



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**Ecole Doctorale RP2E (Ressources, Procédés, Produit, Environnement)**

**Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI)**

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

**Docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine**

en Génie des Systèmes Industriels

par **Evaristo Castro Espiritu**

**CONTRIBUTION A L'INGENIERIE DE L'INNOVATION :  
PROPOSITION D'UN CADRE DE MODELISATION POUR UN SYSTEME  
D'INNOVATION CENTRE SUR LE PRODUIT**

Soutenue publiquement le 30 avril 2010 devant la commission d'examen :

Membres du jury :

Rapporteurs :	M. Vincent Chapurlat	Professeur, Ecole de Mines d'Alès
	M. Emmanuel Caillaud	Professeur, Université de Strasbourg
Examineurs :	M. Eric Bonjour	Maître de Conférences HDR, Université de Franche-Comté
	M. Arturo Molina	Professeur, Tecnológico de Monterrey
	Mme. Frédérique Mayer	Maître de Conférences, INPL (Codirectrice de thèse)
	M. Pascal Lhoste	Professeur, INPL (Directeur de thèse)

*« On a toujours cherché des explications quand c'était des représentations qu'on pouvait seulement essayer d'inventer [...] ma main se sent touchée aussi bien qu'elle touche ; réel veut dire cela, et rien de plus [...] Les vérités sont des choses à faire et non à découvrir, ce sont des constructions et non des trésors »*

Paul Valéry (1871-1945)

*« The bee surprises the ability of more than one architect by the perfection of its wax cells, but what makes the most mediocre architect superior to the most expert bee, is that he constructs the cell in his head before constructing it in the hive »*

K. Marx, Capital, vol. 1, p. 174

*« La modélisation réduit la réalité en vue d'une certaine finalité : communiquer, former, piloter, capitaliser, simuler, reproduire, dupliquer... Pourquoi réduire la réalité à un modèle ? En se détachant du détail, en se focalisant sur l'essentiel, le modèle offre une représentation simplifiée et intelligible de la réalité. C'est par cette création intelligible, le modèle, et au sacrifice de l'exhaustivité, qu'il est possible d'agir efficacement. »*

Dominique THIAULT, « Le modélisateur »

## Remerciements

Cette thèse a été réalisée au sein de l'Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs de l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

Je remercie Monsieur Pascal LHOSTE, Professeur des Universités et Directeur de l'ENSGSI pour son rôle en tant que directeur de thèse et ses conseils précieux lors de la phase de rédaction de ce document.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Mme. Frédérique MAYER qui a su m'accompagner au long de ces trois ans d'apprentissage comme chercheur, merci pour les nombreuses relectures et corrections pendant la structuration et rédaction de la thèse.

Je remercie sincèrement Monsieur Vincent CHAPURLAT, Professeur à l'Ecole de Mines d'Alès et Monsieur Emmanuel CAILLAUD, Professeur à l'Université de Strasbourg pour avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteurs ainsi que Monsieur Eric BONJOUR et Monsieur Arturo MOLINA, pour avoir accepté d'être membres du jury en tant qu'examineurs.

Je tien à remercier Monsieur Vincent BOLY, professeur à l'ENSGSI, pour sa rigueur et son esprit scientifique et rationnel qui m'ont beaucoup aidé pour bien structurer ce document.

Un très grand merci à tous les membres de l'ERPI, mes collègues, aux enseignants ainsi que tous les membres de l'ENSGSI pour leur soutien, leur sympathie et l'ambiance de travail chaleureuse à laquelle ils contribuent tous.

Je tiens aussi à remercier le gouvernement mexicain pour son financement, sans lequel ces travaux n'auraient été possibles.

Un très grand merci à tous mes amis d'ici et d'ailleurs pour leur présence, leur soutien, leur sympathie, cette expérience n'aurait pas été la même sans vous (Sinuhé, Luis, Ricardo, Ana, Humberto, Diego, Ale, Leticia, Adan, Hugo, Rebecca, Ivan, Manuel, Griet ...).

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes parents, pour leur soutien, l'éducation qu'ils m'ont offerte et les opportunités qu'ils m'ont données pour parvenir à achever cette étape de ma vie. Cette réussite est à vous.

Merci à toi, *mi Vida*, pour ton soutien et pour ta complémentarité... *duset daram*.

# Sommaire

INTRODUCTION GENERALE .....	8
-----------------------------	---

## CHAPITRE I

1. DEFINITION : QU'EST-CE QU'UN PRODUIT INDIVIDUALISE .....	23
2. LE PRODUIT : PIVOT DE LA MODELISATION EN INGENIERIE DE L'INNOVATION.....	26
2.1 CARACTERISATION DE PROPRIETES FONCTIONNELLES D'UN PRODUIT.....	28
2.1.1 <i>Caractérisation de propriétés essentielles et inessentiels d'un produit.....</i>	28
2.1.2 <i>Caractérisation de propriétés de généralisation et de particularisation d'un produit.....</i>	29
2.1.3 <i>Caractérisation de propriétés MUST et CAN d'un produit.....</i>	30
2.1.4 <i>Caractérisation des besoins pour un produit.....</i>	32
2.2 CARACTERISATION DE PROPRIETES STRUCTURELLES D'UN PRODUIT.....	35
2.2.1 <i>Caractérisation d'un produit comme un objet .....</i>	35
2.2.2 <i>Caractérisation d'un produit comme un objet organisé.....</i>	36
2.2.3 <i>Caractérisation d'un produit comme un tout/partie.....</i>	37
2.3 PROPOSITION D'UN ARTEFACT DE PRODUIT COMME PIVOT DE LA MODELISATION EN INGENIERIE DE L'INNOVATION .....	40
3. LE SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE : PIVOT DE L'INGENIERIE DE L'INNOVATION.....	42
3.1 LE « PILLAR » DES EXIGENCES D'UN SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE .....	46
3.2 LE « PILLAR » DE LA STRUCTURE D'UN SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE .....	48
3.3 LE « PILLAR » DU COMPORTEMENT D'UN SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE .....	50
3.4 LE « PILLAR » DES PARAMETRES D'UN SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE .....	51
3.5 PROPOSITION D'UN ARTEFACT DE SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE COMME PIVOT DE L'INGENIERIE DE L'INNOVATION ....	52
4. CONCLUSION .....	54

## CHAPITRE II

1. INTRODUCTION .....	57
2. DEFINITION DU SYSTEME A FAIRE ET DU SYSTEME POUR FAIRE .....	59
2.1 COMMENT RELIER LE SYSTEME A FAIRE ET POUR FAIRE : L'APPROCHE DIRIGEE PAR LE PRODUIT.....	60
3. DES MODELES POUR L'INGENIERIE DE L'INNOVATION ... ..	61
3.1 DES MODELES D'INNOVATION ... ..	61
3.1.1 <i>Modèle de Cooper.....</i>	62
3.1.2 <i>Modèle Fuzzy Front-End.....</i>	63
3.1.3 <i>Modèle de management de l'innovation .....</i>	64
3.1.4 <i>Modèle de Rothwell.....</i>	66
3.1.5 <i>Modèle de l'Ingénierie de l'Innovation.....</i>	67
3.1.6 <i>Modèle du cycle de vie d'un produit.....</i>	68
3.1.7 <i>Modèle de Management du Cycle de Vie d'un Produit .....</i>	70
3.1.8 <i>Conclusion et synthèse sur les modèles d'innovation révisés.....</i>	73
4. DES MODELES D'INGENIERIE SYSTEME POUR L'INNOVATION .....	75
C'EST-A-DIRE : ...ELABORER UNE ISIBM DIRIGEE PAR LE SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE. ....	76
4.1 DEFINITION D'UNE ISIBM.....	76
4.2 UNE APPROCHE CONFORME AUX NORMES .....	77
4.3 MODELE DE PROCESSUS EN INGENIERIE SYSTEME .....	78

4.4	CADRES D'ARCHITECTURE EN INGENIERIE SYSTEME : NOTRE CHOIX L'APPROCHE DE ZACHMAN .....	79
4.4.1	<i>Zachman</i> .....	82
4.5	NOTRE CONTRIBUTION, NOS RESULTATS THEORIQUES...POUR UN PROCESSUS DE MODELISATION DU SYSTEME D'INNOVATION POUR FAIRE DIRIGE PAR LE SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE.....	87
4.5.1	<i>Proposition générale</i> .....	87
4.5.2	<i>Résultats en terme de modélisation : remplissage du cadre de Zachman et lien avec le SPI</i> .....	91
4.5.2.1	Niveau « Contextual » .....	91
4.5.2.2	Niveau « Conceptual ».....	93
4.5.3	<i>Synthèse des résultats</i> .....	97
4.6	... POUR MODELISER LE SYSTEME D'INNOVATION A FAIRE PRODUISANT LE SYSTEME-PRODUIT INDIVIDUALISE. .	98
4.6.1	<i>Préparation de la modélisation du système d'innovation à faire</i> .....	98
4.6.2	<i>Description de l'émergence du système d'innovation à faire</i> .....	101
4.6.2.1	Détection des signaux .....	101
4.6.2.2	Analyse du problème.....	102
4.6.2.3	Dossier d'entreprise et évaluation technique .....	103
4.6.2.4	Recherche détaillée .....	103
4.6.2.5	Développement.....	104
4.6.2.6	Qualification .....	104
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>106</b>
 <b><u>CHAPITRE III</u></b>		
<b>1.</b>	<b>OBJECTIFS EXPERIMENTAUX.....</b>	<b>109</b>
<b>2.</b>	<b>CHOIX DU TERRAIN EXPERIMENTAL .....</b>	<b>109</b>
<b>3.</b>	<b>DEMARCHE EXPERIMENTALE.....</b>	<b>111</b>
<b>4.</b>	<b>DONNEES BRUTES CONCERNANT LE PROJET DE TT .....</b>	<b>113</b>
4.1	ACTEURS DU PROJET TT .....	113
4.2	ETAPES DU PROCESSUS TT .....	115
4.3	CONCEPTS DEFINIS DANS LE PROJET DE MODELISATION DU PROCESSUS DE TT .....	116
<b>5.</b>	<b>RESULTATS EXPERIMENTAUX RELATIFS A L'APPLICATION DE L'ISIBM AU PROJET DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE .....</b>	<b>116</b>
5.1	CORRESPONDANCE DES CONCEPTS .....	116
5.2	RESULTATS RELATIFS AUX DEUX NIVEAUX DU CADRE DE ZACHMAN : CONTEXTUEL ET CONCEPTUEL.....	119
5.2.1	<i>Résultats expérimentaux sur le Niveau « Contextual »</i> .....	122
5.2.1.1	Données de base concernant le niveau contextuel .....	122
5.2.1.2	Interprétation et résultats sur le niveau contextuel.....	122
a.	Exigences du produit (Contextual Why du SAF).....	124
b.	Résultats relatifs à la Structure du produit : Diagramme de Paquetages (Contextual What du SAF).....	126
c.	Résultats relatifs au Comportement du produit : diagramme d'activités (Contextual How du SAF).....	127
d.	Comportement du produit : diagramme de séquences (Contextual When du SAF) .....	128
e.	Diagramme de sites (Contextual Where du SAF).....	129
f.	Diagramme de cas d'utilisation (Contextual Who du SAF) .....	130
5.2.2	<i>Résultats expérimentaux sur le Niveau Conceptuel</i> .....	132
5.2.2.1	Données de base concernant le niveau conceptuel.....	132
5.2.2.2	Interprétation et résultats sur le niveau conceptuel .....	133
g.	Exigences dérivées du produit (Conceptual Why du SAF). .....	134
h.	Résultats relatifs à la Structure du produit : Diagramme de blocs (Conceptual What du SAF) .....	136
i.	Résultats relatifs au Comportement du produit : diagramme d'activités (Contextual How du SAF).....	136
j.	Comportement du produit : diagramme d'états (Conceptual how du SAF) .....	137
k.	Comportement du produit : diagramme de cas d'utilisation (Conceptual Who du SAF).....	139

l.	Diagramme de sites (Conceptual where du SAF).....	140
m.	Comportement du produit : diagramme de séquences (Conceptual when du SAF) .....	140
5.3	PARAMETRES DU PRODUIT .....	141
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>142</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>147</b>
	<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>150</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>152</b>
	<b>INDEX DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>160</b>
	<b>INDEX DES TABLEAUX.....</b>	<b>163</b>

**Ce chapitre a pour objectif de décrire le contexte de nos travaux et en particulier l'importance des processus d'innovation. Il décrit ma problématique ainsi que la démarche de réflexion des travaux de recherche.**

---

## **Introduction générale**

---

## Introduction générale

L'innovation peut être définie comme toutes les activités scientifiques, technologiques, organisationnelles, financières et commerciales nécessaires pour créer, implémenter et commercialiser des produits ou processus nouveaux ou améliorés (OECD 1997). Selon les experts, l'innovation n'est pas un luxe auquel les entreprises cèdent, elle est essentielle pour maintenir un positionnement sur le marché (Tolido 2007) et donc, assurer la survie de l'entreprise. D'autre part, elle permet aussi l'amélioration du niveau de vie des personnes, la croissance économique et la création de richesse dans une communauté (Union 1995)

Cependant, en regardant la pléthore de définitions de l'innovation (Garcia et Calantone 2002) il est possible de constater que la modélisation des processus d'innovation doit encore progresser afin de répondre aux défis imposés par l'avènement des NTIC, les nouveaux paradigmes organisationnels, l'accélération des changements dans l'environnement concurrentiel, l'augmentation des exigences des clients, etc.

Mes travaux se veulent une contribution à l'ingénierie de l'innovation vue comme une démarche non-linéaire intégrée permettant de passer de l'idée d'un produit (devant satisfaire les parties prenantes) à sa mise sur le marché (figure 1). Nous nous focalisons sur le processus d'innovation au niveau d'un projet d'une entreprise et nous étudions une approche de modélisation des activités d'innovation supports du développement de cette entreprise.

