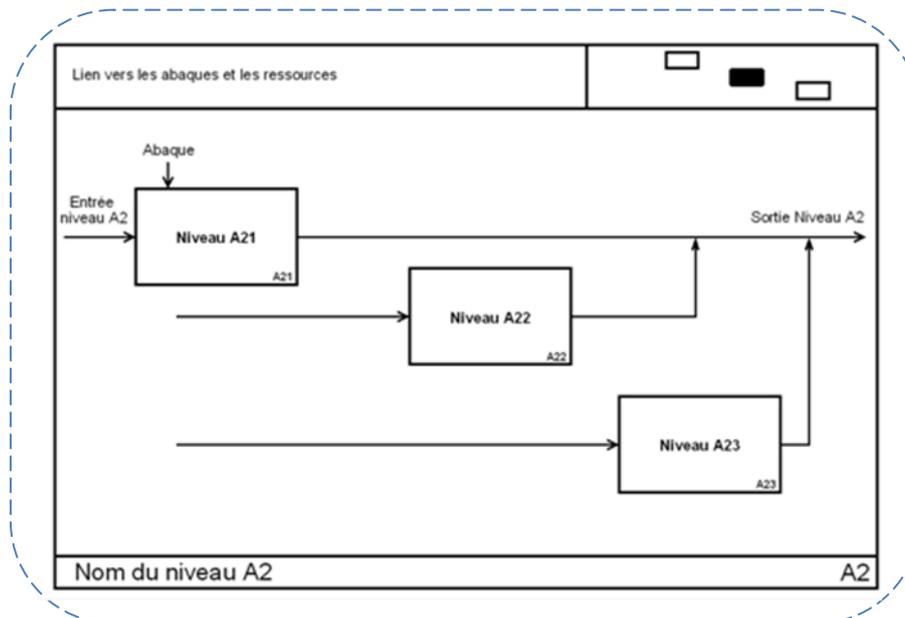
Nous utilisons la représentation graphique du modèle SADT que nous adaptons pour notre cas d'étude en modifiant les entrées et sorties (Figure 23). Le modèle P<sup>4</sup>LM permet de prendre en compte la modélisation des processus de différents intervenants. Avec la suppression du contrôle et

du mécanisme et l'ajout des connaissances et des contraintes à leurs places. Cela nous permet de se rapprocher au plus du domaine étudié tout en précisant les actions de chacun.



**Figure 23 - modèle P<sup>4</sup>LM**

Le modèle SADT n'est pas adapté à notre méthodologie, c'est pourquoi il a été modifié une première fois pour s'appliquer à la méthodologie P<sup>4</sup>LM, et une seconde fois pour s'appliquer à l'intégration du point de vue et son utilisation par notre outil.



**Figure 24 - Décomposition du modèle P<sup>4</sup>LM**

Tous les modèles et sous modèles sont donc basés sur celui présenté en Figure 23 et Figure 24. Nous allons décrire l'approche modulaire du projet P<sup>4</sup>LM.

### 1.3.Approche modulaire

L'approche modulaire (Figure 25) représente les différents niveaux d'abstraction que l'on appelle *environnement*. Chaque environnement peut contenir plusieurs niveaux d'abstractions sémantiques et doit procéder à la gestion de toutes les informations relatives à ces niveaux.

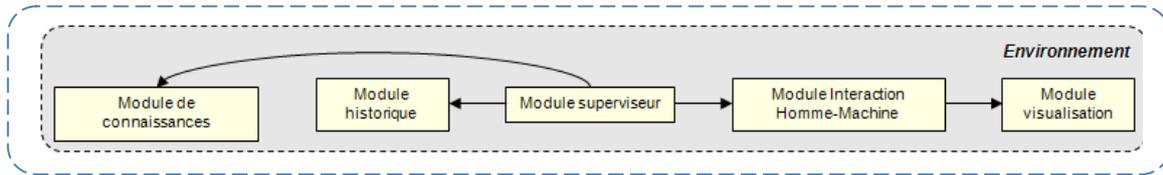


Figure 25 - Une approche modulaire

Par exemple, un environnement au niveau géométrique doit gérer la visualisation et l'interaction des tâches ainsi que le stockage des données géométriques. Pour cela il a à sa disposition un module de visualisation, et un module d'interface Homme-Machine. Il doit en outre, gérer la traduction de son niveau sémantique de haut niveau vers le niveau inférieur, pour un raffinement des informations. Il a à sa disposition un module de base de connaissances, avec des règles métiers qui permettent de l'aider dans la traduction. Enfin l'environnement est supervisé par un module central (superviseur). Dans le cadre du projet DIJA, cinq niveaux d'abstraction ont été identifiés [Danesi *et al.*, 2003]. Ces environnements sont appliqués au projet P<sup>4</sup>LM et sont donnés Figure 26 par ordre décroissant de niveau sémantique.

Nous allons décrire l'architecture multi-niveaux en présentant les différents environnements pour expliquer leurs fonctionnements.

**L'environnement application**, est l'environnement avec le plus haut niveau d'abstraction, il permet de décrire les besoins globaux pour réaliser une application particulière (contexte du système, méta-scénario, etc...). Par exemple, si l'application concerne le domaine de la forge ou de la fonderie, le système va automatiquement choisir les règles métiers, les interfaces relatives à ces métiers,...L'environnement application va contenir un méta scénario qui est représenté par un *workflow*.

**L'environnement métier** permet d'intégrer les règles métiers, les contraintes et les scénarios qui y sont associés. C'est ici que chaque règle ou scénario spécifique au domaine est enregistré. Par exemple créer un trou fait appel à des approches différentes pour le domaine de l'usinage et pour le domaine de la plasturgie.

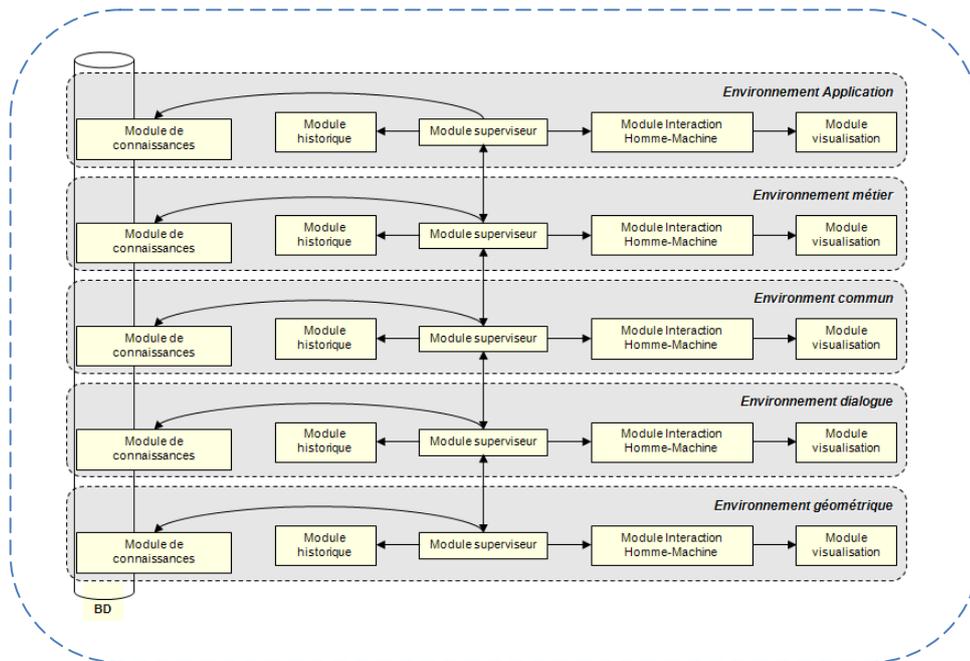
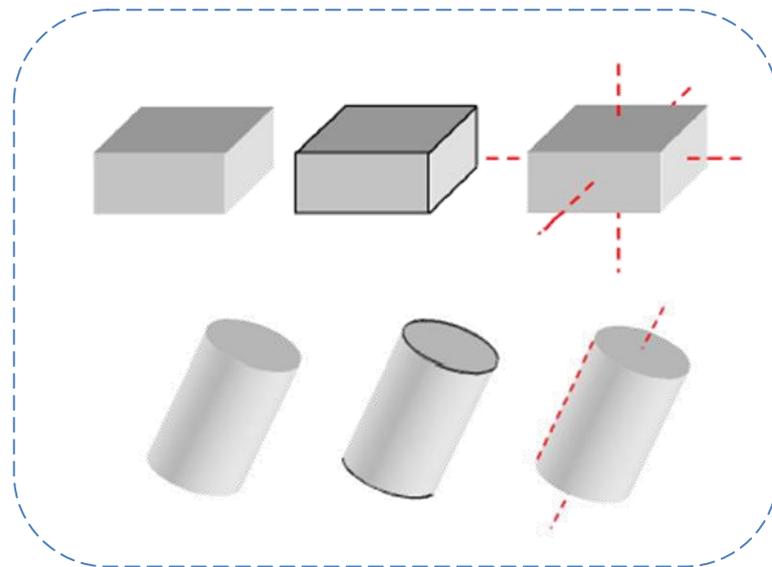


Figure 26 - Approche hiérarchique

**L'environnement commun**, regroupe toutes les instructions communes des différents métiers étudiés. Ce niveau dit intermédiaire permet de gérer les notions générales communes à tous les métiers, sans pour autant faire appel au métier, pour éviter les redondances des définitions.

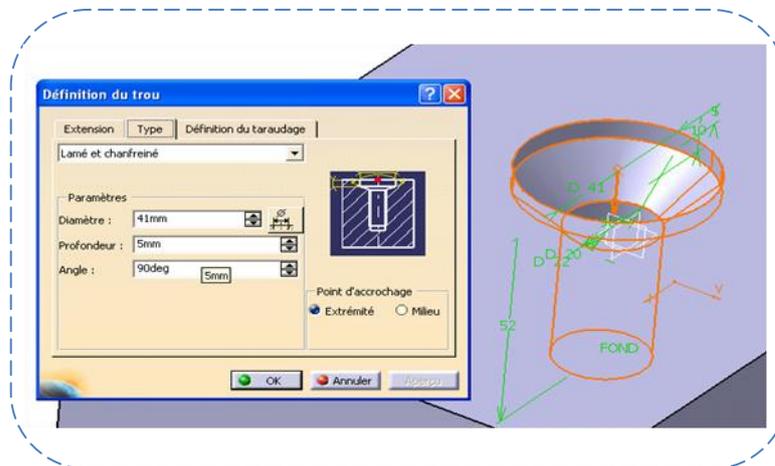
**L'environnement de dialogue**, est un élément technique développé par notre équipe de recherche. Il gère tous les éléments de dialogue disponibles dans un modèle géométrique. A ce niveau, chaque mot représente une caractéristique visible du modèle. Par exemple dans les systèmes de CAO actuels, un utilisateur connaissant les outils va pouvoir modifier le modèle CAO en agissant sur les *features* ou sur les faces, les courbes ou les points par exemple. Alors qu'un utilisateur novice peut difficilement utiliser des outils aussi spécifiques. C'est pourquoi, les éléments de dialogue ont été créés, pour faciliter un utilisateur novice à la conception de modèles CAO, de manière synthétique et non plus constructive<sup>7</sup>. Ainsi il va pouvoir plus facilement déformer des formes géométriques de base (cylindre, cube,...) grâce à « *des objets de base (géométrie visible de l'objet comme les faces ou le solide), des lignes caractéristiques et des contours caractéristiques (mise en valeur d'une ligne visible à la surface de l'objet) et les fibres (correspondent à une ligne décrivant la silhouette globale de l'objet)* » [Danesi, 2002]. La Figure 27 présente sur deux exemples de formes géométriques simples des éléments de dialogues. Malgré tout, pour que notre étude soit utilisable sur des systèmes de CAO actuels, qui utilisent le plus souvent une approche constructive, ce niveau de dialogue peut être apparenté à tout élément de dialogue qui modifie le modèle, comme les *features*.

<sup>7</sup> Selon [Danesi, 2002], l'approche constructive est « *une approche ascendante, qui permet de concevoir une forme étape par étape, en regroupant les outils de construction et de combinaison* ».



**Figure 27** - Exemples d'éléments de dialogue

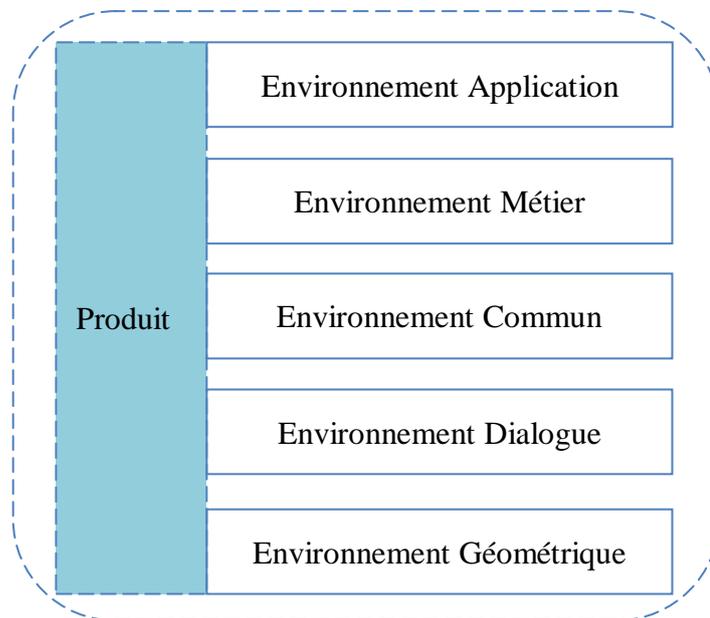
Les *features* sont des entités qui permettent de décrire un objet, non pas uniquement par une approche géométrique, mais en fonction d'un certain nombre de paramètres [Gardan, 2003]. Le modèle comprend des informations géométriques (telles que définies dans le modèle géométrique classique), des informations technologiques (liées au langage métier, trou, chanfrein, congé...), des informations de précision (tolérances géométriques), des informations matérielles (propriété du matériau) ... Nous présentons l'utilisation d'un *features* « trou » en Figure 28 dans le logiciel Catia V5, pour la création d'un *trou borgne lamé et chanfreiné*.



**Figure 28** - Création d'un trou borgne lamé et chanfreiné sous Catia V5

**L'environnement géométrique**, contient tous les éléments liés à la création d'un modèle géométrique. Les modèles géométriques pouvant être de différents types, comme un arbre CSG (Constructive Solid Geometry), un BRep (Boundary Representation) ou encore un maillage par éléments finis

Les différents environnements permettent de décomposer le produit et grâce aux niveaux d'abstractions, de le préciser. Lorsque qu'un utilisateur décrit un produit, il passe tout d'abord par l'environnement Application. Si à ce niveau, la description n'est plus possible ou devient trop détaillée, il passe à l'environnement inférieur (Figure 29).



**Figure 29** - Représentation du produit suivant les environnements

Pour chaque environnement, cinq modules sont associés.

### ***1.3.1. Module d'interface homme machine***

Un module d'interaction homme machine (MIHM) qui est le lien entre l'homme et la machine. Lorsque le système de CAO veut communiquer des informations à l'utilisateur ou vice versa, c'est ce module qui se charge de gérer les informations. Il crée également les interfaces selon le contexte métier (le métier de la forge aura une interface graphique différente de celui du métier design).

### ***1.3.2. Module de visualisation***

Le module de visualisation est géré par le module précédent et permet d'afficher à l'écran le modèle CAO en cours de conception.

### ***1.3.3. Module superviseur***

Le module superviseur gère le flux de données transitant entre les différents modules et sont à exécuter les scénarii en provenance du module de base de connaissances.

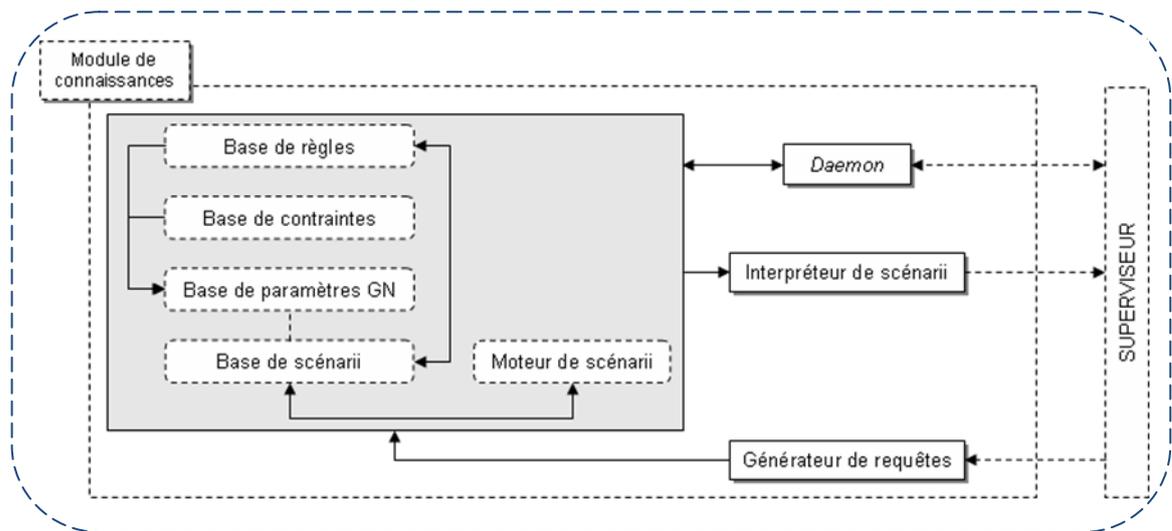
#### ***1.3.4. Module historique***

Il permet de stocker les différentes actions réalisées en cours de conception. Ce module permet de garder une trace des différentes informations lors du déroulement d'un scénario. Il communique de façon indirecte avec les autres modules à travers le module superviseur.

#### ***1.3.5. Module de connaissances***

Le module de connaissances (MDC) contient toutes les données qui permettent de piloter la conception. Le MDC contient plusieurs bases (Figure 30) pour enregistrer la connaissance :

- ~ une base de contraintes qui contient les données initiales. Typiquement elle contient les formules que doit respecter le modèle. Elle peut être mise à jour en fonction de la modification dynamique d'un paramètre dans un scénario. Le superviseur contient un moteur qui se charge de vérifier le respect de ces contraintes,
- ~ une base de règles qui contient les règles métiers enregistrées sous forme de règles de production. Il y a deux types de règles. Il peut y avoir des règles qui doivent être respectées tout au long de la conception et les règles qui sont déclenchées dans un scénario. Les règles qui doivent être respectées tout au long de la conception sont considérées comme des conditions initiales. Les règles peuvent être modifiées en fonction d'une action sur un paramètre dans un scénario,
- ~ une base de scénarii qui contient tous les scénarii enregistrés par les utilisateurs. Un scénario est obligatoirement relié à un paramètre graphonumérique qui définit le paramétrage du modèle CAO.
- ~ une base de paramètres graphonumériques qui est le centre de communication entre les bases de contraintes, de règles et de scénarii. Cette base contient les paramètres graphonumériques caractérisant un scénario spécifique. Ces paramètres sont appelés par les différentes bases.



**Figure 30** - L'architecture du module de connaissances

Le MDC est le cœur du fonctionnement de la méthodologie. Il gère la connaissance sous forme de scénarii et paramètre le modèle produit grâce aux expressions graphonumériques.

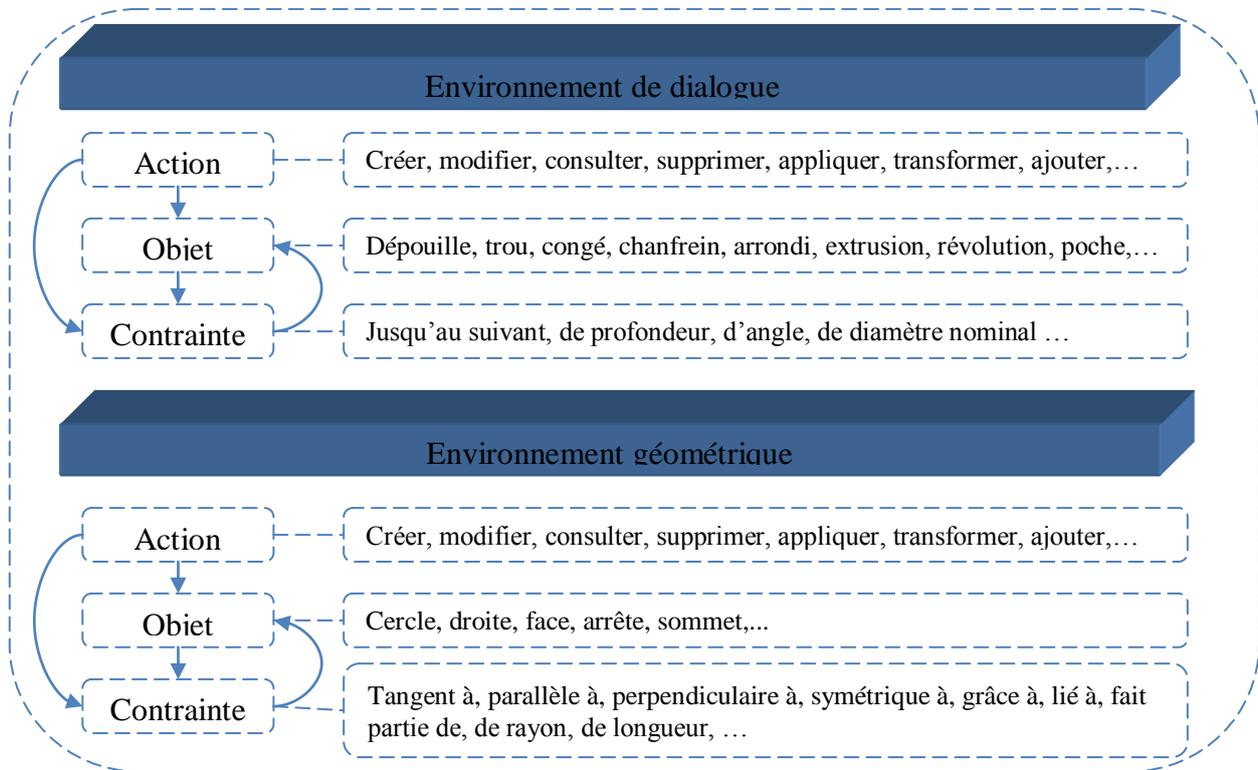
Les expressions graphonumériques sont des expressions qui permettent d'insérer les connaissances d'une façon plus explicite dans le MDC. L'enregistrement des connaissances se fait donc à partir d'un vocabulaire spécifique. Ce vocabulaire doit permettre comme on l'a vu de piloter les différentes instances des environnements. Il doit pouvoir, par exemple, lier les règles métiers et les contraintes mais également les éléments géométriques [Gardan, 1991]. Une description détaillée d'une expression graphonumérique est donnée dans [Gardan, 2005]. Pour la mise en place de ce langage, trois classes sont développées, une classe action que doit opérer le système de CAO, une classe objet qui permet de définir l'objet de travail contenu dans le MDC et enfin une classe contenant les contraintes qui permettent de contraindre les éléments les uns par rapport aux autres. Comme nous l'avons dit, suivant l'environnement, les termes s'adaptent pour décrire différents éléments comme présenté en Figure 31.

Une expression graphonumérique sera définie par un n-uplets <action> <objet> <contrainte(s)> <objet> <contrainte(s)>... Il ne peut y avoir qu'une seule action, mais il peut y avoir plusieurs objets associés à plusieurs contraintes. L'expression permet de créer des paramètres graphonumériques et de faire la liaison avec le modèle lui-même. Le paramètre pourra être du type : valeur alphanumérique, valeur, géométrique ou alphanumérique/géométrique (d'où le terme graphonumérique). Pour son utilisation, un paramètre graphonumérique s'écrira :

Action\_objet(contrainte/paramètre)

Le séparateur « \_ » signifie que l'on passe d'une action à un objet ou d'une contrainte à un objet. Le caractère « / » permet de spécifier l'association d'un paramètre à une contrainte. On sépare

le couple « contrainte/paramètre » par des parenthèses. Le « # » est utilisé pour séparer le pronom de l'adjectif dans une contrainte, par exemple *tangent#à*.



**Figure 31** - Description des éléments suivant différents environnements.

Par exemple un utilisateur voudra dans un logiciel de CAO « Créer une dépouille de 15° d'une face par rapport à une face ». L'expression graphonumérique traduite dans le logiciel s'écrira donc `Créer_Dépouille(angle#de/a)(de#face/face)(par#rapport/face)`. Cette expression graphonumérique impliquera plusieurs paramètres liés à la géométrie de la pièce et qui apparaîtront directement dans l'arbre de construction. Les paramètres seront :

- ~ `angle_dépouille=15°`
- ~ `surface_dépouillée=Extrusion.1/Face.1`
- ~ `élément_neutre=Extrusion.1/Face.2`

Ce module permet de gérer une partie importante du modèle P<sup>4</sup>LM. En effet, les règles métiers et les contraintes font la liaison entre le produit et le processus. Les paramètres graphonumériques définissent quant à eux les procédés utilisés dans le processus (Figure 32).

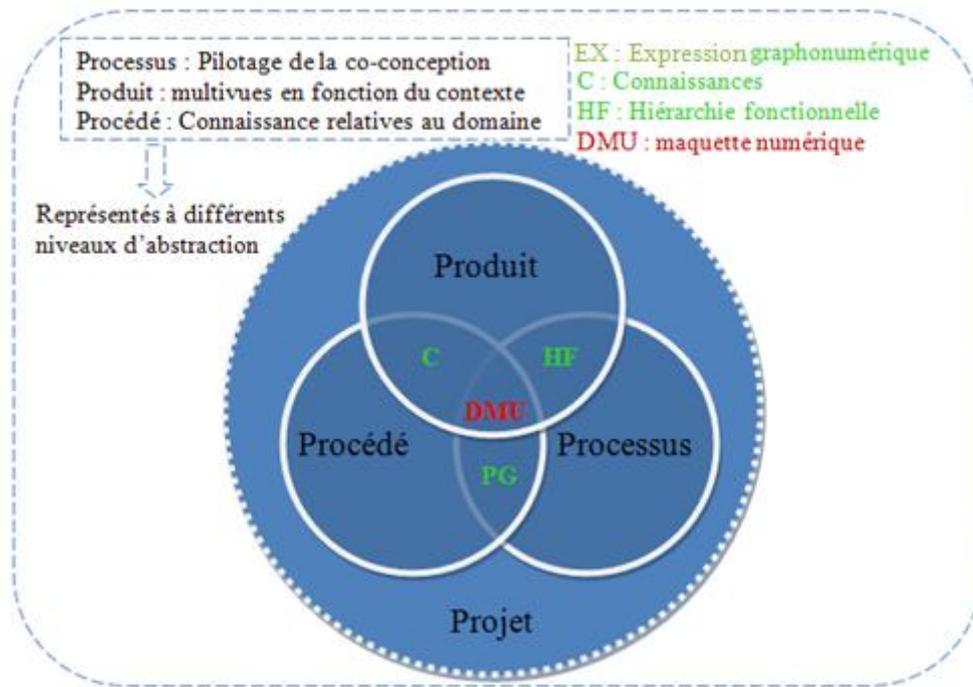


Figure 32 - Liaisons Projet, Produit, Processus, Procédé avec la méthodologie P<sup>4</sup>LM

## 1.4.Design for X

Design for X (ou conception en tenant compte de X) où X peut être l'assemblage (For Assembly), la fabrication (For Manufacture), le désassemblage, le recyclage (For Disassembly/Recycling) et l'environnement (For Environment), la qualité (For Quality), la fiabilité (For Reliability) [Reimeringer, 2008]. Historiquement, la première méthode fut Design for manufacture, qui a permis de vérifier si un produit était fabricable ou non, ensuite ce terme de Design for X a permis d'englober ces différentes fonctions avec des outils et des méthodologies spécifiques.

Cette approche vise une réduction du nombre des étapes et des composants lors de la réalisation d'un produit, tout en gardant un objectif de fabrication simple et peu coûteuse. C'est pourquoi elle s'intègre complètement dans le cycle de vie d'un produit en suivant toute la chaîne de production.

L'approche Design for X permet, suivant le domaine, de développer des méthodologies de travail ainsi que des outils. Par exemple, pour la conception pour l'assemblage, des outils ont été développés pour minimiser le nombre des composants. Les recherches se sont orientées sur différents moyens pour permettre d'optimiser ce nombre de composants, suivant la décomposition des opérations à effectuer, les fonctions de la pièce et la capacité d'assemblage des pièces. Pour la conception pour la fabrication, le but de la philosophie est de faciliter le choix des procédés de fabrication en fonction des caractéristiques de la pièce à fabriquer et des contraintes des différents procédés de fabrications. Pour cette approche, les recherches se sont orientées vers la proposition de

règles de conceptions. Ces règles sont à la disposition des différents intervenants d'un projet. Cependant comme nous l'avons présenté précédemment, nous pouvons regretter que ces règles ne soient pas directement intégrées aux outils informatiques comme dans le projet DIJA. Le fait de dissocier les règles métiers ou les règles de fabrications implique de nombreuses itérations pour la fabrication des pièces. En effet il faut à chaque fois faire une étude de fabricabilité pour chaque nouvelle conception faite. Alors que si les règles sont intégrées dès le début, il n'y a pas ce souci.

Un exemple des différents DFX est donné dans [Reimeringer, 2008], avec une description des approches pour chaque élément.

## **1.5.Synthèse**

Le projet P<sup>4</sup>LM a permis de mettre en place une méthodologie de travail pour la modélisation des processus industriels. Elle se base sur un modèle de décomposition fonctionnel SADT, qui est modifié suivant l'approche de recherche de notre équipe.

La décomposition en environnement et en module permettent de définir à plusieurs niveaux d'abstraction les éléments du processus étudié. La modélisation se fait donc d'une façon rigoureuse et permet d'être liée à des outils informatiques avec une approche par les paramètres (paramètres graphométriques).

Cependant, cette méthodologie est réalisée grâce à des outils qui ne sont pas dédiés à la modélisation des processus industriels. Les modèles développés dans le projet DIJA par exemple permettent la mise en place d'un workflow intégré à cet outil. Cependant on ne peut dissocier le modèle de l'outil d'aide à la CAO. Dans DIJA, l'outil CAO a été développé, l'interface homme/machine a été étudié, l'intégration des règles métiers est réalisée à l'aide du MDC mais les processus sont créés jusque maintenant manuellement, aucun outil n'est utilisé. C'est pourquoi nous proposons un outil simple d'utilisation et compréhensible de modélisation des processus. Notre travail de recherche a contribué à la création de cet outil, en apportant les points importants de la méthodologie P<sup>4</sup>LM, en intégrant les différents moyens d'insérer le point de vue des intervenants et en testant l'outil dans différents cas industriels. Nous détaillons ce modèle dans le prochain chapitre.

Nous allons présenter la notion de point de vue. En effet, nous en avons déjà fait référence plusieurs fois dans les parties précédentes. Nous allons dans cette section en présenter les bases. Pour cela nous donnons tout d'abord une définition et nous décrivons l'association qui peut être faite avec les connaissances qui sont liées au projet étudié.

## 2. Notion de point de vue dans un processus

La notion de point de vue est liée à tous les éléments qu'un utilisateur ou acteur va pouvoir présenter. Lorsqu'un utilisateur décrit un élément, il va obligatoirement ajouter son point de vue. On peut relier le point de vue à la fonction, par exemple, si nous prenons une lampe, elle a pour fonction principale d'éclairer, pourtant une autre fonction est « *être belle* » cette fonction est *subjective* et dépend de l'utilisateur qui va la décrire. La subjectivité introduit donc la notion de point de vue. Si à la description d'un élément « simple » qui est une lampe, apporte plusieurs solutions, la notion de point de vue devient encore plus sensible lorsque l'on est en présence d'un système qui engendre des dizaines d'éléments à décrire.

Dans cette section, nous allons tout d'abord donner une définition du point de vue, pour définir les bases (section 2.1). Comme nous en avons déjà fait allusion dans les parties précédentes, les points de vue sont différents, nous allons détailler ces différences dans la section 2.2. Les points de vue ont une liaison forte avec les connaissances, c'est pourquoi dans la section 2.3, nous présentons les connaissances tacites et explicites ainsi que leurs capitalisations.

### 2.1. Définition du point de vue

Darse [Darse, 1997] écrit que tout objet technique peut être décrit sous divers points de vue. De la même façon il associe point de vue et *niveaux d'abstraction*, chaque point de vue offrant une description de l'objet, certes spatiale, mais néanmoins complète. Cela implique, que lorsque la description d'une entreprise, d'un procédé, d'un processus ou d'un objet est faite, il y a un apport personnel qui est réalisé. Une vue d'un métier est générée par la description du produit en utilisant les connaissances et en prenant en compte les règles métiers qui y sont associées. En d'autres termes, un intervenant d'un projet, comme un ingénieur ou un technicien ont chacun une description différente d'un même objet physique par exemple. Un point de vue est donc lié à un type d'individu, à son domaine de compétence, à son âge, ou à son niveau de formation. Une personne va avoir donc des vues différentes d'une même tâche pour réaliser une action [Falquet et *al.*, 2001]. Nous détaillons donc les différences entre les points de vue.

### 2.2. Différence entre les points de vue

Rosenman et Gero dans [Rosenman & Gero, 1996] montrent que la différence entre les points de vues dépend de la fonction et des préoccupations techniques des personnes qui étudient le système. Nous décomposons en deux parties les différences de point de vue, nous prenons le cas simple d'un objet qu'un utilisateur va tout d'abord visualiser (section 2.2.1) et ensuite va le décrire (section 2.2.2).

### 2.2.1. Visualisation d'un objet

La vue d'un objet par différents êtres humains une représentation, c'est ensuite au niveau de l'exploitation de la représentation de chacun que le point de vue entre en compte. [Chapa, 1997] écrit qu'une vue métier est générée « par la description du produit faite en appliquant le savoir-faire et en prenant en compte les règles d'un métier particulier. » En effet comme nous l'avons dit, la vision d'un objet est subjective et dépend des préjugés, de la culture que chacun a et de plusieurs autres facteurs, parfois inconnus [Roucoules, 2007]. La Figure 33 montre une figure retournable qui peut être vue de deux façons différentes. Cette image représente très bien la différence entre deux façons de visualiser une même image et donc par identification un même objet. C'est de ce principe que le problème de représentation d'un objet intègre la notion de point de vue. Sur l'image de gauche on voit un jeune homme souriant avec une casquette, si on retourne l'image, on a un homme mécontent avec un chapeau de bachelier. Avec la même image, on peut avoir deux visualisations différentes.

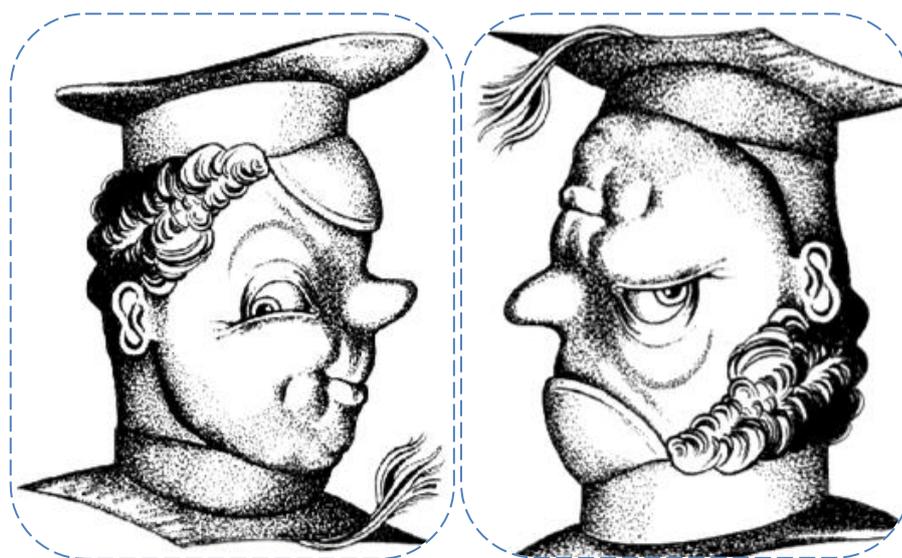
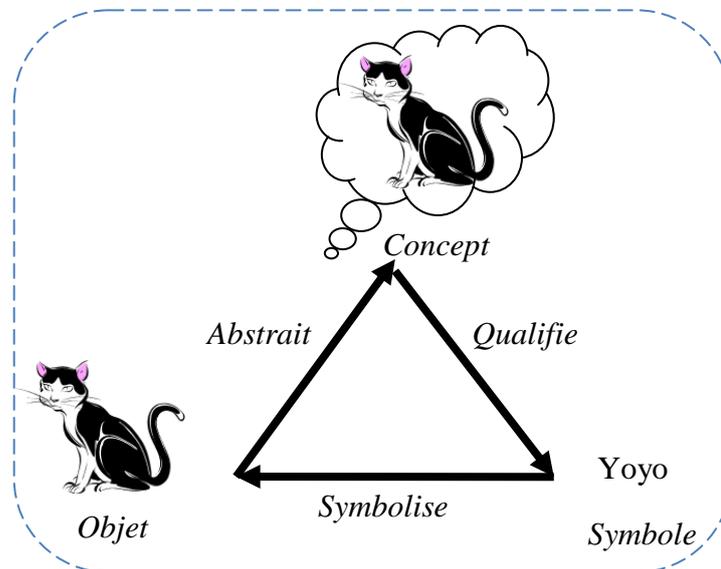


Figure 33 - Deux points de vue d'une même image de Rex Whistler « Le gai et le revêche ».

### 2.2.2. Représentation d'un objet

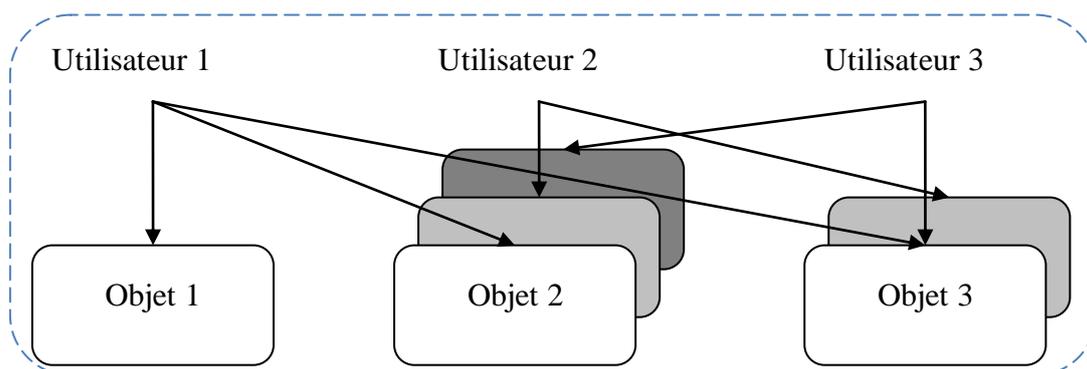
Un objet est vu par une personne, la représentation de celui-ci peut être différente suivant cette personne. On entend par représentation différente, non pas une altération de la représentation mais une représentation à partir d'informations différentes. Le fait de représenter un même objet par plusieurs personnes n'implique pas qu'elles ne travaillent pas ensemble, mais qu'elles peuvent apporter des informations différentes du même objet. [Sienou, 2009] décrit une approche de modélisation que l'on peut assimiler à une représentation d'un objet, avec le triangle de sens en sémiologie (Figure 34).

L'exemple étudié se compose en trois éléments, *l'objet* (un chat), qui est modélisé ou représenté par un *concept*, ensuite ce concept est réduit à un *symbole* qui est ici son nom « Yoyo ». Cette approche triangulaire s'adapte à la modélisation des processus, en effet l'acteur va tout d'abord étudier le système, ensuite il va réaliser un modèle graphique à l'aide d'outil et va ajouter dessus des symboles pour pouvoir les identifier et les appliquer au cas réel.



**Figure 34 - Le triangle du sens**

Une représentation du système par chaque utilisateur deviendrait beaucoup trop difficile à exploiter. Nous verrons par la suite comment la gestion des points de vue des différents intervenants d'un projet peut être étudiée. La description d'un objet peut être réalisée par des personnes de plusieurs façons, cependant deux personnes différentes peuvent décrire un objet de la même façon Figure 35.



**Figure 35 - Représentation d'objets par différents utilisateurs**

[Rosenman & Gero, 1998] introduisent cette notion de description d'objet par différents utilisateurs avec un exemple de description d'une maison. En effet, pour décrire le mur d'une maison, il y a plusieurs points de vue, si on prend le point de vue de l'ingénieur, le mur doit être décrit par ses dimensions, sa fonction de séparation et son esthétisme, alors que du point de vue du

chauffagiste, le mur peut être décrit par ses matériaux et ses épaisseurs pour l'isolation. En adaptant cette approche (Figure 36), nous prenons un « modèle », d'un point de vue de l'ingénieur CAO (Conception Assistée par Ordinateur), le modèle est une représentation par un arbre de construction (Modèle 1). Pour l'ingénieur calcul le modèle est représenté par un maillage et ses éléments qui en découlent (Modèle 2). Cet exemple montre les différentes approches métiers du point de vue. Mais cela implique une prise en compte rigoureuse des connaissances et de l'ontologie. Nous détaillerons dans la partie suivante ce qu'est une ontologie et la liaison du point de vue avec la connaissance.

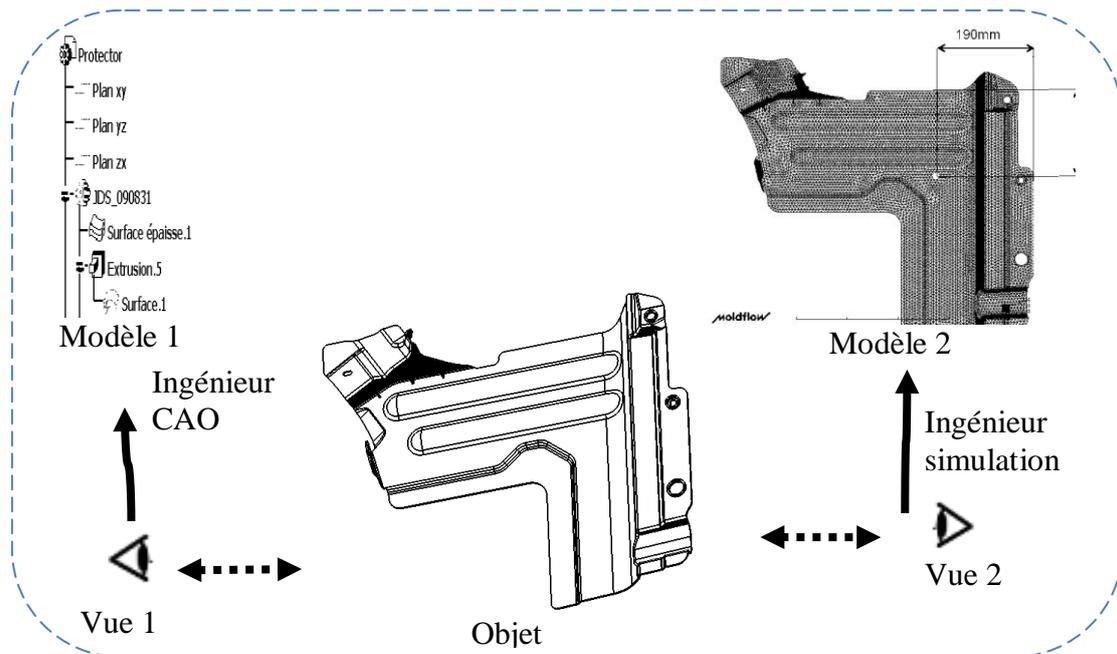


Figure 36 - Différentes vues d'un "modèle" en accord avec [Rosenman & Gero, 1998] et la société TRELLBORG

## 2.3. Connaissances

Une définition générale de la connaissance est « ce qui est connu, ce que l'on sait pour l'avoir appris », le savoir est « l'ensemble des connaissances plus ou moins systématisées acquises par une activité mentale suivie » et le savoir-faire est « l'ensemble des connaissances, expériences et techniques accumulés par une personne ou une société, que l'on peut mettre à disposition d'autrui, à titre onéreux ou gratuit ».

D'un point de vue informatique, une définition de la connaissance est la suivante [Martin, 1996] : les connaissances sont les objets, concepts et relations qui sont supposés exister dans un certain domaine d'intérêt. Un ensemble de connaissances, représentées en utilisant un langage de représentation de connaissances, est connu comme une base de connaissances, et un programme qui étend et/ou effectue des recherches dans une base de connaissances est un système à base de connaissances. Les connaissances diffèrent des données ou des informations dans le sens où de nouvelles connaissances peuvent être créées à partir de connaissances existantes par inférence

logique. Si une information est une donnée plus une signification, alors une connaissance est une information plus du raisonnement. Une forme courante de connaissances, cf. dans un programme Prolog, est une collection de faits et de règles à propos d'un sujet. Par exemple, une base de connaissances à propos du syllogisme d'une famille peut contenir le fait que John est le fils de David, le fait que Tom est le fils de John, et la règle représentant que le fils du fils d'une personne est son propre petit-fils. A partir de cette connaissance, le programme peut inférer le fait que Tom est un petit-fils de David.

Les connaissances peuvent se décomposer en plusieurs types, Michael Polanyi part du fait que nous pouvons connaître plus que ce que nous pouvons dire « *we can know more than we can tell* » [Grundstein, 2002]. De plus, il classe la connaissance humaine en deux catégories : « *les connaissances explicites se réfèrent à la connaissance qui peut être exprimée sous forme de mots, de dessins, d'autres moyens « articulés » notamment les métaphores ; les connaissances tacites sont les connaissances qui sont difficilement exprimables quelle que soit la forme de langage* » [Polanyi, 1966].

Dans cette section, nous faisons une ébauche des connaissances en détaillant les connaissances tacites (section 2.3.1) et les connaissances explicites (section 2.3.2) afin d'expliquer les différences et de préciser la difficulté pour les capitaliser et transférer les connaissances aux différents acteurs du projet [Ammar-Khodja & Bernard, 2005] (section 2.3.3). A partir de ces connaissances, un exemple d'ontologie est réalisé pour la restitution des connaissances et l'application à des cas précis (section 2.3.4).

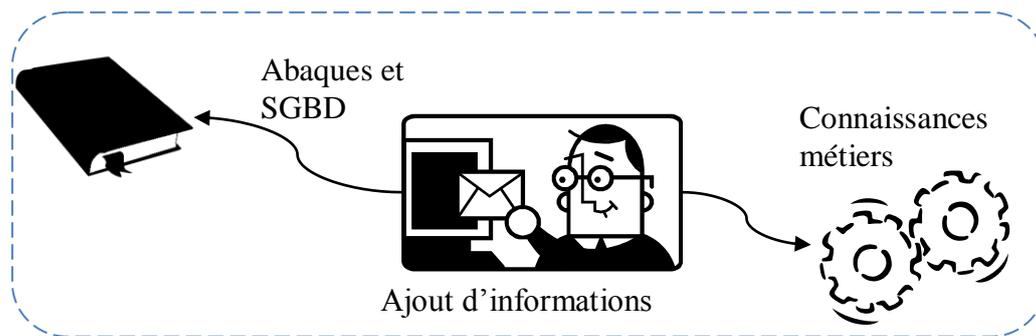
### ***2.3.1. Connaissances tacites***

La connaissance tacite est un concept développé par Polanyi Michael en 1958 [Polanyi, 1958], cette connaissance prend en charge tous les éléments qu'une personne peut avoir en elle. Elle est intégrée aux individus et est indispensable pour porter des jugements et agir. Cette connaissance est difficile à mettre en œuvre et à restituer [Polanyi, 1966]. Des personnes vont facilement mettre en œuvre et transmettre les connaissances tacites à l'aide d'expériences ou de descriptions simples. Alors que d'autres ne vont pas pouvoir transcrire avec des mots les connaissances qui sont souvent liées à leurs métiers ou à leurs habitudes. C'est pourtant cette connaissance que les entreprises veulent le plus souvent garder une trace. Il est vrai que des personnes partent en retraite ou bien encore chez un concurrent en gardant leurs connaissances métiers et leurs savoirs faire. C'est pourquoi nous avons apporté une attention plus poussée sur celle-ci.

### ***2.3.2. Connaissances explicites***

Les connaissances explicites sont complémentaires aux connaissances tacites. C'est-à-dire qu'elles sont données à partir de faits réels, comme des livres, des abaques, ou des bases de

données. Il est plus fiable de trouver une donnée dans une base documentaire, que de demander à une personne. La connaissance explicite est transmise dans un langage formel et structuré, par exemple le code de la route. Elle correspond à l'acceptation du terme « savoir » dans la langue française. Sur la Figure 37 nous affichons les deux connaissances, tacites avec l'exemple des SGBD et des abaques ainsi que les connaissances explicites, avec l'exemple des connaissances métiers. Nous présentons un acteur d'un projet venant ajouter une information à la modélisation des processus. Cette information pouvant être une connaissance qu'il a apportée.



**Figure 37 - Différents types de connaissances**

La connaissance documentaire est plus facilement intégrable au processus, par l'insertion direct de document ou par des liens, mais elle n'en reste pas plus facile à modéliser. Il faut différencier, ce qui a été donné par des abaques et ce qui a été appris par l'expérience.

### **2.3.3. Capitalisation et transfert des connaissances**

Nous avons présenté les différents types de connaissances, ces connaissances doivent être capitalisées, puis intégrées au processus afin de la transmettre aux différents intervenants du projet. Selon [Gardan, 2003] une partie importante pour la modélisation des processus est la capitalisation des connaissances, c'est-à-dire comment une personne va pouvoir apporter simplement ses connaissances et comment elles vont pouvoir être diffusées. La connaissance portera donc le point de vue de chaque personne. Afin de gérer toutes les connaissances, des systèmes ont été développés, les Systèmes à Base de Connaissances, SBC traduction de KBS – *Knowledge-Based System*. Nous pouvons citer un exemple de SBC créé par La division Tooling d'Audi, qui est basé sur des gabarits représentant les outillages de presses utilisés. Ces gabarits sont réutilisables dans n'importe quel modèle et sont liés à des règles métiers [Nunes, 2002]. Le SBC contrôle le respect des règles grâce à des vérificateurs. Dans les premières phases de nos recherches, nous avons étudié une approche qui permettait de lier un outil informatique au processus. Pour cela nous avons lié le processus dédié à la fonderie à l'outil de CAO CatiaV5 et nous avons appliqué le même type de SBC pour des copies optimisées, qui s'apparentent à des gabarits spécifiques (voir Figure 38). Nous présentons dans la suite de ce manuscrit l'exemple plus en détail.

La raison même des systèmes à base de connaissances est de pouvoir séparer les connaissances entre le déclaratif et le procédural. Les premiers résultats concrets sont apparus avec les systèmes à base de règles appelés systèmes experts. Les premiers systèmes experts sont apparus avec le logiciel d'aide à la décision médicale MYC en 1974 [Shortlife & Buchanan, 1984]. Ces systèmes experts dits de première génération fournissaient grâce à un questionnaire un ensemble de réponses et offraient environ 75 à 80 % de bonnes réponses.

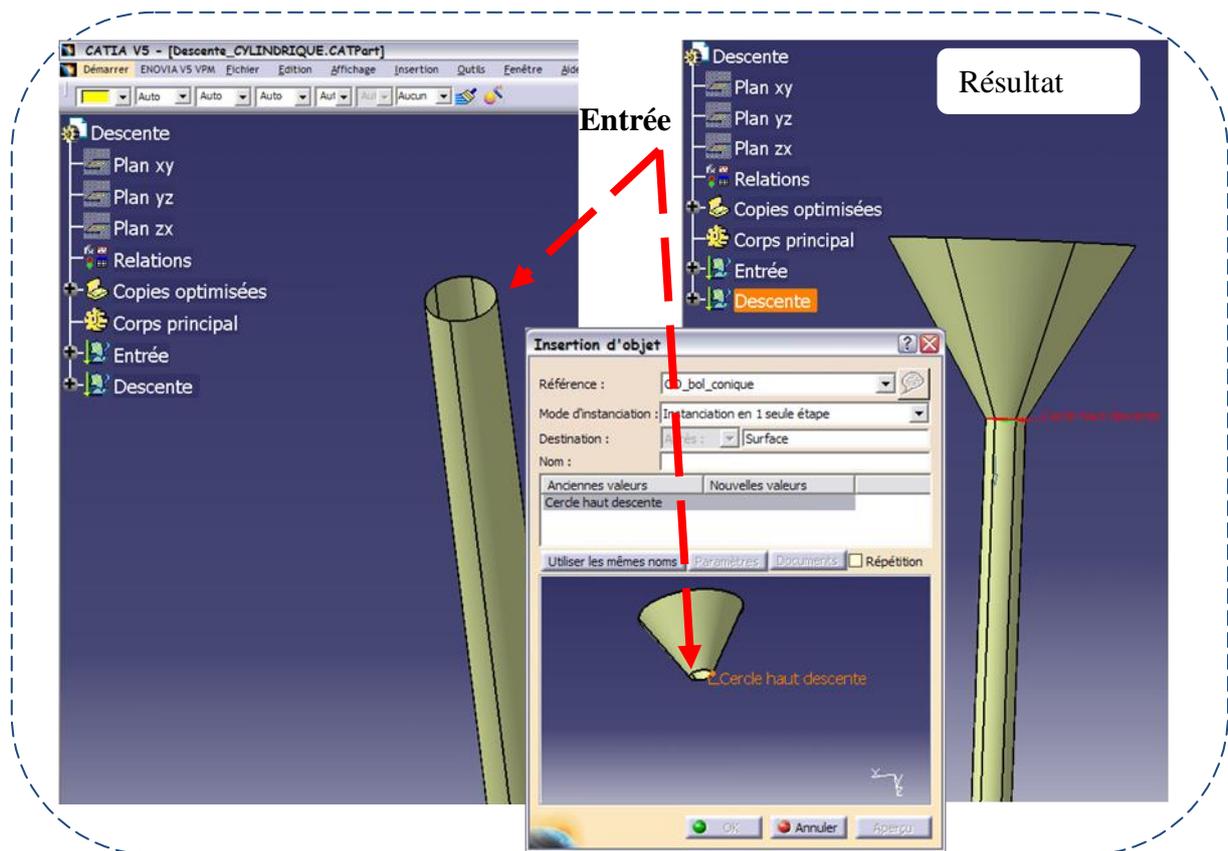


Figure 38 - Un SBC développé avec le logiciel CATIA V5 avec les copies optimisées.

Pour réduire les temps et les coûts de production, les chercheurs se sont intéressés à différents résultats des recherches sur l'Intelligence Artificielle (IA) [Benchimol *et al.*, 1990]. Un des résultats les plus utilisés est d'associer des règles métiers pour assister le concepteur. Le savoir-faire est alors formalisé en règles de production dites associatives c'est à dire que chaque règle contient le contexte de déclenchement et la condition d'exécution de la règle. Ce sont des règles du type : **Si** (Condition) **Alors** (Action). Pour que la partie **Action** s'exécute, il faut que la partie **Condition** soit vérifiée. L'architecture d'un SBC utilisant des règles de production est basée sur l'architecture des systèmes experts. Elle est constituée d'une base de règles contenant la connaissance du domaine considéré, d'une base de faits contenant les informations concernant le

cas que l'on est en train de traiter, et d'un moteur d'inférence capable de raisonner à partir des informations contenues dans la base de connaissances (règles et faits) (voir Figure 39).

Darwish, présente une utilisation d'un système expert représentant la partie coût d'un projet pour choisir le bon processus dans les différents processus de fonderie disponibles [Darwish & El-Taminmi, 1996].

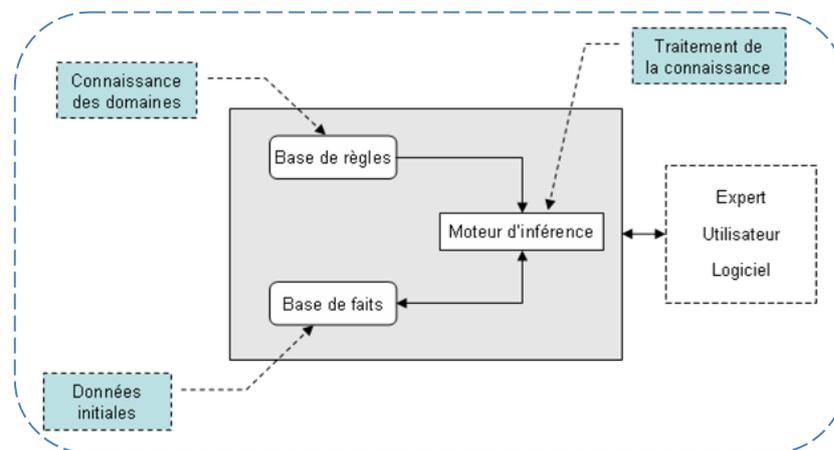


Figure 39 - Architecture d'un système expert

#### 2.3.4. Ontologie et connaissances

Les connaissances associées aux projets et aux entreprises utilisent de nombreuses informations qui leurs sont liées. Ces informations apportent parfois des problèmes de compréhension pour les acteurs liés au projet. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à la liaison entre l'ontologie et la connaissance. Cette approche ontologique a permis de mettre en évidence un problème de compréhension entre les différents intervenants et est pour nous une approche pour y remédier. Une ontologie étant une représentation formelle d'une conceptualisation, qui est en pratique une collection de termes formels. Elle est généralement organisée hiérarchiquement ou munie de définitions formelles qui spécifient leurs relations avec d'autres termes formels. Une définition informatique de la conceptualisation est selon [Martin, 1996] : la collection des objets, de concepts et des autres entités qui sont supposés exister dans un certain domaine d'intérêt, et les relations qui les relient. Une conceptualisation est une vue abstraite, simplifiée du monde que l'on veut représenter. Par exemple, on peut conceptualiser une famille par un ensemble de noms et de relations entre les membres de la famille. Le choix d'une conceptualisation est la première étape de la représentation de connaissances. Chaque base de connaissances, système à base de connaissances, ou agent modélisé au niveau connaissance est, explicitement ou implicitement, relatif à une certaine conceptualisation.

Dans le cadre d'un projet de recherche dans notre équipe, nous avons développé une ontologie basée sur le domaine de la forge [Faure *et al.*, 2001], dans le but de décrire la modélisation d'un moule en forge. Nous avons proposé cette ontologie sous forme de Wiki à l'adresse suivante : [www.E2P4LM.eu](http://www.E2P4LM.eu). Pour compléter au mieux ce wiki, nous avons réalisé des visites d'entreprises pour tester les recherches et la véracité des termes étudiés. Cette approche ontologique a été développée pour d'autres domaines, comme le métier de la plasturgie et de la fonderie. Cette idée vient du fait qu'il existe des termes qui sont employés dans les trois domaines mais ne définissent pas toujours le même élément. D'où l'importance de pouvoir identifier les points de vues des différents métiers.

## 2.4.Synthèse

Dans cette section, nous avons défini les différents points de vue associés à un acteur d'un projet lors de la modélisation d'un processus. Nous avons montré que suivant le domaine d'activité, les antécédents et les compétences de l'acteur, le point de vue diffère. Dans ce cas, nous avons introduit le besoin d'une compréhension par tous de l'information transmise, par le biais de moyens de représentation et d'outils d'aide à la compréhension et la gestion des informations. Cette notion d'information est étroitement liée à la connaissance de l'acteur. En effet, l'information est liée à des connaissances (explicites ou tacites) qui sont transmises avec l'aide de systèmes dédiés, qui sont les systèmes à bases de connaissances ou encore les systèmes experts. Pour aider la compréhension de l'information ou encore de la connaissance, nous avons étudié une approche ontologique, qui permet de recenser et d'expliquer les éléments importants d'un projet. Cette approche nous permet de mettre en évidence le besoin de bien différencier les points de vue et de les associer via le processus. C'est dans cet objectif que nous proposons des moyens d'intégrer les points de vue des différents intervenants dans le cadre d'une modélisation de processus. [Bertrand *et al.*, 2008]

## 3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le projet dans lequel s'insère notre travail de recherche. Dans un premier temps, nous avons décrit le but d'un tel projet orienté vers la gestion des processus. P<sup>4</sup>LM a permis la réalisation d'une méthodologie et a contribué à l'aboutissement de nombreux projets auprès des PME locales qui ne peuvent avoir accès à des outils ou des connaissances liées à la CAO ou la simulation numérique. Ce projet est continué grâce à un projet Européen E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM, qui reprend la méthodologie, pour l'améliorer, et qui propose un outil de modélisation des processus en utilisant la méthodologie étudiée. Pour décrire ce projet, nous avons donné une définition des différents termes magistraux, Projet, Produit, Procédé, Processus. Ensuite

nous décrivons le modèle utilisé pour cette méthodologie. Basé sur un modèle SADT, nous avons modifié celui-ci pour intégrer nos besoins lors de la modélisation des processus. Ce modèle permet donc d'ajouter des connaissances, des contraintes et des acteurs. Cependant, il ne permet pas de définir les différents points de vue sur le même processus, ce que nous présentons dans le chapitre suivant.

Nous avons décrit l'approche modulaire utilisée dans la méthodologie et dans l'outil associé au projet DIJA. Cet outil est basé sur la philosophie du même nom qui est employée dans notre équipe de recherche. Elle vise à intégrer au plus les règles métiers et de faciliter l'utilisation des outils informatiques, plus particulièrement les outils de CAO. Nous présentons une application qui découle directement de l'association de la méthodologie avec l'outil DIJA. Cette combinaison permet la réalisation d'un outil de création de système de coulée automatiquement avec des règles métiers pré-intégrées.

Pour finir, nous introduisons la notion de point de vue liée à la connaissance. Nous comparons la visualisation et représentation d'un objet par différents intervenants. Nous concluons sur le fait, que la représentation et la visualisation d'un objet est propre à la personne. Ainsi il faut proposer des moyens permettant de travailler sur des bases communes pour communiquer entre différents intervenants, tout en facilitant l'intégration des connaissances liées à chaque personne.

Afin de mieux appréhender la notion de connaissance, nous faisons un rappel de différentes connaissances qui peuvent être utilisées et la manière dont on peut les capitaliser et les transmettre. Nous proposons un exemple basé sur une ontologie que nous avons développé dans le cadre du projet E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM.

Dans le chapitre suivant, nous présentons nos apports sur la méthodologie et plus particulièrement comment prendre en compte le point de vue des intervenants.

# CHAPITRE III :

---

## INTEGRATION DE POINTS DE VUE DANS LA MODELISATION D'UN PROCESSUS INDUSTRIEL.

Thèmes abordés

Visualisation du point de vue

Modification de P<sup>4</sup>LM

Cas d'étude

## Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté le projet P<sup>4</sup>LM dans lequel nos recherches s'intègrent. Ce projet a permis de mettre en place la méthodologie de travail ainsi que la gestion des connaissances, qu'elles soient tacites ou explicites. La continuité du projet en un projet Européen (E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM), permet de compléter la méthodologie en apportant l'intégration du point de vue des intervenants et en contribuant à la conception d'un outil de modélisation des processus industriels.

Jusque maintenant, comme nous l'avons présenté pour le projet DIJA, ou encore le projet PRO<sup>3</sup> [Gardan, 2005], la méthodologie permet de définir un projet en prenant en compte les « quatre P », et elle intègre des connaissances grâce aux expressions graphonumériques, mais les processus sont modélisés manuellement, c'est à dire que le modèle a été défini mais il n'y a pas d'outils qui permettent de le modéliser. C'est pourquoi nous allons présenter dans ce chapitre, la modélisation des processus industriels en nous basant sur la méthodologie P<sup>4</sup>LM en section 1. Puis en section 2 nous présentons l'outil DFX::Manager qui a été développé par les ingénieurs du DINCCS, qui permet de prendre en compte la méthodologie P<sup>4</sup>LM et qui intègre nos travaux de recherches sur l'intégration des points de vue et l'amélioration du modèle.

### 1. Modélisation du processus industriel

La modélisation des processus industriels est réalisée grâce à un modèle bien précis. Celui que nous utilisons, développé dans le cadre du projet P<sup>4</sup>LM (Figure 40) et répondant à la méthodologie, est basé sur une analyse descendante grâce à un modèle SADT modifié. Le modèle modifié dans la première phase du projet ne permet pas la prise en compte des points de vue. C'est pourquoi nous avons apporté de nouvelles fonctionnalités, que nous décrivons en section 1.1. Par la suite, nous précisons les intervenants en section 1.2. Nous présentons notre apport à la modélisation du processus avec le diagramme collaboratif, l'ajout d'informations et le diagramme d'interaction, en sections 1.3, 1.4 et 1.5.

#### 1.1. Apport et modification du modèle P<sup>4</sup>LM

Le modèle SADT modifié selon la méthodologie P<sup>4</sup>LM ne nous permet pas de représenter tous les types de processus industriels. Nous avons ajouté des éléments pour améliorer sa compréhension et sa lisibilité. D'une façon générale, le modèle SADT permet de représenter une suite de fonctions. Le premier niveau A0 est la fonction générale du système. Ensuite le niveau A-0 est une décomposition du niveau A0, comme nous avons pu le voir dans le chapitre précédent. Pour les hauts niveaux d'abstractions comme ces deux niveaux, nous avons ajouté une notion de détails aux informations. Ces détails sont apportés, aussi bien en entrée, qu'en sortie ou encore en connaissance. Cette option d'ajout de détails, permet à tous les utilisateurs de comprendre, plus

facilement, les éléments qui ont été ajoutés. Lorsqu'un intervenant vient ajouter une information, il a, comme nous l'avons présenté précédemment, son point de vue associé et une représentation spécifique. Pour cet intervenant, l'information est compréhensible, alors que pour un autre non.

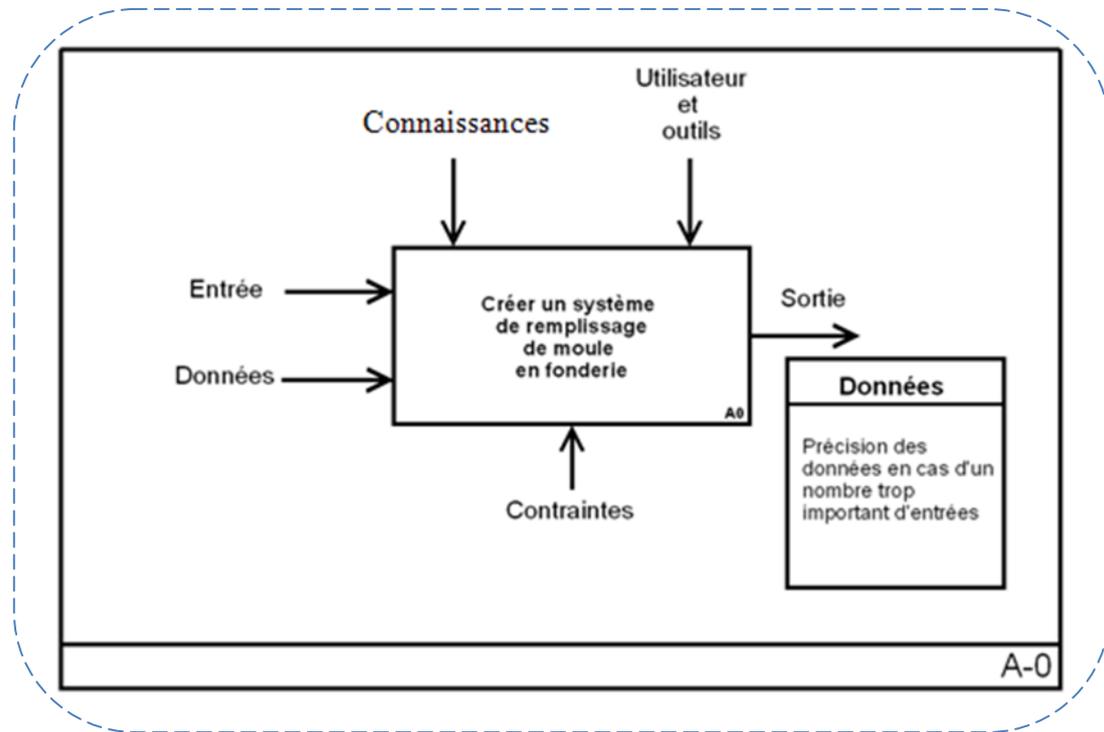
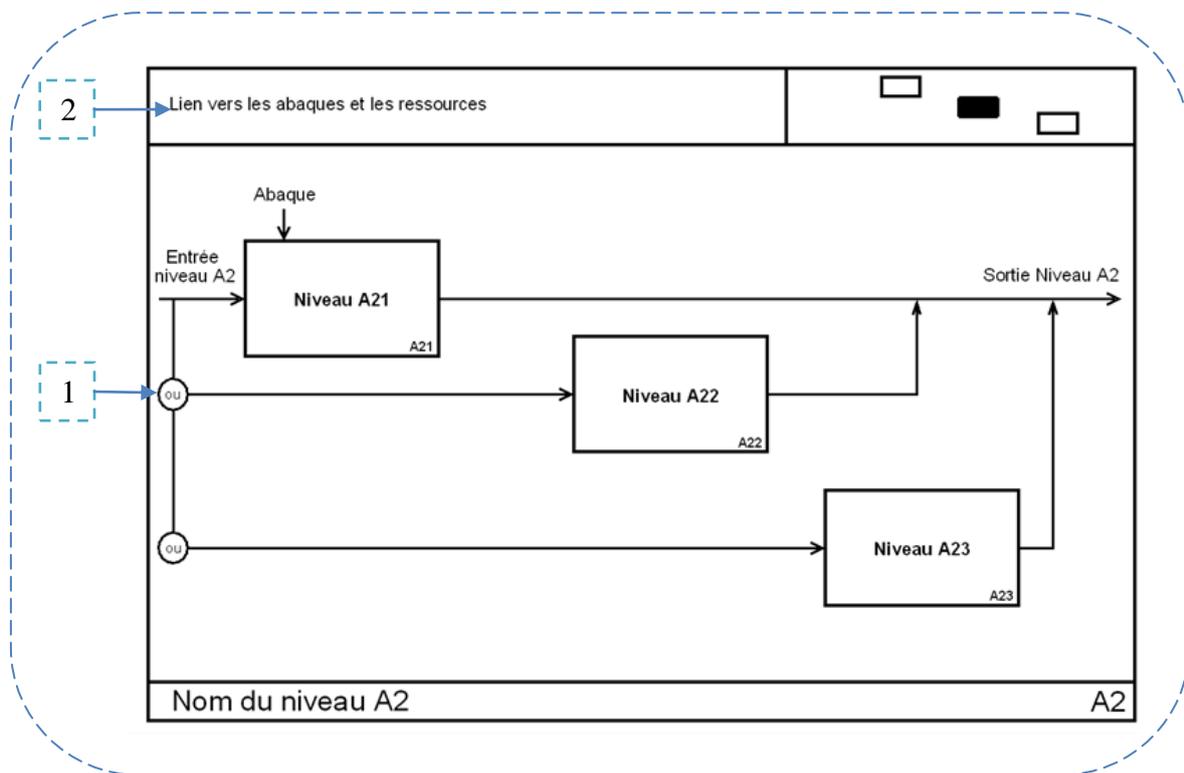


Figure 40 - Modèle P<sup>4</sup>LM avec ajout de précisions

Ces précisions que nous apportons permettent d'ajouter des spécificités à une information, par exemple les « données du projet » peuvent être détaillées comme « caractéristiques matériaux + modèle CAO + données de simulations... ». Elles permettent par la même occasion, d'ajouter une définition ou un exemple d'application.

Nous avons ajouté un système qui permet de lier une information à un document permettant de la détailler. Lors de la modélisation des processus, des connaissances sont ajoutées. Comme nous l'avons présenté, les connaissances peuvent être tacites ou explicites. La connaissance explicite peut être intégrée dans le modèle. Nous avons ajouté un endroit spécifique pour mettre les références des informations qui sont ajoutées grâce à des références. Par exemple, si le document est un PDF, si c'est un modèle CAO ou un maillage... Les utilisateurs ont accès aux différents éléments qui sont liés aux informations. Pendant l'avancement du processus, les éléments sont alors ajoutés et détaillés, comme nous le montrons dans la Figure 41.2.

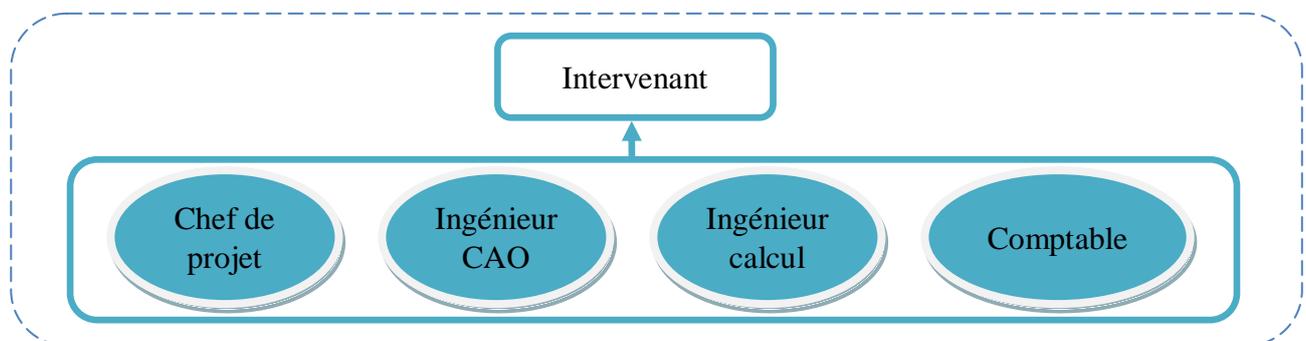


**Figure 41** - Méthodologie P<sup>4</sup>LM avec les propositions de modifications

Ces modifications de base sont intégrées dans l’outil que nous présentons dans la seconde partie de ce chapitre. Nous allons maintenant décrire les intervenants qui agissent dans le processus.

## 1.2. Les intervenants du projet

Les projets sont de plus en plus multidisciplinaires et font intervenir de nombreuses personnes et entreprises. Le travail collaboratif et l’intégration des projets dans la chaîne numérique sont primordiaux pour optimiser les coûts, la qualité et les délais. Que ce soit du travail collaboratif synchrone ou asynchrone, distribué ou non [Gardan, 2005], les intervenants du projet doivent savoir comment évolue le projet et comment ils doivent intervenir. C’est pourquoi nous définissons ce qu’est un intervenant (section 1.2.1) et nous présentons un intervenant particulier, qui est le chef de projet (section 1.2.2).