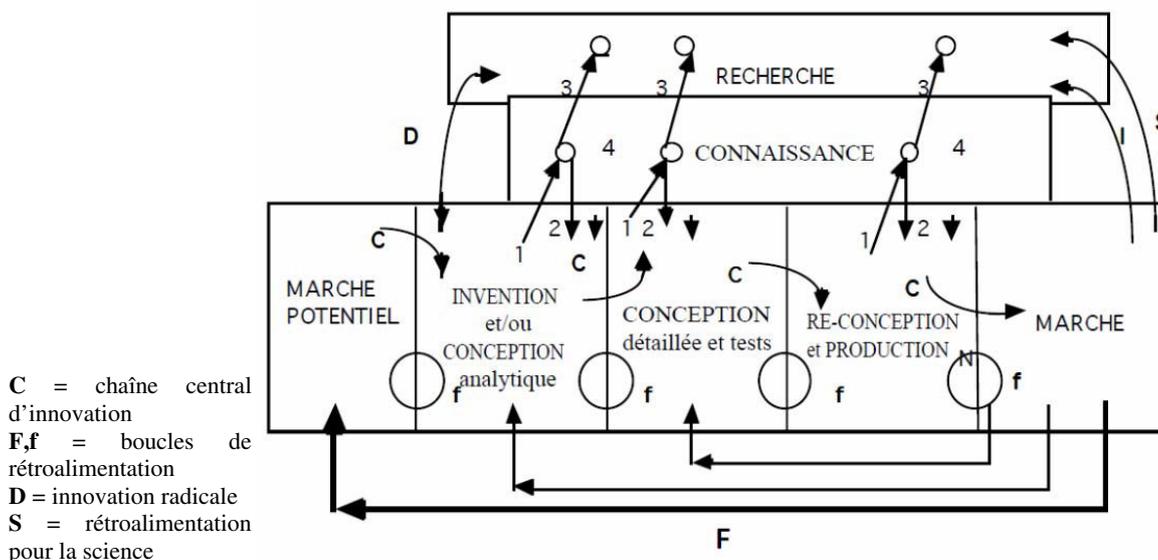


Figure 1. Modèle de la chaîne interconnectée (Kline et Rosenberg 1986).

Pour ce faire, nous basons ces travaux sur quatre principes qui seront développés au long de ce mémoire:

1. L'Ingénierie Système comme cadre théorique,
2. Le produit comme élément d'interopérabilité,
3. Le modèle du produit individualisé comme vecteur des activités d'innovation,
4. L'Ingénierie Système d'Innovation Basée sur les Modèles.

L'objectif de ces travaux est de proposer un cadre de modélisation pour un *système d'innovation centré sur le produit* qui permette d'intégrer les aspects concernant le produit à innover avec les aspects concernant son système pour l'innover.

### 1. Notre premier principe : l'ingénierie système comme cadre théorique

Ces travaux portent sur une définition de cette ingénierie de l'innovation, pour à terme faciliter son application en entreprise, en utilisant les principes de l'**ingénierie système** (Figure 2).

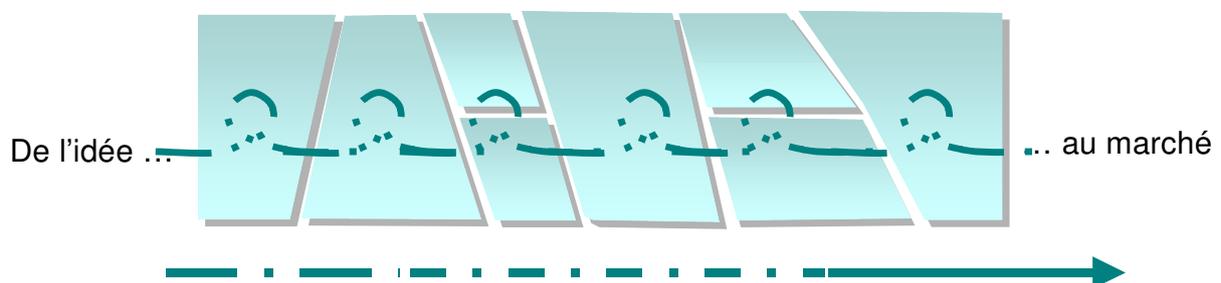


Figure 2 : Démarche intégrée d'innovation d'après (Boly 2004) et (Meinadier 2002)

*Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem. Systems Engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs (INCOSE 2006)*

*L'Ingénierie Système est une démarche méthodologique coopérative et interdisciplinaire qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir,*

*développer, faire évoluer et vérifier un ensemble de produits, processus et compétences humaines apportant une solution économique et performante aux besoins des parties prenantes et acceptable par tous (inspirée de IEEE 1220). Cet ensemble est intégré en un système, dans un contexte de recherche d'équilibre et d'optimisation sur tout son cycle de vie (AFIS 2006).*

Force est de constater que l'intégration des différentes activités d'innovation en entreprise reste un processus ad-hoc mal décrit bien que de nombreux travaux contribuent à résoudre cette problématique : capitalisation des connaissances, interopérabilité et intégration des systèmes d'information, ingénierie collaborative, plateformes d'échanges, ...

Ainsi, il apparaît nécessaire d'utiliser une démarche de modélisation construite pour prendre en compte toutes les visions et dimensions de ce que nous appellerons ici un **système d'innovation**. Un système d'innovation est un système difficile à décrire car il intègre des personnes, des outils, des méthodes, des flux d'information, des processus organisationnels... Dans la littérature, la notion de « système d'innovation » rassemble diverses tentatives d'incorporer des éléments institutionnels dans l'analyse économique du changement technique, l'architecture des systèmes scientifiques, la genèse de l'innovation technologique et d'étudier les conséquences de l'innovation sur les performances économiques de long terme des nations (note au lecteur : ce terme est donc à ne pas confondre avec le terme « système national d'innovation » qui décrit classiquement les politiques et structures qu'un état met en place pour stimuler l'innovation sur son territoire). Nous nous focalisons sur l'objectif d'une entreprise à se pérenniser dans le marché vendant des produits continuellement. Pour cela, nous définissons d'abord un système.

***Système** : combinaison d'éléments en interaction organisée pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis (ISO/IEC 15288 : 2008)*

Ensuite, nous trouvons pertinent de donner une définition d'un « système d'innovation » pour nos travaux selon notre perspective au niveau de l'entreprise.

**Système d'Innovation** : ensemble d'éléments organisés en un « système à faire » et un « système pour faire » qui cherchent à trouver une solution faisable, performante, économiquement viable et surtout **nouvelle** pour satisfaire un besoin mettant en œuvre une ingénierie avec des matériels, méthodes, processus, informations, temps, énergie et capacités humaines où toutes les parties prenantes trouvent un gain.

Nous reprenons les notions de « système à faire » et « système pour faire » de l'ingénierie système, puisque c'est notre cadre théorique.

**Système à faire**: Ensemble des activités (hors activités de réalisation) qui permettent de passer du besoin au choix de la solution cible retenue. C'est un système à dominante technologique : un ensemble de matériels logiciels, compétences humaines et processus organisé pour répondre à un besoin (AFIS 2006)

**Système pour faire**: Afin d'organiser, exécuter et coordonner toutes les activités qui conduisent à la réalisation et à la mise à disposition du système à faire, il est nécessaire de mettre en place un système doté de ressources humaines, techniques et d'information. C'est un système à dominante organisationnelle, mis en œuvre (en particulier) pour réaliser l'ingénierie des systèmes précédents (système « ingénierant »). C'est un ensemble d'équipes, de méthodes, de processus et de moyens organisé pour répondre au besoin de conception, évolution et vérification de la définition du système ingénieré. Les systèmes « ingénierant » sont organisés en projets. Plusieurs projets peuvent concerner un même système : projet pour le concevoir, projet pour le produire, projet pour le mettre en service, projet pour le faire évoluer, projet pour le retirer du service, etc. Pour simplifier, dans cette introduction, le système pour faire (système-projet) est assimilé au projet de développement amont du système conduisant au système réalisé (prêt pour être exploité). dans un contexte d'ingénierie système, un « système d'innovation pour faire » est défini comme un ensemble organisé d'équipes (réunions de compétences), de méthodes, de processus et de moyens pour répondre à un besoin, mobilisé dans un environnement technico-industriel donné (AFIS 2006)

La figure 3 illustre cette définition et établit les limites de notre problématique pour la modélisation des activités d'innovation.

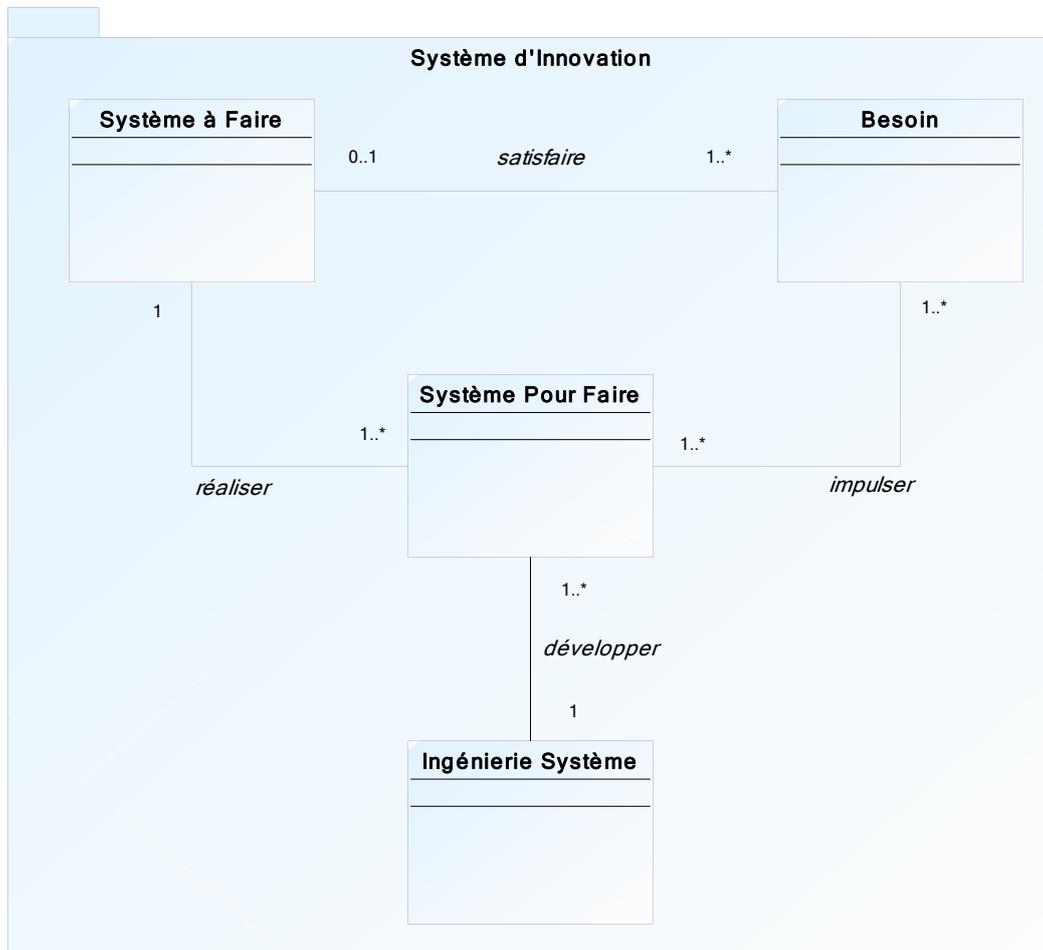


Figure 3. Système d'innovation pour mettre en œuvre l'ingénierie système afin de satisfaire un besoin.

En effet, le premier aspect de la difficulté de modéliser les processus d'innovation est lié aux activités. Concevoir le système d'innovation en entreprise comme un tout cohérent est perçu comme un processus complexe puisque il s'agit de faire interopérer "l'ensemble des activités ayant pour objet, le management individuel des femmes et des hommes, le pilotage des projets et le management global de la fonction innovation de l'entreprise (dont la supervision du portefeuille de projets)" (Boly 2004).

Le deuxième aspect complexe est lié aux savoirs. Le processus d'innovation met en œuvre nombre de savoir-faire et savoir-être. Ces savoirs doivent être identifiés, mobilisés, ordonnés en une démarche intégrée permettant d'aller de l'idée à un produit ayant un marché dont une clientèle solvable reconnaît la finalité. Certains de ses savoirs vont même être créés durant le processus d'innovation. On parle d'une ingénierie de l'innovation.

Le troisième facteur de complexité découle de l'aspect collaboratif de l'innovation (Maranzana, Gartiser et Caillaud 2008). Des phénomènes multiples d'interaction existent entre le client et le développeur de l'innovation. Citons les interrelations en ce qui concerne les besoins exprimés vis-à-vis du futur produit nouveau par d'une part le client et l'entreprise support du processus d'innovation d'autre part. La modélisation de ces interrelations doit contribuer à l'émergence d'une ingénierie de l'innovation vue comme une démarche intégrée.

*CEOs today are asking their CIOs and IT organizations to play bigger roles in the growth agenda by providing the tools for collaborative innovation; by participating in innovation initiatives of all kinds; by building an integrated platform of business processes, information, systems, and technology; and by sharing their experience and expertise in how to improve the « horizontal discipline » of the corporation. So even as much of the traditional work of IT has been automated, commoditized, and readily outsourced, today's innovation and integration challenges are drawing IT deeper than ever into the central nervous system of the corporation (Cash Jr. 2008)*

*Innovation, like many business functions, is a management process that requires specific tools, rules, and discipline" (Davila, M.J. et Robert 2005)*

De plus, dans les phases amont d'un projet d'innovation, l'intangibilité des échanges entre les différents acteurs du projet et la subjectivité des actions de créativité rendent difficile la mise en œuvre d'une démarche unifiée d'ingénierie.

Le point majeur de nos travaux est donc de considérer que le système d'innovation est un système complexe devant émerger pour chaque nouveau projet d'innovation lancé par une entreprise.

Il vise à prendre en compte les interopérations à mettre en œuvre entre les différents systèmes – pour faire l'innovation, à faire l'innovation, ... et leurs ingénieries. De plus nous chercherons à expliquer l'impact du produit dans la recombinaison des systèmes supportant le processus d'innovation en entreprise.

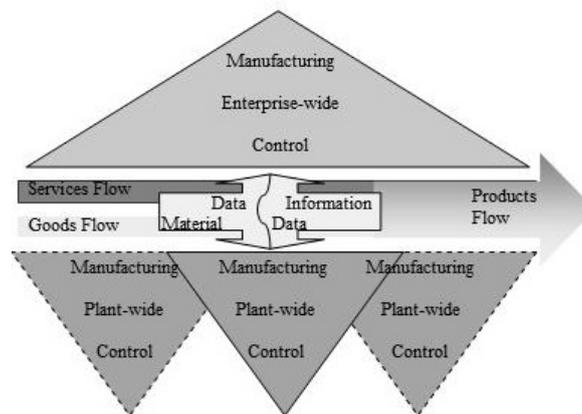
*The essence of interoperation is that it is a relationship between systems, where systems are the entities in the above definition. While our focus will be on computer-based systems, the definition extends to beyond the world of*

*mechanical systems to organizational and other contexts. To interoperate one system must provide a service<sup>1</sup> that is used by another. This cannot be achieved without, at a minimum, communication from the provider to the consumer of the service. Our focus is the relationship and not the manner of communication. (Carney et al. 2005)*

### 2. Deuxième principe de notre travail : le produit comme élément d'interopérabilité

Considérer le **produit** comme un système devant interopérer avec les autres systèmes d'entreprise est au cœur de nombreux travaux. Le produit est alors directement actif dans les différentes opérations qui le conçoivent, le développent, l'industrialisent, le maintiennent ... Il joue le rôle d'élément déclencheur et porteur d'information. Il garantit alors la continuité de l'information ainsi que la traçabilité tout au long de son processus de production.

Plus particulièrement, le concept de "Système Contrôlé par le Produit" est une représentation générale des interopérations entre un produit et les systèmes d'information constitutifs de son système de production pour plus d'"intelligence" et d'interopérabilité au sein du processus de production en entreprise.



**Figure 4. Product-driven manufacturing enterprise-wide control (Morel et al. 2007b)**

Pour établir les interopérations entre nos systèmes concernés par l'innovation, nous avons alors postulé que le produit (en cours de conception) peut être considéré comme un système à part entière. Ce système jouerait le rôle d'un pivot afin d'assurer « lui-même » la continuité de son information depuis sa caractérisation intangible jusqu'à sa caractérisation tangible tout au long de son processus d'innovation.

Nous dirons alors que le concept de « Système d'Innovation centré sur le produit » est une représentation générale des interopérations existantes entre les différents systèmes concernés par l'innovation, y compris le système-produit à innover. Le produit à innover est considéré comme actif et comme vecteur d'une démarche intégrée de l'innovation au sein du système entreprise.

### 3. Troisième principe de notre travail : le produit individualisé

Le concept de « Système contrôlé par le produit » nous permettait de poser les bases pour la définition d'un système-produit à innover en nous intéressant au phénomène d'individualisation des produits (ou produit individualisé). L'idée étant d'étudier les produits qui sont adaptés au client dès les étapes amont de la production.

Pour définir le produit individualisé, nous nous sommes inspirés des travaux en « mass customization » et personnalisation des produits (Da Silveira 2001) (Duray 2000) (MacCarthy 2003) (Piller 2000). Cependant, ces définitions concernant la customisation, personnalisation ou individualisation des produits ne suffisaient pas pour nos objectifs de modélisation. Ainsi, comme nous montrons dans le chapitre 1, nous avons défini un produit individualisé comme un objet à faire à partir des caractéristiques propres à lui et à sa relation avec son environnement. Voici trois définitions d'un produit individualisé selon les critères retenus dans ces travaux.

***Produit individualisé<sup>1</sup>** : produit ayant eu une influence sur ses propriétés essentielles (de base) et inessentiels (d'individualisation) de la part de son futur utilisateur pendant son processus de réalisation (pendant la conception, fabrication, assemblage, achat) afin de répondre exactement à ses besoins et désirs.*

***Produit individualisé<sup>2</sup>** : produit ayant des propriétés lui permettant d'agir sur son environnement comme un tout cohérent et organisé tenant en compte de ses alentours et pouvant s'informer, communiquer et prendre des décisions concernant sa destinée.*

***Produit individualisé<sup>3</sup>** : entité virtuelle structurée ayant les capacités de s'informer, communiquer et prendre des décisions et pour finalité de satisfaire le besoin d'un futur utilisateur. Cette entité utilise ses capacités pour prendre en compte les contraintes de son environnement pour se faire réaliser à travers du « système à faire » et organisant le « système pour faire ».*

Cette troisième définition du produit individualisé nous a permis de postuler que c'est à partir du modèle du produit individualisé qu'émerge son « système à faire » et son « système pour faire », étant eux-mêmes individualisés par rapport aux exigences du produit (figure 5).

Le résultat de cette démarche est un modèle de système-produit individualisé à partir duquel nous proposons de construire une démarche de réflexion prescriptive pour modéliser le système d'innovation à faire et ses ingénieries associées plutôt qu'une démarche descriptive "normant" la démarche d'innovation selon des cadres métiers plus ou moins partiels.

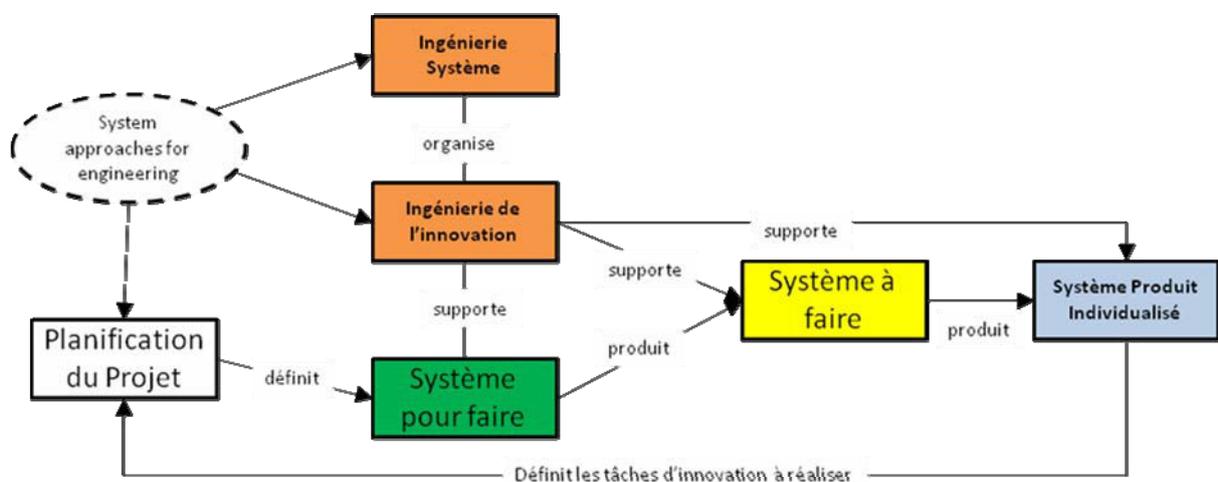


Figure 5. Notre démarche en Ingénierie Système.

#### 4. Quatrième principe de notre travail : l'ingénierie système d'innovation basée sur les modèles (ISIBM)

Une première tentative de construction de cette démarche nous a conduits à utiliser la cadre de modélisation de Zachman (Sowa et Zachman 1992), à l'instar d'autres travaux (Auzelle 2009). Ce cadre a pour particularité de structurer la démarche de modélisation de systèmes complexes tels que les systèmes d'information en entreprise. Chaque cellule du cadre Zachman contient des éléments du système à modéliser et est le résultat du croisement entre des lignes d'interrogations - What, How, When, Who, Where, and Why - pertinentes sur le système et des colonnes de description – de l'idée abstraite à son instanciation – du système.

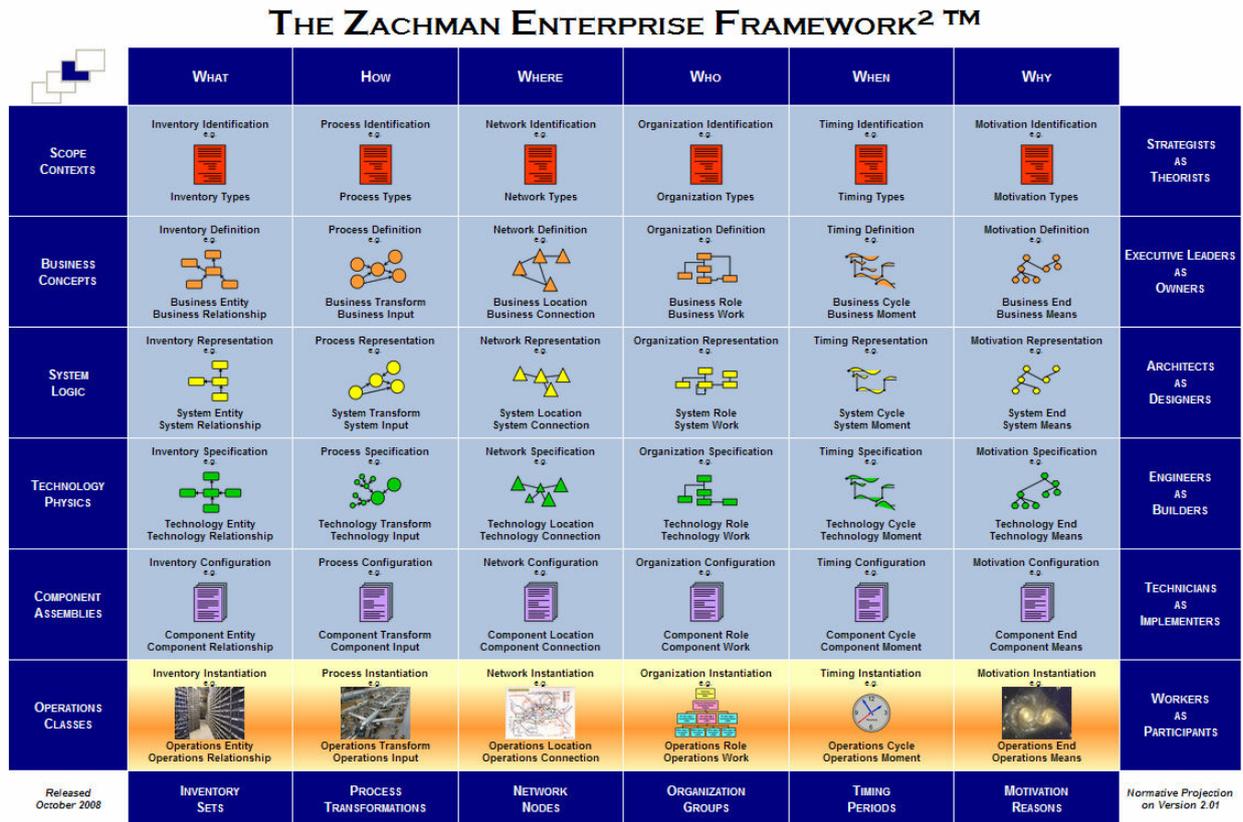


Figure 6. Cadre Zachman ([www.zifa.com](http://www.zifa.com))

Cependant, afin de respecter notre hypothèse d'existence d'un système-produit à innover et pour établir les interopérations entre ce système et ceux (à faire, pour faire, ...) concernés par son innovation, l'utilisation d'un cadre Zachman pour chaque modélisation de système n'était pas suffisante pour assurer la modélisation du système d'innovation comme un tout cohérent, à savoir le système-produit en interopération étroite avec le système à faire l'innovation et le système pour faire l'innovation associé.

Nous avons alors proposé de compléter chaque cellule du cadre Zachman actuel avec les éléments du système-produit pour constituer un cadre de modélisation incluant ensemble les éléments de description du produit à innover avec ceux des systèmes participant à son processus d'innovation (figure 7).

Evolution du produit



	What	How	Where	Who	When	Why
Contextuel (MOA)	Package diagram UML & definition diagram Use Case diagram	Activity diagram Use Case diagram UML & definition diagram UML & definition diagram	Diagramme de sites	Use Case diagram Activity diagram UML & definition diagram	Sequence diagram Activity diagram	Requirement diagram
Conceptuel (MOE-1)	UML & definition diagram	Activity diagram UML & definition diagram UML & definition diagram	Diagramme de sites	Use Case diagram Activity diagram UML & definition diagram	Sequence diagram Activity diagram	Requirement diagram
Logique (MOE-2)	Package diagram Block definition diagram Internal block diagram	Activity diagram UML & definition diagram State diagram Sequence diagram	Internal block diagram	Use Case diagram Sequence diagram	Sequence diagram State diagram	Requirement diagram
Technique (realisateur)	Package diagram Block definition diagram Internal block diagram	Activity diagram UML & definition diagram UML & definition diagram UML & definition diagram Internal block diagram	Internal block diagram	Use Case diagram Activity diagram	Sequence diagram State diagram	Requirement diagram
Opérationnel (opérationnel)	Parametric diagram	Parametric diagram Activity diagram	Parametric diagram	Use Case diagram Activity diagram Parametric diagram	Sequence diagram State diagram Parametric diagram	Requirement diagram Parametric diagram

Figure 7. Proposition d'un cadre de modélisation, basé sur la cadre Zachman, incluant le système-produit à innover

Ce faisant, nos travaux se veulent une contribution au concept de "Système Contrôlé par le Produit" et plus particulièrement au concept de « Système d'Innovation centré sur le produit » en proposant une démarche cohérente de modélisation par les systèmes des relations d'interopération centrées sur le produit à innover, afin de supporter une véritable **ingénierie système de l'innovation** en entreprise.

Pour établir les interopérations au sein du système d'innovation et donc faire émerger les différents systèmes (pour faire, à faire) associés au système-produit à innover, nous avons alors appliqué un procédé d'Ingénierie Système Basée sur les Modèles (Estefan 2008). Ce procédé a compris les niveaux contextuels et conceptuels du cadre Zachman, correspondant au rôle joué par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre de rang 1. Ce travail de modélisation s'est fait par projection du modèle du système-produit (défini au chapitre 1) sur le cadre de modélisation Zachman. A l'instar des 3 logiques autour de la tâche (Meinadier 2002), le modèle du *système-produit individualisé* guide le *système pour faire* et de là émerge le *système à faire* qui réalise le système-produit individualisé. La liaison entre les trois systèmes c'est chaque tâche d'innovation que le produit demande sera supportée (réalisée) par le système à faire et organisé par le système pour faire (figure 8).