**Figure 42** - Décomposition en différentes classes des intervenants

### ***1.2.1. Intervenant***

Un intervenant est un acteur du projet, qu'il soit là comme observateur ou comme un acteur contribuant au projet. L'intervenant va donc pouvoir ajouter des informations, compléter le processus collaboratif ou encore dialoguer avec les autres intervenants du projet à travers un portail collaboratif. L'intervenant vient ajouter en entrée ce dont il a besoin pour réaliser le processus et en sortie ce qu'il attend comme résultat. C'est à travers ces informations qu'il apportera son point de vue. Il pourra aussi superviser un processus ou un procédé sur lequel il n'agit pas, mais pour lequel des informations qu'il a ajoutées sont utilisées pour le réaliser. L'importance d'un dialogue aisé, tout en gardant une confidentialité des échanges entre les différents intervenants, est mise en évidence. Les intervenants vont pouvoir être décomposé en différentes classes suivant leur poste dans le projet, chef de projet, ingénieur CAO, Concepteur, expert métier... (Figure 42)

Nous détaillons une classe d'intervenant comme étant le chef de projet qui est un élément majeur dans la réalisation du projet.

### ***1.2.2. Chef de projet***

Le chef de projet est un intervenant particulier, il est la personne qui dirige le projet et qui définit les rôles des différents intervenants. Il veille au bon déroulement du projet et à la définition des passages obligatoires ainsi que la durée des différentes parties du projet. De plus, dans le cadre de nos recherches, nous avons ajouté des éléments à son champ d'action. Dans notre méthodologie, il doit mettre en place le processus collaboratif, et valider les étapes de la modélisation du processus, comme la validation des informations et des liaisons, que nous présentons dans les sections suivantes. Le chef de projet est l'interlocuteur central des intervenants. Il planifie les réunions qui doivent être effectuées, il confirme les données (informations) de chaque intervenant. C'est grâce à lui que le processus peut évoluer, et c'est lui qui doit limiter les intervenants dans les choix possibles.

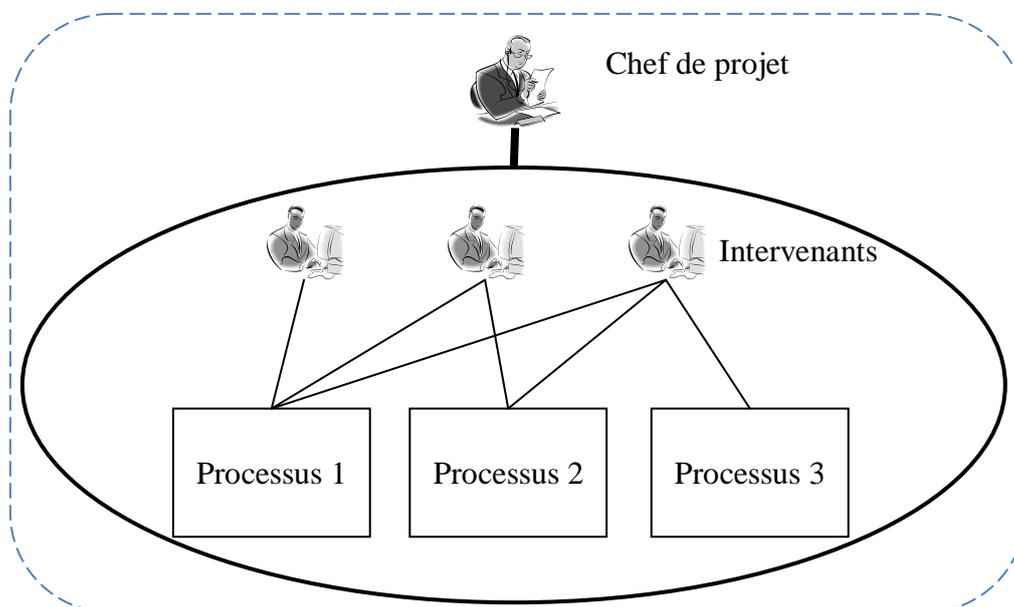
### ***1.2.3. Synthèse***

Les intervenants permettent la modélisation des processus. Ils viennent ajouter des informations qui permettent de faire évoluer le processus. Ils complètent par la même occasion leur connaissance et leur savoir-faire grâce aux différents moyens mis à leur disposition dans l'outil. Le chef de projet est le garant de la conformité des éléments qui sont ajoutés et modifiés. Il réalise les différents diagrammes utiles et valide les étapes importantes du processus. Avec l'apport de chaque intervenant, un point de vue spécifique à chacun est donné. Dès qu'une information est apportée, elle possède le point de vue de son intervenant. C'est dans ce cadre que nous proposons des moyens pour les intégrer plus facilement. Nous allons décrire les diagrammes qui sont créés durant une

modélisation des processus avec notre méthodologie et l'outil DFX ::Manager dans les prochaines sections.

### 1.3.Processus collaboratif

Le workflow principal est réalisé par le chef de projet. Au début d'une modélisation des processus, il est proposé vierge de toute information. Il gère l'intégration des informations des différents acteurs. Fournir ce processus collaboratif vierge permet de ne pas orienter les différents acteurs vers un choix d'information à ajouter. Ce processus collaboratif représente les fondements du processus avec les éléments importants qui se trouvent dans le cahier des charges. Il est ensuite complété au fur et mesure de l'avancement du projet (Figure 43). Le chef de projet est un intervenant particulier et peut par la même occasion ajouter des informations.



**Figure 43 - Intervenants du projet sur le processus collaboratif.**

Les intervenants vont donc ajouter aux entrées et aux sorties les éléments qui leur sont utiles. Ensuite le chef de projet doit gérer la liaison de ces éléments.

Nous avons présenté le processus collaboratif. Nous présentons maintenant l'ajout d'informations par un intervenant sur ce processus collaboratif.

### 1.4.Ajout d'informations par un intervenant

Les informations peuvent être des connaissances, des contraintes, des entrées et des sorties qui sont ajoutés sur le processus collaboratif par les différents intervenants.

Une information est un élément ajouté au processus, elle pourra, en plus d'être liée à un processus, avoir un élément associé pour sa compréhension.

### ***1.4.1. Information***

Les informations permettent de comprendre le processus et décrivent les différents éléments qui servent à améliorer la modélisation et la compréhension du processus du projet en cours.

Une information reflète le besoin d'un intervenant, que ce soit en entrée ou en sortie ; Elle peut prendre différentes formes. Nous détaillons deux informations différentes, les connaissances et les contraintes. C'est à travers ces informations que l'intervenant va pouvoir ajouter son point de vue.

### ***1.4.2. Connaissance***

La connaissance explicite peut être plus facilement intégrable que la connaissance tacite. Les connaissances sont ajoutées, comme nous l'avons montré dans la partie précédente, au processus sur la partie supérieure. Ces connaissances vont être liées à des documents pour la connaissance explicite, et à un point de vue particulier pour les connaissances tacites.

En effet, l'intervenant va pouvoir ajouter des informations grâce au vocabulaire lié à son métier. Il va donc pouvoir ajouter son point de vue, en intégrant ses connaissances liées à son travail.

### ***1.4.3. Contrainte***

Les contraintes qui interviennent dans la modélisation des processus sont variées. Ce sont des contraintes qui sont liées soit à l'entreprise, au projet, à l'intervenant, ou encore au matériau utilisé... Suivant le niveau d'abstraction, les contraintes vont être de plus en plus précises. Elles sont positionnées dans le modèle sur la partie inférieure du processus et permettent de limiter les actions ou de recentrer le processus. Les contraintes intègrent par la même occasion celles qui sont liées au métier et à l'utilisation du processus dans le projet. Par exemple, une contrainte pourra être au niveau général, une contrainte de matériau, alors que dans un niveau plus précis, elle deviendra une contrainte dimensionnelle.

## **1.5. Création du diagramme d'interaction**

Lorsque les utilisateurs apportent des informations, connaissances ou contraintes, elles sont mises à disposition des autres intervenants. Lorsque tous les intervenants ont associé leur point de vue au processus, un problème est soulevé. En effet, lorsque les informations doivent être reliées les unes aux autres, il faut faire un choix entre les informations qui peuvent être reliées entre elles et les informations qui ne sont pas compatibles. Nous détaillons cette partie en section 1.5.1. Après la liaison, il faut s'assurer que les informations ont un degré de compatibilité convenable (section 1.5.2).

L'objectif de ce diagramme d'interaction est d'aider à définir et à comprendre comment un groupe d'objets peut collaborer pour accomplir un but donné [Laublet, 1998]. Dans notre cas, l'objectif est d'identifier les collaborations possibles entre les intervenants et de vérifier que la communication se fait bien entre les bonnes personnes.

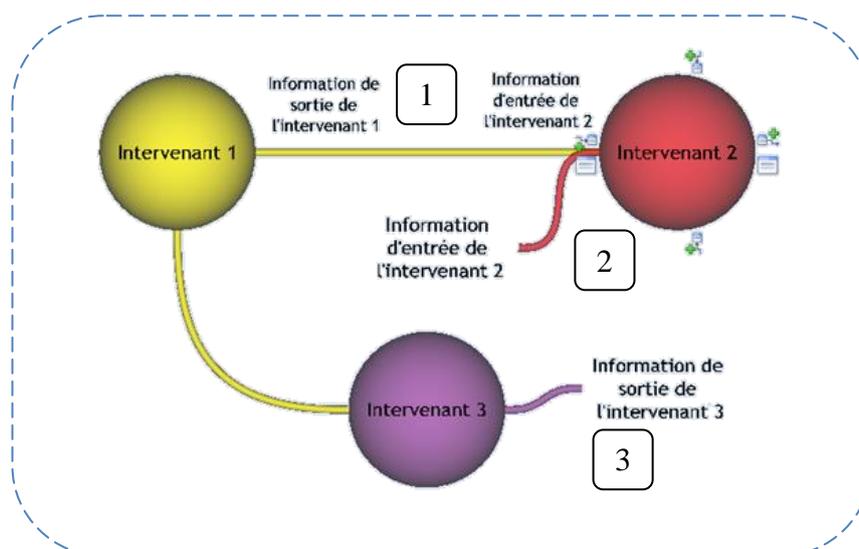
Le diagramme d'interaction créé Figure 44 permet de visualiser les échanges qui interviennent entre les intervenants. Il peut y avoir deux cas possibles pour les échanges entre les intervenants.

Le premier cas, le plus favorable consiste en deux intervenants ayant ajouté des informations, qui peuvent être liées (Figure 44.1). Nous pouvons conclure que :

- Les deux informations sont les mêmes, ou signifient la même chose.
- Le lien entre les informations est validé par le chef de projet et donc les informations sont compréhensibles.
- Il peut y avoir un dialogue entre les intervenants, car ils attendent la même information.

Le second cas est celui d'un intervenant déposant une information en entrée (Figure 44.2) ou en sortie (Figure 44.3), et il n'y a pas d'information correspondant à la traduction donné par le module. Nous pouvons conclure que :

- Soit l'information n'est pas assez décrite pour trouver une autre information similaire. Par conséquent, le logiciel demande un complément pour cette information.
- Soit l'information est associée à plusieurs autres et le chef de projet doit décider laquelle possède un degré d'acceptation valable pour valider la liaison.



**Figure 44 - Diagramme d'interaction possible**

### ***1.5.1. Possibilité de liaisons***

Lorsque les intervenants ajoutent des informations, elles sont associées au processus collaboratif. Sur chaque processus il peut donc y avoir différentes informations qui peuvent être les mêmes ou qui peuvent être reliées. Pour cela nous avons développé un module qui permet de relier ces informations (section 2.2.5). Une fois que la liaison est effectuée, il faut en vérifier la cohérence.

### ***1.5.2. Vérification des liaisons***

Des informations peuvent être liées, si elles sont facilement compréhensibles. Cependant, avec l'intégration du point de vue dans le processus et le problème du langage associé au métier de l'intervenant, les liaisons ne sont pas toujours adéquates. Il faut pour cela réaliser une vérification des liaisons avec une validation du chef de projet. Cette vérification se fait grâce à un indice associé à chaque liaison. Le chef de projet peut s'appuyer sur ces indices pour confirmer la jonction entre les deux. On peut voir ces différentes liaisons au travers du diagramme d'interaction.

## **1.6. Synthèse**

Dans cette section, nous avons décrit les bases qui nous permettent de développer un processus industriel en tenant compte de la méthodologie P<sup>4</sup>LM. En effet, nous avons présenté les apports et les modifications du modèle SADT que nous utilisons par la suite. Les apports au modèle sont : l'intégration du point de vue des intervenants lorsqu'ils ajoutent des informations, la création du diagramme d'interaction au fur et à mesure du projet, la spécification des intervenants et des données. Les informations peuvent être des entrées, des sorties, des connaissances ou bien encore des contraintes. Pour utiliser ce modèle, nous avons développé un outil qui permet de modéliser un processus. Nous avons présenté les différents modules qui permettent de gérer l'outil. Les modules décrivent les cas possibles d'ajout d'un point de vue et de gestion des différents diagrammes mis en place.

Dans la suite de cette section, nous décrivons la méthodologie utilisée pour la modélisation d'un processus industriel. Nous présentons l'outil qui permet la modélisation d'un processus prenant en compte les différents apports que ce manuscrit présente. Afin de vérifier l'exactitude des apports, nous décrivons un exemple pédagogique collaboratif réalisé au sein de notre équipe de recherche.

## **2. Méthodologie et application au logiciel DFX**

DFX::Manager pour Design For X, est à la base une méthodologie que nous avons présentée dans le chapitre précédent. Il est pour nous, un dénominateur commun à tous les produits

développés par le centre technique DINCCS. L'outil entre dans le cadre du projet Européen E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM et met en relation plusieurs ingénieurs et chercheurs. Ce projet, aussi bien la conception que la mise en place des méthodologies de travail, a fait travailler ces personnes de domaines différents conjointement, ce qui nous permet, de tester notre méthodologie en interne. Cette thèse a permis d'aider à la réalisation de cet outil, en intégrant les points de vue et en orientant la conception pour la prise en compte de la méthodologie. Nous détaillons sa décomposition modulaire, ensuite nous présentons le logiciel et ses fonctionnalités, pour arriver à l'apport réalisé en intégrant le point de vue. Nous terminons par un exemple de travail collaboratif autour de cet outil et d'un projet.

## **2.1.Présentation de DFX::Manager**

DFX est un logiciel qui permet la modélisation des processus industriels et qui prend en compte la méthodologie que nous avons développée. Le logiciel permet de mettre en œuvre la méthode développée, il peut également réaliser un processus avec un workflow, et réaliser une procédure. Il peut enfin être utilisé comme un système de prise de notes rapides.

## **2.2.Proposition d'un découpage modulaire du logiciel**

Le découpage modulaire du logiciel permet de décomposer le logiciel et de transférer des informations avec différents niveaux de compréhension. Nous retrouvons cinq modules de travail. Le module de fonctionnement général qui permet de gérer le logiciel, le module superviseur qui vérifie les actions possibles, le module interpréteur, qui traduit les informations qui sont ajoutées au fur et à mesure de la modélisation du processus, le module comparateur identifie les similarités des informations ajoutées et enfin le module lieur qui relie les informations entre elles, ou à un processus. Nous présentons ces cinq modules plus précisément dans la suite de cette section.

### ***2.2.1. Module de fonctionnement***

Le module général permet de gérer tous les modules (Figure 45), c'est à l'intérieur de celui-ci que l'on retrouve les quatre modules principaux. C'est à travers lui que l'on verra les informations qui seront destinées à l'utilisateur. En d'autres termes c'est lui qui est associé à l'IHM (Interface Homme Machine) et qui interagit avec l'utilisateur. Dans un premier temps, il interagit au travers de périphériques standards (type écran, clavier, souris), mais il pourra par la suite interagir au travers d'autres périphériques.

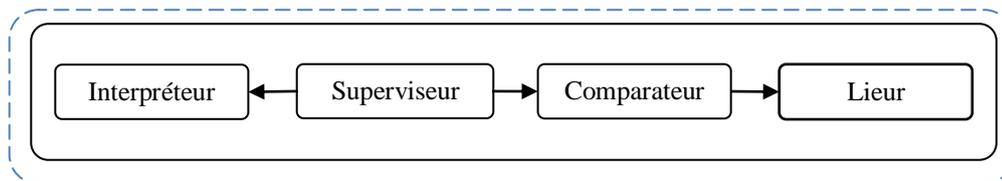


Figure 45 - Module de fonctionnement

### 2.2.2. Module superviseur

Le module superviseur (Figure 46), réalise les différentes requêtes qui sont possibles à l'utilisateur via le module général. Dans un premier temps, il fait la demande de la réalisation du processus collaboratif. Cette demande est effectuée auprès du chef de projet qui doit modéliser de façon globale le workflow du projet.

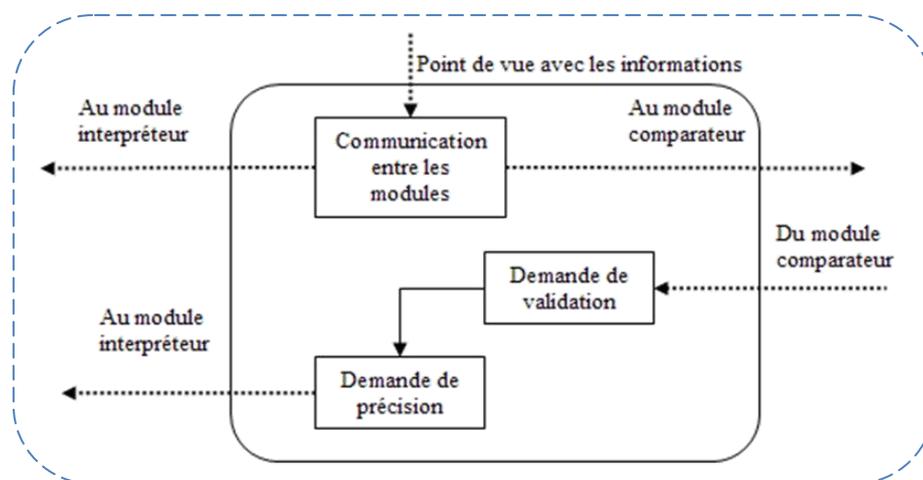
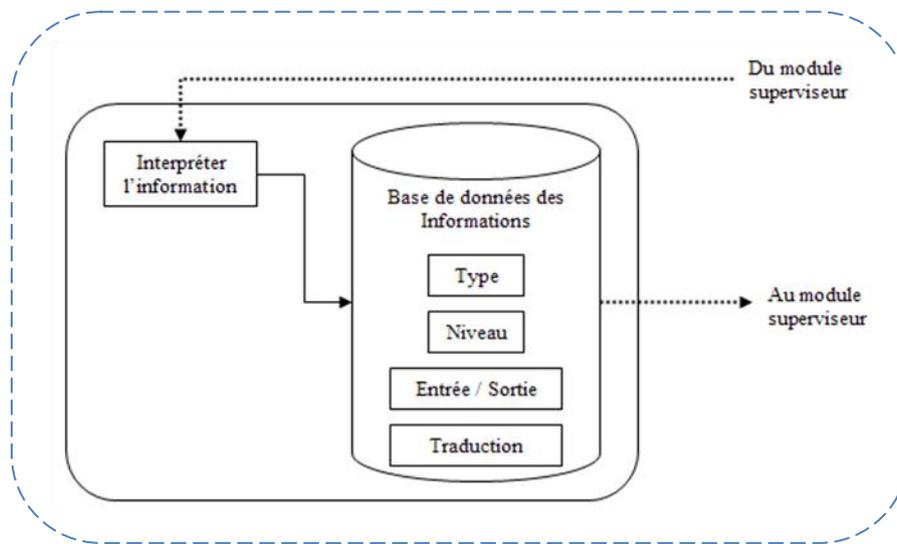


Figure 46 - Module superviseur.

Ce module a pour tâche de transmettre par la suite, via le module général, ce processus collaboratif aux différents intervenants du projet. Cette action a pour conséquence l'ajout des informations avec le point de vue de chaque intervenant. Lorsqu'une information est ajoutée, ce module la transmet aux différents modules pour être traitée. Il intervient aussi au moment de la validation des différentes informations. C'est par lui que cette validation va être acheminée. Lorsqu'une information est déposée sur le processus, elle est envoyée au module interpréteur.

### 2.2.3. Module interpréteur

Le module interpréteur permet de transcrire une information qu'un intervenant a ajoutée en information compréhensible par le système et par un autre intervenant. Pour cela nous faisons appel aux paramètres graphonumériques que nous avons présentés dans le chapitre précédent. Nous gardons les éléments importants qui sont liés à l'information et nous les stockons dans une base de données (Figure 47).



**Figure 47 - Module interpréteur**

Une fois que l'interprétation de l'information est faite, la base de données récupère le type de l'information, le niveau de l'information, si elle est une entrée ou une sortie, et la traduction de l'information. Le type d'une information permet de savoir si c'est une connaissance ou une contrainte, si elle est associée à un document ou non, ainsi que de savoir qui a ajouté l'information. Le niveau est utile pour ne pas mettre en relation des informations à des niveaux sémantiques différents. L'information utilisée doit être du même niveau. Nous récupérons l'information précisant si c'est une entrée ou une sortie, cela nous permet d'éviter les doublons dans le processus. Enfin, nous récupérons dans la base de données, la traduction ainsi que l'information non traduite. Comme cela, nous avons une traçabilité de l'information ainsi qu'un historique. Une fois que l'information est traduite et que la base de données est complétée, l'information est transmise au module comparateur.

#### **2.2.4. Module comparateur des informations**

Ce module permet de comparer les informations au fur et à mesure qu'elles sont ajoutées. Cette comparaison est obligatoire avant de pouvoir lier les informations. En effet, lorsqu'une information est ajoutée sur le processus collaboratif et qu'elle est traduite, il faut l'associer à un processus et/ou à une autre information. Pour cela on va identifier si :

- Elles sont du même type et signifient la même chose.
- Elles sont de types différents et signifient la même chose.
- Elles sont du même type mais ne signifient pas la même chose.
- Elles sont de types différents et ne signifient pas la même chose.

Par exemple, si nous prenons « un modèle », ce terme peut avoir différentes significations. Un modèle peut être une représentation avec un outil de CAO d'une pièce, ou bien encore une partie d'un processus. Dans ce cas, les termes sont de même type mais ils ne signifient pas la même chose.

A ce stade, un niveau de correspondance est associé à cette comparaison. Suivant le niveau et la pertinence de la liaison, le chef de projet pourra la valider.

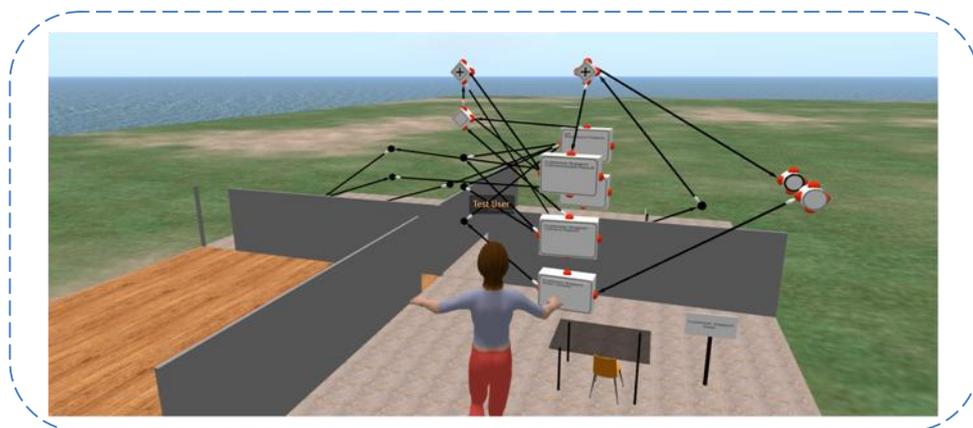
### 2.2.5. *Module lieur*

Le module lieur d'informations permet de regrouper des informations qui viennent du comparateur. Pour cela elles doivent être validées par le chef de projet et elles doivent être similaires. Pour relier les informations dans notre logiciel, nous avons représenté un flux orienté. Le flux peut posséder une description et un texte pour mettre en avant le lien et les échanges possibles entre les processus. C'est grâce à ce flux que les informations sont échangées et c'est avec lui qu'elles sont associées. Il permet de la même façon de garder un unique langage pour tous.

Nous présentons un exemple d'ajout d'information par un intervenant en Annexe F. Il permet de décrire un cas précis du comportement des différents modules, en mettant en évidence les interactions entre le logiciel et l'intervenant et entre les différents modules. Nous présentons par la même occasion les informations qui en découlent.

## 2.3. **Intégration du point de vue dans DFX**

Les intervenants du projet vont évoluer dans un espace de travail collaboratif, c'est-à-dire qu'ils vont pouvoir modifier le processus en temps réel. Pour cela ils vont utiliser le logiciel DFX::Manager qui a été développé avec l'apport des éléments modifiant la méthodologie et en intégrant les points de vue qui ont été étudiés durant cette thèse. Des recherches ont été réalisées dans la même optique par Brown dans [Brown, 2010]. Ils proposent une interface permettant une communication plus facile par rapport aux outils existants, avec une utilisation d'un modèle en trois dimensions. Leur objectif est de pouvoir plus facilement intégrer le BPM dans son contexte physique. C'est-à-dire qu'ils utilisent la réalité virtuelle pour intégrer un processus et gérer les interactions. Ils ne proposent pour l'instant qu'un prototype (voir Figure 48). Ils relient le contexte à l'utilisation, en intégrant directement l'intervenant dans un espace de travail virtuel représentant son propre espace de travail.



**Figure 48** - Exemple d'un BPMN en 3D avec le logiciel QA dans un environnement virtuel

L'utilisateur peut manipuler les différents éléments du processus et peut en ajouter ou les modifier (Figure 49 et Figure 50). De plus il peut intégrer des commentaires et des calculs (Figure 51) afin de compléter au mieux le processus étudié.

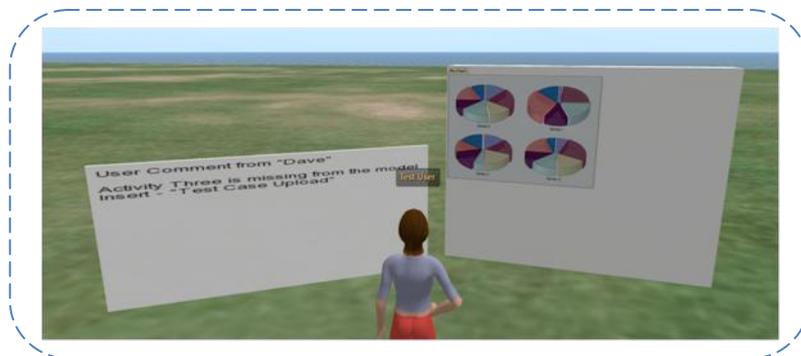


**Figure 49** - Création ou modification d'un élément du processus



**Figure 50** - Liaison entre deux éléments

Ce projet intègre donc les bases du BPMN. Pour ce qui est du modèle, il permet de le représenter dans un contexte collaboratif. En effet, plusieurs intervenants peuvent être intégrés virtuellement dans le même processus. Une représentation de ce type demande un matériel spécifique de réalité virtuelle, ce qui limite son utilisation. La possibilité de visualisation des résultats reste en deux dimensions dans cet exemple, alors que nous intégrons un visualisateur d'objet en trois dimensions dans DFX::Manager. Nous avons constaté que la modification des éléments intégrés n'est pas facilement réalisable, elle se fait via un tableau de choix et de cas à sélectionner, ce qui n'est pas intuitif.



**Figure 51** - Insertion de commentaires et de graphiques

Nous avons étudié une idée similaire dans le chapitre 1. Cependant dans le cadre de nos recherches, appliquées aux PME, un outil utilisant des systèmes de réalité virtuelle aussi évolués ne peut pas être intégré facilement à court terme. Tout comme [Brown & Recker, 2009], nous avons étudié les systèmes existants pour vérifier la cohérence de nos idées. Ils ont préféré s'orienter vers une intégration complète en réalité virtuelle, alors que nous avons opté dans DFX ::Manager pour une représentation en trois dimensions et l'intégration du point de vue. Nous allons donc décrire différents moyens proposés pour intégrer les points de vue des intervenants. Dans un premier temps nous proposons des moyens en deux dimensions (section 2.3.1), puis nous passons à la visualisation en trois dimensions (section 2.3.2).

### 2.3.1. Visualisation 2D

Nous avons conservé la partie deux dimensions de la modélisation des processus, pour faciliter la représentation du modèle. En effet, cette vision 2D permet d'ordonner les processus. Nous retrouvons dans l'interface en Figure 52, les outils habituels d'un logiciel, une barre d'outils Figure 52.1, une zone de travail Figure 52.2 et une zone pour retrouver les informations Figure 52.3.

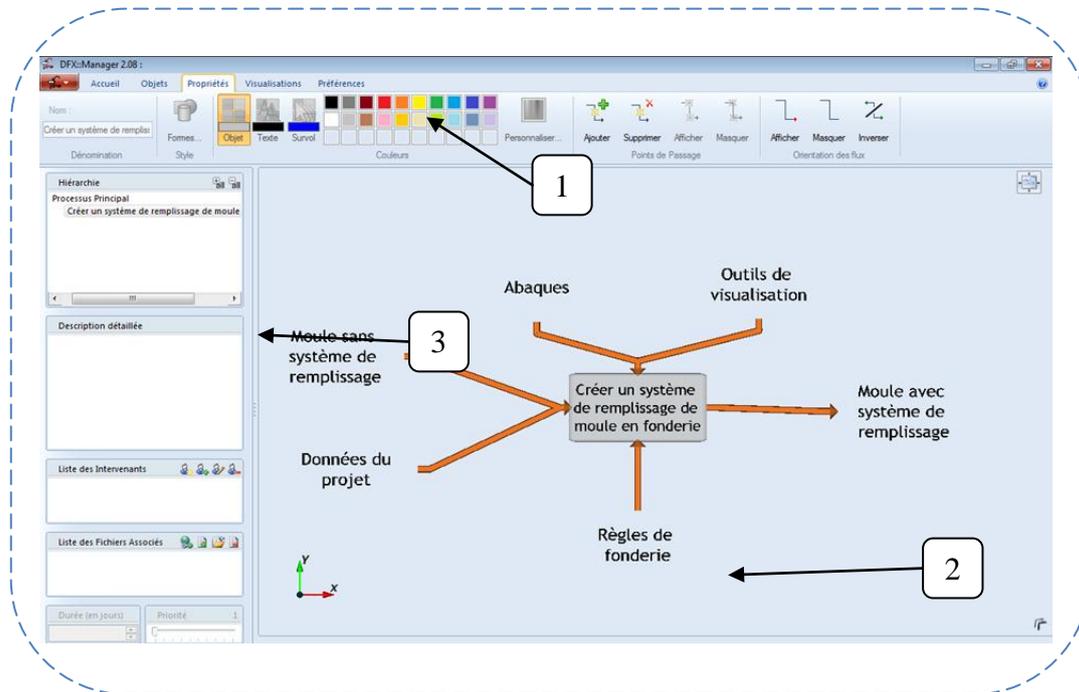
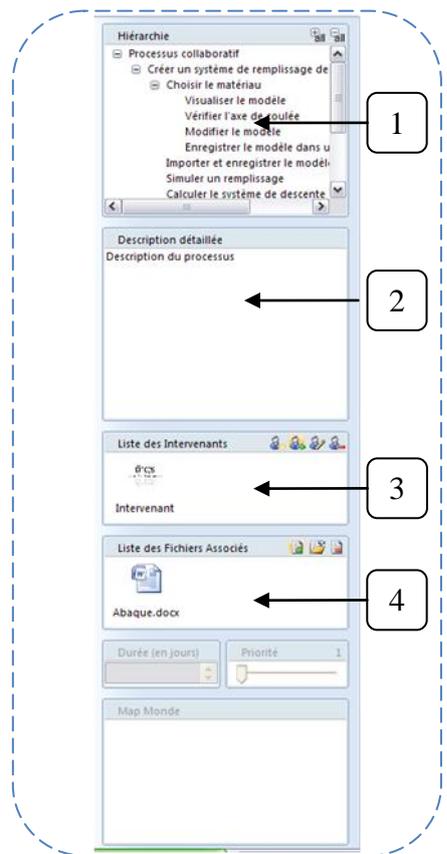


Figure 52 - Interface du logiciel DFX::Manager

L'interface conviviale, permet d'avoir différentes représentations du processus. Nous retrouvons une représentation en tree view (Figure 53.1), pour hiérarchiser les éléments, et nous voyons les éléments d'un processus en 2D (Figure 52.2). Afin de se positionner, une carte (appelée map monde) permet de gérer les processus à grande échelle.

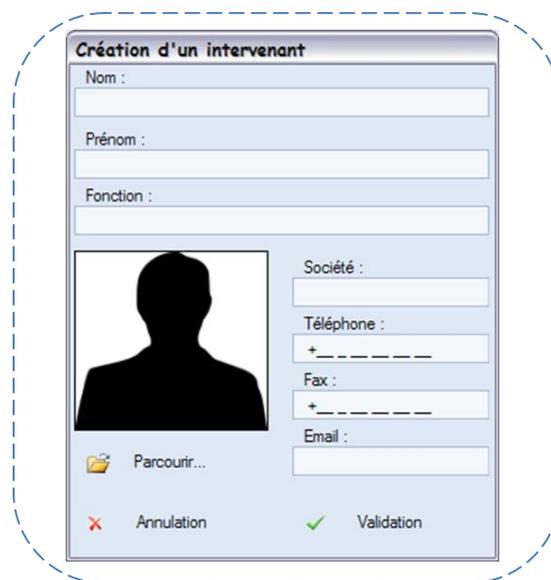
Pour l'intégration du point de vue en 2D, l'intervenant va pouvoir ajouter d'une part des annotations qui sont liées au processus actif. Ces annotations sont utiles pour préciser et argumenter sur le processus en cours. Dans la méthodologie P<sup>4</sup>LM, nous avons défini que le texte se trouvant à l'intérieur d'un processus doit toujours commencer par un verbe à l'infinitif et une description courte. C'est pourquoi, la description détaillée vient compléter le processus. C'est ici que l'intervenant va pouvoir d'une part ajouter une partie de sa connaissance ainsi que des actions qu'il réalise tous les jours et qu'il a acquises par son expérience. D'autre part il va pouvoir compléter le processus par des documents (Figure 53.3), ce qui permet d'ajouter des connaissances liées au processus. Ces documents s'intègrent complètement au logiciel, ils peuvent être ouverts directement dans l'interface de DFX::Manager, pour une simplification des tâches. Nous pouvons de plus ouvrir des modèles CAO qui nous permettent de suivre directement l'évolution des modèles au fur et à mesure d'un projet par exemple.



**Figure 53 - Outils dans DFX::Manager**

La différenciation des intervenants, par conséquent de leur point de vue, se fait tout d'abord sur le diagramme d'interaction avec la présentation des intervenants. Le chef de projet est chargé de la création du processus collaboratif. Il doit par la même occasion ajouter les différents intervenants du projet (Figure 44) pour que le diagramme d'interaction puisse se réaliser facilement. Pour cela il faut définir pour chacun, une couleur, qui permettra de visualiser rapidement l'endroit où les intervenants agissent dans le processus. Cette couleur définit le processus sur lequel l'intervenant travaille, mais elle est aussi appliquée aux informations qui sont ajoutées par cet intervenant. Cette première approche, par l'ajout de couleur, permet de définir les champs de travaux de chacun. Ensuite, une fois que le processus collaboratif est opérationnel, il est donné aux intervenants, pour qu'ils puissent ajouter les informations avec leur point de vue. Le fait d'appliquer une couleur et de gérer les positionnements des informations permet de retrouver rapidement un élément.

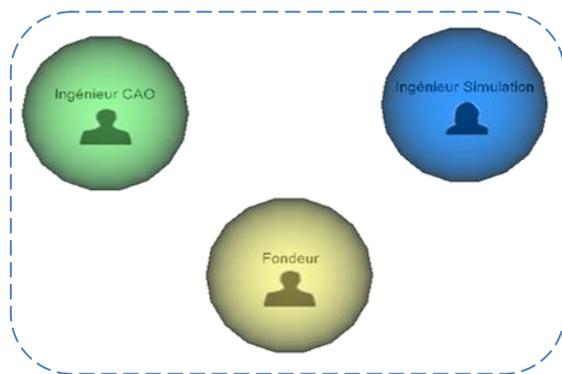
La visualisation 2D du processus avec l'intégration du point de vue se fait aussi par la description des intervenants. Ils ont pour cela une carte de visite à compléter, si le chef de projet n'a pas toutes les informations, afin de personnaliser le processus et de mieux identifier les autres intervenants. Chaque intervenant doit fournir, son nom, son prénom, son statut, son entreprise, ses coordonnées et un avatar. Cette carte de visite est disponible dans la partie 4 de la Figure 53 et est représentée en Figure 54. Sur chaque processus où l'intervenant vient ajouter des informations, il est affiché comme intervenant sur le processus.



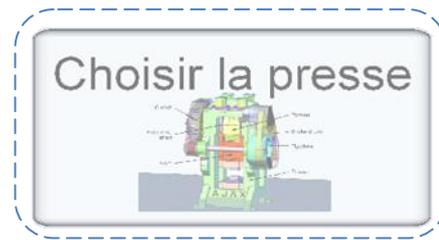
The image shows a software interface window titled "Création d'un intervenant". It contains several input fields: "Nom :", "Prénom :", "Fonction :", "Société :", "Téléphone :", "Fax :", and "Email :". The telephone and fax fields include a "+" sign and a dashed line for a country code. There is a "Parcourir..." button with a folder icon next to a placeholder for a profile picture (a black silhouette). At the bottom, there are two buttons: "Annulation" with a red 'X' icon and "Validation" with a green checkmark icon.

**Figure 54 - Carte de visite**

Pour intégrer un point de vue dans le processus, un intervenant peut ajouter une image dans le processus. C'est-à-dire que pour compléter la modélisation, il peut en deux dimensions ajouter une photo explicite au processus. Par exemple dans le diagramme d'interaction, sur les intervenants, les avatars peuvent être affichés pour identifier les personnes.



**Figure 55** - Ajout d'image dans le diagramme d'interaction



**Figure 56** - Image explicative du processus

Ces images permettent de comprendre certains éléments du processus et peuvent orienter les personnes dans leur vision globale ou précise du processus. Par exemple, si nous prenons un processus de forge, l'intervenant avec son point de vue métier va vouloir présenter sa machine ou un élément de sa machine plutôt que de nommer l'élément (Figure 56), qui n'est peut-être pas connu par tous les intervenants. Cette possibilité d'ajout d'image peut permettre de rapidement identifier les éléments et facilite la compréhension de tous, comme nous l'avons présenté dans le chapitre 2, la connaissance est plus facilement représentative avec une image qu'avec son identifiant.

Les intervenants vont donc pouvoir ajouter leur point de vue, comme ils pourraient le présenter directement à leur poste, ce qui facilite leur expression. Il est vrai que des personnes qui ne sont pas habituées à transcrire leurs compétences et leurs connaissances ne sont pas familiarisées avec des outils de BPM. C'est pourquoi nous avons voulu faciliter l'intégration de leur point de vue avec des iconographies.

Cet ajout permet de pouvoir faciliter la communication entre les personnes de métiers différents. Nous avons travaillé avec un équipementier automobile, pour des simulations d'injection plastique. Lors des phases d'études du projet, nous avons reçu le cahier des charges. Celui-ci mentionnait cinq pièces, Déflecteur Gauche et Droit, Cloison anti-recyclage et Capot Haut et Capot Bas, ainsi que les différentes matières à tester. Il a fallu plusieurs itérations entre notre ingénieur calcul et le responsable de projet, pour expliquer qu'il n'y avait pas de différences entre Cloison anti-recyclage et les Capots. Il y avait deux pièces différentes qui s'appelaient Déflecteur sous réservoir et Déflecteur sous plancher. Le problème est que les deux ingénieurs n'utilisent pas les mêmes langages pour communiquer et à cette date n'avaient pas de support pour communiquer. Maintenant, nous pouvons définir les besoins, les éléments qui interviennent avec leur libellé et une visualisation. Ce qui permet de communiquer beaucoup plus librement et de travailler sur de bonnes bases communes.

### 2.3.2. Visualisation 3D

La visualisation trois dimensions permet d'obtenir les mêmes fonctionnalités que la visualisation deux dimensions que l'on a vue précédemment, avec l'intégration des modèles volumiques. Cette fonction permet d'utiliser les trois axes pour représenter des informations sur chacun d'entre eux.

Sur chaque axe, les intervenants du projet peuvent définir ce qu'ils veulent voir apparaître. Suivant leur point de vue, ils peuvent associer à l'axe X, Y ou Z les éléments les plus importants pour eux. Par exemple, le chef de projet va être intéressé par la durée d'un processus, le nombre de personnes associées à ce processus et la priorité de ce processus par rapport aux autres. Alors que le directeur de l'entreprise, s'intéressera, aux coûts des différents processus, à la durée du processus et à son avancement par exemple. Nous allons présenter dans un premier temps la visualisation deux dimensions de ces points de vue Figure 57 et dans un second temps la visualisation trois dimensions Figure 58.

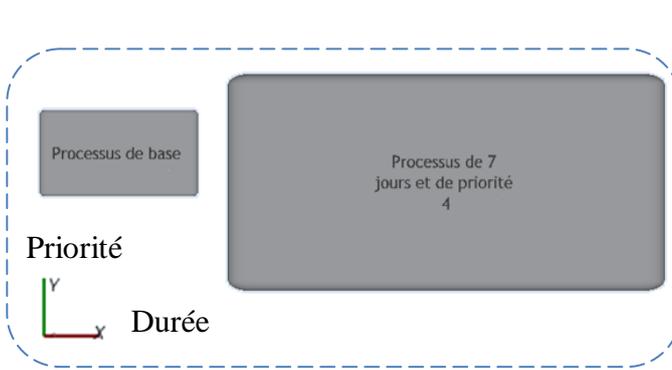


Figure 57 - Point de vue 2D des axes

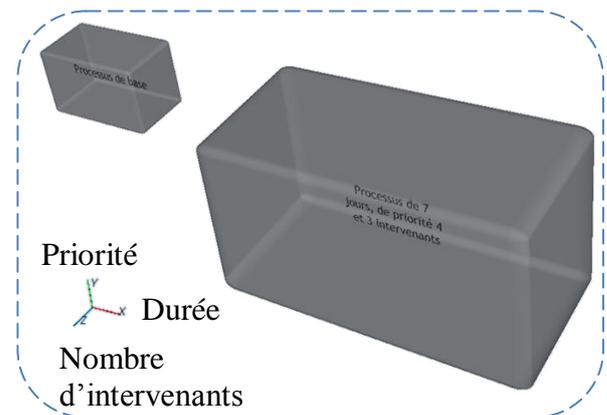


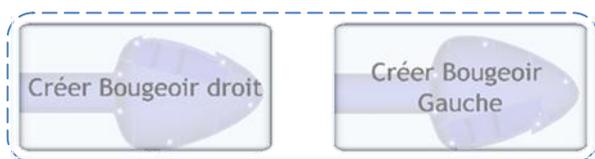
Figure 58 - Point de vue 3D des axes

Dans le cadre de nos recherches, nous avons apporté une modélisation différente d'un processus en utilisant les informations importantes apportées par les intervenants. Suivant l'intervenant, il apportera des informations avec son point de vue, il peut paramétrer l'outil afin de visualiser le plus rapidement possible les informations importantes liées à son point de vue. Pour cela nous affichons des informations qui sont importantes sur chaque axe du repère. Chaque intervenant du projet peut spécifier sur un axe ce qu'il pense important. Il peut comme cela visualiser rapidement l'information dont il a besoin. Les informations utilisées permettent de spécifier les dimensions du processus en 2D et en 3D dans le mode de vue spécifique. Par exemple pour une suivie de projet, on peut facilement visualiser la durée du projet si l'intervenant a spécifié pour l'axe X la durée de chaque processus.

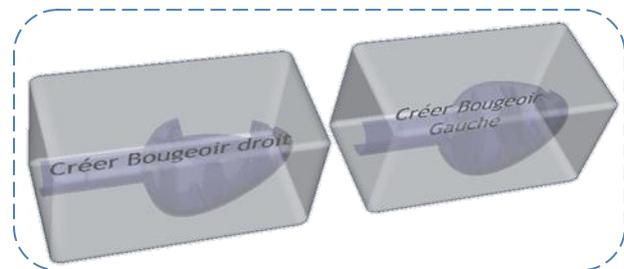
Dans les outils actuels, cette utilisation des axes pour représenter des informations n'est pas exploitée. Nous avons donc dans DFX, une visualisation des processus normale que l'on appelle

« logique », qui permet d'identifier tous les procédés et processus du projet et une modélisation dite « spécifique » des processus, qui nous permet d'ajouter sur les axes les points de vue des intervenants. Pendant la visualisation des processus « normale », il est ajouté, comme dans tous les outils de BPM, des informations numériques spécifiant le processus (durée, coût, nombre d'intervenants). Ce sont ces informations que nous allons utiliser pour les intégrer dans le modèle.

Pour intégrer le point de vue des intervenants, nous avons utilisé l'insertion soit d'images comme nous l'avons vu, soit de modèles numériques au format STL, STEP ou IGES. Cela permet de préciser le processus en cours et de représenter les éléments qui y sont liés. Les intervenants peuvent donc ajouter ce qu'ils pensent important et peuvent par la même occasion présenter l'évolution du projet. Du point de vue de l'ingénieur CAO, suivant l'avancement du projet, il peut visualiser les éléments qui ont été modélisés. Du point de vue de l'ingénieur calcul, il peut insérer directement des résultats de simulation représentés sur le modèle numérique (Figure 59 et Figure 60).



**Figure 59** - Visualisation 2D des modèles CAO



**Figure 60** - Visualisation 3D des modèles CAO

Par exemple en Figure 60, nous avons deux parties d'un objet communicant réalisées par les étudiants, le fait de pouvoir visualiser l'objet a permis qu'il soit modifié dans de bonnes conditions et rapidement. Au fur et à mesure de l'avancement du projet et des versions des modèles CAO, le processus est mis à jour et les autres intervenants peuvent évaluer l'avancement du projet. Par exemple pour le modèle en Figure 60, il y a eu différentes formes qui ont été proposées et c'est celle-ci qui a été validée.

## **2.4. Travail collaboratif avec DFX**

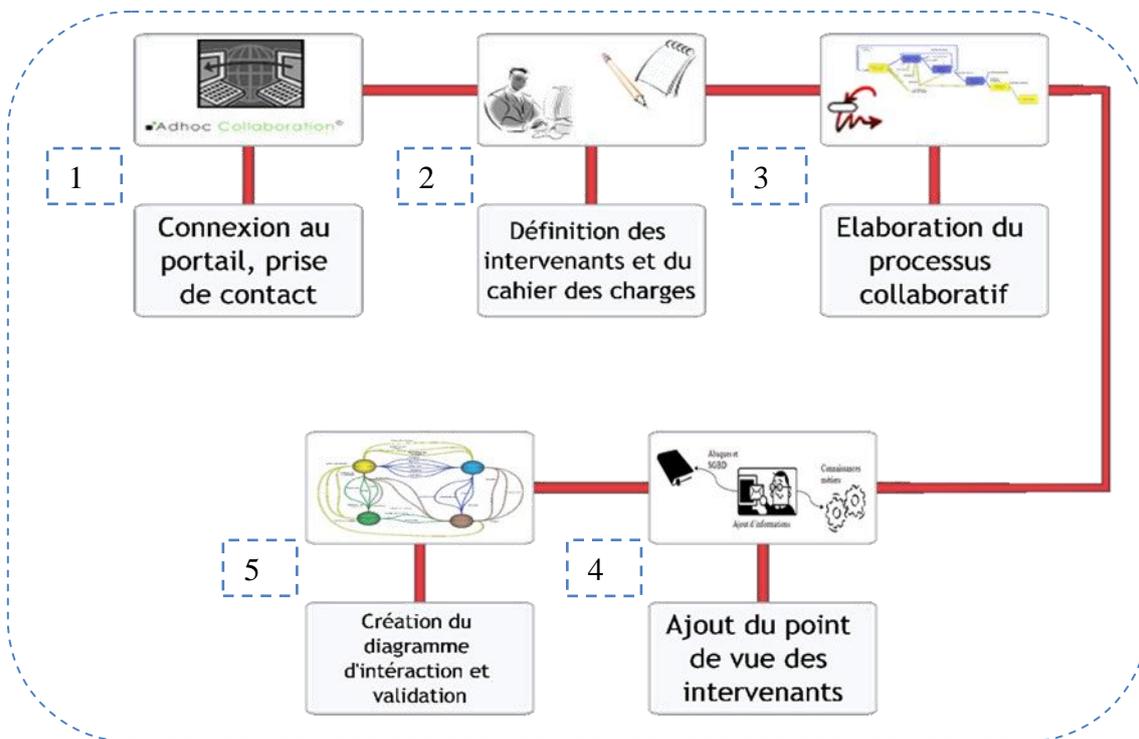
DFX peut être utilisé comme outil de travail collaboratif, en effet, il permet de regrouper tous les intervenants autour d'un seul et même outil utilisant un langage spécifique, clair et précis. Nous avons présenté les fonctionnalités de l'outil, ses possibilités et ses moyens d'ajouter un point de vue dans une modélisation de processus. Nous allons décrire un exemple de travail collaboratif autour d'un projet éducatif en liaison directe avec le portail collaboratif Adhoc Collaboration.

DFX permet de travailler sur un support informatique modélisant les processus. Nous avons testé cet outil dans le cadre d'un projet étudiant. Ce projet consiste en une collaboration entre

l'Institut de Formation Technique Supérieur (IFTS) et l'université de Nice Sophia Antipolis. Les étudiants de l'université de Nice ont pour projet de réaliser des objets communicants. A l'origine, ils assemblaient les objets dans une boîte à chaussure. Cette démarche ne permettait pas de présenter ces projets à des industriels et ne reflétait pas un travail de futurs ingénieurs. C'est pourquoi ils ont pris contact avec l'IFTS pour réaliser des prototypes leur permettant de réaliser des assemblages s'approchant des objets qui pourraient être commercialisés par la suite (Annexe E). Le projet se déroule en huit semaines, ce qui est relativement court pour pouvoir tout réaliser. Afin de faciliter les échanges, les étudiants doivent utiliser les outils mis à leurs dispositions, qui sont :

- ~ le portail collaboratif : Adhoc Collaboration.
- ~ les outils de travail synchrone associés à ce portail.
- ~ DFX::Manager qui modélise le processus de travail collaboratif en s'intégrant au portail.

Nous présentons la méthodologie mise en place pour ce projet dans la Figure 61.



**Figure 61-** Déroulement du projet

Etape 1 : Prise de contact et connexion au portail

La partie collaborative a été présentée aux étudiants de Nice par un responsable du projet de l'IFTS. Cette présentation a pour but de prendre contact avec les différents intervenants du projet, de décrire les outils de fabrication disponibles au sein de l'université et d'expliquer le fonctionnement ainsi que le but du portail collaboratif. Une formation de quelques heures sur l'utilisation et la compréhension de l'outil collaboratif et synchrone a été dispensée aux intervenants

pour qu'ils puissent être autonomes par la suite. De façon plus générale, la connexion à un portail collaboratif permet d'intégrer au plus tôt les différents partenaires d'un projet. Cette méthode de travail dépend de la politique de l'entreprise et, bien entendu, du bon vouloir des intervenants. L'étape de connexion est primordiale dans l'ingénierie simultanée, elle permet de partager des éléments à tous les intervenants du même projet.

### Etape 2 : Définition des intervenants et du cahier des charges

Dans notre exemple, les étudiants de Nice ont dû apprendre à réaliser un cahier des charges, pour pouvoir expliquer leurs besoins aux étudiants de l'IFTS. Avec l'encadrement d'enseignants des deux universités, un cahier des charges fonctionnel a été rédigé et diffusé via le portail collaboratif. Le cahier des charges prend en compte les nombreuses contraintes du projet :

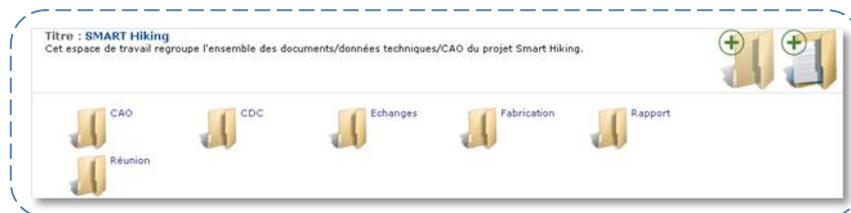
- Techniques, avec les matériaux spécifiques
- Temps, les objets doivent être réalisés dans un minimum de temps
- Dimensionnelles, les objets doivent pouvoir contenir des composants de différentes tailles.
- Environnementales, les objets doivent résister à des environnements différents
- ...

De façon générale, la définition des intervenants se fait via le portail collaboratif et sur l'outil DFX::Manager. Pour cela des informations spécifiques sont demandées comme nous avons pu le voir dans la section précédente. Les intervenants ajoutent leur fiche détaillée et s'intègrent dans leur groupe de travail. Il est important de bien préciser les groupes de travail. En effet, dans notre exemple, les groupes sont composés de personnes de la même équipe, mais dans un projet, des groupes de travail peuvent faire appel à des personnes extérieures. Ce qui implique que certains documents ne peuvent être transmis d'un groupe à un autre ou d'un intervenant à un autre. Lorsqu'ils sont intégrés au groupe, ils sont directement ajoutés au diagramme d'interaction. De plus, suivant les intervenants, des droits spécifiques au portail collaboratif sont affectés. Suivant ces autorisations, les intervenants peuvent voir, créer ou modifier des dossiers et des documents. Par exemple, les chefs de projets peuvent créer et modifier alors que les autres membres des groupes de projets, ne peuvent que lire les documents. Cette fonction permet de ne pas multiplier les dossiers et les documents.

	Droit en lecture	Droit en écriture
- UNICE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
- Projets 2009/2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- SMART Hiking	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- CDC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Questions	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Versions	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Informations Composants Electroniques	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
- CAO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Composants Electroniques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assemblage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bougeoir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Réunion	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Echanges	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fabrication	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rapport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Figure 62 - Gestion des intervenants sur le portail collaboratif**

La gestion des documents et des fichiers permet de hiérarchiser, de trier et de contrôler le transfert des informations (Figure 63). Dans ce projet éducatif, l'espace dédié est sous la responsabilité des étudiants afin de les sensibiliser à l'importance de la gestion des groupes de travail, des intervenants et l'ordonnancement des dossiers (Figure 62).



**Figure 63 - Gestion des dossiers**

### Etape 3 : Elaboration du processus collaboratif

Grâce au cahier des charges, les étudiants ont pu créer le processus collaboratif en Figure 64. Ce processus reprend les grandes parties du projet. Nous ne représentons qu'un niveau ici, mais il est parfois détaillé jusqu'à trois environnements plus bas. Ce processus collaboratif prend en compte les deux groupes de travaux (IFTS et Nice). Ces deux groupes sont différenciés grâce à un code couleur.



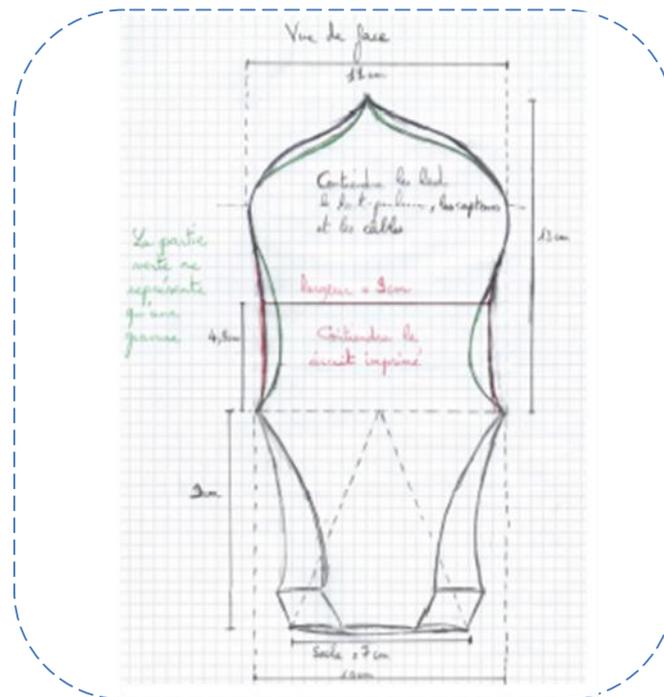
**Figure 64 - Processus collaboratif du projet Nice**

Le processus collaboratif est souvent une description du cahier des charges. Il est défini par les responsables du projet en prenant en compte les intervenants.

#### Etape 4 : Ajout du point de vue des intervenants

Le processus collaboratif de base, donné en Figure 64 est complété par les différents intervenants des groupes de travail (Annexe A). Le processus dédié à chaque groupe évolue au fur et à mesure de l'avancement du projet (Annexe B). Ils ont ajouté des documents relatifs à leur processus et à leur point de vue (Figure 65). Par exemple les intervenants ont ajouté les documentations des composants, permettant d'avoir les cotes et de pouvoir dimensionner correctement les objets communicants (Annexe C). Plus généralement les points de vue permettent de représenter le processus de façon à ce que les intervenants comprennent le plus facilement et le plus rapidement l'élément qui est étudié.

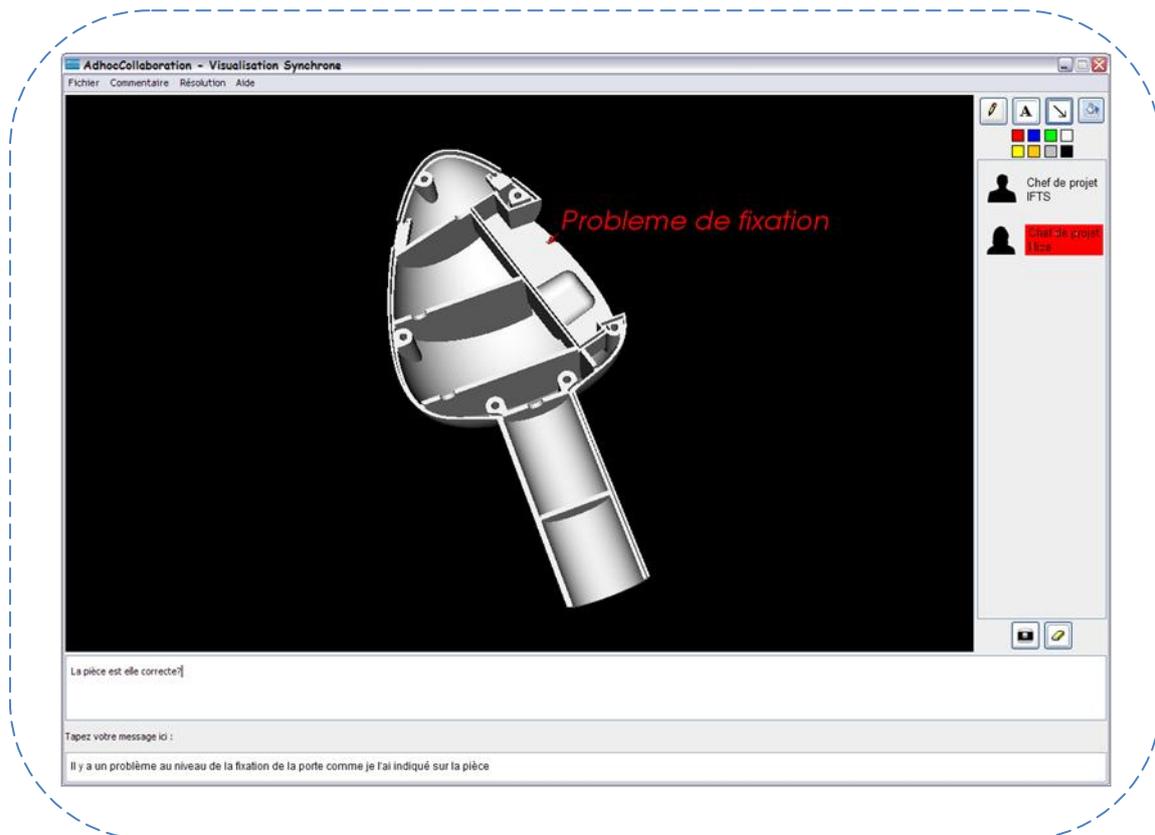
Dans un projet, la gestion des documents et leur partage permet de présenter l'avancement d'un projet à un client par exemple. Ici, le donneur d'ordre (le client) est représenté par les étudiants de Nice et l'entreprise sous-traitante par les étudiants de l'IFTS.



**Figure 65** - Document associé à « Réaliser un schéma technique »

Le client peut, grâce au visualisateur intégré au portail, visualiser des documents textes, des résultats de simulation ou encore des modèles au format STL de pièces. Cet outil a l'avantage d'être indépendant d'un autre logiciel et ne nécessite pas de licence spécifique. Pour un travail synchrone les intervenants peuvent ajouter des commentaires et dialoguer avec les autres intervenants de la

réunion. En Figure 66 nous présentons un exemple de réunion réalisée lors du projet, nous visualisons un STL provenant du portail. Il permet de plus d'ajouter des commentaires, d'indiquer avec des flèches des zones à modifier. En plus de visualiser les objets, lors de la réunion, l'outil enregistre directement sur l'ordinateur de l'intervenant qui est responsable de la réunion, des copies d'écran et ajoute les commentaires dans un fichier texte. Ces informations sont utilisables, par la suite, pour faire le compte rendu de cet échange. La réalisation des réunions synchrones, permet de répondre à un besoin de précision ou à une validation d'étape du projet beaucoup plus rapidement que ce qui était réalisé auparavant. La liaison se fait directement avec l'outil DFX::Manager, avec une mise à jour des différents éléments modifiés.



**Figure 66 - Visualisation synchrone d'un objet**

#### Etape 5 : Création du diagramme d'interaction et validation

Le diagramme d'interaction se fait au fur et à mesure que les informations sont ajoutées par les intervenants du projet. Il est positionné au même niveau que le processus global. C'est ici que les intervenants sont ajoutés aux différents groupes de travail. Les interactions entre les intervenants sont notifiées et validées par la représentation graphique de liens entre les acteurs. Nous pouvons voir en Figure 67 que les liaisons dans un projet peuvent être multiples. Il faut pourtant contrôler le flux des informations et vérifier qu'elles sont bien transmises.

Nous présentons le diagramme d'interaction final du projet, c'est-à-dire que toutes les informations ont été transmises et qu'il y a bien eu des échanges entre tous les intervenants. Ces échanges, peuvent être à travers le portail, par mail ou par chat.

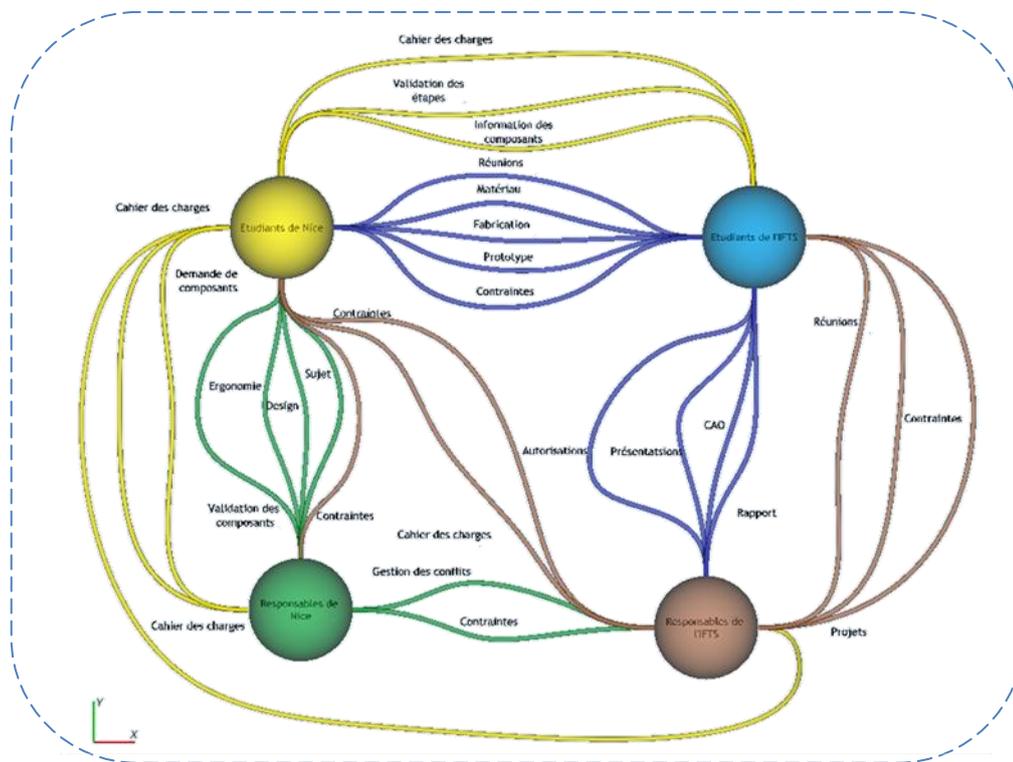


Figure 67 - Diagramme d'interaction

Si nous prenons l'exemple précédent, le chef de projet a proposé une forme pour son projet afin de donner une idée de design et de dimension pour le chef de projet de l'IFTS. Une information a donc été créée par le chef de projet de Nice, ensuite à cette information, des documents sont venus se greffer afin de mieux comprendre et appréhender le problème. Le chef de projet de l'IFTS a proposé lui aussi, suivant la forme, la dimension et la fabricabilité de l'objet, une forme et un design. Ces deux informations ont été reliées et transférées aux différents intervenants du projet afin de valider l'avancée (responsables IFTS et Nice). Une fois la validation effective, l'objet est numérisé et validé comme on peut le voir en (Figure 66).

Cet exemple a permis de mettre en évidence des problèmes liés à la communication et à l'échange de données. En effet, malgré tous les efforts mis en œuvre, il s'est avéré qu'un groupe de travail n'a pas respecté les délais et a validé une étape de projet sans prendre en compte l'aspect dimensionnel, ce qui s'est conclu par une réalisation d'un objet beaucoup plus grand que prévu. Ce n'est pas parce que les outils et les modèles ont évolué que la position du chef de projet a changé, il est toujours le garant des informations et il doit gérer au mieux les temps du projet.

## **2.5.Synthèse**

Dans cette section, nous avons présenté les moyens d'intégrer les points de vue avec l'outil développé par notre équipe de recherche et par le DINCCS. L'intégration du point de vue avec une représentation 2D permet de décrire tous les éléments ainsi que d'intégrer les connaissances avec les documents. Dans les processus, un ajout de point de vue peut être fait avec une insertion d'images explicites qui permettent de comprendre plus facilement le processus étudié. La représentation 3D permet d'ajouter une visualisation du processus suivant tous les axes. Cette représentation peut aider les intervenants, en insérant directement dans le processus des objets volumiques. Par exemple pour évaluer l'avancement du projet, la représentation peut montrer le modèle au fur et à fur de sa construction. La visualisation 2D et 3D a deux types de représentations, une vue logique, qui permet de prendre en compte les différents aspects décrits précédemment, et une vue spécifique, qui permet de spécifier que les axes représentent eux même des informations. Ces différents moyens d'intégrer facilement les points de vue permettent de faciliter la compréhension du processus décrit et demande moins de travail qu'une modélisation standard avec les outils et modèles déjà sur le marché.

## **3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les modifications et les apports réalisés sur le modèle développé par notre équipe de recherche. Le modèle prend en compte la méthodologie P<sup>4</sup>LM afin de s'intégrer au mieux dans la chaîne numérique. Le modèle SADT, basé sur une approche fonctionnelle, a été modifié et complété pour intégrer les points de vue des intervenants. Le point de vue est intégré de plusieurs façons, avec une manière précise de décrire le processus en s'aidant d'un langage spécifique, des moyens de présenter différents niveaux de détails au sein du modèle, des moyens novateurs de visualiser le processus. Pour faciliter l'insertion numérique du modèle, nous proposons un outil informatique facilement utilisable et compréhensible. Nous avons présenté les différents modules intégrés. La décomposition modulaire de l'outil nous permet de suivre étape par étape un point de vue lié à une information ajoutée par un intervenant. Nous avons par la suite, décrit l'outil DFX::Manager développé par notre équipe. Cet outil prend en compte les modifications du modèle, tout en facilitant leur intégration. Nous pouvons visualiser de différentes façons le modèle, suivant le point de vue de l'intervenant. Ensuite, nous avons présenté un exemple d'un projet pédagogique collaboratif. Cet exemple nous a permis de tester l'outil dans un cas concret et de corriger les erreurs possibles. Il a permis de gérer le projet d'une façon plus industrielle, afin de sensibiliser les étudiants aux techniques utilisées en entreprise.

# CHAPITRE IV :

---

## MISE EN ŒUVRE

Thèmes abordés

Application en fonderie

Travail collaboratif

Procédure

## **Introduction**

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté la méthodologie développée avec les différents apports que nous avons réalisés. Nous avons décrit aussi l'outil qui a été réalisé en prenant en compte la méthodologie et l'ajout de point de vue. Dans ce chapitre, nous présentons deux applications qui valident nos concepts établis précédemment. Le développement informatique n'est pas le but premier de nos recherches, la mise en place d'une méthode d'intégration de point de vue est primordiale. Dans une première mise en œuvre, nous avons étudié la modélisation du processus de création automatique de système de remplissage de moule en fonderie. Nous avons dans un premier temps réalisé une analyse bibliographique des différents outils existants et des différents types de calculs des systèmes d'alimentation. Dans un deuxième temps, nous avons élaboré un processus grâce à notre méthodologie et à l'outil DIA. Pour vérifier l'exactitude et compléter le processus, nous avons réalisé des interviews de fondeurs directement dans des entreprises comme D2I ou l'entreprise d'usinage de moule Brion. Dans un troisième temps, nous avons développé une application liée au logiciel de CAO Catia. Cette application permet d'intégrer le processus et de réaliser le système de coulée en assimilant les règles métiers et les paramètres importants. Enfin, pour tester l'outil DFX::Manager, nous avons modélisé le processus de fonderie en intégrant les différents points de vue et en associant les documents collectés lors de l'étude bibliographique. Nous décrivons cette application dans la section 1

Dans la section 2, nous présentons une application qui permet de mettre en place un processus lors d'un projet multidisciplinaire. Cette application teste le logiciel DFX::Manager dans ses différentes configurations, aussi bien l'ajout de point de vue que le partage d'informations entre les différents intervenants.

### **1. Modélisation du processus de création automatique de système de remplissage d'un moule en fonderie à sable**

Lors d'une nouvelle création d'un moule, le système de coulée est calculé et modélisé manuellement par les ingénieurs et les spécialistes fonderie. Pour vérifier l'exactitude des calculs, des simulations puis des tests physiques sont réalisés. A l'heure actuelle, il n'y a pas d'outils précis pour la création d'un système de coulée automatiquement. Certains outils intègrent des modules qui permettent de définir des éléments, mais le plus souvent ils ne permettent pas de faire un système complet. Nous pouvons citer les outils développés par le CTIF (Centre Technique des Industries de la Fonderie), qui est une suite d'outils permettant la simulation et la création d'éléments de

fonderie. Le CTIF est le seul centre français qui prend en compte le calcul de systèmes d'alimentation. Dans leur suite de logiciels, nous pouvons citer :

- ~ Le logiciel SYSTAVÉR qui est un logiciel de calcul des systèmes d'alimentation à joint vertical, en moulage sable.
- ~ Le logiciel ELISA (Elaboration Informatique des Systèmes d'Attaques) qui aide à la conception de systèmes en fonderie sable.
- ~ Le logiciel SALSA qui est un logiciel de calcul des systèmes d'alimentation en fonderie sous pression.

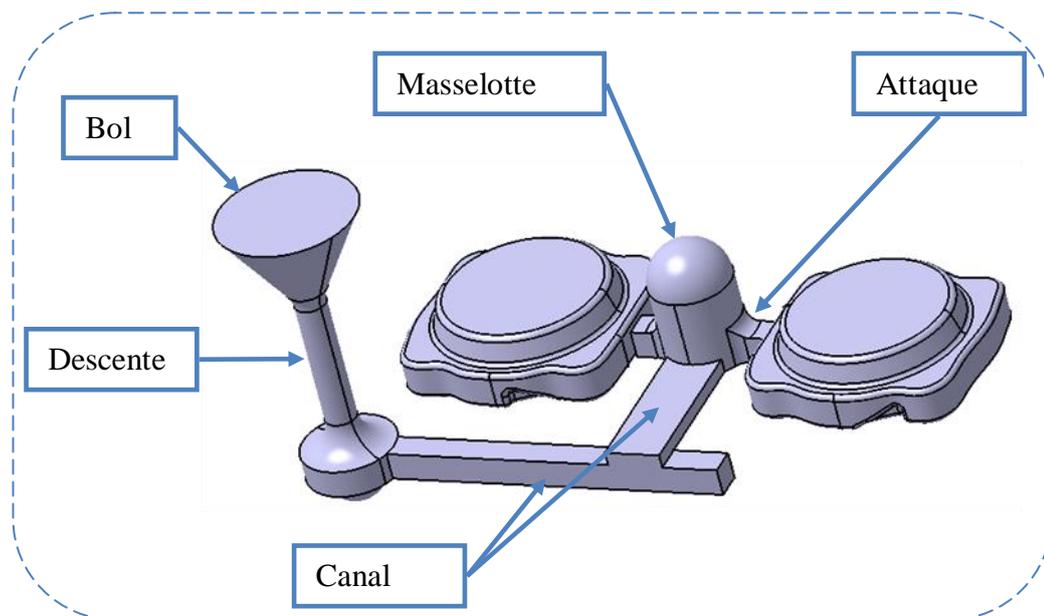
Tous ces logiciels ne sont que des aides à la création de systèmes d'alimentations. Ils ne permettent pas, pour l'instant, de créer le système définitif. C'est pourquoi nous avons étudié la modélisation du processus de création automatique de descente et l'intégration du point de vue des différents intervenants. Ensuite, nous avons réalisé une application en VBA (Visual Basic for Applications) dans le logiciel de Dassault System CATIA V5.