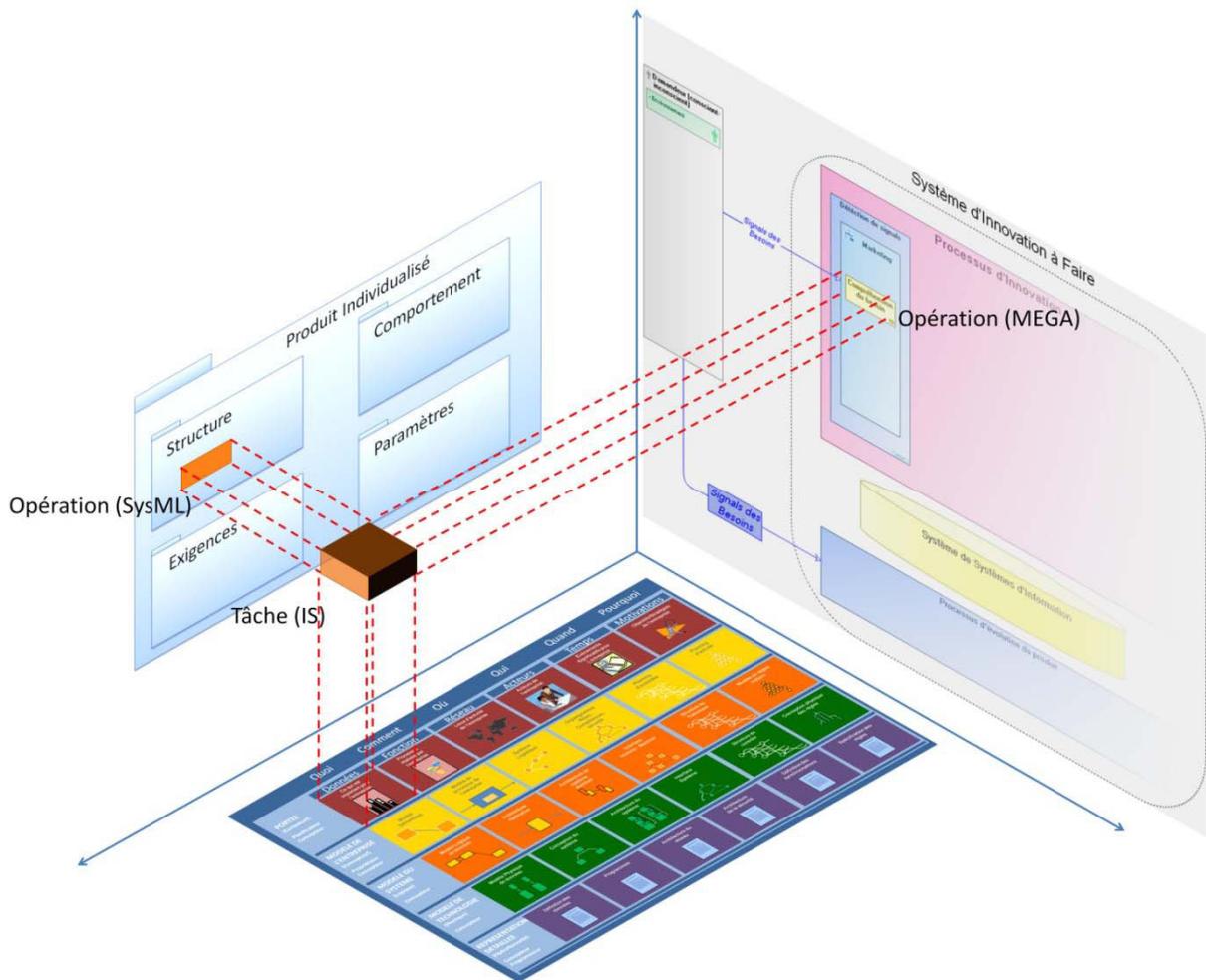


Figure 8. Début du processus individualisé d'innovation et de l'émergence du système à faire.

Nous considérons que cette démarche peut être vue comme une instantiation de l'ISBM pour l'innovation, c'est-à-dire : une ingénierie système d'innovation basée sur les modèles (ISIBM).

L'organisation de ce mémoire reflète la démarche d'ingénierie système de l'innovation que nous avons appliquée tout au long de nos travaux :

- **Chapitre 1 : Du produit au système individualisé en ingénierie de l'innovation.** Ce chapitre montre comment un produit peut être décrit de manière précise sous forme d'un système. Sachant que ce système a plusieurs modes de représentation : physique, informationnelle... que nous allons intégrer dans une vision unique. Nous chercherons à montrer les spécificités de ces modèles dans le cas de produits individualisés. In fine nous voulons obtenir un modèle de produit individualisé que l'on pourra ensuite aisément connecter avec d'autres modèles concernant cette fois les processus d'innovation. Les principaux paragraphes que l'on verra dans ce chapitre sont :

- Définition d'un produit individualisé.
- Le produit comme pivot de la modélisation en Ingénierie de l'Innovation.
- Le système produit individualisé comme pivot de l'Ingénierie de l'Innovation.

- **Chapitre 2 : De l'ingénierie de l'innovation, à une ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles.** Ce chapitre a pour objectif de proposer la démarche pour modéliser un système d'innovation et ses ingénieries associées. Nous postulons que le modèle descriptif du système d'innovation doit émerger du modèle du produit individualisé. Ceci afin d'être conçu comme un tout cohérent et permettre l'adaptation pour chaque recombinaison du système d'innovation pour satisfaire un donneur d'ordre. Pour ce faire, nous proposons une démarche de modélisation centrée sur le produit individualisé qui permet de structurer et d'organiser les deux autres modèles d'ingénierie que nous détaillerons ci-après : le « système-projet pour faire l'innovation » duquel émergera le « système à faire l'innovation ». Les principaux paragraphes que l'on verra dans ce chapitre sont :

- Définition du système à faire et du système pour faire en innovation.
- Des modèles pour l'ingénierie de l'innovation.
- Des modèles pour l'ingénierie système de l'innovation.
- Proposition d'une démarche d'ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles.

- **Chapitre 3 : Scénario d'application de l'ISIBM dans un projet de transfert de technologie** Ce chapitre constitue la partie expérimentale de notre recherche. Il a pour objectif de proposer un scénario d'application de notre ingénierie système de l'innovation basé sur les modèles (ISIBM). Ce scénario est basé sur un projet industriel ayant pour objet la spécification d'un produit innovant dans le cadre d'un transfert de technologie entre un centre technique et une PME. Les principaux paragraphes que l'on verra dans ce chapitre sont :

- Objectifs expérimentaux.
- Choix du terrain expérimental.
- Démarche expérimentale.

- Résultats expérimentaux relatifs à l'application de l'ISIBM au projet de transfert de technologie.

**- Chapitre 4 : *Conclusion générale et perspectives***

Ce chapitre nous permettra de conclure quant à nos contributions, aux limites de nos approches et sur les perspectives qu'elles ouvrent.

Ce chapitre montre comment un produit peut être décrit de manière précise sous forme d'un système. Sachant que ce système a plusieurs modes de représentation : physique, informationnelle... que nous allons intégrer dans une vision unique. Nous chercherons à montrer les spécificités de ces modèles dans le cas de produits individualisés.

**Chapitre 1**  
**Du produit au système individualisé en Ingénierie de l'Innovation**

In fine nous voulons obtenir un modèle de produit individualisé que l'on pourra ensuite aisément connecter avec d'autres modèles concernant cette fois les processus d'innovation.

---

## 1. Définition : qu'est-ce qu'un produit individualisé

Depuis quelques années, l'expression des besoins d'utilisateurs a significativement évolué. En effet, aidé en cela par l'expansion des nouvelles technologies de l'information, le futur utilisateur ne se limite plus à la seule description des spécifications techniques du produit attendu mais à la possibilité de décrire ce produit à travers les solutions qu'il peut lui fournir lors de son utilisation (de la Brestsche, 2000) (CEN, 2000) (Bouissières, 2008).

D'un point de vue pratique, cette vision de l'expression des besoins correspond à de nouveaux concepts organisationnels en entreprise tels que la « mass customization » (Pine II, 1993) (Piller, 2000), le « produit intelligent » permettant de rendre compte de la production individuelle de chaque produit grâce à sa traçabilité (Wong, 2002) (McFarlane, 2003).

D'un point de vue ingénierie, cette vision conduit les industriels à percevoir chaque produit à réaliser comme devant fournir au minimum UNE solution pour satisfaire UN utilisateur donné. Ainsi, l'ingénierie des exigences est devenue une étape importante dans la prise en compte des besoins personnalisés des utilisateurs afin de s'assurer que le système ou le produit livré soit capable de réaliser les fonctions attendues par les parties prenantes.

La littérature n'est pas très précise pour donner une définition du concept de produit individualisé (Piller, 2005). On notera toutefois les éléments suivants communs à différents auteurs. Le produit individualisé est un produit qui peut être produit en série, en grande quantité (Blecker T. A., 2005), il correspond à des besoins de clients particuliers c'est-à-dire qu'il satisfait l'utilisateur de manière variable selon celui-ci. Le produit individualisé est le résultat d'un cycle de conception et d'évolution. Il s'adapte et se configure au gré des décisions de concepteurs. Notons que le client lui-même peut in fine transformer un produit configurable en produit individualisé. L'aspect individualisé n'est pas toujours le fruit d'une combinaison particulière (voulu par le client) dans un ensemble préétabli de composants standards. Le client peut plus en amont intervenir sur le design même du produit, ce qui nécessite de sa part une maîtrise technique.

Un exemple typique des produits individualisés sont les ordinateurs Dell. L'entreprise Dell a été créée en 1984 et est considérée comme le second plus important fabricant mondial de PC. Elle applique une stratégie de « mass customization » afin d'offrir aux clients l'opportunité de créer eux même leurs ordinateurs « individualisés » et ainsi couvrir au maximum ses besoins et désirs (Ro Y.K., 2007).

D'un point de vue de l'ingénierie de l'innovation, cette prise en compte particulière des besoins des utilisateurs est une des étapes clés qui impacte : la veille technologique, la construction de concepts (créativité, analyse de la demande, ...), d'enrichissement de ces concepts (analyse de marchés, analyse technique, ...), leur matérialisation et les essais. Ces tâches visent à transformer un besoin en une solution individualisée à réaliser de manière collaborative pour satisfaire le futur utilisateur. En ce sens, l'ingénierie de l'innovation doit être vue comme une démarche intégrée (Boly, 2004) pour laquelle l'application du principe d'intégration en entreprise (Vernadat, 1996) (Chapurlat, 2007) (Chen D., 2008) est essentielle. Le but est d'organiser les éléments, les relations et les ingénieries associées comme un tout cohérent vis à vis du produit à innover (devant satisfaire son utilisateur).

Ainsi, le concept d'objet individualisé est abordé dans plusieurs disciplines, allant de la Philosophie (Simondon, 1958) (Gracia, 1988) à l'Ingénierie Système (Van Gaasbeek, 2000) en passant par les Sciences Economiques (Rosenberg, 1996) (Muther, 2000) (Blecker T. A., 2005) et les Sciences du Génie Logiciel (Beuche, 2004).

Ces recherches insistent moins sur les définitions du concept de produit individualisé (comme indiqué ci-dessus) que sur le moment de l'individualisation. Le tableau 1 ci-dessous fournit une classification des moments d'individualisation d'un produit basée sur les recherches en « mass customization » (Duray, 2000) (Piller, 2000) (Da Silveira, 2001) (MacCarthy, 2003).

**Tableau 1. Niveaux d'individualisation d'un produit.**

Niveau	Nom	Description
L0	Standardisation	L'interaction entre le client et le système-entreprise pour créer le produit est très faible, il n'y a pas d'individualisation. Ce niveau comprend des produits faits en très grandes quantités, ses qualités sont plutôt basiques.
L1	Usage	L'individualisation est faite quand le client a le produit physique, manuellement ou automatiquement, selon le niveau de sophistication du produit. Le système-entreprise prend en compte certains besoins du client pour la conception de ces produits.
L2	Achat	L'individualisation a lieu chez le revendeur. Elle peut être faite sur le produit ou sur les services avec lesquels le produit est vendu. A ce niveau, l'individualisation concerne l'interaction entre le client et le revendeur.

## Chapitre 1 : Du produit au système individualisé en Ingénierie de l'Innovation

L3	Assemblage	L'individualisation peut avoir lieu dans l'étape du fournisseur logistique ou dans l'étape de fabrication. Il est possible qu'à ce niveau le revendeur ait moins d'importance. Ce niveau d'individualisation peut comprendre l'emballage et la distribution du produit. L'utilisation de modules standardisés est évidente. Le client peut choisir les modules "must" et "can" de son produit (e.g. ordinateurs Dell).
L4	Fabrication	Il existe un haut niveau d'intervention du client. Il peut choisir parmi des designs prédéfinis et les modifier en respectant les contraintes des aspects essentiels et inessentiels du produit (coûts, processus, paramètres, etc.). Il y a besoin d'un certain niveau d'expertise technique de la part du client concernant le produit.
L5	Design	Ce niveau trouve le plus haut niveau d'individualisation. Le produit est conçu à 100% pour satisfaire les besoins spécifiques du client. Ce niveau d'individualisation peut concerner une innovation, puisqu'il s'agit de concevoir le produit qui satisfera un besoin spécifique, peut-être d'une façon nouvelle.

De plus, beaucoup de recherches portent sur deux aspects fondamentaux :

- l'organisation industrielle capable de produire ces produits de manière fiable et économiquement viable (Piller, 2000) (Duray, 2000) (Da Silveira, 2001) (MacCarthy, 2003),
- l'analyse des besoins spécifiques par catégories de clients (cette analyse cherchant bien évidemment à descendre jusqu'au niveau individuel) (Muther, 2000) (Van Gaasbeek, 2000) (Blecker T. A., 2003)

Par ailleurs, le concept de système est au cœur de la discipline d'Ingénierie Système en tant que multidisciplinaire permettant de concevoir un objet complexe en se basant sur des principes issus de théories liées aux approches systèmes (Wiese P. 2002) (Sousa-Poza A. 2008).