Dans un premier temps, nous faisons un point sur les généralités du processus de fonderie (section 1.1), afin de donner les définitions et l'explication des termes techniques. Ensuite, nous détaillons le processus en lui-même avec l'intégration de plusieurs points de vues (section 1.2). Nous présentons la description de notre développement informatique en section 1.3. Enfin nous décrivons le processus en utilisant l'outil DFX ::Manager (section 1.4)

## **1.1. Généralité sur le système d'alimentation**

Le processus de fonderie se base sur des règles empiriques et des lois de comportement des matériaux. Nous avons réalisé une synthèse de ces règles, afin de les utiliser plus facilement [Bertrand, 2007]. La démarche de création d'un système de coulée prend en compte différents points de vue. Il y a le spécialiste CAO, qui réalisera la modélisation tridimensionnelle du système, le spécialiste fonderie, qui est le garant de la bonne pratique, et le point de vue de l'ingénieur simulation, qui prend en compte les différents essais de simulations à pratiquer.

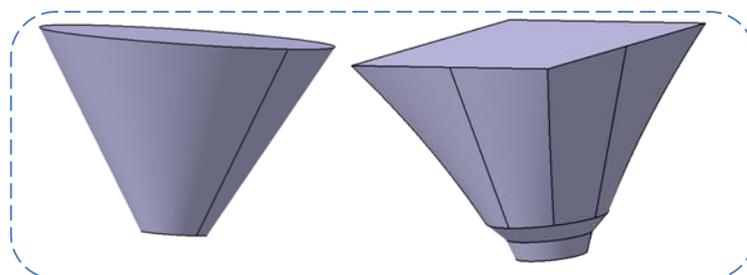
Dans notre démarche, nous avons dû réaliser l'étude des éléments composant un système d'alimentation afin de les intégrer dans l'outil et dans le processus. Le système d'alimentation est le cœur du moule de fonderie. En effet c'est par lui que l'injection du métal se fait et c'est grâce à lui que les pièces sont correctement réalisées. Un système d'alimentation ou système de remplissage en fonderie est un ensemble composé de : bol + descente + canal + attaque + masselotte (l'analyse des noyaux et refroidisseurs est une autre étude). (voir Figure 68)



**Figure 68 - Système d'alimentation**

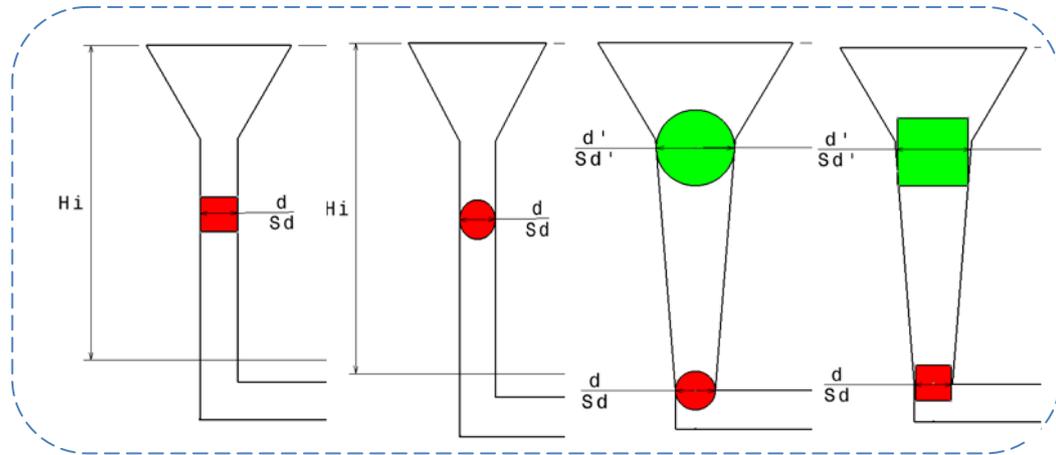
Le bol de coulée permet de recevoir le métal en fusion et de le diriger vers la descente. La forme du bol, dépend du matériau et des vitesses d'écoulement, tous les documents relatifs aux données techniques sont dans [Bertrand, 2007]. Après le passage du métal dans le bol, il est dirigé vers la descente. La descente distribue les différents canaux avec le pied de coulée. Enfin le métal passe dans les attaques qui sont les liens entre le système de remplissage et l'empreinte représentant la pièce à couler. La plaque qui comporte les différentes empreintes des pièces à réaliser s'appelle plaque modèle.

Le bol de coulée peut être réalisé suivant différentes sections (Figure 69), nous pouvons avoir, un bol à section carrée ou à section circulaire. La section influe sur la coulée, si la section est carrée par exemple, il y aura moins de turbulences par rapport à une section circulaire. En effet en section circulaire, le matériau a plus tendance à faire des vortex et à provoquer un jaillissement de l'alliage en dehors de l'entonnoir [Bellanger, 2006]. Le choix se fait donc avec le type de matériaux à couler et l'influence des turbulences dans la pièce.



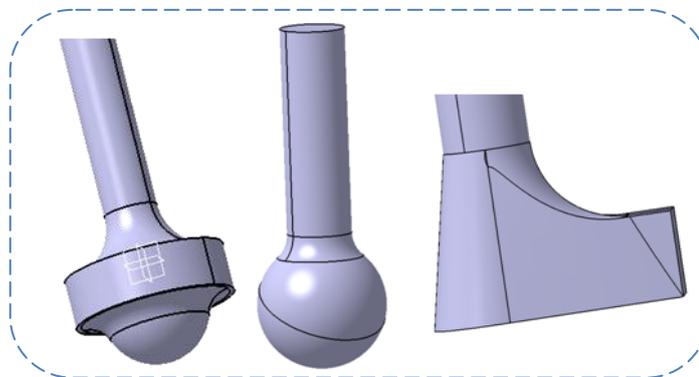
**Figure 69 - Différentes sections du bassin de coulée**

La descente est la partie majeure à calculer. C'est à partir de son calcul que tous les éléments en découlent. Tout comme le bol, la descente peut avoir différentes sections (Figure 70). Soit une section circulaire soit une section carrée. La descente peut être dégressive ou non.



**Figure 70** - Descentes dégressives ou non avec sections différentes

Suivant le choix du pied de coulée, sa forme favorise la diminution des turbulences et la répartition dans les canaux. En Figure 71 nous présentons différents types de pieds de coulée. Les pieds qui reçoivent une sphère à la base, permettent de ne pas décoller le sable pendant la coulée, pour ne pas avoir d'inclusions dans la pièce.

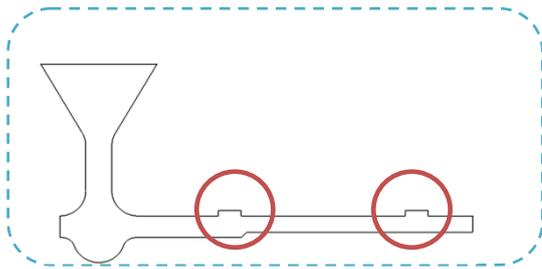


**Figure 71** - Formes pour le pied de coulée

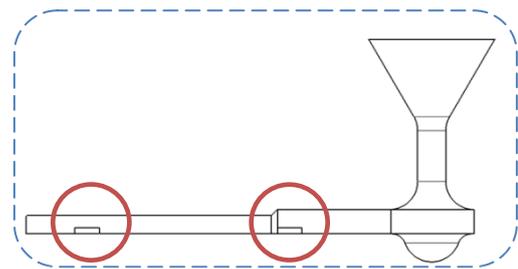
Les canaux permettent de distribuer le métal dans les attaques. Ils jouent le rôle, suivant le besoin, de ralentisseur ou d'accélérateur pour le métal en fusion. Pour que les pièces soient toutes convenablement remplies, il faut que les pièces se remplissent toutes en même temps et uniformément. Les canaux, tout comme les attaques peuvent avoir des sections différentes, carrées, trapézoïdales... La longueur, la forme et les extrémités dépendent de la vitesse de remplissage et du nombre des attaques.

Les attaques relient le canal de coulée à la pièce, c'est par cet orifice que le métal pénètre dans la pièce. Cet élément doit être positionné à un endroit spécifique de la pièce, il ne doit pas être visible sur la pièce finie et doit facilement être retiré. La position de l'attaque est souvent mise à un endroit où il y a un usinage réalisé ensuite, comme cela il n'est plus visible.

Le choix de l'attaque fait apparaître deux points de vue différents. L'attaque est, suivant le point de vue du Sirris (Figure 72) positionnée sur le haut du canal, suivant le point de vue du CTIF (Figure 73) sur le bas du canal. Grâce à différentes simulations et essais physiques, il s'est avéré que les attaques sur la partie supérieure du canal diminuent les turbulences et facilitent le remplissage.



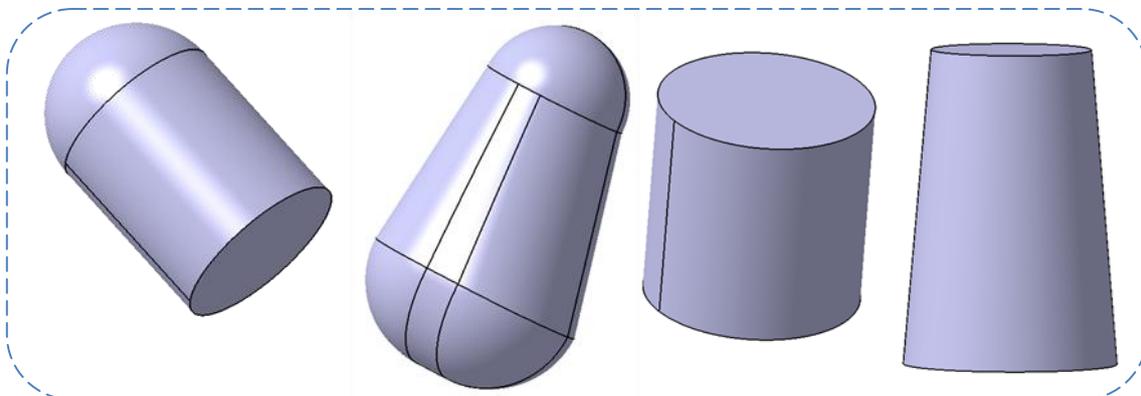
**Figure 72 - Attaque point de vue Sirris**



**Figure 73 - Attaque point de vue CTIF**

Pour terminer le système d'alimentation, nous pouvons citer un élément important, qui est la masselotte. La masselotte est un réservoir de matière en fusion, judicieusement placé dans le moule, et en liaison avec l'empreinte de la pièce. Elle a pour rôle essentiel de compenser, par apport de métal liquide, le retrait volumique de la pièce ou partie de pièce, jusqu'à sa complète solidification. Pour un bon calcul de masselotte, il faut prendre en compte que ce sera la dernière partie du système qui se solidifie.

Pour cela, il faut identifier le point chaud de la pièce et appliquer la masselotte au bon endroit pour supprimer ce point chaud. Tout comme les autres éléments qui caractérisent le système d'alimentation, la masselotte prend différentes formes (Figure 74).



**Figure 74 - Formes couramment utilisées pour le masselottage**

Pour assembler la masselotte à la pièce ou au canal, des raccords normalisés sont calculés pour garantir le débit et la solidification de la pièce.

Nous présentons ici les grands éléments d'un système d'alimentation, nous n'avons pas pris en compte dans notre recherche, la partie refroidissement par évent et les différents filtres qui sont présents dans les moules de fonderie. Cependant, cette partie est à envisager, mais il faut prendre en compte tous les types possibles de filtres des différents fabricants.

## 1.2. Modélisation du processus

Avec les informations capitalisées et les différents points de vue, nous avons tout d'abord modélisé un processus avec l'outil DIA Figure 75. Cette modélisation intègre deux points de vue, celui de l'ingénieur CAO et celui de l'ingénieur calcul.

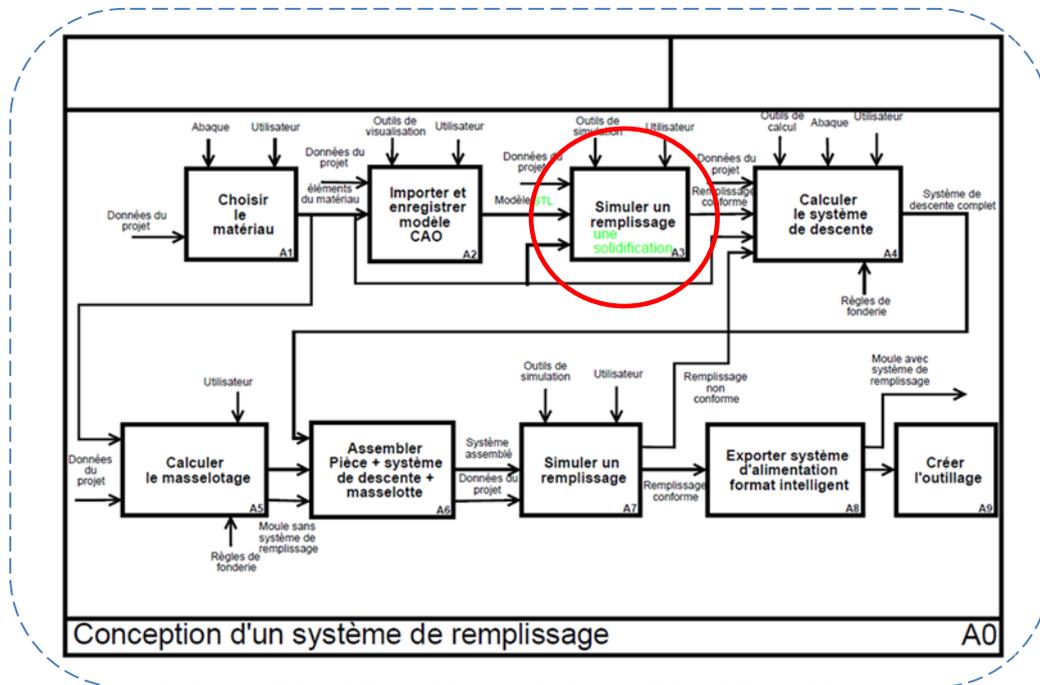


Figure 75 - Processus réalisé sous DIA

### 1.2.1. Point de vue de l'ingénieur CAO

Le point de vue de l'ingénieur CAO est représenté dans le processus avec la couleur noire. Il intervient dans tous les processus, sous les conseils du spécialiste fonderie.

### 1.2.2. Point de vue de l'ingénieur Calcul/Simulation

Le point de vue de l'ingénieur simulation prend en compte les données que l'ingénieur CAO apporte ainsi que toutes les connaissances métiers, il est représenté de couleur verte. Il n'intervient pas dans tous les processus mais il doit récupérer les informations importantes qui lui serviront par

la suite pour la simulation. Pour réaliser une simulation fidèle au procédé de mise en forme, il doit prendre toutes les règles métiers en compte.

Pour vérifier et compléter notre processus, nous avons réalisé des interviews d'experts en fonderie. Les ingénieurs fondeurs de l'entreprise D2I ont accepté de répondre à nos questions afin d'appréhender leurs problèmes lors de leurs conceptions de systèmes d'alimentation. Nous avons aussi pu avoir les avis de concepteurs de moules de l'entreprise Brion. Grâce à ces interviews, nous avons pu créer un processus spécifique à chacun pour compléter et préciser le notre.

### 1.3. Développement informatique

A partir de ce processus et de ces points de vue, nous avons développé une application VBA (Visual Basic for Applications) dans le logiciel de CAO Catia V5 de Dassault System. Cette application nous permet de dérouler tout le processus afin de modéliser un système de fonderie.

Nous avons intégré le point de vue de l'ingénieur simulation dans l'application. Pour cela, nous intégrons les informations dont il a besoin pour faciliter sa mise en donnée. Nous avons pris comme logiciel de simulation numérique de fonderie Experto (Figure 76). Le logiciel est développé par le Sirris en Belgique. Il permet de réaliser des simulations mais ne peut pas créer facilement et rapidement un système de remplissage fiable. Pour l'ingénieur simulation, les choix sur les matériaux sont faits, il n'a besoin que des caractéristiques et de certaines informations comme les lois de comportement. L'utilisation d'un logiciel externe comme Experto, implique qu'il doit y avoir une liaison étroite et une vérification des données transmises. Grâce au processus, l'ingénieur simulation peut décrire la méthodologie d'utilisation du logiciel. Il peut définir dès le début ses besoins et ses attentes.

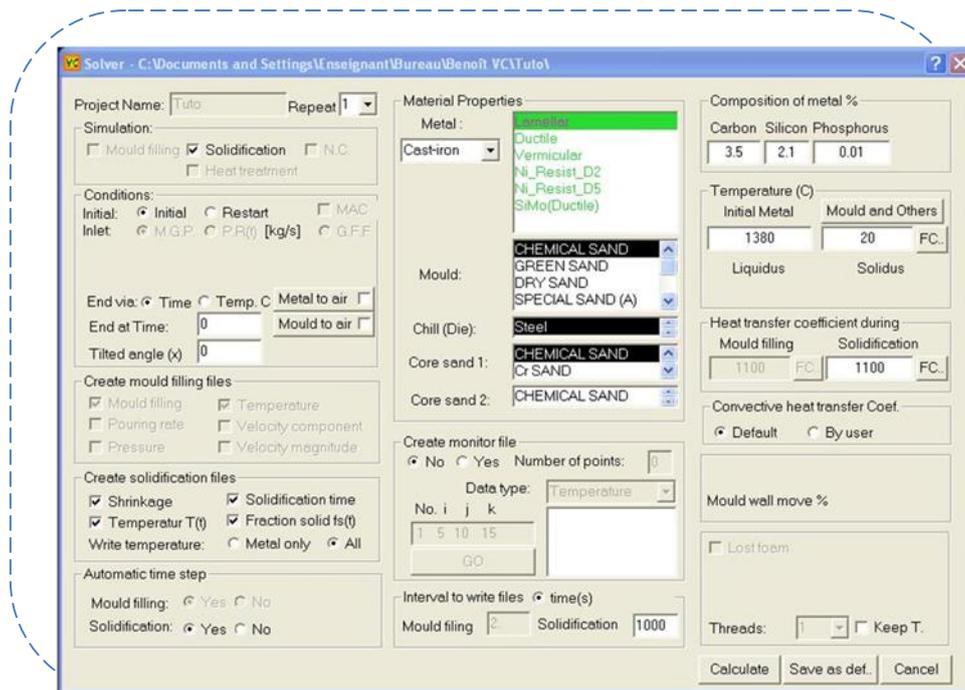


Figure 76 - Intégration des paramètres dans le logiciel de simulation de fonderie Experto

Pour l'utilisation du logiciel Experto, une procédure est mise en place dans [Bertrand, 2007]. Lors de la modélisation du processus, nous avons pris en compte les spécificités du logiciel et utilisé une description détaillée des éléments. Cette procédure permet de réaliser une pré-étude pour vérifier les besoins et les positionnements des éléments, ensuite une étude complète. Par exemple, pour calculer le masselottage, d'un point de vue simulation, le logiciel se charge de prendre en compte les modules de la pièce et de la masselotte. Donc, pour lui, il n'a besoin que de certaines informations, comme le temps de solidification (calculé avec la pré-étude) du retrait volumique de la matière...

Dans le processus nous retrouvons les différentes étapes (Figure 75) pour la création du système de coulée. Nous retrouvons ces mêmes étapes dans l'outil (Figure 77). Il manque toutefois les étapes de simulations qui sont réalisées à la fin du processus « Importer et enregistrer la pièce » et du processus « Assemblage »

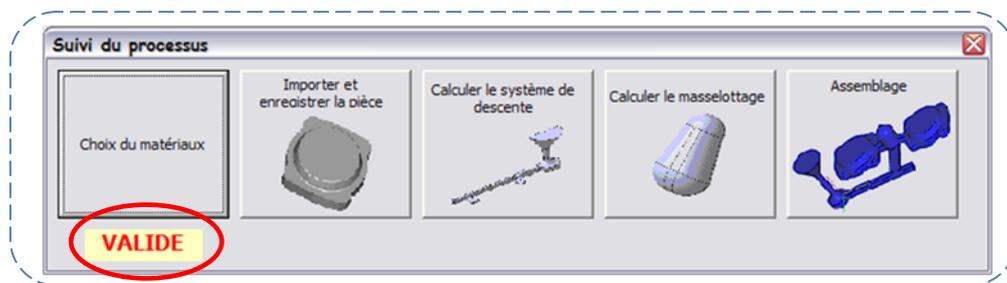


Figure 77 - Base de l'application

L'intervenant vient donc réaliser au fur et à mesure les processus. A chaque fois qu'il termine une étape, elle est validée et il passe à la suivante.

Nous présentons les différentes étapes dans le processus en Figure 78 qui nous permet d'arriver au processus « Choisir le type de bassin » qui spécifie le type de bassin dont l'intervenant a besoin. Ce processus nous montre dans l'application l'importance de l'intégration des règles métiers et des paramètres dans les copies optimisées. Pour l'utilisation de ces copies optimisées, l'intervenant n'est pas obligé de connaître le logiciel, tous les éléments sont nommés d'une façon spécifique et paramétrés afin qu'un novice puisse les utiliser. L'application est donc décomposée suivant les mêmes niveaux que le processus, pour faire le lien entre les deux.

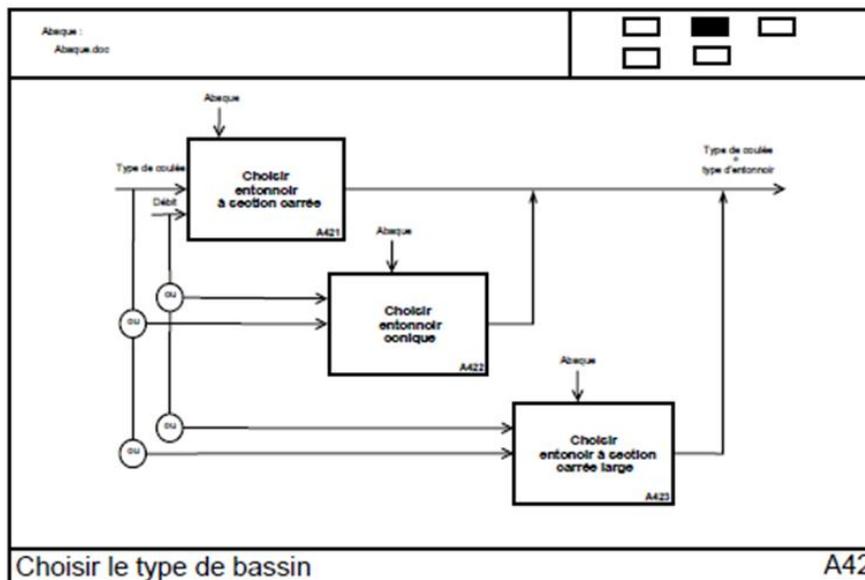
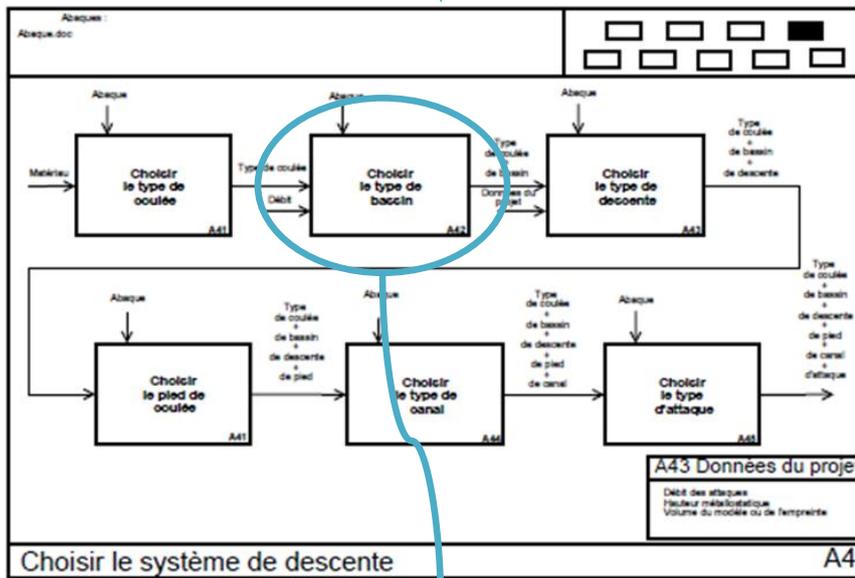
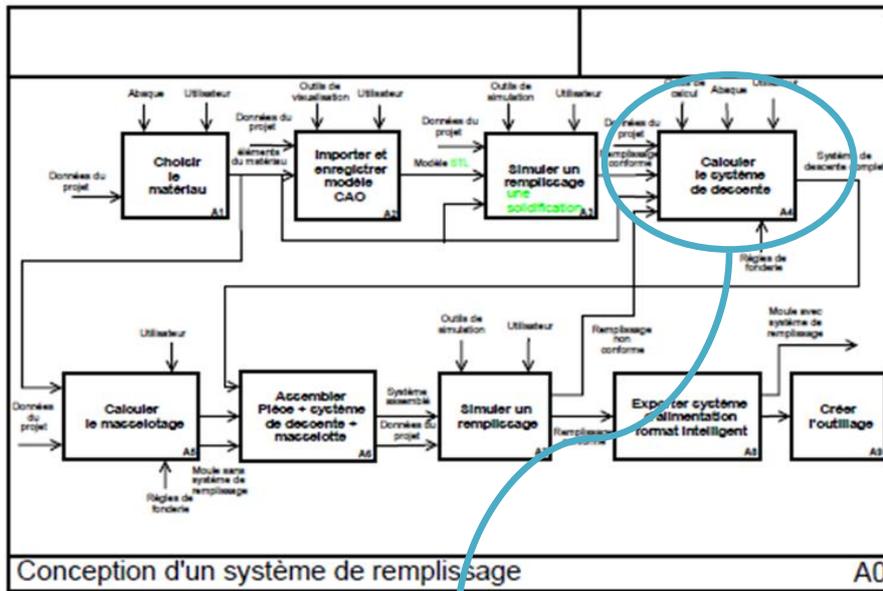
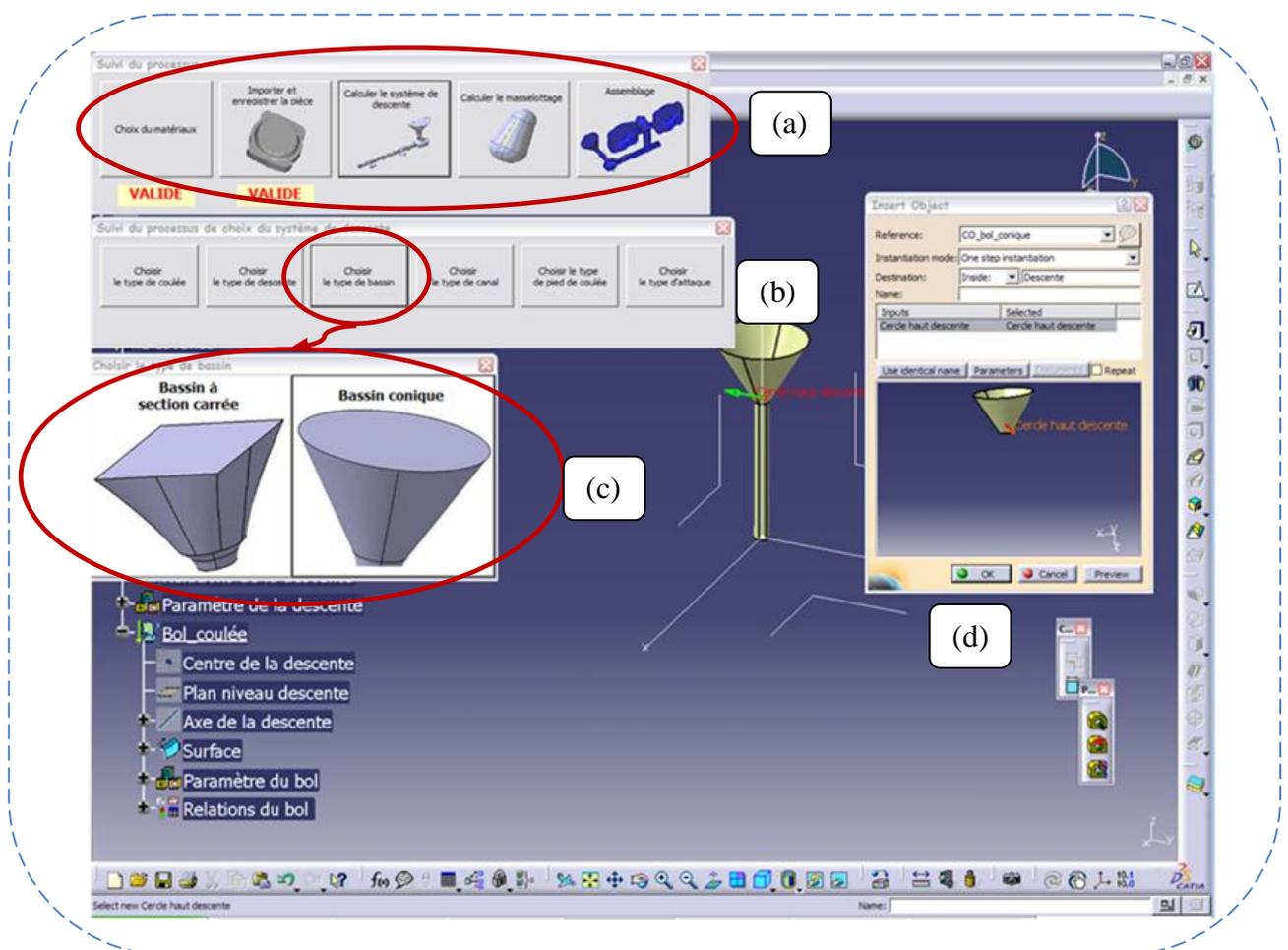
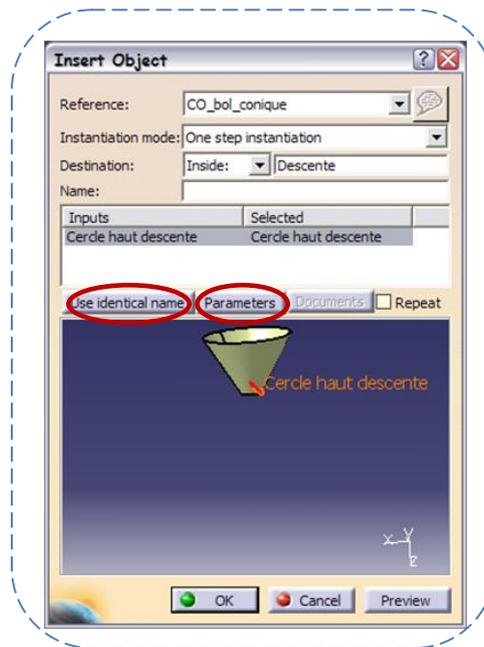


Figure 78 - Décomposition du processus

Sur la Figure 79, nous présentons le logiciel en utilisation, nous retrouvons le processus (a), dans la fenêtre supérieure, le sous-processus dans la fenêtre du dessous (b) et la représentation géométrique de l'élément à construire (c). Le détail de la partie copie optimisée (d) de la création du bol de coulée est présentée en Figure 80. Nous avons voulu que l'utilisateur, qui ne connaît pas forcément le logiciel de CAO, puisse facilement réaliser un système d'alimentation. Pour cela lors d'une instantiation d'une copie optimisée, il sélectionne uniquement « use identical name », afin de récupérer les bons éléments géométriques à utiliser. Pour les paramètres, il utilise « Parameters » et fait une recherche automatique des paramètres. Dans l'arbre de construction, tous les paramètres similaires sont reliés les uns aux autres. Les paramètres sont décomposés et organisés suivant les composants Figure 81. L'utilisateur a donc un accès aux paramètres généraux du projet, et ensuite aux paramètres de chaque élément. Comme cela il peut modifier à tout moment les dimensions de son système.



**Figure 79 - Utilisation des copies optimisées pour l'automatisation de la construction**

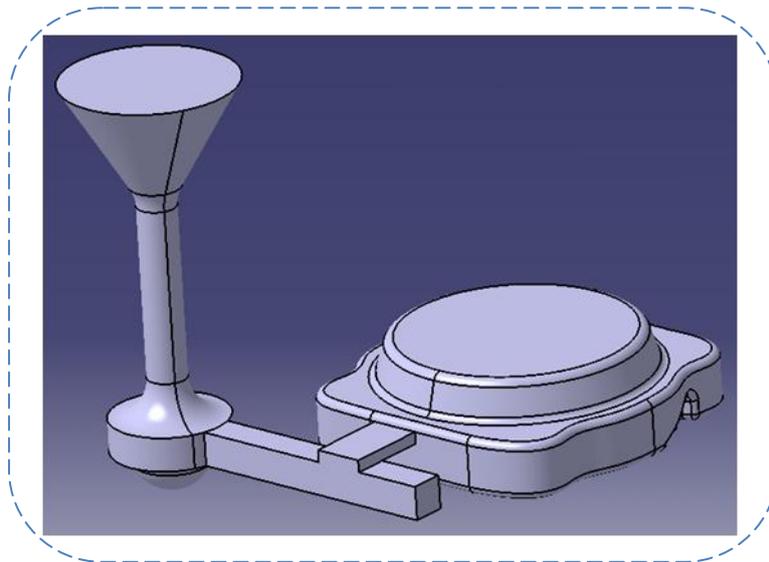


**Figure 80 - Création du bol de coulée**



**Figure 81 - Paramètres du modèle Cao évoluant au fur et à mesure du calcul**

Tous les composants ont été réalisés en surfacique pour faciliter les assemblages. Une fois que tous les éléments sont créés, le logiciel demande le positionnement de la pièce à l'attaque et il assemble tout le système pour réaliser un solide (Figure 82).



**Figure 82 - Système complet**

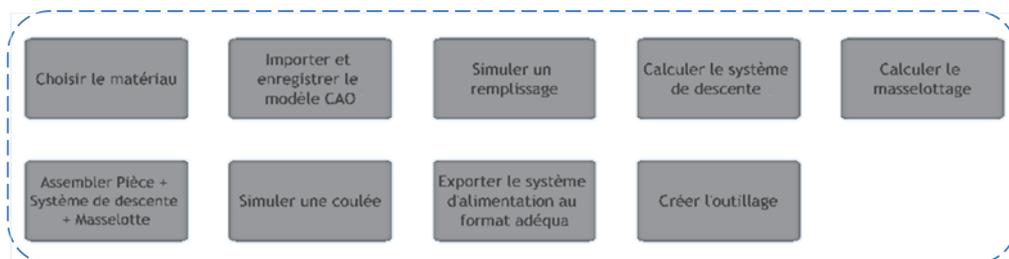
La simulation numérique se fait grâce aux différents éléments. Chaque pièce étant indépendante, des matériaux différents peuvent y être affectés.

#### **1.4.Modélisation du processus avec DFX ::Manager**

L'application découle du processus que l'on a créé avec l'outil DIA, nous voulons plus de liaisons entre le processus et l'application. C'est pourquoi nous avons par la suite repris ce processus en le modélisant avec l'outil DFX ::Manager.

Le processus permet d'intégrer les différents points de vue que nous avons présentés, celui de l'ingénieur CAO et celui de l'ingénieur simulation seront présentés (Annexe G).

Le processus collaboratif, donné en Figure 83 montre les éléments principaux identifiés grâce à l'étude bibliographique et des interviews d'experts fondeur.



**Figure 83 - Processus collaboratif de création d'un système d'alimentation en fonderie.**

La représentation du point de vue de l'ingénieur simulation avec le nouvel outil, permet de plus facilement accéder aux informations Lors d'une modélisation des processus avec l'outil DIA, les informations étaient statiques. Dorénavant, il y a une dynamique qui est implantée permettant la gestion de tous types d'informations dans le processus.

L'ingénieur simulation peut, grâce à l'outil, transmettre ses résultats de simulation plus facilement en donnant directement les images ou les fichiers à travers le processus (Figure 84). Nous présentons un résultat important dans la simulation de fonderie, le calcul d'une « solidification ». Le terme de solidification est employé dans Experto, il permet de calculer le pourcentage de retrait d'une pièce ou d'un système complet afin de visualiser la possibilité de manque de matière ou de retassure.

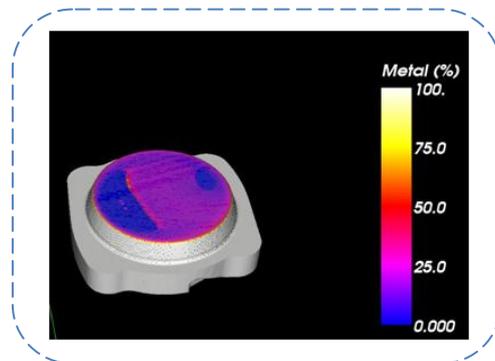


Figure 84 - Résultat du calcul du retrait

#### 1.4.1. Comparaison et liaison des processus

Lorsque nous avons rassemblé les deux processus des intervenants, les informations qui sont ajoutées ont été comparées afin de réaliser les liaisons adéquates. De plus pour différencier les deux processus nous avons apporté sur le modèle une différenciation par couleur. Avec le nouvel outil, les intervenants sont directement associés aux informations (Figure 85).