Afin de définir ce qu'est ce système-produit individualisé, nous proposons donc dans un premier temps de le caractériser et de le formaliser à l'aide de la méthode ORM (Halpin, 1995) afin d'extraire du discours des disciplines concernées les différentes propriétés nécessaires à sa caractérisation. Cette méthode permet de formaliser et de valider les connaissances exprimées en langage naturel pour décrire le comportement d'objets réels en utilisant des règles stables, ce qui lui garantit un contenu sémantique maximal. Puis, dans un deuxième temps, nous proposons de spécifier ce modèle conceptuel obtenu en un modèle de système-produit individualisé, décrit en langage SysML. Ce langage nous permet de le considérer comme l'artefact de modélisation pour mettre en place une démarche d'ingénierie système d'innovation basée sur les modèles (ISIBM), à l'image du concept d'ingénierie système basée sur les modèles (Nikolaidou & Alexopoulou, 2008).

### 2. Le produit : pivot de la modélisation en Ingénierie de l'Innovation

De manière générale, individualiser un produit consiste à le différencier par des caractères d'individualité afin de satisfaire un utilisateur en particulier. Ainsi, un produit qui s'individualise par rapport à son utilisateur pourrait être considéré comme **UN système suffisamment organisé et porteur des informations nécessaires pour assurer la cohérence entre les besoins de l'utilisateur et les contraintes du système qui doit le réaliser**. En d'autres termes, il s'agit de rendre unique la relation entre le produit et son utilisateur.

Pour réaliser cette action complexe d'individualisation, le produit est vu comme « **UN** » **objet et doit former « UN » tout cohérent vis à vis de son environnement** (Simondon, 1958). Il est composé d'éléments indépendants (structure) réalisant des fonctions, organisés dans un tout où chaque fonction d'éléments contribue à définir la fonction globale du produit attendu, elle-même liée à un comportement global du produit avec l'objectif global (exigence) de satisfaire son utilisateur. Dans notre travail, nous considérons donc que la capacité d'individualisation d'un produit correspond à sa capacité de se différencier d'autres produits identiques ou de même type et de s'organiser de telle sorte qu'il puisse être identifié par des propriétés uniques vis à vis de son utilisateur. Reprenons l'exemple de Dell et comment il se

différence. Il se différencie entre autres par son lieu d'achat (internet) et l'image qu'en a le client (l'ordinateur n'est plus un produit standard de grande consommation mais un assemblage spécifique de composants voulus, le fruit d'une architecture maîtrisée par le client). Les propriétés uniques recherchées sur Dell : la combinaison de composants qui est unique et qui permet des fonctionnalités que l'utilisateur ne trouverait pas ailleurs

Un produit individualisé à innover, qu'il soit un composant d'un *ensemble* ou un *ensemble* lui-même, qu'il soit informationnel ou matériel, qu'il soit différencié ou non par rapport à son environnement (les autres produits du même type), fonctionne et évolue comme un tout cohérent et organisé. Pour ce faire, il développe des caractéristiques particulières d'individualisation (figure 9) :

- des caractéristiques se rapportant à son aspect fonctionnel : il s'agit des propriétés d'un produit individualisé rendant compte de ses qualités intrinsèques et extrinsèques lui permettant respectivement, de réaliser la fonction principale de service attendue par l'utilisateur et de réaliser la ou les fonctions particularisées qui individualiseront la relation produit-utilisateur,
- des caractéristiques se rapportant à son aspect structurel : il s'agit de l'organisation des composants du système-produit individualisé qui lui permettra de supporter ses fonctions pour satisfaire l'utilisateur.

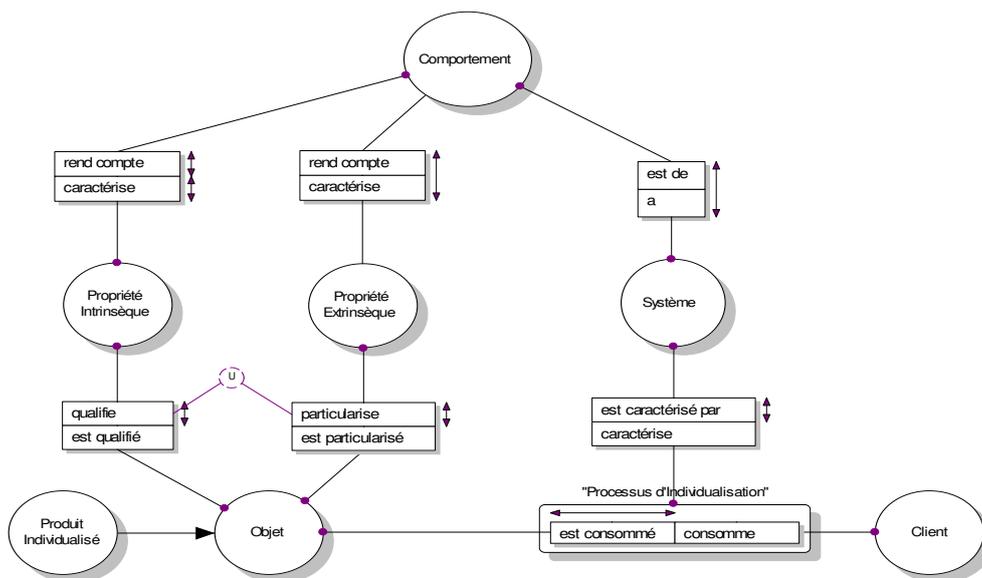


Figure 9. Caractérisation d'un produit individualisé comme un objet

## **2.1 Caractérisation de propriétés fonctionnelles d'un produit.**

### **2.1.1 Caractérisation de propriétés essentielles et inessentielles d'un produit.**

Vis à vis de son utilisateur, un produit doit posséder des propriétés lui permettant de répondre à des exigences qui concernent tant la fonction principale qu'il doit réaliser pour le satisfaire, que des caractéristiques individualisant cette fonction pour le satisfaire. Ces propriétés doivent donc être définies de telle sorte qu'elles puissent rendre compte de ce double besoin de l'utilisateur et qu'elles puissent permettre de déterminer la structure du produit entièrement soumise aux exigences de l'utilisateur. Par exemple, dans un lève-vitre automobile, la fonction principale est la fermeture/ouverture de la vitre. Des caractéristiques individualisant cette fonction pourraient être le mécanisme pour la réaliser (manuel ou électrique), la vitesse de mouvement de la vitre, le système de sécurité anti-pincement et sa sensibilité, dépoussiérage simultanée.

Ainsi, (Simondon, 1958) propose de définir deux grandes catégories de propriétés déterminées en fonction des exigences d'un utilisateur : les propriétés essentielles et les propriétés inessentielles que doit posséder un produit individualisé.

Les propriétés essentielles d'un produit concernent un aspect particulier du produit. En effet, elles contribuent à déterminer la fonction principale que doit exercer le produit pour satisfaire son utilisateur. Elles définissent ainsi les contours de l'objet à faire et lui confèrent donc une identité particulière. Cependant, ces propriétés essentielles ne sont pas suffisantes pour différencier l'objet d'autres objets identiques ou du même type. Ainsi, dans notre exemple de lèbres vitres, la fonction fermeture/ouverture de la vitre ne permet aucune différenciation aux yeux du client.

Ainsi, il existe un ensemble de propriétés qui, si elles sont modifiées, n'altèrent pas l'intégrité de l'objet ni même sa fonction principale. Ces propriétés réfèrent à des exigences de différenciation exprimées par l'utilisateur et couvrent des caractéristiques qui « pourraient éventuellement être faites sur mesure, car elles sont contingentes » (Simondon, 1958). Ces propriétés sont nommées des propriétés inessentielles d'un produit. Elles sont à l'origine de l'individualisation d'un produit et permettent de ce fait de le différencier des autres. Dans notre exemple de lèbres vitres, il s'agit des caractéristiques concernant le mécanisme pour réaliser cette fonction (manuelle ou électrique), la vitesse du mouvement de la vitre, etc.

Ces deux catégories de propriétés, essentielles et inessentielles, permettent donc de caractériser un produit individualisé comme un objet formant UN tout cohérent vis à vis d'un utilisateur (figure 10). Elles permettent de répondre respectivement au « quoi ? » et au « comment ? » de la fonction principale de l'objet.

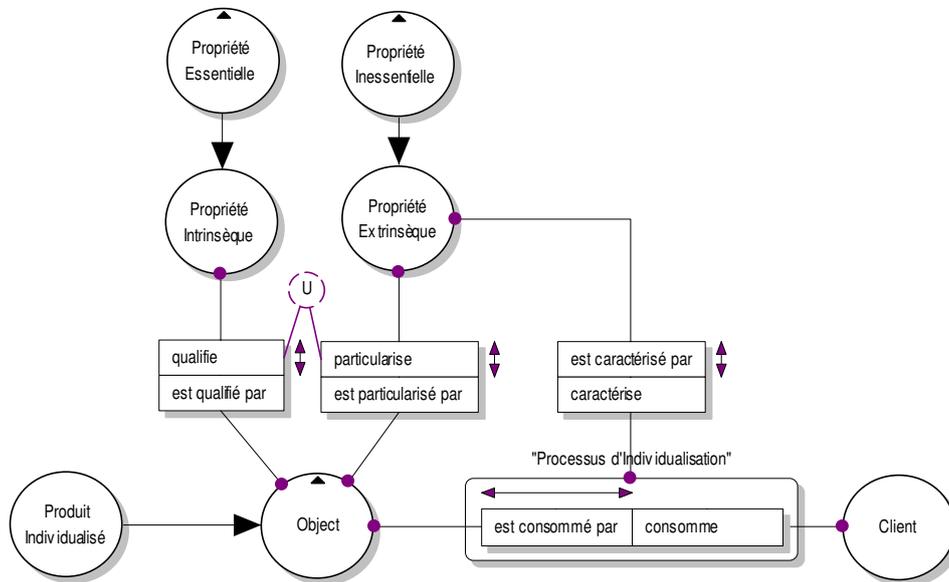


Figure 10. Propriétés essentielle et inessentielle de l'objet technique (inspiré de (Simondon, 1958)).

### 2.1.2 Caractérisation de propriétés de généralisation et de particularisation d'un produit.

Dans (Gracia, 1988), l'auteur démontre que tout objet individuel et concret possède deux grandes propriétés lui permettant de se distinguer des autres objets qui l'entourent. L'auteur nomme ces deux propriétés le « genus » (générique) et la « différence spécifique » (particularisante) (figure 11).

La propriété « genus » d'un objet, voire d'un produit, peut être considérée comme issue d'un processus de généralisation à partir de plusieurs objets possédant des propriétés communes. Ainsi, le « genus » rend compte des caractéristiques communes de l'objet avec des autres objets de sa même catégorie et définit ainsi des propriétés génériques de tous ces objets.

La propriété « différence spécifique » quant à elle peut être considérée comme issue d'un processus de particularisation, instanciant un objet de telle sorte qu'il puisse être différencié du reste des objets de sa catégorie. Ce processus de particularisation permet ainsi de faire d'un objet générique un objet individualisé.

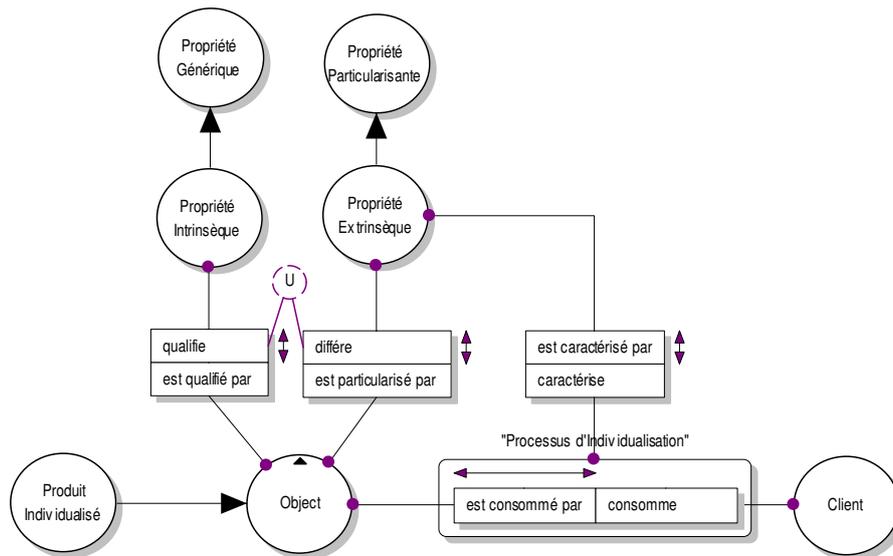


Figure 11. Propriétés « genus » et « différence spécifique » d’un objet individuel (inspiré de (Gracia, 1988)).

A la différence de Simondon, qui montre que les propriétés d’individualisation d’un produit sont entièrement définies par les exigences d’un utilisateur, Gracia affirme que ces propriétés d’individualisation sont inhérentes à tout objet et détermine ainsi directement sa capacité d’individualisation.

### 2.1.3 Caractérisation de propriétés MUST et CAN d’un produit.

La problématique d’individualisation d’un produit a fait l’objet de nombreux travaux en particulier dans la discipline des sciences de l’économie. Plusieurs auteurs ont contribué à la caractérisation de ce produit particulier afin de répondre à des évolutions de la concurrence des marchés et des besoins des consommateurs en termes de personnalisation de l’offre des entreprises. En effet, ce nouveau contexte économique a contribué à l’émergence des nouveaux concepts organisationnels tels que la « mass customization » combinant l’efficacité d’une production de masse avec la flexibilité d’une personnalisation des produits.

Ainsi, O. Rosenberg (Rosenberg, 1996), propose de caractériser un produit selon deux critères d’exigences et de désirs d’un client qui souhaite acquérir un produit « sur mesure ». Ces critères sont associés à deux modules : le module « must » et le module « can ».

Le module « must » est un module essentiel à intégrer dans le futur produit afin de traduire les exigences en matière de fonctionnalités basiques du produit pour satisfaire son utilisateur. Ce module « must » a donc pour objectif de caractériser la relation essentielle entre le produit et l’utilisateur et peut donc traduire les exigences fonctionnelles du futur produit.

***Exigence fonctionnelle:** Exigence décrivant ce que doit faire un système en termes d'action, de comportement et de résultat attendu ou de service rendu (Meinadier, 2002)*

Le module « can », a quant à lui, correspond à une exigence de propriété de « confort » demandée par l'utilisateur et sa non prise en compte n'altère pas la fonction principale du produit, mais le rend peut être moins attractif. Ce module « can » décrit les exigences non fonctionnelles de l'objet attendu.