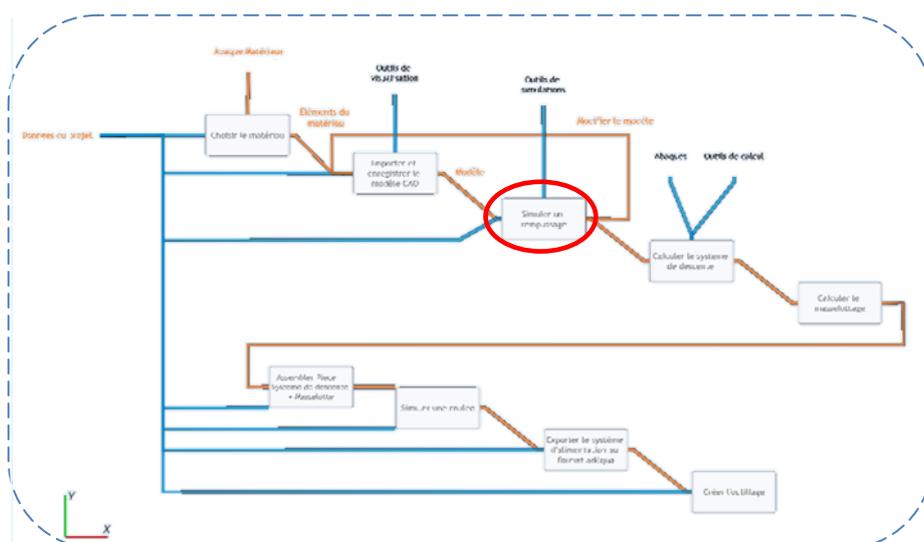


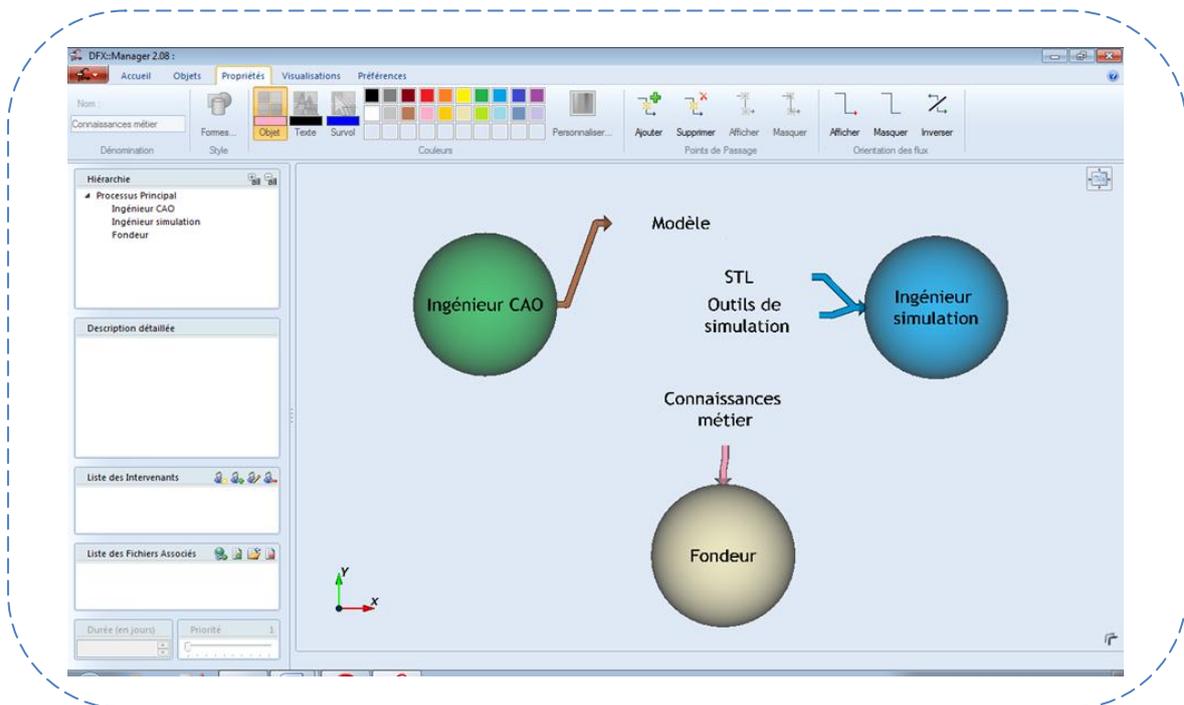
Figure 85 - Processus réalisé sous DFX::Manager

Le processus modélisé avec le nouvel outil permet d'ajouter tous les intervenants avec leurs spécificités. DFX::Manager permet de visualiser directement les pièces qui sont créées et de les

associer au processus. Nous avons donc la possibilité de retrouver les mêmes informations, maintenant, dans le processus et dans l'outil avec l'ajout des pièces et des résultats de simulations par exemple.

## 1.5. Diagramme d'interaction

Nous présentons deux informations dans le diagramme d'interaction qui ont été ajoutées par deux intervenants différents lors de la modélisation du processus (Figure 86). Elles sont donc différentes et associées à deux intervenants. Il faut pourtant vérifier si elles ne sont pas identiques mais exprimées avec deux points de vue différents.



**Figure 86 - Diagramme d'interaction**

Le diagramme d'interaction permet de relier les informations et de regrouper les documents qui y sont liés. Sur le diagramme d'interaction, nous avons lié les informations en les comparant les unes aux autres. Pour cela, le logiciel utilise le module comparateur et nous fournit une liste avec les liaisons possibles et un niveau de correspondance.

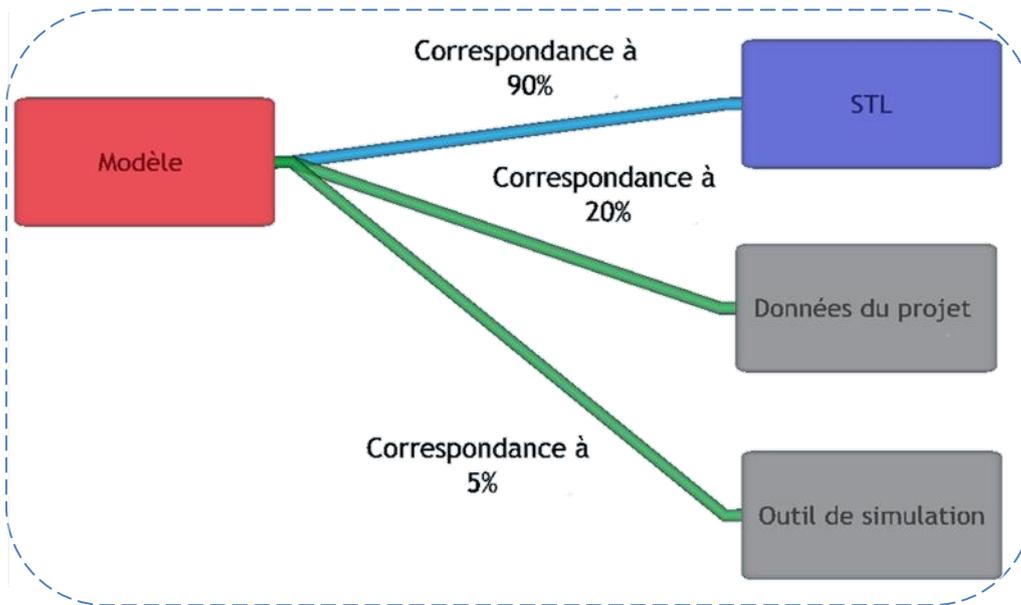


Figure 87 - Comparaison des éléments grâce au diagramme d'interaction

Nous ne détaillons pas le fonctionnement du module de comparaison, mais nous présentons le résultat qu'il apporte après la comparaison de deux informations. Avec ces comparaisons d'informations, la liaison « Modèle » et « STL » semblent la meilleure, grâce à un indice de 90% de correspondance (Figure 87).

[Betz *et al.*, 2008], présentent un système similaire pour la représentation des concordances des éléments. L'utilisateur peut grâce aux épaisseurs ou aux indices connaître rapidement la similarité des éléments dans le processus (Figure 88).

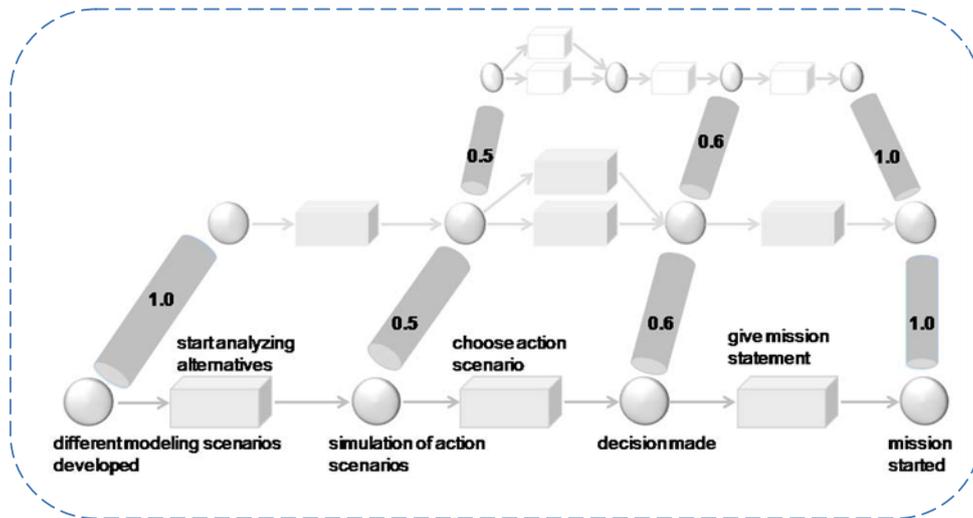


Figure 88 - Représentation de similarité des composants selon [Betz *et al.*, 2008]

## 1.6.Synthèse

Dans cette section, nous avons présenté une application liée à un domaine de recherche qui est étudié depuis quelque temps dans notre équipe. L'automatisation de création de système

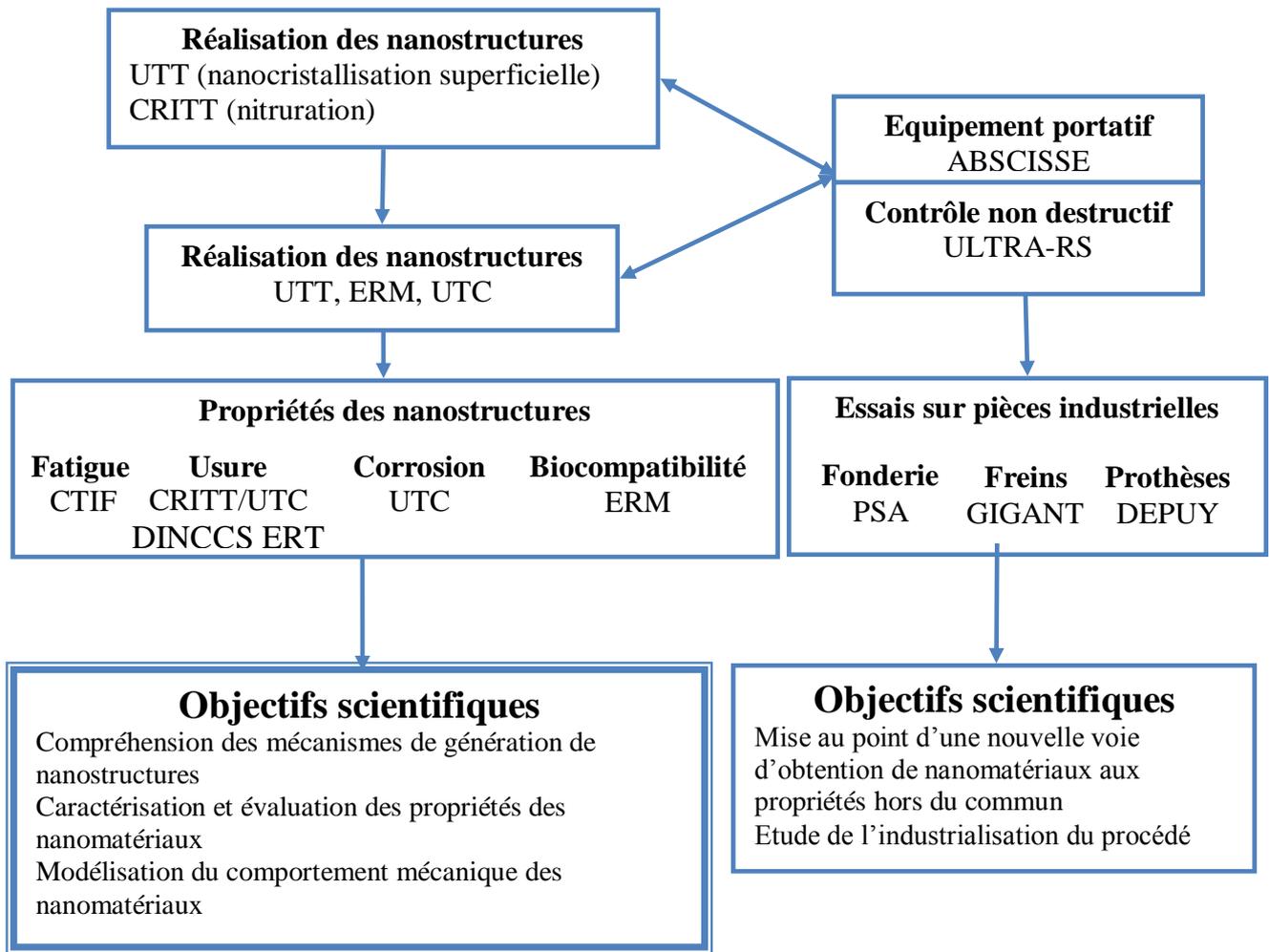
d'alimentation en fonderie est une partie qui n'est pas intégrée à la conception ou à la simulation. En effet, cette application n'est pas intégrée dans les logiciels de CAO, mais elle est abordée dans les outils de simulation de fonderie sur le marché. Les logiciels de simulation permettent de réaliser des systèmes d'alimentation simple, mais la plupart ne permettent pas facilement de réaliser un système avec plusieurs pièces et ne permettent pas facilement de positionner les éléments. C'est pourquoi, nous avons proposé un outil qui réalise automatiquement un système d'alimentation. Ce logiciel intègre les règles métiers vues en fonderie. Notre équipe de recherche a déjà mis en place un outil qui permet de modéliser les systèmes d'alimentation de fonderie grâce au projet DIJA [Gardan, 2005]. Cet outil est indépendant de tout système, ce qui le rend transportable. Cependant, il ne prend pas en compte l'intégration des différents paramètres et ne permet pas la liaison avec les différents moyens collaboratifs mis en place. Afin de faciliter l'utilisation de notre outil, nous avons modélisé le processus global de conception d'un système d'alimentation. Ensuite nous avons intégré les points de vue des différents intervenants qui sont liés à ce projet, par exemple, l'ingénieur CAO et l'ingénieur Simulation. Pour appréhender les problèmes associés à une application liée à l'industrie, nous avons réalisé des interviews de spécialistes. L'application qui découle de ces recherches prend en compte les points de vue et la liaison conception/simulation tout en intégrant directement les règles métiers, les connaissances et les besoins de chacun. L'outil permet de créer un ensemble de composants facilement paramétrables.

La liaison processus et outil permet de retrouver tous les éléments d'un processus ou d'un procédé dans le logiciel. Elle permet de plus d'intégrer toutes les informations et les interactions possibles entre les différents outils. A l'intérieur du processus, la simulation permet de valider certaines étapes. Le logiciel utilisé est Experto, il permet de vérifier les problèmes qui sont liés à la solidification de la pièce et à l'écoulement de la matière.

Dans la partie suivante, nous proposons une nouvelle application liée à un projet multidisciplinaire. Cette application intègre différents partenaires et fait appel à différents domaines de compétences.

## **2. Modélisation du processus du projet Nanosurf**

Le projet Nanosurf est un projet regroupant différents partenaires réunis autour d'un consortium. La partie que nous traitons se situe dans « Propriétés des nanostructures », que nous retrouvons dans la Figure 89.



**Figure 89 - Organisation du projet Nanosurf**

Dans cette partie de projet, la collaboration est réalisée entre quatre intervenants principaux. Il y a trois intervenants industriels, GIGANT, DINCCS et le CTIF et un intervenant universitaire, l'ERT Gaspard Monge. Le projet Nanosurf, pour notre partie, vue précédemment, est l'étude d'un disque de frein de camion et son optimisation de fonctionnement. A l'heure actuelle, un disque de frein de camion a une durée de vie estimée à 400 000km, le but du projet est d'optimiser la durée de vie du disque jusqu'à 1 million de kilomètres. Pour cela les différents intervenants du projet apportent leurs connaissances dans leur domaine, afin de réaliser au mieux ce projet.

Gigant est une entreprise qui réalise la fabrication d'essieux de camion et de remorques. Elle est le garant de l'expertise de l'ensemble frein et des connaissances métiers liées à la fabrication d'un essieu.

Le CTIF (Centre Technique de l'Industrie et de la Fonderie) est le garant de l'expertise des essais physiques réalisés sur les freins. Il réalise les différents essais mécaniques et métallurgiques sur les freins et leur optimisation.

Le centre Technique DINCCS est le garant de l'expertise sur la simulation numérique et l'optimisation des formes. Il proposera des formes innovantes ou optimisera les disques existants.

L'ERT Gaspard Monge est en charge de la réalisation du banc d'essai en collaboration avec le DINCCS.

Lors de différentes réunions, nous avons mis en place le cahier des charges permettant de définir les besoins attribués aux différentes tâches de chacun. Nous avons de même réalisé le processus collaboratif qui nous permet d'évoluer sur un unique support de travail. La collaboration des différents acteurs est un atout majeur de ce projet. En effet les connaissances de chaque partenaire sont utilisées pour optimiser les disques ainsi que pour réaliser le banc. La collaboration se fait via le portail collaboratif Adhoc Collaboration, que nous avons explicité avant.

## 2.2. Processus collaboratif

Dans la Figure 90 nous présentons le processus collaboratif qui permet de décrire le projet de façon unique. Les différents acteurs ont ce processus collaboratif à disposition sur le portail et peuvent à tout moment le modifier.

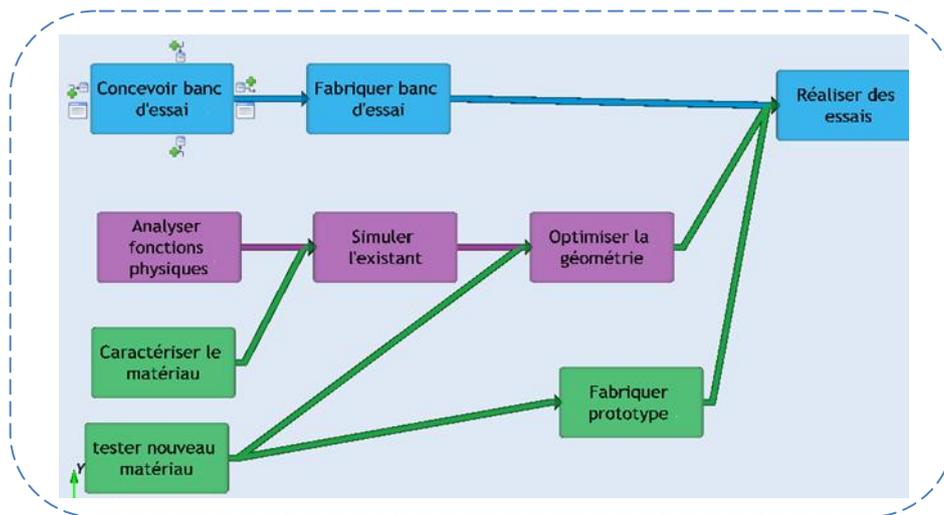


Figure 90 - Processus collaboratif du projet

Le processus collaboratif, une fois établi, permet d'ajouter tous les éléments liés au projet avec les points de vue des acteurs.

### 2.2.1. Point de vue DINCCS

Le point de vue du DINCCS s'oriente vers la simulation numérique et contribue aussi à l'élaboration du banc d'essai. Ce sont eux qui définissent les besoins spécifiques au niveau du banc ces besoins, ils les apportent sur le processus avec les différents ajouts qui ont été présentés auparavant.

Le DINCCS aura donc besoin de connaissances métiers qui sont liées aux matériaux pour s'approcher au mieux à la réalité

### ***2.2.2. Point de vue ERT***

Du point de vue de l'ERT on trouvera une approche plus centrée sur le projet et la réalisation du banc. C'est autour de l'ERT que les dialogues sont les plus importants. Ils doivent prendre en compte tous les aspects temps, techniques et financiers de chaque intervenant. Grâce à l'outil DFX ::Manager, nous pouvons présenter l'avancement du projet au fur et à mesure. De plus, nous pouvons faire évoluer le processus afin de répondre exactement aux attentes de chacun. Notre point de vue est orienté vers la réalisation du banc, donc nous avons besoin des outils de mesure qui nous permettent de répondre aux demandes du DINCCS et du CTIF. C'est pourquoi, nous intégrons le processus de réalisation des essais.

### ***2.2.3. Point de vue CTIF***

Le point de vue du CTIF est orienté vers la réalisation d'un nouveau matériau lié à la géométrie développée par le DINCCS. Ce qui implique que le travail est réalisé de façon simultanée. Il faut que les calculs réalisés par simulations puissent amener à la création d'un disque utilisant des matériaux spécifiquement étudiés.

## **2.3. Diagramme d'interaction**

Le diagramme d'interaction permet de transférer les bonnes informations aux bonnes personnes. Il spécifie par la même occasion les informations qui sont échangées avec une description suivant le point de vue. Les groupes d'intervenants sont représentés par des sphères, la couleur associée à chaque sphère est liée au groupe d'intervenants. Ensuite chaque membre du groupe est ajouté avec sa fiche descriptive. Les intervenants sont affectés à chaque information et à chaque liaison possible.

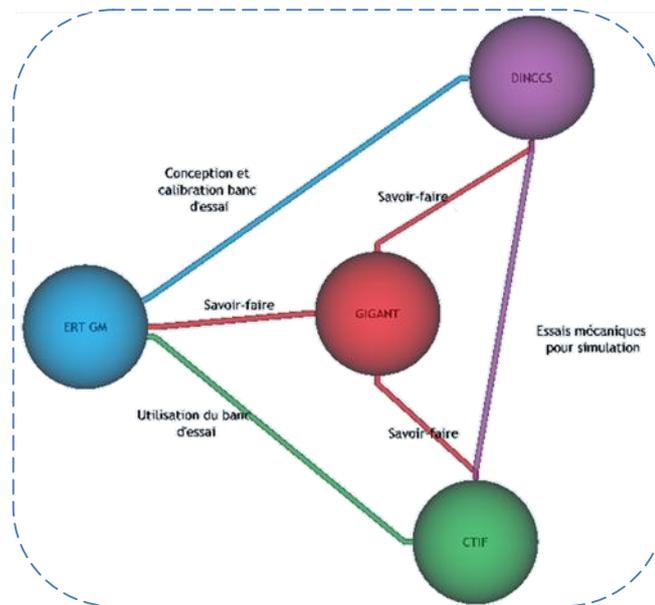


Figure 91 - Diagramme d'interaction

## 2.4. Travail collaboratif

Le travail collaboratif est réalisé au travers du portail collaboratif, la décomposition des groupes de travail se fait suivant deux groupes, un groupe auquel les intervenants ont accès « Groupe Commun » et un groupe de travail autour du banc d'essai auquel le DINCCS et l'ERT Gaspard Monge ont accès (Figure 92).

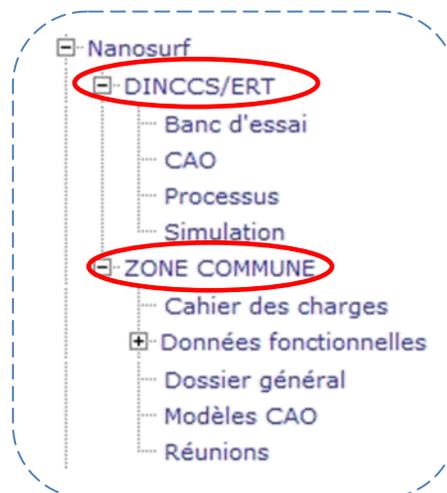
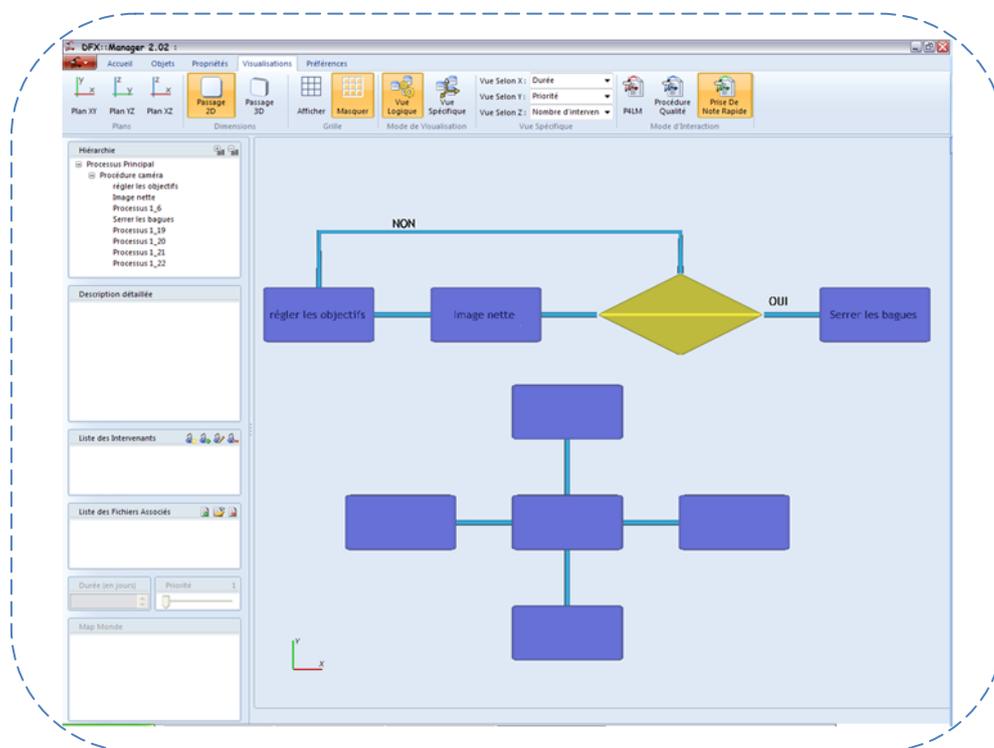


Figure 92 - Décomposition en groupe de travail

Nous retrouvons suivant les groupes des informations différentes liées au processus collaboratif.

Le travail collaboratif est réalisé aussi par le biais de formations. Pour la réalisation de la conception du banc d'essai, les différents intervenants apportent leurs connaissances et leur savoir-faire. Dans certain cas, le besoin de formation est apporté en complément des connaissances. En

effet des mesures spécifiques sont réalisées lors des essais. Par exemple des mesures de déformations sont utiles pour faire la corrélation entre la simulation numérique réalisées par le DINCCS et les essais. C'est pourquoi nous avons développé à l'intérieur du processus une partie procédure. Les procédures permettent l'utilisation des différentes technologies qui sont intégrées au banc d'essai. Par exemple le système de caméra de déformations nous permet de mesurer la déformation du disque de frein. L'utilisation de ces caméras a été intégrée au projet et la procédure d'utilisation est disponible pour les intervenants. Cette procédure utilise une autre partie du logiciel DFX::Manager : la partie « Prise de note rapide ». Cette partie du logiciel ne prend pas en compte la méthodologie vue précédemment, elle permet d'utiliser DFX::Manager sans aucune restrictions. Dans ce cas, on ne parle plus de processus ou de procédé, mais de boites. L'utilisateur utilise donc toutes les fonctionnalités de l'outil par exemple : ajouter des boites où il veut (Figure 93).



**Figure 93** - Diagramme utilisant le mode « prise de note rapide »

Cette particularité de l'outil fait que les procédures sont directement intégrables au processus, aussi bien en tant que sous processus que de document joint. Cela permet de bien intégrer toutes les techniques qui sont disponibles avec les outils utilisés.

## 2.5.Synthèse

Cette seconde application permet d'étudier notre outil dans le cadre d'un projet collaboratif durant un cas réel. Le projet Nanosurf permet la collaboration de personnes travaillant dans des secteurs différents. En effet quatre intervenants qui sont : Gigant (constructeur d'essieu de camion

et remorques), DINCCS (Centre technique de l'association MICADO qui est le garant de la simulation numérique), CTIF (le centre technique des industries de la fonderie est le garant des connaissances matériaux et des essais) et l'ERT Gaspard Monge ( qui est l'équipe de recherche en charge de la conception du banc d'essai), travaillent ensemble afin d'optimiser la durée de vie d'un disque de frein. Notre part du projet est la réalisation d'un banc d'essai qui permettra de mettre en avant la liaison simulation/essais physiques. C'est pour cela que le DINCCS et l'ERT travaillent plus étroitement ensemble. Pour faciliter les échanges entre les différents partenaires, le portail collaboratif Adhoc Collaboration a été mis à la disposition de chacun. Un espace de travail est dédié à chaque partenaire et des groupes de travaux sont créés. Pour organiser et planifier les différentes tâches et évènements du projet, un processus collaboratif a été créé avec DFX::Manager. Ce processus collaboratif est transmis via le portail collaboratif et complété au fur et à mesure par les acteurs. Le processus permet de visualiser les différents points de vue et de définir la durée du projet. Nous avons intégré dans ce projet une partie procédurale, en utilisant un composant spécifique de l'outil. Cette partie « prise de note rapide » permet de décrire dans notre cas la procédure. L'utilisateur est libre de toutes contraintes, contrairement à la visualisation P<sup>4</sup>LM. Les processus ou procédés deviennent des boîtes dans lesquelles l'utilisateur peut mettre ce qu'il veut.

### **3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des applications afin de prendre conscience des problèmes liés à notre outil et par conséquent de les résoudre. Nous avons développé une application qui entre dans un domaine de recherche qui est étudié dans notre équipe depuis quelques années. L'automatisation de la création d'un système d'alimentation de moule en fonderie est une partie non développée intégralement dans les logiciels de simulation. Dans les logiciels de CAO, un système de ce type n'existe pas. Dans les outils de simulation, ils intègrent des modules permettant de créer des systèmes simples avec ou sans masselotte, mais ils ne sont pas faciles d'utilisation. C'est pourquoi nous avons développé un module lié à CATIA V5 permettant de créer un système d'alimentation automatiquement en intégrant les contraintes et les connaissances métiers. Une application existante développée dans le cadre du projet DIJA existe, elle permet l'intégration des règles métiers, elle nous a permis d'utiliser les différentes règles déjà présentes pour les utiliser dans notre module. L'utilisation d'un logiciel de CAO nous permet de manipuler plus facilement les éléments géométriques.

Le module se base sur le processus développé à partir de recherches bibliographiques et d'interviews d'experts métiers d'entreprises locales. Le processus qui en découle permet de faire apparaître les phases importantes du projet. On retrouve ces différentes phases avec des étapes de

validation. Le processus intègre les points de vues des intervenants (ingénieur CAO, ingénieur simulation et expert métier), ce qui permet de connaître les connaissances et les contraintes de chacun et de pouvoir les intégrer dans le module. Cet outil se veut simple d'utilisation, en effet toute la partie CAO est gérée par des copies optimisées, où l'utilisateur n'a besoin que de sélectionner des éléments géométriques à la souris et de valider. Les modèles sont paramétrés et peuvent être modifiés à tout moment. L'utilisation d'un logiciel comme Catia V5 a des avantages, comme son utilisation dans tous les domaines de l'industrie, mais a des inconvénients comme le coût et la connaissance du logiciel. Un tel outil peut être utilisé pour la création du moule, une fois le système conçu, le moule peut être modélisé rapidement. Nous avons voulu utiliser une application proche des industries afin de mieux aborder les problèmes qui pourraient être liés à des utilisateurs qui ne connaissent pas des outils de modélisation de processus.

Nous avons, de plus, utilisé DFX::Manager dans un projet multi-acteur. Les intervenants sont de domaines différents et peuvent travailler via le portail collaboratif. Le processus collaboratif développé par le chef de projet est mis à disposition des intervenants pour qu'ils puissent déposer leurs connaissances et leurs besoins. Une application collaborative permet de mettre en avant les problèmes de versions et de mise à jour. Grâce à cette application, nous avons pu tester la gestion des échanges via le portail et nous avons réalisé des réunions synchrones. De plus nous avons intégré au processus une partie procédurale afin de transmettre les méthodes de travail aux différents intervenants. Cette application est encore en utilisation étant donné que le projet se termine en 2013.

# BILAN ET PERSPECTIVES

---

Nous concluons ce manuscrit par un bilan des travaux présentés. Cette synthèse permet de faire un point sur les propositions apportées à l'intégration d'un point de vue d'un intervenant dans la modélisation d'un processus industriel. Nous terminons par une description des perspectives d'améliorations et d'évolutions du travail de recherche.

Le premier chapitre a permis de faire un état de l'art de la modélisation des processus dans sa globalité. Nous avons présenté des modèles et des langages qui sont utilisés de nos jours dans différents projets qui ne sont pas obligatoirement une modélisation de processus. Nous constatons que les langages et modèles sur le marché ne permettent pas de décrire simplement un processus pour une PME qui n'a pas forcément les moyens de prendre en compte cette approche processus. C'est pourquoi nous avons étudié la méthode de modélisation des processus et comment elles peuvent être intégrées dans les entreprises. Pour cela nous avons réalisé un état de l'art des outils qui permettent de modéliser les processus. Ces outils peuvent représenter les processus d'une façon graphique ou en prenant en compte la gestion du processus. Nous constatons que les outils ne sont pas facilement et rapidement utilisables par des néophytes de la modélisation et de la gestion des processus. A partir de ce constat, nous avons étudié des moyens non conventionnels qui permettraient la modélisation des processus. Cette approche nous a permis d'introduire la notion de trois dimensions dans le processus et de l'utilisation d'interfaces homme machine autres que l'ordinateur (souris + clavier). Ces dernières étant très onéreuses, cette approche ne peut être qu'hypothétique dans les PME.

Dans le second chapitre, nous proposons une description du projet sur lequel nos recherches se basent. Le projet P<sup>4</sup>LM et sa suite E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM ont permis la création d'une méthodologie et d'aider de nombreuses entreprises qui ne peuvent pas avoir un accès à des technologies comme la simulation numérique ou le prototypage. La suite du projet permet d'améliorer la méthodologie développée et de créer un logiciel qui aide à la modélisation des processus industriels. Nous avons défini tout le modèle de base ainsi que les termes techniques. Nous nous basons sur une approche modulaire suivant différents environnements. Pour cela, une application a été réalisée pour créer des systèmes de coulée de fonderie afin de présenter l'intégration des connaissances dans un logiciel. Cette application s'est basée sur la philosophie DIJA qui est appliquée dans notre équipe de recherche. DIJA permet d'intégrer des règles métiers pour améliorer les performances et la compréhension du système. La philosophie vise à simplifier l'utilisation d'outil par des personnes qui ne sont pas des spécialistes dans le domaine de la CAO. Dans cette continuité de démarche, nous décrivons la découpe modulaire permettant d'utiliser cet outil. Puis nous décrivons ce que

représente un point de vue, et comment on peut identifier les problèmes liés aux différences de points de vue. Ainsi nous abordons la nuance de visualisation d'un objet et de représentation de ce même objet par des intervenants différents. Enfin nous faisons un bilan sur les connaissances qui sont intégrables par les intervenants. Nous rappelons ce que peuvent être les connaissances, comment les capitaliser et comment les transmettre dans différents outils. Ce second chapitre a permis de présenter le projet de travail et les différents autres projets qui peuvent s'y rapporter. La méthodologie qui en découle n'est pas complète et reste intégrée à un outil qui gère les règles métiers. La modélisation d'un processus à travers cet outil n'est pas facilement réalisable.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons les propositions que nous apportons pour l'intégration du point de vue pendant la modélisation des processus. Dans un premier temps, nous décrivons les apports qui sont réalisés au modèle en prenant en compte la méthodologie P<sup>4</sup>LM. Le modèle ainsi modifié permet de visualiser et de connaître les points de vue des différents intervenants. Grâce à un ajout de détails et de code couleur d'une part nous pouvons définir les points de vue des intervenants. Nous mettons en avant le besoin d'un processus collaboratif, qui permet de communiquer sur les mêmes bases. Pour cela le chef de projet définit le projet global et diffuse son processus collaboratif aux différents intervenants qui peuvent ajouter leur point de vue, leurs besoins, leurs attentes et leurs contraintes. Dans un projet les intervenants sont de tous milieux, ce qui fait que la communication n'est pas toujours évidente. Si nous prenons un exemple, un ingénieur, un comptable et un technicien. Suivant le point de vue, l'ingénieur va voir le procédé complet de fabrication du produit, alors que par exemple le comptable ne sera intéressé, lui, que par les coûts et le technicien va chercher à faire fonctionner au mieux sa machine. Cet exemple est caricatural, cependant, ils travaillent tous sur le même produit, ils doivent communiquer, mais n'ont pas forcément de moyens simple exprimant tous les besoins. Nous proposons donc un outil qui permet de les aider dans cette tâche. Pour cela ils ont à disposition un panel de composants, une visualisation logique et une visualisation spécifique, qui permet de voir les points intéressant du processus suivant l'intervenant. Une visualisation 2D et 3D qui permet d'ajouter des points de vue suivant les axes. Un système de couleur, qui est attribué à chaque membre du projet et enfin un moyen d'intégrer des images, des documents ou des éléments 3D dans les processus. Pour gérer les intervenants, une base de données est créée grâce aux différentes informations qui leurs sont demandées. Nous proposons dans ce chapitre une explication des différents modules permettant de travailler avec l'outil DFX::Manager et de comprendre comment les informations sont gérées. Enfin, nous décrivons une application éducative qui a permis de faire la liaison entre l'outil DFX::Manager et le portail collaboratif Adhoc Collaboration. Cette application a permis de réaliser un travail collaboratif autour d'un projet et de pouvoir tester l'outil dans un cas d'étude.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous proposons deux applications utilisant DFX::Manager, pour la modélisation du processus. La première application prend en charge une étude qui est de longue date dans l'équipe de recherche, l'automatisation de la création de système d'alimentation de coulée en fonderie. Pour cela nous avons réalisé le processus général avec la visualisation de deux points de vue, celui de l'ingénieur CAO et celui de l'ingénieur Calcul. Nous avons utilisé l'approche par ce processus pour réaliser une application en VBA sous Catia V5. Le choix s'est tourné vers cet outil pour lier la CAO et la simulation numérique en exportant les résultats directement dans le logiciel de simulation de fonderie Experto. L'application développée se base sur le processus et visualise les points de vue en se modifiant au fur et à mesure. L'outil se décompose en plusieurs éléments correspondant au processus et sous processus étudié, comme cela l'utilisateur peut à tout moment lier le processus à l'outil. La seconde modélisation est toujours en cours d'étude, pour le projet Nanosurf. La définition du processus collaboratif permet de communiquer sur la même base avec les différents partenaires du projet. Etant donné qu'ils ne sont pas du tout du même métier et qu'ils n'ont pas forcément le droit d'accéder à tous les documents, la liaison à AdhocCollaboration a permis de gérer les documents. Grâce à ce projet collaboratif, les documents sont déposés sur le portail, les intervenants qui ont accès peuvent les intégrer dans le processus et peuvent le mettre à jour. De plus, pour ce projet nous avons mis en place une application procédurale pour le module de formation aux différentes nouvelles technologies. Suivant l'intervenant, il peut ajouter des images des modèles CAO, des résultats de simulations pour les diffuser à qui de droit. L'outil intègre un visualisateur sécurisé des documents.