***Exigence non fonctionnelle:** Exigence non attribuable à une fonction d'un système, traduisant généralement une contrainte opérationnelle, organisationnelle, physique ou d'environnement s'appliquant globalement au système. En particulier, une qualité de service ou une aptitude globale attendue d'un système (disponibilité, maintenabilité, évolutivité, sécurité, interopérabilité, facilité d'utilisation, etc.) (Meinadier, 2002)*

Cette catégorisation permet de différencier pour un produit ce qui est de l'ordre de la « mass production » et de la « customization » à l'origine du besoin d'individualisation d'un produit. De ce fait, cette catégorisation permet de déterminer la capacité de variabilité d'un produit en combinant l'ensemble de modules « must » obligatoires pour faire fonctionner ce produit avec l'ensemble de modules « can » optionnels pour individualiser ce produit (figure 12).

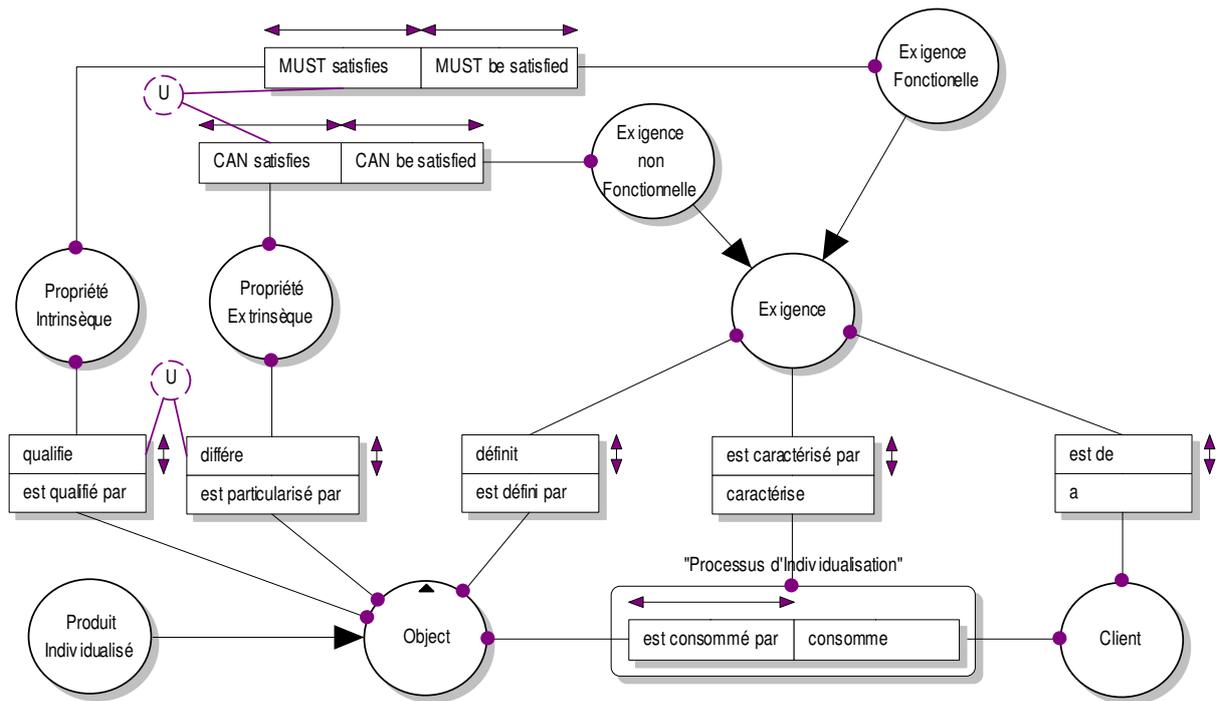


Figure 12. Modules "MUST" et "CAN" d'un produit sur mesure (inspiré de (Rosenberg, 1996))

### 2.1.4 Caractérisation des besoins pour un produit.

Individualiser ou différencier un produit des autres afin de personnaliser la relation qu'il va établir avec son utilisateur reste cependant un processus complexe. Pour résoudre cette individualisation ou différenciation, (Muther, 2000) propose de décrire les besoins spécifiques à un client en établissant un modèle particulier du Cycle d'Achat du Client (CBC) duquel pourront être déduites les propriétés attendues du produit afin de satisfaire son utilisateur.

Deux catégories de besoin sont ainsi décrites dans un CBC : les besoins primaires et les besoins secondaires.

Les besoins primaires expriment les besoins d'une fonction principale que devra réaliser le futur produit. L'hypothèse émise par M. Muther est que ce type de besoin peut trouver une solution parmi un grand nombre de produits et/ou de services déjà existants et qu'il est alors possible de les combiner pour supporter la fonction attendue du nouveau produit. Ainsi, cette première phase d'analyse du CBC permet de définir un produit comme un objet constitué de composants (chacun d'eux pouvant être un *ensemble* de composants), déterminés en fonction du degré de complexité de la fonction principale à réaliser. Cette analyse du besoin primaire ne permet pas pour autant de différencier le produit parmi d'autres.

C'est pourquoi, une deuxième phase d'analyse du CBC permet plus spécifiquement de compléter cette description primaire d'un produit par une prise en compte des besoins secondaires exprimés par son utilisateur. Ces besoins secondaires renvoient à la notion de propriétés inessentiels de Simondon ou de module « can » de Rosenberg et ont donc pour objectif de personnaliser la relation du produit avec son utilisateur et donc d'individualiser le produit.

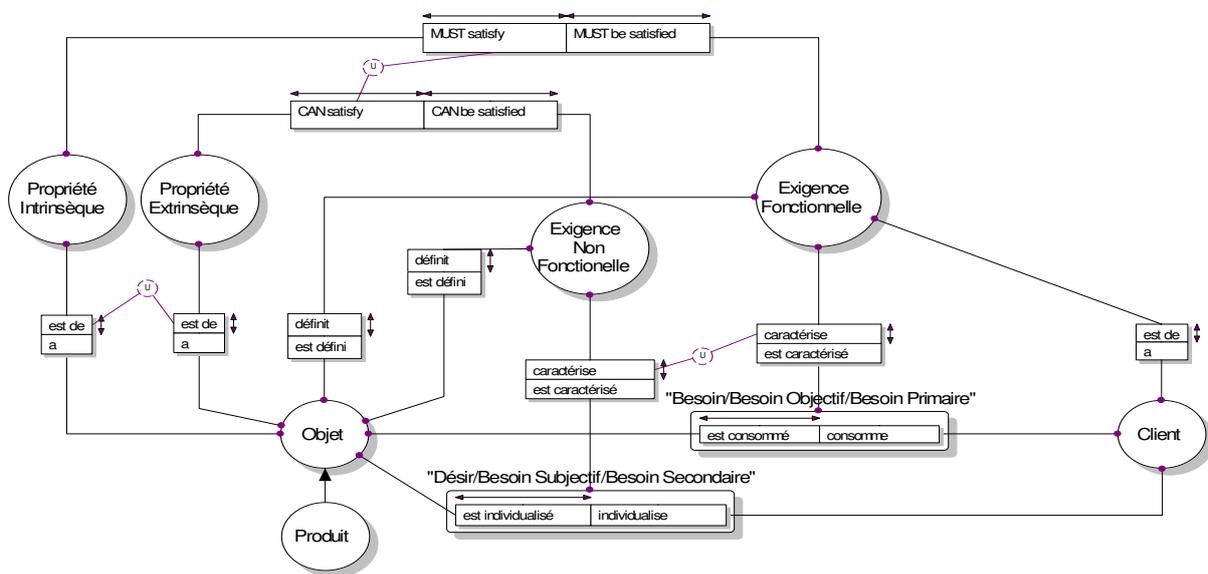
Dans (Blecker T. A., 2003), les auteurs abordent également la caractérisation d'un produit individualisé par la définition de critères satisfaisant à la fois la réutilisabilité de composants existants pour concevoir un nouveau produit et la différenciation de l'ensemble obtenu pour mieux personnaliser la relation produit-utilisateur. Ainsi, ils proposent de généraliser ces critères dans un modèle général des besoins d'un client en définissant la notion de besoins objectifs et de besoins subjectifs. Ainsi, ils définissent :

*...we define the subjective customers' needs as the individually realized and articulated requirements, whereas the objective needs as the real ones perceived by a fictive neutral perspective. Using knowledge management terms, we argue that the subjective needs are explicit, while the objective needs are implicit.*

*More simply formulated, the verbally expressed needs that customers believe to yield a satisfying product variant are the subjective needs. Suppose that a mass customizer manufactures and delivers to the customer a product variant which perfectly corresponds to his or her expressed requirements. After receiving and using the product, the customer may realize that in fact the product is not the optimal solution which would be more satisfying. In this case the product variant just corresponds to the subjective needs of the customer. However, the objective needs are those that the customer would like to actually be fulfilled, although the customer may not realize them because of e.g. lack of product expertise. The model illustrates that the objective and subjective needs can overlap but do not perfectly superpose. Insofar as the objective and the subjective needs are not identical, the fulfillment of the subjective customers' needs leads to a sub-optimal customer satisfaction, whereas matching the objective needs yields an optimal customer satisfaction.*

Cependant, (Van Gaasbeek, 2000) montre que l’analyse et la définition des propriétés permettant de concevoir un produit comme un produit individualisé reste un processus complexe du fait de la difficulté à faire la différence entre les besoins et les désirs exprimés par un client. Il définit les désirs comme ce qui « serait bien d’avoir » et les besoins comme une nécessité absolue.

Notons à ce stade un point essentiel qui sera développé dans le chapitre suivant : la conception d’un produit possédant des propriétés d’individualisation procède d’une véritable ingénierie d’UN produit vu comme un système, fédérant les processus de conception puis de fabrication qui le supporteront pendant tout son cycle de vie.



**Figure 13. Individualisation d’un produit prenant en compte les aspects besoin/désir – besoin objectif/besoin subjectif – besoin primaire/besoin secondaire du client.**

La figure 13 ci-dessus résume la caractérisation des besoins pour individualiser un produit. Essentiellement, il existe deux types de besoins : les besoins primaires (ou objectifs ou simplement besoins) et les besoins secondaires (ou subjectifs ou simplement désirs). Ces deux aspects peuvent ainsi être reliés aux exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles du produit individualisé comme nous montrerons dans les paragraphes suivants.

## 2.2 Caractérisation de propriétés structurelles d'un produit.

### 2.2.1 Caractérisation d'un produit comme un objet

Un produit dès lors qu'il est individualisé peut être considéré comme un objet vu comme une instance<sup>1</sup>, définissant ainsi les caractéristiques propres à ce produit individualisé.

Ainsi, cet objet-produit individualisé possède des propriétés qui l'identifient de manière unique ainsi que des états qu'il atteint en fonction des différentes modifications qui lui sont appliquées (le produit se construit, est conçu au fur et à mesure du projet de développement correspondant). On peut rapprocher à ce stade l'évolution du produit individualisé du concept d'Objet Intermédiaire de Conception OIC (Mer S., 1995). En effet, beaucoup d'auteurs considèrent qu'un processus d'innovation se traduit par la transformation d'objets qui sont des résultats intermédiaires de phases successives de conception. On donnera l'exemple de séquences d'OIC suivante : fiche-idée, dessin, plan, maquette, prototype...

En ce sens, les approches objets définies dans les disciplines des sciences de l'informatique permettent de définir chaque objet par des attributs et des opérations (méthodes). Un attribut est une propriété nommée de l'objet (e.g. un produit a des attributs tels que son nom, numéro de série, marque, lieu de fabrication, couleur). Une opération est un service réalisé ou attendu par un objet (e.g. traitement de données, surveillance de son état, contention d'un liquide), ce qui peut être relié à la notion de service rendu au sens de l'analyse fonctionnelle. Quand l'objet réalise une opération particulière, il se met sous une forme, un état particulier. Donc l'opération se traduit par le fait que l'objet atteint un état à travers la mise en œuvre d'un comportement défini. Appliqué à nos travaux, nous considérons que tout système-produit individualisé à innover doit être défini par ses attributs et par ses opérations afin d'être vu comme un objet (figure 14).

---

<sup>1</sup> Nous utilisons le terme instance pour dire qu'il s'agit tant de l'objet instance de la classe produit individualisé que pour exprimer que chaque produit est différent des autres et que par conséquent, il doit être traité individuellement.

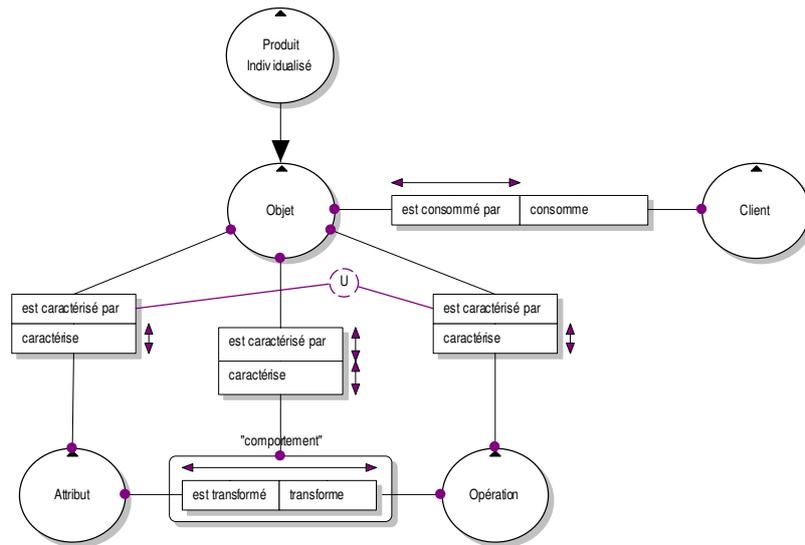


Figure 14. Caractérisation d'un produit vu comme un objet

### 2.2.2 Caractérisation d'un produit comme un objet organisé

Afin de former un tout cohérent vis à vis de son environnement, un objet peut être considéré comme un *ensemble* organisé et issu d'un assemblage de composants. Cette vision de l'objet organisé a fait l'objet de travaux de la communauté du génie logiciel afin de déterminer des patrons de conception (design pattern en anglais), utilisés comme éléments de capitalisation des procédés de conception d'applications logicielles et permettant de décrire un problème et sa solution de telle façon que l'on puisse réutiliser ce patron chaque fois que l'on rencontre ce problème. En particulier, le pattern composite (Gamma et al. 1995) (Figure 15) permet de décrire la structure organisé d'objets vus comme des tous.

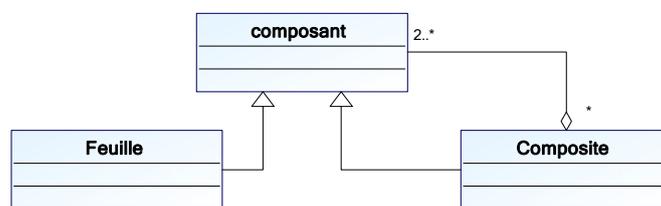


Figure 15. Inspiré du pattern composite de (Gamma E., 1995).

Chaque *ensemble* (composite dans la figure ci-dessus) et chaque composant de l'*ensemble* (la *feuille* étant un composant initial) doivent être considérés comme des objets en tant que tel. Les relations entre ces objets pour former la structure globale attendue sont des relations d'assemblage utilisant un mécanisme d'agrégation pour exprimer l'appartenance des uns aux autres (Gamma E., 1995).

Appliqué à nos travaux, ce pattern nous permet de comprendre la structure organisée que va adopter un produit individualisé pour devenir un objet à part entière (figure 16).

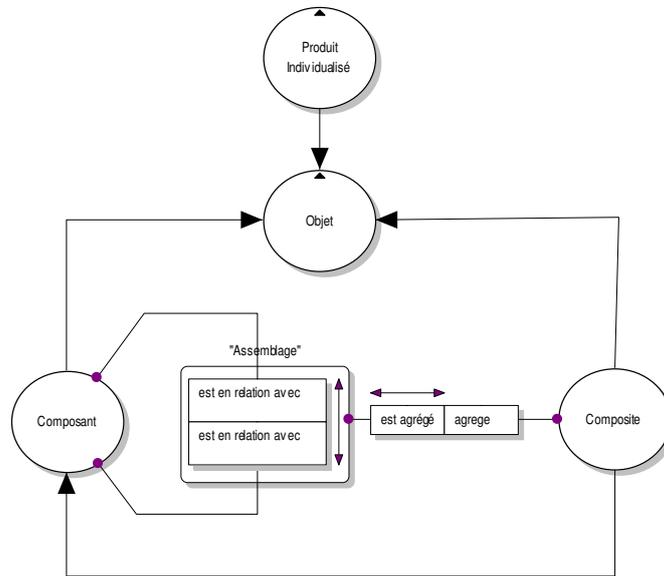


Figure 16. Caractérisation d'un produit vu comme un objet organisé

### 2.2.3 Caractérisation d'un produit comme un tout/partie

La définition d'un produit individualisé comme un tout organisé, pouvant être un composant ou un *ensemble* nous a conduit à nous inspirer des travaux de la communauté IMS (Intelligent Manufacturing Systems) pour enrichir cette notion de produit à l'aide du concept d'holon tel que proposé par Koestler en 1967. L'idée est que chaque chose est non seulement un tout, mais fait également partie d'un plus grand tout, définissant ainsi un "hol-on". C'est vrai pour des atomes, des molécules, des organisations, des êtres humains, mais également pour des lettres dans un mot, des mots dans une phrase, des phrases sur une page, des pages dans un livre, etc.

Ce concept permet de décrire, d'une part, la nature de tout ou partie d'un objet et, d'autre part, les caractéristiques d'autonomie et d'indépendance qu'il possède. Plus particulièrement, dire qu'un objet est un holon implique qu'il conserve une architecture (un « squelette) stable quelles soient les transformations qu'il subit tout au long de son cycle de vie et que cette forme devient intermédiaire dès lors que cet objet devient le composant d'un autre. Dans (Gouyon, 2004), un exemple dans le cas d'un assemblage et un désassemblage d'un produit est donné. Dans cet exemple, il est possible d'apprécier cette stabilité dans l'architecture du produit qui est maintenue entre sa partie physique et informationnelle. En effet, (Kotler, 1988)

a montré que tout produit, clairement identifié, est constitué d’une partie physique (la partie tangible du produit) et d’une partie informationnelle qui lui est associé pour le représenter.

Pour considérer le produit individualisé comme le pivot du raisonnement de modélisation, nous nous sommes donc appuyés sur ces travaux et plus particulièrement sur les travaux de (Baïna, Panetto, & Morel, 2009). En ce sens, ils montrent qu’un objet, et donc un produit individualisé, est un holon constitué selon une structure stable issue d’une combinaison entre une partie physique et une partie informationnelle (figure 17).

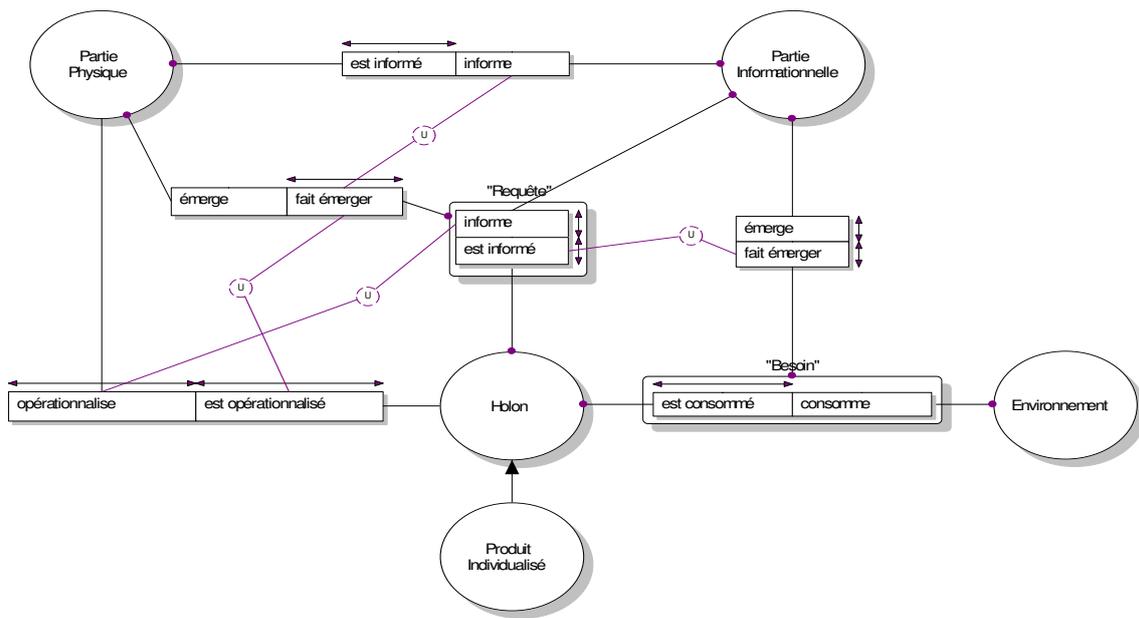


Figure 17. Caractérisation d'un produit comme un tout/partie.

Nous pouvons noter que dans le cadre d’un processus d’ingénierie de l’innovation, la partie physique est le plus souvent immatérielle mais qu’elle est « matérialisée » par sa représentation informationnelle. La partie physique est en devenir mais toujours cohérente avec sa partie informationnelle. Exemple : au cours de sa conception puis de son montage, un lève-vitre est initialement un dessin de principe, puis plus tardivement, un prototype, puis un produit. Il peut recevoir une puce RFID qui intègre toutes les informations relatives à son évolution (le modèle CAO, les spécifications techniques, dimensionnelles...)

Considérer le produit individualisé comme un holon nous permet désormais de le définir comme un objet consistant (stabilité de l’architecture) possédant une frontière entre lui et son environnement.

*"A system is a construct or collection of different elements that together produce results not obtainable by the elements alone. The elements, or parts, can include people, hardware, software, facilities, policies, and documents; that is, all things required to produce systems-level results. The results include system level qualities, properties, characteristics, functions, behavior and performance. The value added by the system as a whole, beyond that contributed independently by the parts, is primarily created by the relationship among the parts; that is, how they are interconnected (Rechtin, 2000)." (INCOSE 2006)*

*Définition d'un système : (AFIS 2006)*

*« Tout système est constitué d'un ensemble d'éléments dont la synergie est organisée pour répondre à une finalité dans un environnement donné. »*

Plus particulièrement, ce produit individualisé vu comme un objet holonique doit pouvoir s'organiser de telle sorte qu'il devienne capable de coordonner l'ensemble de ses parties afin d'être autonome et indépendant vis à vis des différents systèmes et de leurs ingénieries associées qui vont le réaliser et vis à vis de son environnement tout en le satisfaisant. De plus, pour le considérer comme le pivot actif du raisonnement de modélisation, il doit être doté des moyens de coordination de ses décisions d'action. Ceci passe par :

- une structure organisée mettant en œuvre un système de décision pour piloter sa destinée,
- un système opérationnel composé des éléments et de leurs relations pour rendre le service attendu par l'utilisateur,
- un système informationnel ayant pour charge de représenter l'information pour le produit lui-même et pour son environnement.

Doté de tels systèmes, nous pouvons définir un produit individualisé comme un système tel que défini par (De Rosnay, 1975) (Le Moigne, 1994) mais aussi par la discipline d'Ingénierie Système (figure 18). Dans ce cas, le produit devra rendre compte de la structure qui le caractérisera en tant que système individualisé, des états qu'il prendra tout au long du processus pour l'innover, des comportements qu'il adoptera pour réaliser sa fonction principale pour devenir une solution individualisée satisfaisant son utilisateur.

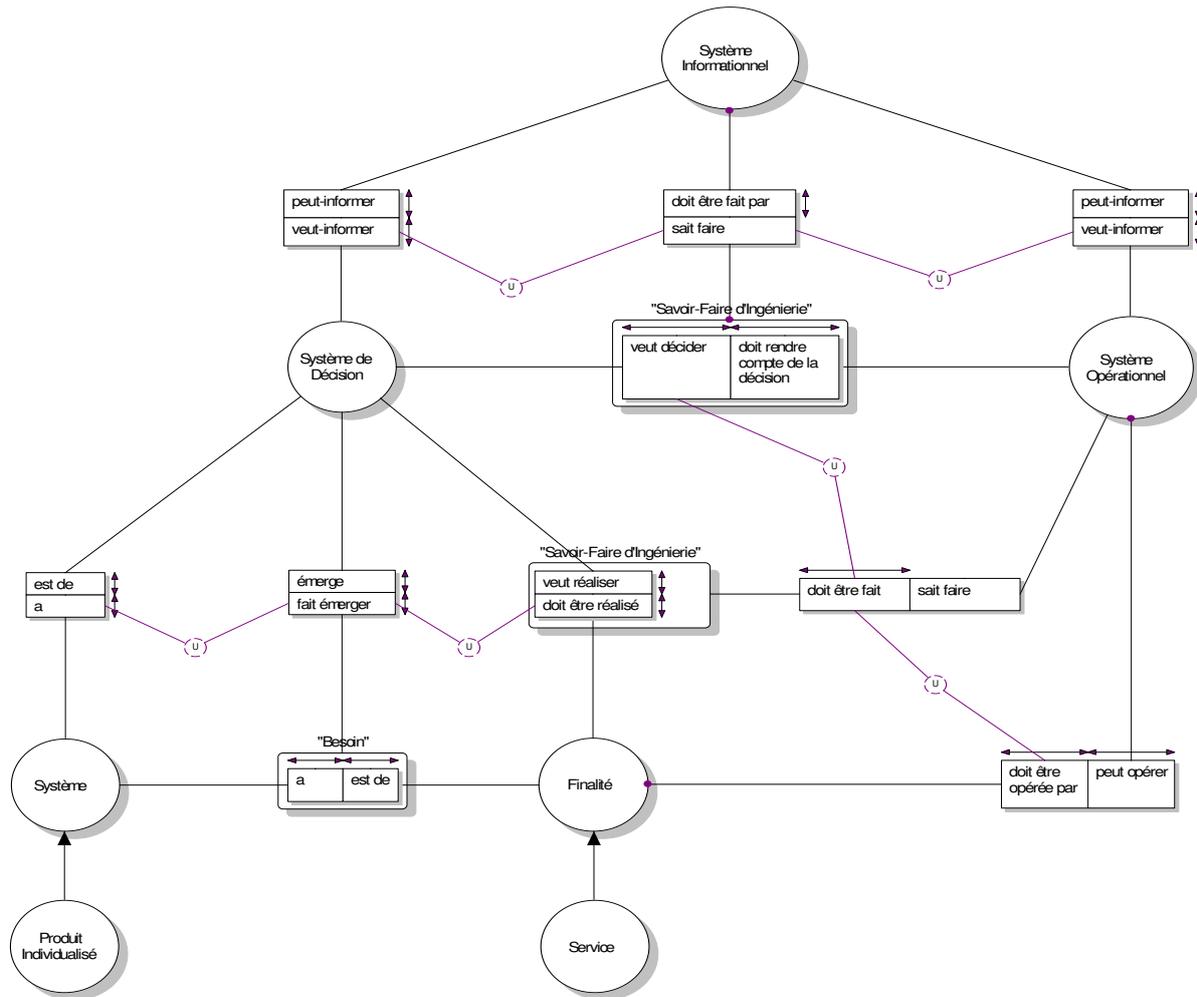
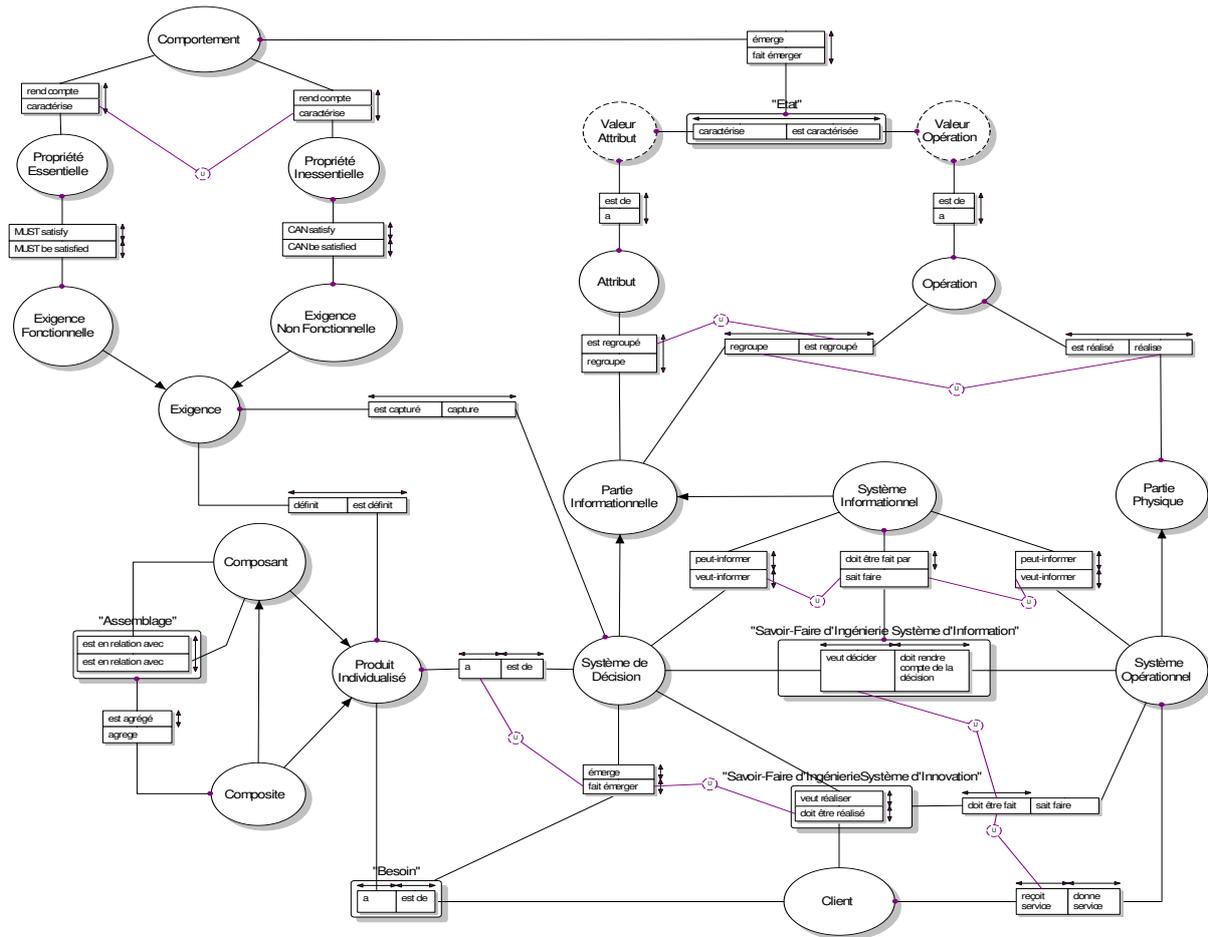