En conclusion, nous avons réalisé des apports à la méthodologie projet, produit, procédé et processus qui a été mise en place lors du projet P<sup>4</sup>LM. Nous avons contribué à la réalisation d'un outil qui prend en compte ces différents apports. Cet outil permet de modéliser un processus industriel simplement et rapidement. Cette méthodologie intègre les points de vue. Cependant, un problème de liaison des informations et de traduction de l'information, en information compréhensible, est encore en étude dans notre équipe de recherche. Si un utilisateur apporte une information, il faut qu'elle puisse être compréhensible par tous, pour cela nous avons proposé l'intégration des paramètres graphonumériques, mais elle n'est pas encore développée dans l'outil. Cette méthodologie est utilisée, par des personnes qui ont conscience du besoin d'une meilleure communication. Cependant ce besoin est beaucoup plus difficile à intégrer dans une entreprise. Dans un secteur donné, la communication reste aisée, mais dès qu'il faut communiquer avec d'autres secteurs dans l'entreprise il n'est plus si facile. Cette méthodologie fait appel à une grande rigueur, pour avoir le meilleur résultat possible, il faut que tous les intervenants participent, que ce soit du chef de projet à l'ouvrier. Comme cela un suivi complet du travail peut être réalisé. C'est dans cet objectif que nous avons voulu un outil simple d'utilisation.

Une piste de recherche peut être une plus forte liaison avec tous les outils de CAO et de simulation numérique. L'outil peut intégrer les paramètres que les différents intervenants ajoutent au fur et à mesure. Ces paramètres peuvent être identifiés suivant plusieurs critères qui sont défini dans [Reimeringer, 2008], ils permettent donc de réaliser la modélisation des objets en CAO. Une utilisation de l'outil DFX ::Manager pour piloter les différents paramètres en temps réel permettrait à des utilisateurs novices des outils de CAO de pouvoir modifier des pièces directement depuis l'outil de modélisation des processus. Dans le même esprit, nous pouvons transposer cette idée à la prise en compte des éléments intégrés dans le processus pour la simulation, qui permettrait de piloter les outils de simulation. Une autre piste en cours de recherche peut être le pilotage du portail collaboratif, en fonction du processus et des informations qui ont été apportées par les intervenants. Cette idée revient à piloter plusieurs logiciels avec le processus. La possibilité de mettre à disposition des outils différents d'interface homme machine pour l'utilisation du logiciel, par exemple des gants de réalité virtuelle associés à des lunettes d'immersion permettraient de déplacer les éléments en trois dimensions directement dans le processus. Dans DFX ::Manager nous avons présenté des outils pour comparer les informations, une gestion par les ontologies peut être envisagée. Cette approche permettrait d'avoir une base de données de termes techniques qui pourraient être comparées. C'est pour cela qu'une ontologie des termes de fonderie, de forge et de plasturgie a été réalisée dans le projet E<sup>2</sup>P<sup>4</sup>LM. La gestion de cette ontologie peut être intégrée dans l'outil.

# BIBLIOGRAPHIE

---

## A

---

(Abdmouleh, 2004) A. ABDMOULEH, « Composants pour la modélisation des processus métier en productique, basés sur cimosa », 2004,

(Alquier & al., 2005) ALQUIER A., TIGNOL M., BARON C. & GUTIERREZ C., « Pour une vision intégrée du système d'information et de la gestion de projet », *CPI'2005 – Casablanca, Morocco*, 2005.

(Ammar-Khodja & Bernard, 2005) AMMAR-KHODJA S. & BERNARD A., « Déploiement d'une démarche de knowledge management dans le cadre d'un projet de spécification d'un outil kbe », *CPI'2005 Casablanca, Morocco*, 2005.

(Amyot & al., 1997) AMYOT D., LOGRIPPO L. & BUHR R., « Spécification et conception de systèmes communicants: une approche rigoureuse basée sur les scénarios d'usage », *G. Leduc (Ed.), CFIP 97, Ingénierie des protocoles, Liège, Belgium, Hermes*, pp. 159-174, 1997.

(Anaya & al., 2010) ANAYA V., BERIO G., HARZALLAH M., HEYMANS P., MATULEVICIUS R., OPDAHL A.L., PANETTO H. & VERDECHO M.J., « The unified enterprise modelling language-overview and further work », *Computers in Industry 61* , pp. 99-111, 2010.

(Andre, 1995) ANDRE P., « Méthodes formelles et à objets pour le développement de logiciel : etudes et propositions », *Thèse de doctorat en Informatique*, Université de Rennes I, 1995.

(Astesiano & Reggio, 2002) ASTESIANO E. & REGGIO G., « Knowledge structuring and representation in requirement specification », *SEKE '02, Ischia, Italy* , pp. 15-19, July 2002.

(Audibert, 2008) AUDIBERT L., « Uml 2 », *Cours de l'Institut Universitaire de Technologie de Villetaneuse – Département Informatique*, 2008.

## B

---

(Bertrand, 2007) Bertrand B., « Processus de fonderie : Conception d'un système de descente », *Rapport Technique Interne*, 2007.

(Bellanger, 2006) BELLANGER G., « Remplissage des pièces moulées en sable. Notions fondamentales », *Techniques de l'ingénieur*, Matériaux Métalliques, n°M3565, 2006.

(Benchimol & al., 1990 ) BENCHIMOL G., LEVINE P. & POMEROL J.C., « Systèmes experts dans l'entreprise », *Editions Hermes*, 1990.

(Betz & al., 2008) BETZ S., EICHHORN D., HICKL S., KLINK S., KOSCHMIDER A., LI Y., OBERWEIS A. & TRUNKO R., « 3d representation of business process models », *Proceedings of Modellierung betrieblicher Informationssysteme, LNI, Köllen Verlag*, 2008.

(Booch et al., 1999) BOOCH G., RUMBAUGH J. & JACOBSON I., « The unified modeling language - user guide », *Adisson Wesley*, ISBN: 0-201-57168-4, 1999.

(Bostborge & Faure) FAURE H., GOBARD Y. & BOSTBARGE G., « Forgeage à froid de l'acier », 2001.

(Bouchiba & Cherkaoui, 2007) BOUCHIBA A. & CHERKAOUI A., « Contribution de la modélisation combinée avec l'approche bayésienne dans l'amélioration des performances des processus métiers. cas de la sûreté ferroviaire au niveau de l'oncf », *CPI'2007, Rabat*, pp. 1-20, 2007.

(Brentini & Daehne, 2003) BRENTINI G. & DAEHNE P., « La gestion des processus métiers », Haute école de gestion de Genève, Informatique de gestion, 2003.

(Brown & Recker, 2009) BROWN R.A. & RECKER J.C., « Improving the transversal of large hierarchical process repositories », *20th Australian Conference on Information Systems*, Melbourne, 2009.

(Brown, 2010) BROWN R., « Conceptual modelling in 3d virtual worlds for process communication », *Asia-Pacific Conferences on Conceptual Modelling (APCCM 2010)*, *Queensland University of Technology*, Brisbane, 2010.

---

## C

---

(Canas & al., 2004) J.CANAS A., HILL G., CARFF R., SURI N., LOTT J., GOMEZ G., ESKRIDGE T.C., ARROYO M. & CARVAJAL R., « Cmaptools : a knowledge modeling and sharing environment », *Pamplona, Spain, Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping*, 2004.

(Cartonnet, Lebeaume & Vérillon, 1999-2000) CARTONNET Y., LEBEAUME J. & VERILLON P., « Séminaire de didactique des disciplines technologiques comment former aux compétences de la conception ? », 1999-2000.

(Carroll, 2000) CARROLL J., « Five reasons for scenario-based design », *Interacting with Computers* , pp. 43-60, 2000.

(Chapa, 1997) CHAPA E., « Outils et structure pour la coopération formelle et informelle dans un contexte de conception holonique », *thèse de doctorat de l'institut national Polytechnique de grenoble*, 1997.

(Chapurlat et al., 1999) CHAPURLAT V., LARNAC M., LAMINE E. & MAGNIER J., « Definition of a formal analysis framework for existing enterprise modelling approaches. », *Actes of annual conf. of ICIMS-NOE, Life cycle approaches to production systems : management, control, supervision (ASI)*, Louvain, Belgique, 1999.

---

## D

---

(Dachselt & Ebert, 2001) DACHSELT R. & EBERT J., « Collapsible cylindrical trees: a fast hierarchical navigation technique », *Proceedings of the IEEE Symposium of Information Visualization (InfoVis 2001)*, San Diego, 2001.

(Dahchour et al. 2007) DAHCHOUR M., RAYD H., LAKHRISSI Y. & KRIOUILE A., « Extension d'uml par les rôles », *e-TI - la revue électronique des technologies d'information*, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat - Maroc, Vol. 4, juin 2007.

(Danesi et al, 2003) DANESI F., GARDAN N., GARDAN Y. & PERRIN E., « Synthetic modelling system architecture », *in Proceedings International Conference on Geometric Modeling and Graphics (GMAG'03)* , pp. 174-180, 2003.

(Danesi, 2002) DANESI F., « Contribution à la définition et à l'intégration de notions intuitives dans le dialogue homme – machine en cao », *Thèse spécialité informatique, Université de Reims Champagne-Ardenne, IFTS*, 2002.

(Danesi et al., 2008) DANESI F., GARDAN N., GARDAN Y. & REIMRINGER M., « P<sup>4</sup>lm: a methodology for product lifecycle management. », *Computers in Industry*, pp. 304-317, 2008.

(Darse, 1997) DARSE F., « L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec le processus cognitif de conception », *Ingénierie concourante : de la technique au social*, pp. 39-55, 1997.

(Darwish & El-Taminmi, 1996) DARWISH S.M. & EL-TAMINMI A.M., « The selection of the casting process using an expert system », *Computers in Industry* 30, pp. 77-86, 1996.

(Defrancq, 2002) DEFRANCQ I., « Le calcul des systèmes de coulée », *Formation au logiciel de simulation de fonderie ViewCast, 2002*, 2002.

(Dobing & Parsons, 2006) DOBING B. & PARSONS J., « Many uml projects are not use case driven. how uml is used », *communications of the ACM, Vol. 49*, pp. 109-114, 2006.

(Donnadieu, 2003) DONNADIEU G., DURAND D., NEEL D., NUMEZ E. & SAINT-PAUL L., « L'approche systémique : de quoi s'agit-il? », *Synthèse des travaux du Groupe AFSCET "Diffusion de la pensée systémique"*, 2003.

---

## E

---

(Eustache, 2002) EUSTACHE J., « Contribution à une meilleure gestion de la cohérence des données du produit au cours de son cycle de vie. », *Thèse de doctorat en Informatique, Institut de Formation Tachinque Supérieur de l'Université de Reims Champagne-Ardenne*, 2002.

---

## F

---

(Falquet et al., 2001) FALQUET G., CLAIRE L. & JIANG M., « Navigation hypertexte dans une ontologie multi-points de vue », *Actes de conférence Nimes TIC-01*, Nîmes, 2001.

(Gardan, 1991) GARDAN Y., « La cfao, introduction, techniques et mise en oeuvre », *Hermes*, 1991.

(Gardan, 2003) GARDAN Y., « Cao : vers la modélisation fonctionnelle », *Techniques de l'ingénieur*, H3752, 2003.

(Gardan, 2005) GARDAN N., « Proposition d'une méthodologie de travail collaboratif : concepts et applications », *Thèse de doctorat en Informatique*, Institut de Formation Technique Supérieure, 2005.

(Glasse & Chapelet, 2002) GLASSEY O. & CHAPPELET J.L., « Comparaison de trois techniques de modélisation de processus: adonis, ossad et uml », *Working paper de l'IDHEAP*, Lausanne, 2002.

(Grundstein, 2002) GRUNDSTEIN M., « De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue », Conférence invitée, 1<sup>er</sup> colloque du groupe de travail "Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel", Nantes, 2002,

(Heavey & Ryan, 2006) HEAVEY C. & RYAN J., « Process modelling support for the conceptual modelling phase of a simulation project », *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference* , pp. 801-808, 2006.

(Herman, Melaçon & Marshall, 2000) HERMAN I., MELAÇON G. & MARSHALL S., « Graph visualization and navigation in information visualization : a survey », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp. 24-44, 2000.

(Huang, Sheoran & Keskar, 2005) HUANG S.H., SHEORAN S.K. & KESKAR H., « Computer-assisted supply chain configuration based on supply chain operations reference (scor) model », *Computer & industrial engineering* 48 , pp. 377-394, 2005.

(Hurlbut,1998) HURLBUT R., « Managing domain architecture evolution through adaptative use case and business rule model », *PhD Thesis* Illinois Institute of Technology, Chicago, USA, 1998.

---

I

---

(IFIP-IFAC, 1999) IFIP-IFAC, « Geram: generalised enterprise reference architecture and methodology », *IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration*, Version 1.6.3, 1999.

---

K

---

(Khoshafian & Copeland, 1986) KHOSHAFIAN S.N. & COPELAND G.P., « Object identity », *OOPSLA'86 Conference Proceedings*, pp. 406/416, 1986.

(Kim, 2002) KIM C.H., WESTON R.H., HODGSON A. & LEE K.H., « The complementary use of idf and uml modelling approaches », *Computers in Industry*, pp. 35-56, 2002.

---

L

---

(Lattanzio, 2006) LATTANZIO T., « Caractérisation des entreprises organisées en "gestion par affaire" », *Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers*, 2006.

(Laublet, 1998) LAUBLET P., « Méthodes de développements d'applications à objets », *Techniques de l'ingénieur* , vol. HB3, noH3228, pp. H3228.1-H3228.15, 1998.

(Laurière, 1986) LAURIERE J., « Résolution de problèmes par l'homme et la machine », *Eyrolles*, 1986.

(Legay, 2003) LEGAY E., « Idl orienté objet », *LESIA*, 2003.

(Lim & Sato, 2006) LIM Y.K. & SATO K., « Describing multiple aspects of use situation: applications of design information framework (dif) to scenario development », *Design Studies* 27 , pp. 57-76, 2006.

---

## M

---

(Martin, 1996) MARTIN P., « Exploitation de graphes conceptuels et de documents structurés et hypertextes pour l'acquisition de connaissances et la recherche d'informations », *Thèse en Informatique de L'université de Nice-Sophia Antipolis*, 1996.

(Matheron, 2000) MATHERON J.P., « Comprendre meris outils conceptuels et organisationnels », *Eyrolles*, 2000.

(Mayer, 1992) MAYER R.J., PAINTER C.M.K. & DE WITTE P.S., « Idef family of methods for concurrent engineering and business re-engineering applications. », *Technical report*, Knowledge Based System Inc., USA, 1992.

(Morley & al., 2005) MORLEY C., HUGUES J., LEBLANC B. & HUGUES O., « Processus métiers et s.i. », *Dunod*, 2005.

(Mueller & al., 2006) MUELLER W., ROSTI A., BOCCHIO S., RICCOBENE E., SCANDURRA P., DEHAENE W., VANDERPERREN Y., LEUVEN K.U., « Uml for esl design – basic principles, tools, and applications », *In Proceedings of ICCAD'06, San Jose, CA* , pp. 73-80, 2006.

(Muller, 2000) MULLER P. & GAERTNER N., « Modélisation objet avec uml », *Eyrolles*, 2000.

---

## N

---

(Nunes, 2002) NUNES S., « Et ingénierie à base de connaissances », *CAD-magazine* , pp. 18-21, 2002.

---

## O

---

(Opdahl & Berio) OPDAHL A.L. & BERIO G., « Interoperable language and model management using the ueml approach », *Proceedings of the international workshop on Global Integrated Model Management, Shanghai, China* , pp. 35-41, 2006.

(Opdahl, 2007) OPDAHL A.L., « The ueml approach to modelling construct description », *in: Proceedings of the 2nd International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications I-ESA*, 2006.

---

P

---

(Pedrinaci, 2008) PEDRINACI C., DOMINGUE J. & ALVES DE MEDEIROS A.K., « A core ontology for business process analysis », *ESWC 2008, LNCS 5021* , pp. 49-64, 2008.

(Pichel et al., 2003) PICHEL D., DONTAINE A., IASSINOVSKI S., ARTIBA A. & FAGNART C., « Alix: une méthode de modélisation des flux d'un système de production », *Conférence CPI2003*, Maroc, 2003.

(Polanyi, 1958) POLANYI M., « Personal knowledge : towards a post-critical philosophy », *University of Chicago Press, 5750 Ellis Ave.*, Chicago, 37, 1958.

(Polanyi, 1966) POLANYI M., « The tacit dimension », *Routledge & Kegan Paul Ltd, London*, 1966.

(Projet: Spinov, 2006) CRP HENRI TUDOR, « Modélisation des processus métiers : état de l'art et conseils pratiques », 2006.

---

R

---

(Reimeringer, 2008) REIMERINGER M., « Une méthodologie et des outils pour concevoir en tenant compte de la simulation », Thèse de doctorat en Informatique, Institut de Formation Technique Supérieur, Université de Reims Champagne Ardenne, 2008.

(Rekimoto & Green, 1993) REKIMOTO J. & GREEN M., « The information cube: using transparency in 3d information visualization », *Proceedings of the Third Annual Workshop on Information Technologies & Systems WITS'93* , pp. 125-132, 1993.

(Robertson, Mackinslay & Card, 1991) ROBERTSON G.G., MACKINSLAY J.D. & CARD S.K., « Cone trees: animated 3d visualizations of hierarchical information », *ACM* , pp. 189-194, 1991.

(Roboam, 1993) ROBOAM R., « La méthode grai : principes, outils, démarche et pratique », *Toulouse, Teknéa*, 1993.

(Rosenman & Gero, 1996) ROSENMAN M.A. & GERO J.S., « Modelling multiple views of design objects in a collaborative cad environment », *Computer Aided Design* 28, pp. 193-205, 1996.

(Rosenman & Gero, 1998) ROSENMAN M. & GERO J.S., « Purpose and function in design : from the socio-cultural to the techno-physical », *Design studies* , pp. 161-186, 1998.

(Rosenman & Gero, 1998b) ROSENMAN M. & GERO J.S., « Collaborative cad modelling in multidisciplinary design domains », *Artificial Intelligence in Structural Engineering* , pp. 335-347, 1998.

(Roucoules, 2007) ROUCOULES L., « Contribution à l'intégration des activités collaboratives et métier en conception de produit », *Mémoire de HDR*, 2007.

(Röder & Tibken, 2006) RÖDER A. & TIBKEN B., « A methodology for modeling inter-company supply chains and for evaluating a method of integrated product and process documentation », *European journal of operational research* 169 , pp. 1010-1029, 2006.

---

## S

---

(Shank & Abelson, 1977) SCHANK R. & ABELSON R., « Scripts, plans, goals and understanding: an inquiry into human knowledge structures », *L. Erlbaum, Hillsdade. NJ*, 1977.

(Sheer, 1999) SHEER A.W., « Aris-business process modeling », *Springer*, 1999.

(Shortlife & Buchanan, 1984) SHORTLIFE E.H. & BUCHANAN B.G., « Rule-based expert systems. the mycin experiments of the stanford heuristic programming project », *Addison-Wesley. Reading, MA*, 1984.

(Sienou, 2009) SIENOU A., « Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise », *Université de Toulouse*, 2009.

---

## T

---

(Tardieu, 1998) TARDIEU H., ROCHFELD A. & COLETTI R., « La méthode merise, principes et outils », *Editions d'Organisation*, 1998.

(Tavris, 1999) TAVRIS C. & WADE C., « Introduction à la psychologie : les grandes perspectives », Paris et Bruxelles, université *De boeck*, 1999.

(Théroude, 2002) THEROUDE F., « Formalisme et système pour la représentation et la mise en oeuvre des processus de pilotage des relations entre donneurs d'ordres et fournisseurs », *Thèse de Doctorat, Université de Savoie*, 2002.

[Thibault, 2008] A. THIBAUT, « Contribution à l'intégration produit-processus de fabrication, application au domaine de la forge. », *doctorat en Génie industriel*, Laboratoire de Génie Industriel et de Production Mécanique de Metz, ENSAM 2008, 2008,

(Trilling, 2004) TRILLING L., BESOMBES B., CHAABANE S. & GUINET A., « Investigation et comparaison des méthodes et outils d'analyse pour l'étude des systèmes hospitaliers », *Rapport de recherche sur le projet HRP2 : Modélisation des pratiques*, 2004.

---

## V

---

(Vallespir & al., 2003) VALLESPER B., BRAESCH C., CHAPURLAT V. & CRESTANI D., « L'intégration en modélisation d'entreprise : les chemins d'u.e.m.l. », *4e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation "Organisation et conduite d'activités dans l'industrie et les services MOSIM'03*, 2003.

(Van der Aalst, 1999) VAN DER AALST W.M.P., « Formalization and verification of event-driven process chains », *Information and Software Technology 41* , pp. 639-650, 1999.

(van der Aalst et al.,2003) VAN DER AALST W.M., TER HOFSTEDÉ A.H. & WESKE M., « Business process management : a survey », *BPM 2003, LNCS 2678* , pp. 1-12, 2003.

(Vexo, 2000) VEXO F., « Contribution à l'intégration de la simulation avec la cao : application à la construction du système de remplissage de fonderie », *Thèse de doctorat en Informatique*, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2000.

---

## W

---

(Willard, 2007) WILLARD B., « Uml for systems engineering », *Computer Standards & Interfaces 29* , pp. 69-81, 2007.

(Wordsworth, 1999) WORDSWORTH J.B., « Getting the best from formal methods », *Information and Software Technology 41* , pp. 1027-1032, 1999.

(WWW 1) [www.idef.com](http://www.idef.com)

(WWW 2) [www.ids-scheer.de](http://www.ids-scheer.de)

(WWW 3) <http://projects.gnome.org/dia/>

(WWW 4) <http://ucjeps.berkeley.edu/map2.html>

---

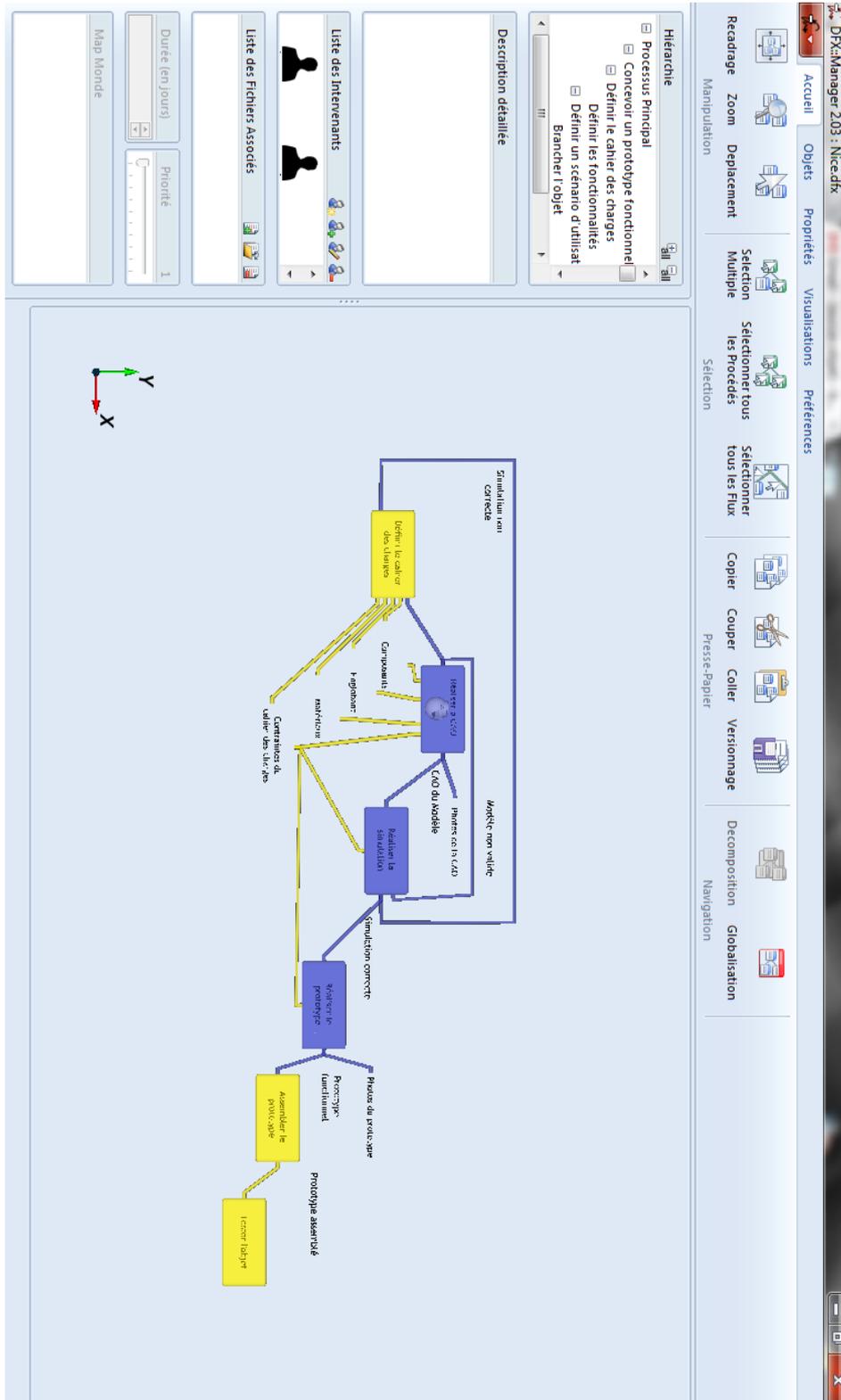
## Z

---

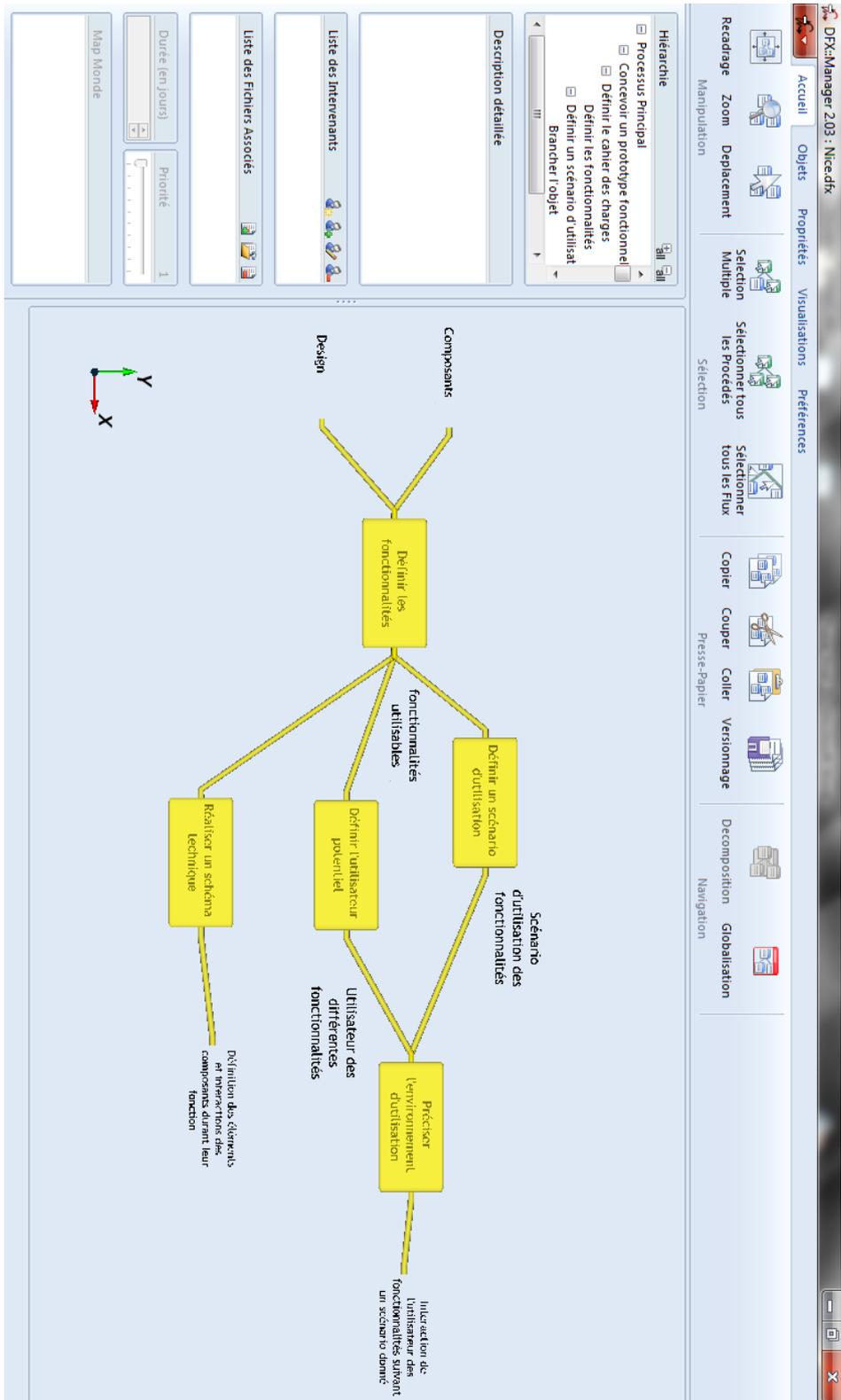
(Zouari et al., 2004) ZOUARI A., BEN BACHA H., TOLLENAERE M. & MAALEJ A., « Capitalisation des connaissances de domaine a travers un referentiel metier », *Colloque IPI, Autrans*, pp. 349-360, 2004.

# ANNEXE A : PROCESSUS GENERAL APRES AJOUT DE POINT DE VUE

Présentation du processus avec l'ajout du point de vue des étudiants de Nice et de l'IFTS.

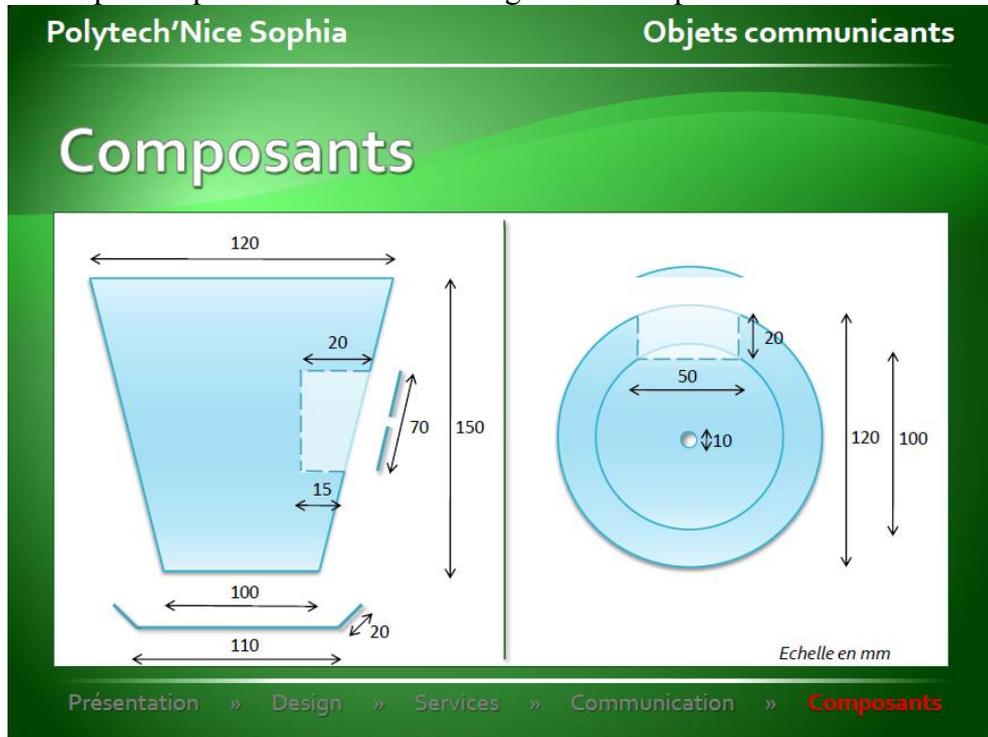


# ANNEXE B : SOUS-PROCESSUS « DEFINIR LE CAHIER DES CHARGES »

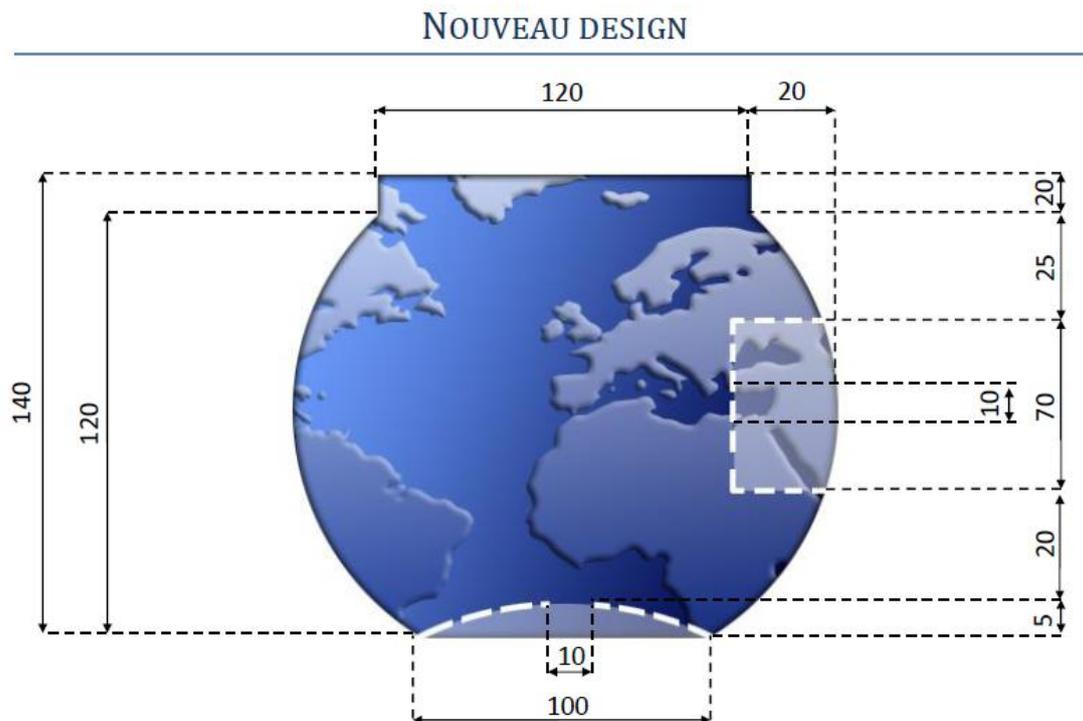


# ANNEXE C : DOCUMENTS FOURNI PAR NICE

Document fournit pour le processus « Donner l'englobant » du point de vue Nice.



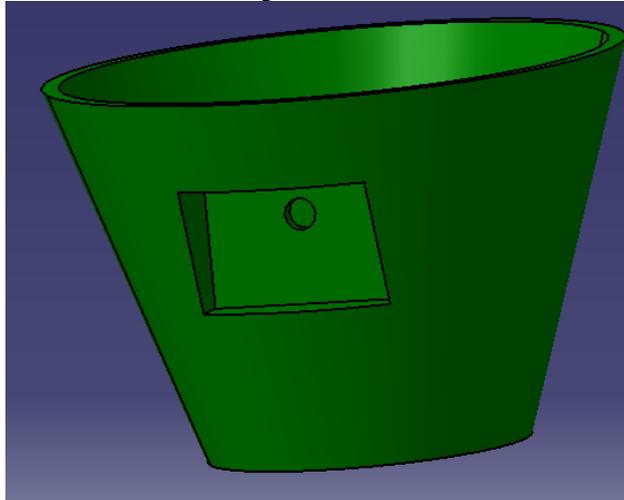
Nouvel englobant avec le nouveau design de la pièce.



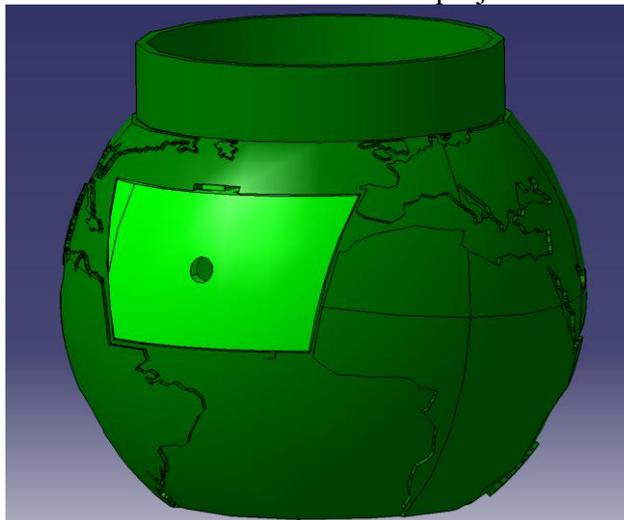
# ANNEXE D : EVOLUTION D'UN PROJET

---

Cao de départ, avec les informations données par les étudiants de Nice.



Evolution de la Cao au fur et à mesure de l'avancement du projet.



Prototype réalisé avec une machine de frittage de poudre.



# ANNEXE E : PROJETS FINAUX

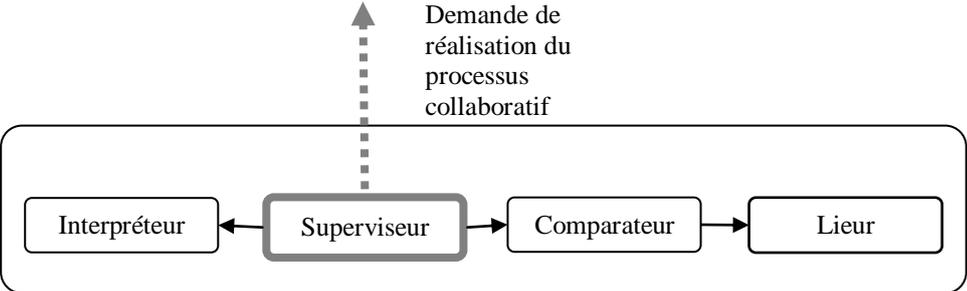
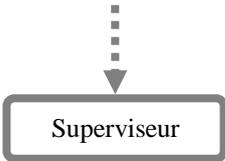
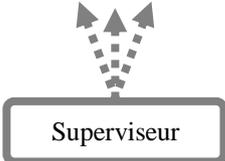
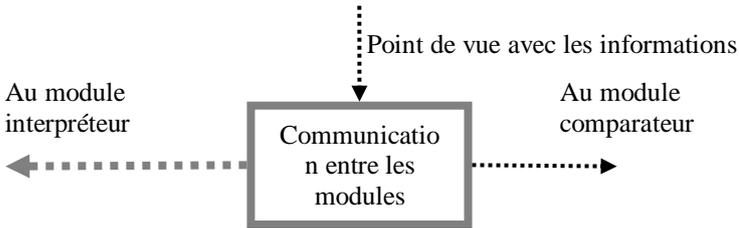
---

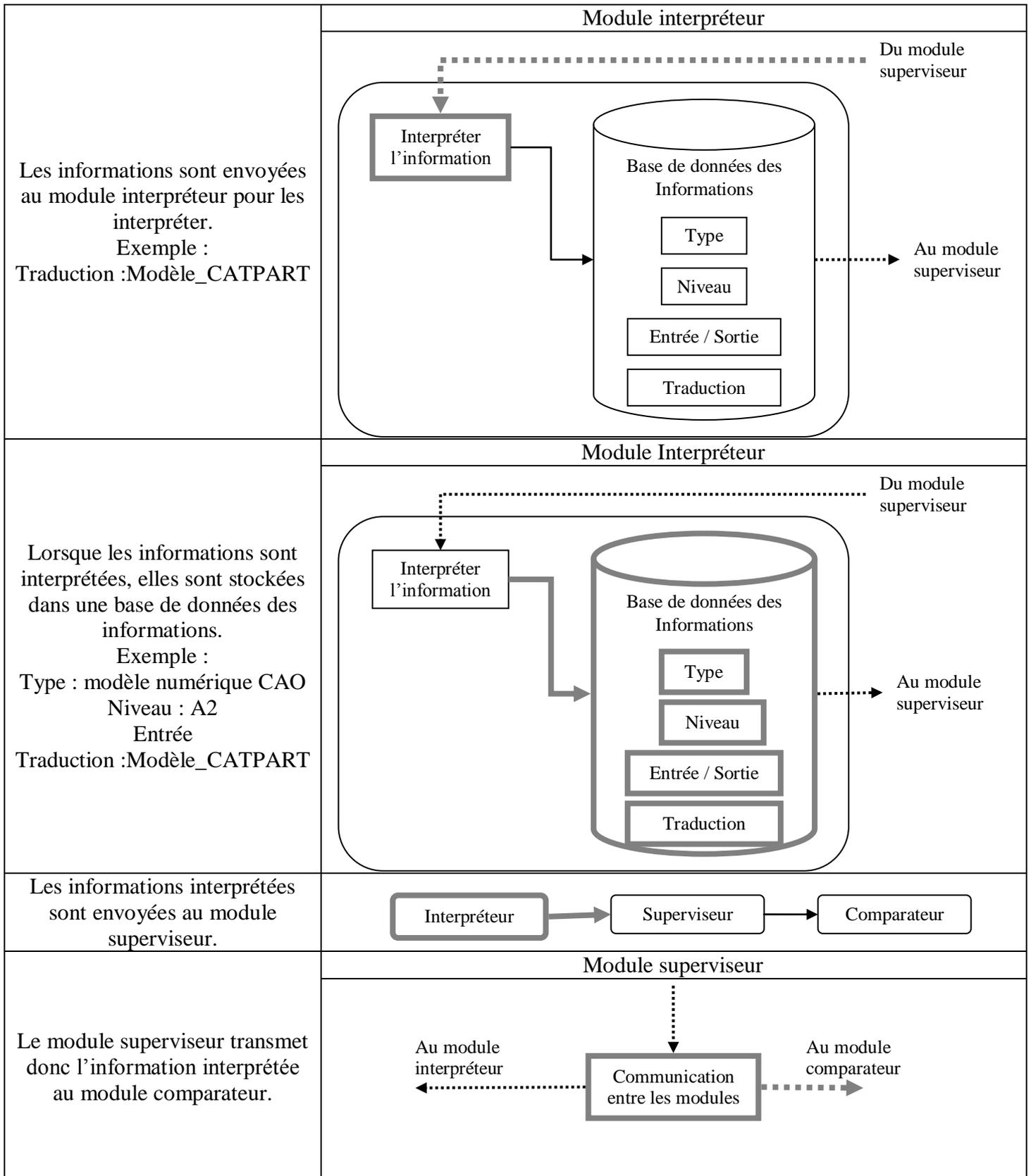
Présentation des différents projets réalisés par les étudiants de l'IFTS. Ces prototypes sont envoyés aux étudiants de Nice afin qu'ils puissent y intégrer les composants électroniques dont ils ont besoin. Les neuf projets ont abouti à un prototype fonctionnel.

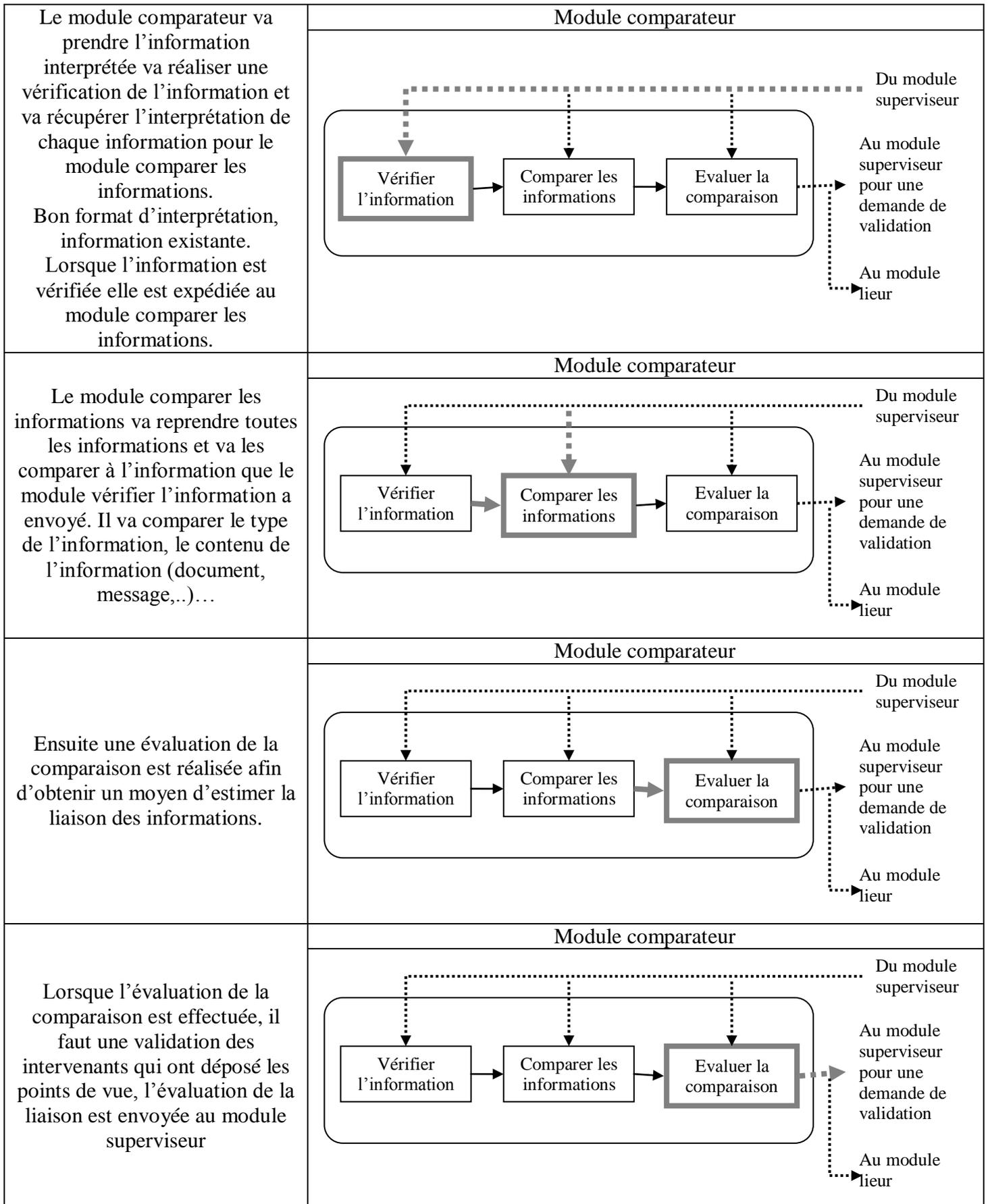


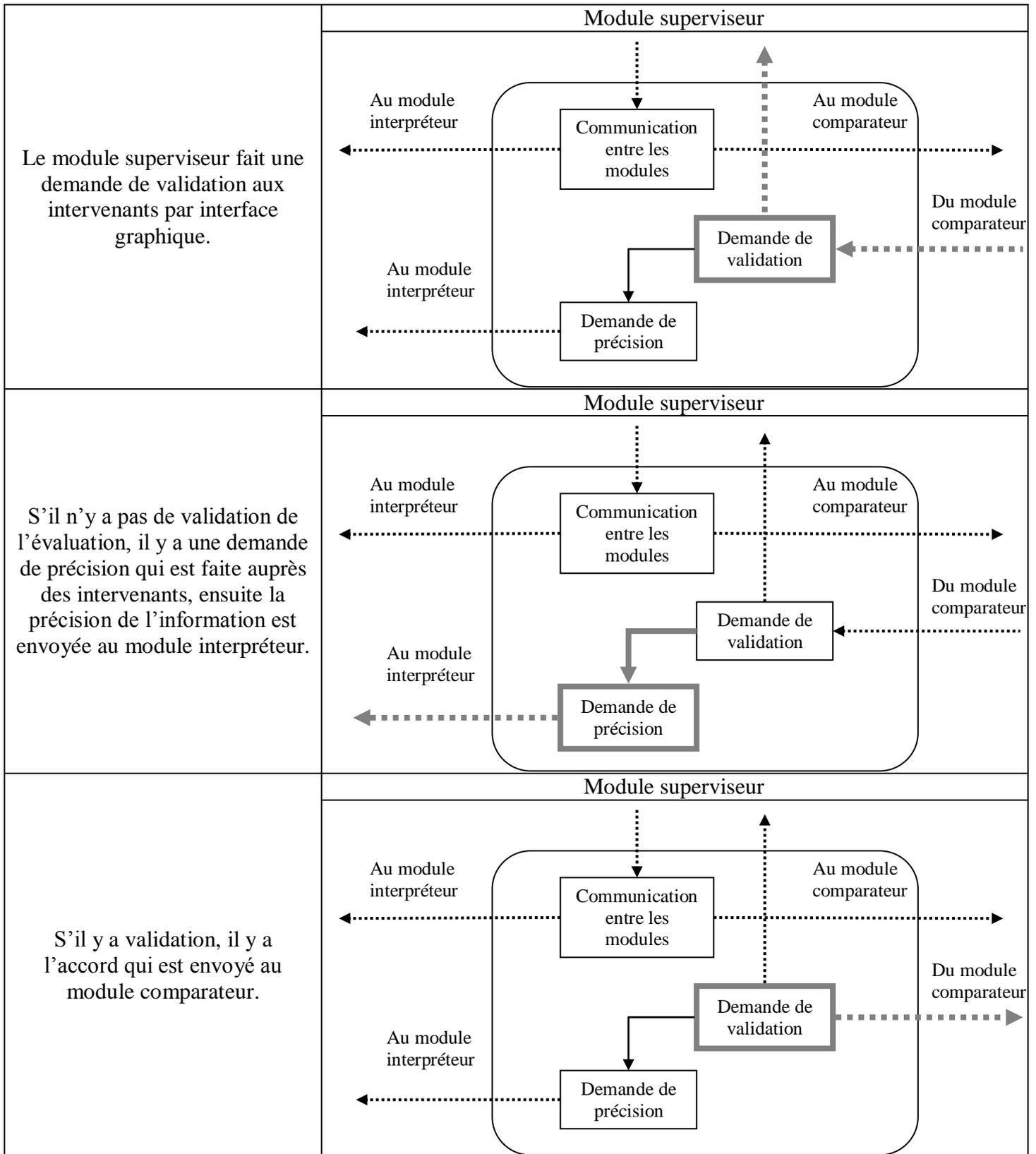
# ANNEXE F : EXEMPLE DE CREATION D'UN PROJET AVEC TOUS LES MODULES DE L'OUTIL

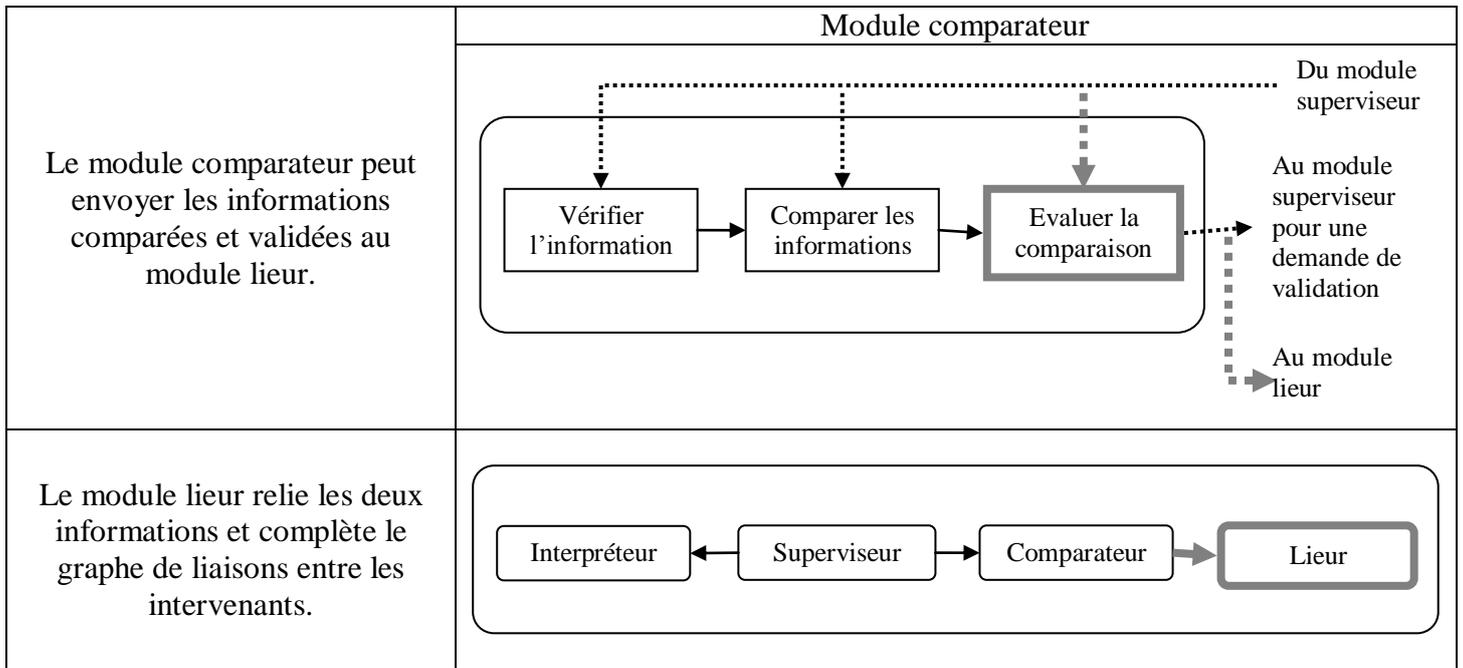
Création d'un nouveau projet qui permet de gérer l'intégration du point de vue de chaque intervenant d'un processus. Voici les événements relatifs à l'outil qui réalise la décomposition des tâches réalisées par chaque intervenant.

Commentaire	Vue du modèle
<p><u>Début :</u> Nouveau projet, le module superviseur demande la réalisation du processus collaboratif à l'intervenant chef de projet.</p>	 <p style="text-align: center;">Demande de réalisation du processus collaboratif</p>
<p>En réponse, l'intervenant chef de projet réalise le processus collaboratif. Exemple : Une partie du processus collaboratif sera « Modéliser la pièce »</p>	 <p style="text-align: center;">Processus collaboratif vierge</p>
<p>Le module superviseur se charge de transmettre le processus collaboratif à chaque intervenant du projet.</p>	 <p style="text-align: center;">Distribution du processus collaboratif vierge aux différents intervenants</p>
<p>Lorsqu'un intervenant ajoute son point de vue sur le processus collaboratif, le module superviseur va gérer la communication entre les différents modules Exemple : l'ingénieur CAO ajoute le point de vue : création d'un .catPART</p>	<p style="text-align: center;"><b>Module superviseur</b></p>  <p style="text-align: center;">Point de vue avec les informations</p> <p style="text-align: center;">Au module interpréteur      Au module comparateur</p>



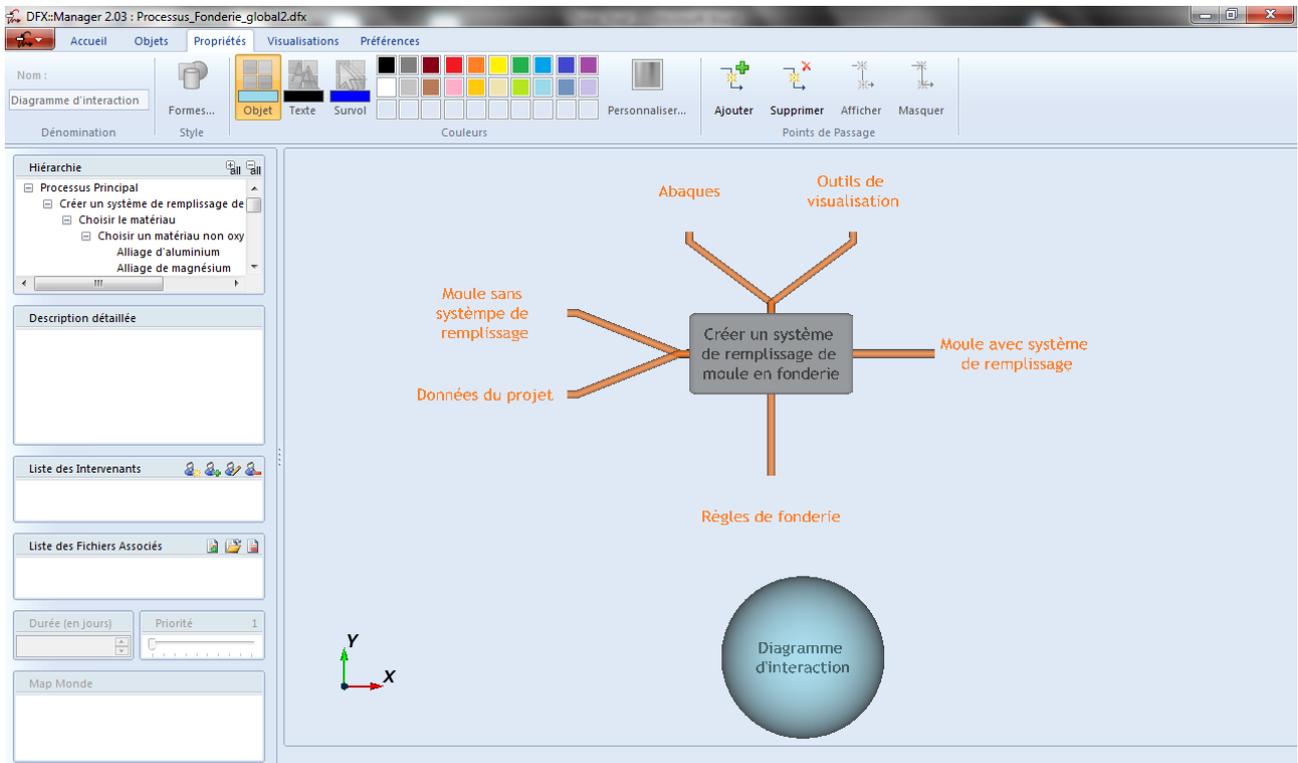




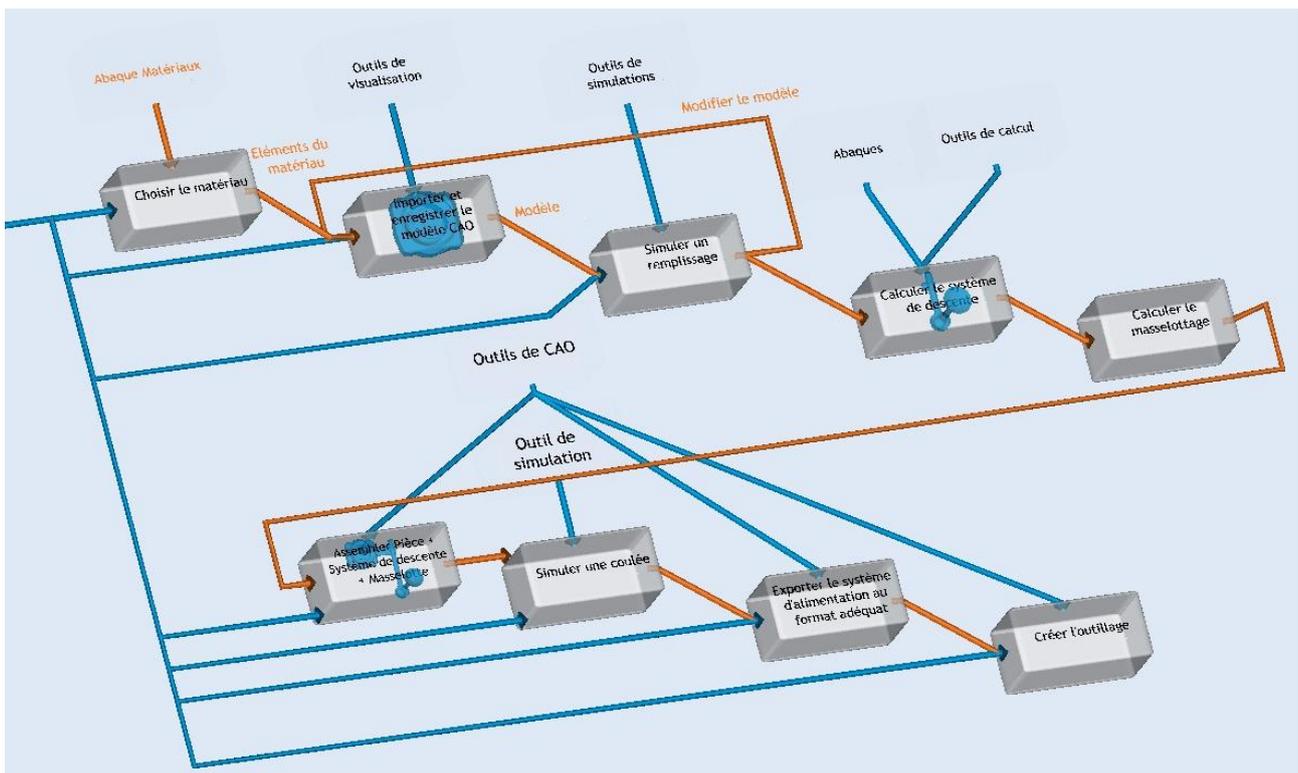


# ANNEXE G : PROCESSUS DE FONDERIE

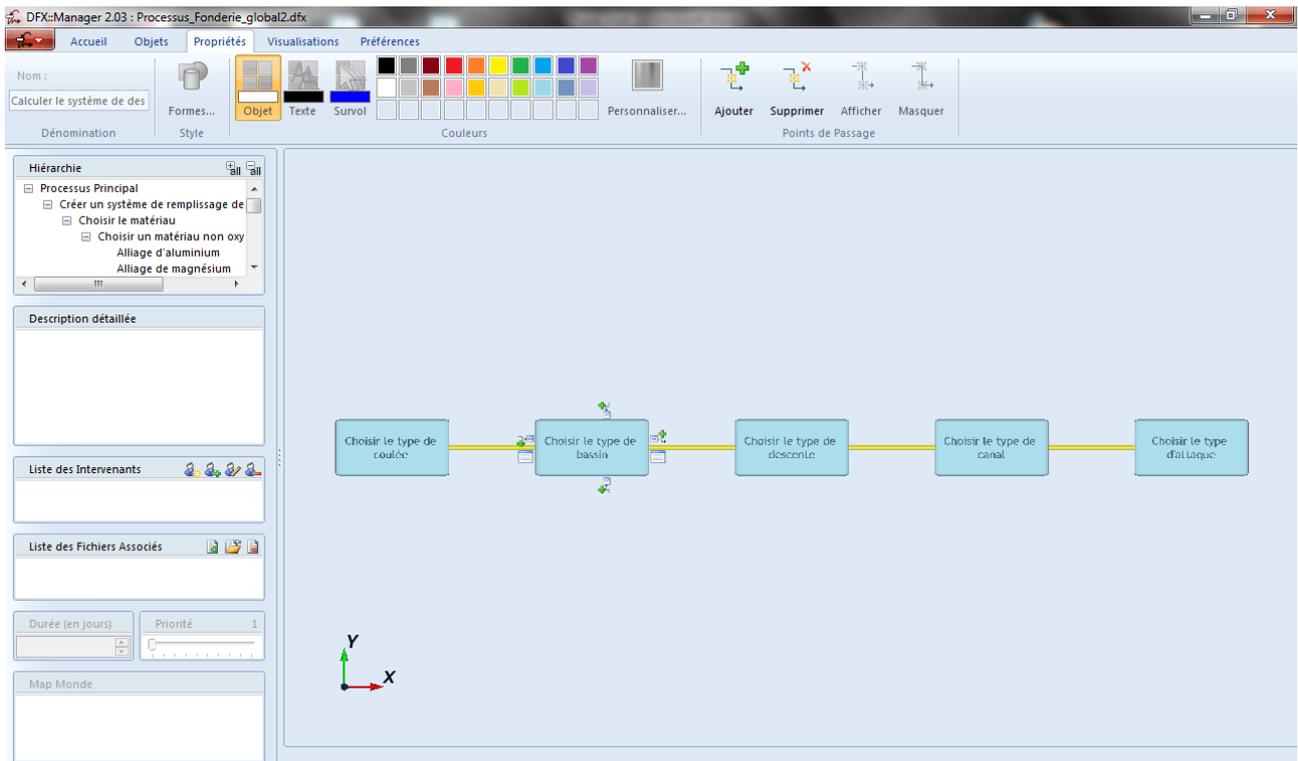
## Processus général



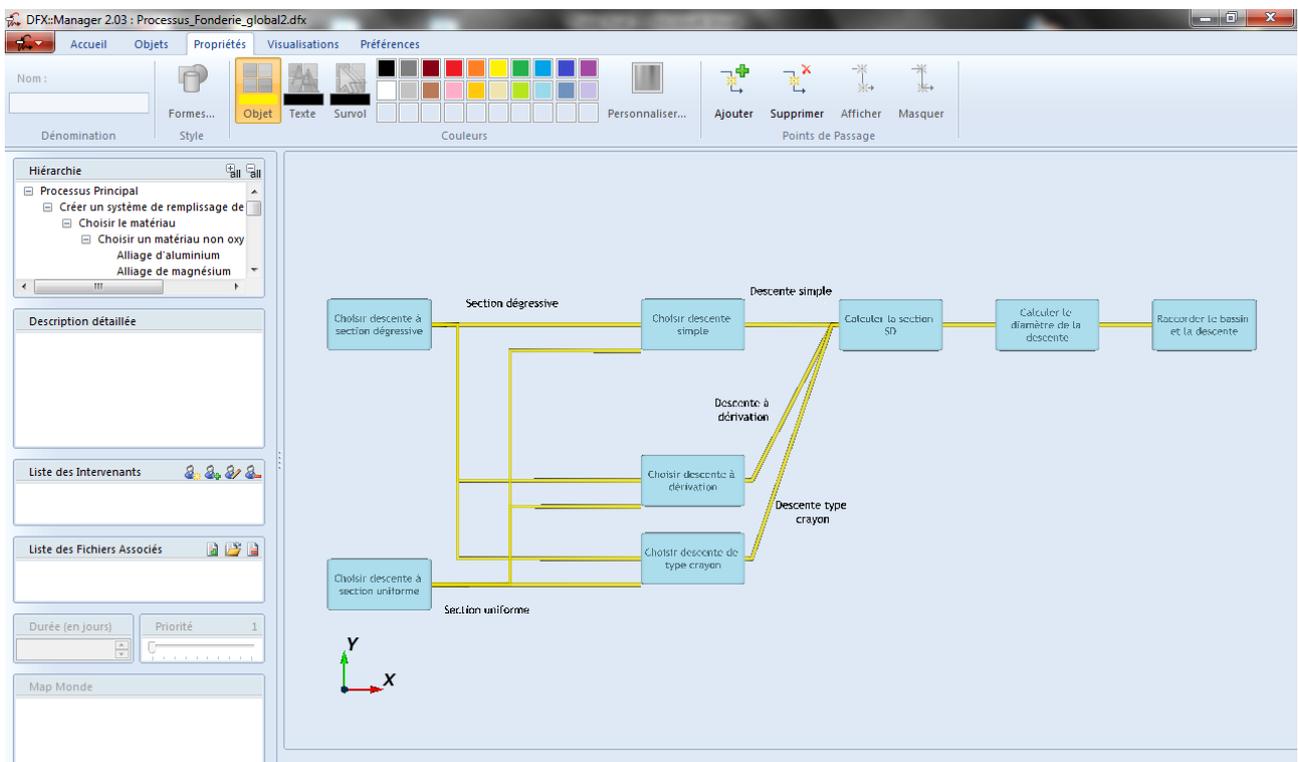
## Sous-processus général avec point de vue ingénieur CAO



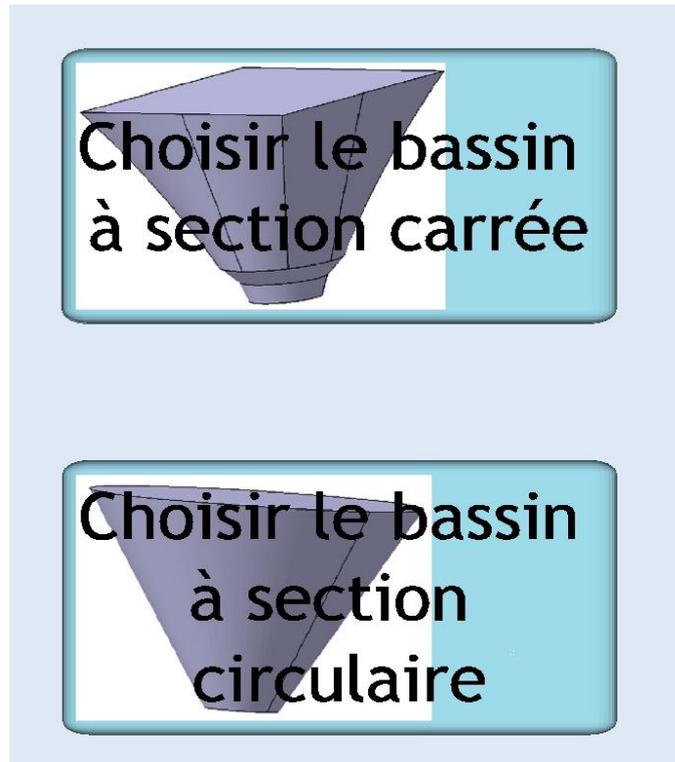
## Processus « calculer le système de descente »



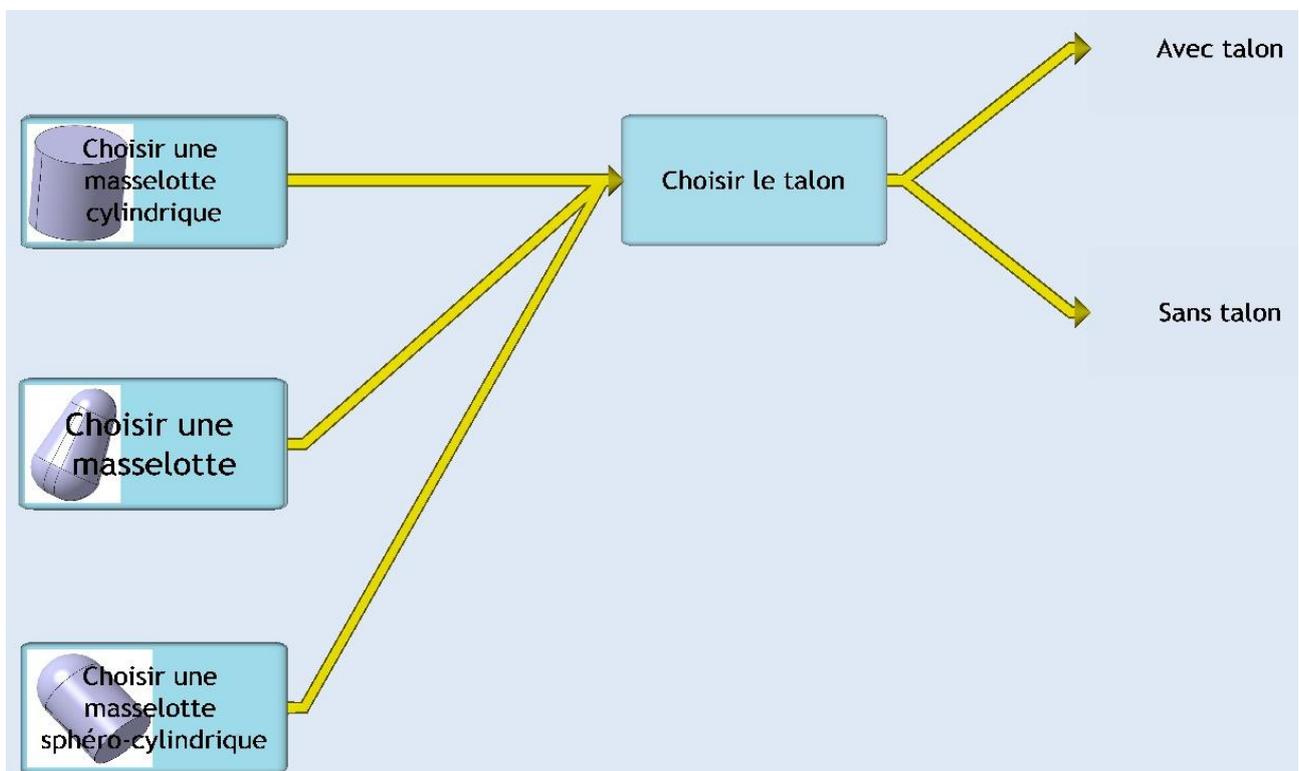
## Processus « Choisir le type de descente »



Processus « Choisir le type de bassin »



Processus « Choisir le type de masselotte »



Processus « Insérer et enregistrer le modèle CAO »