Figure 18. Caractérisation d'un produit vu comme un système (De Rosnay, 1975) (Le Moigne, 1994)

### 2.3 Proposition d'un artefact de produit comme pivot de la modélisation en ingénierie de l'innovation

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à définir un système-produit individualisé comme l'artefact du raisonnement de modélisation et comme porteur de toutes ses vues d'ingénierie. Dans nos travaux, l'objectif est donc de considérer ce système-produit individualisé comme étant le pivot à partir duquel émergent les différents systèmes pour faire l'innovation et à faire l'innovation ainsi que leurs ingénieries associées. Le produit en cours de conception et de fabrication est support de sa propre information actionnant les processus de conception et de production adaptés. Cet artefact est utilisé comme un moyen pour matérialiser le produit à innover afin de guider une démarche intégrée de l'innovation. Le modèle résultant de cette partie est un modèle conceptuel décrit à l'aide de la méthode NIAM/ORM rendant compte des différentes propriétés que doit posséder un produit pour devenir un système-produit individualisé à innover (figure 19).



**Figure 19. Le produit vu comme un système-produit individualisé, pivot de la modélisation en Ingénierie de l’Innovation**

La figure 19 ci-dessus fusionne les modèles formalisant les différents aspects à considérer pour le *système-produit individualisé* présentés précédemment. Il résume les aspects d’un produit individualisé pour être considéré comme tel par rapport à son environnement et par rapport à ses capacités propres à lui-même. Particulièrement, le schéma ci-dessus peut être lu partant de l’objet « Produit Individualisé » qui est en relation avec le client. De cette relation émerge le besoin et ainsi le reste des relations se déclencheront. Cette figure relie les caractéristiques du *système-produit individualisé* vu en tant que système (composé d’un système de décision, un système d’information et un système opérant) et en tant qu’un holon (cohérent entre sa partie physique et sa partie informationnelle). Elle prend aussi en compte le fait qu’un objet (qui a des attributs et des opérations qui définissent un état donné) est un *ensemble* composé de composants eux-mêmes pouvant être des produits individualisés. Egalement, nous retrouvons dans ce schéma les notions des propriétés essentielles et inessentielles, répondant aux besoins et aux désirs du client et étant satisfaites par les exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles.

### 3. Le système-produit individualisé : pivot de l'Ingénierie de l'Innovation

Définir un produit individualisé à partir d'un besoin d'un client nous a amené à définir celui-ci comme

- un *système-produit individualisé*,
- porteur de toutes ses vues d'ingénierie
- pivot d'une démarche pour intégrer l'ensemble des activités d'innovation, à savoir concevoir, développer et industrialiser une solution performante.

Cet artefact de modélisation nous permet de développer une démarche d'innovation selon l'ingénierie système afin de s'assurer de la cohérence entre les différents systèmes (A faire l'innovation, pour faire l'innovation, projet, ...) et le système-produit individualisé, les premiers émergent du dernier.

Pour ce faire, il nous est apparu nécessaire de développer une ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles (ISIBM) s'appuyant sur notre artefact de modélisation, le système-produit individualisé, et permettant de développer les différents modèles métiers de l'ingénierie de l'innovation.

A l'image du concept d'ingénierie système basée sur les modèles (ISBM) (Estefan, 2008), nous posons que cette ISIBM est *une méthodologie pour concevoir, spécifier, intégrer, valider et opérer un produit individualisé et innovant basée sur le développement d'un modèle central, qui peut être étendu à des niveaux différents de détail progressivement augmenté* (adapté de (J. Estefan 2008)). Ainsi, nous posons que ce modèle central soit celui du système produit individualisé défini précédemment et adapté à notre démarche d'ISIBM dans ce paragraphe.

Pour ce faire, il est nécessaire de spécifier le modèle du système-produit individualisé décrit à l'aide de la méthode NIAM/ORM par un modèle décrit dans un langage d'ingénierie et plus particulièrement d'ingénierie système.

Ainsi, le langage de modélisation SysML (OMG, 2008) est un langage spécifiquement développé pour supporter une démarche d'ingénierie système et peut supporter la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation de systèmes complexes tels que notre système-produit individualisé ou les systèmes d'innovation capables d'innover.

Nous nous sommes d’autant plus inspirés de ce langage qu’il définit la notion de « pillar », pilier du raisonnement de modélisation d’un système complexe. Au nombre de quatre (figure 20), chaque « pillar » met à la disposition du modélisateur les diagrammes nécessaires pour modéliser le point de vue exprimé par le « pillar ». Ainsi, il existe un « pillar » décrivant les exigences auquel un système peut satisfaire, un « pillar » décrivant la structure du système pour fonctionner, un « pillar » relatif au comportement de ce système pour assurer sa fonction principale et un « pillar » modélisant les différents paramètres à instancier pour réaliser la finalité du système. Modéliser un système complexe implique de le décrire obligatoirement selon ces quatre points de vue, les relations SysML entre les différents diagrammes assurant leur cohérence pour construire le modèle de ce système (Roques, 2009).

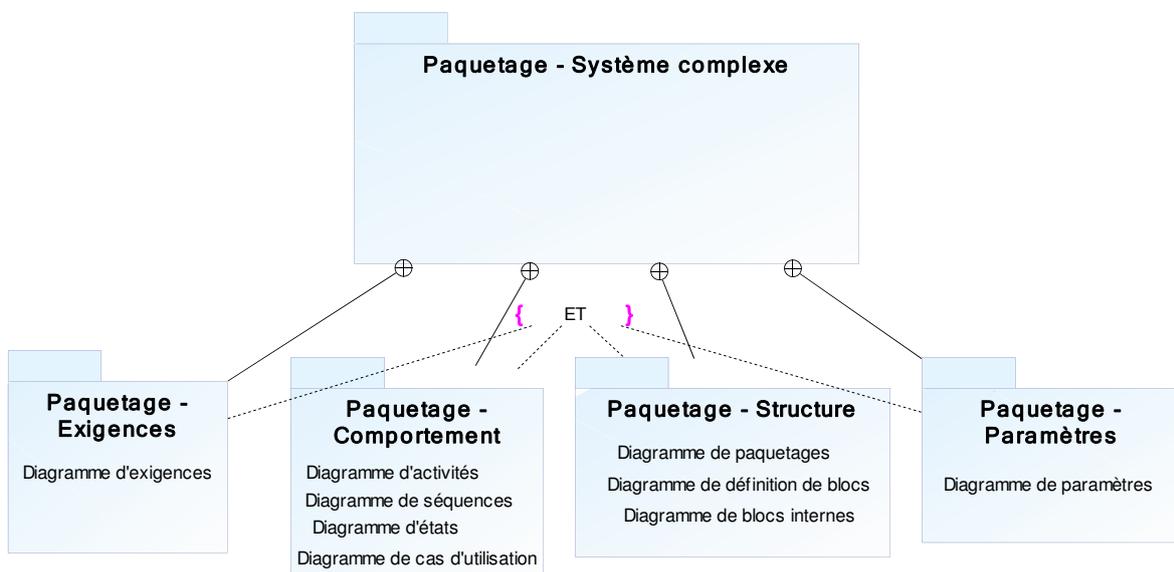


Figure 20. Les quatre « pillars » d’un système complexe

Par exemple, reprenant le cas du lève vitre, il serait organisé dans un « pillar » Exigences, un « pillar » Comportement, un « pillar » Structure et un « pillar » Paramètres. Chaque « pillar » décrit avec les diagrammes correspondant les caractéristiques du lève vitre afin de le réaliser (figure 21).

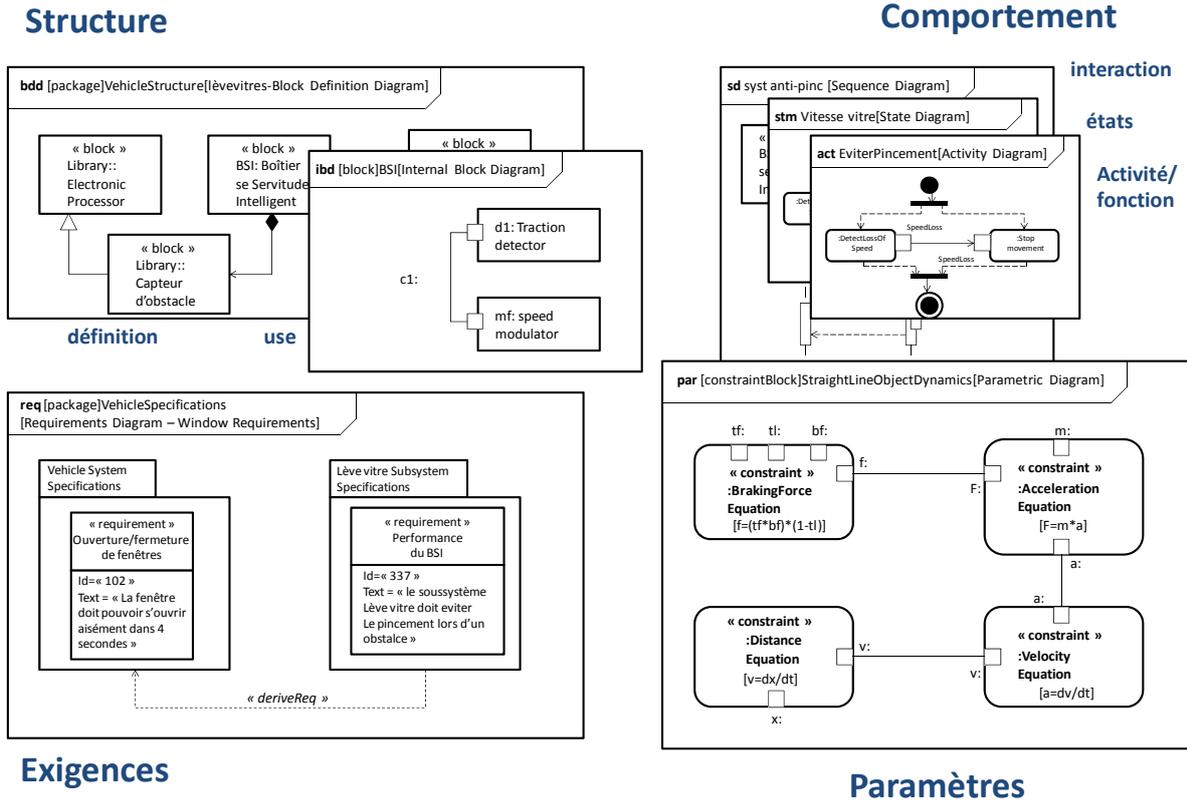


Figure 21. Les 4 « pillars » - exemple du lève vitres (Inspiré de <http://www.omgsysml.org/>)

Appliquée à notre modèle de système-produit individualisé décrit en NIAM/ORM (figure 19), cette vision en « pillars » nous permet de catégoriser les concepts caractérisant notre artefact de modélisation (figure 22).

Notre démarche de spécification en langage SysML du modèle de connaissances trouve dans cette catégorisation le point de départ. Ainsi, en suivant les recommandations du paragraphe précédent, nous démarrons notre travail à partir de la relation particulière qui existe entre le client et/ou le donneur d’ordres et son besoin en un produit individualisé qu’il s’agira d’innover. Ainsi sera déterminé le diagramme des exigences en SysML, exigences issues de ce besoin et décrivant le « pillar » exigences (figure 23).

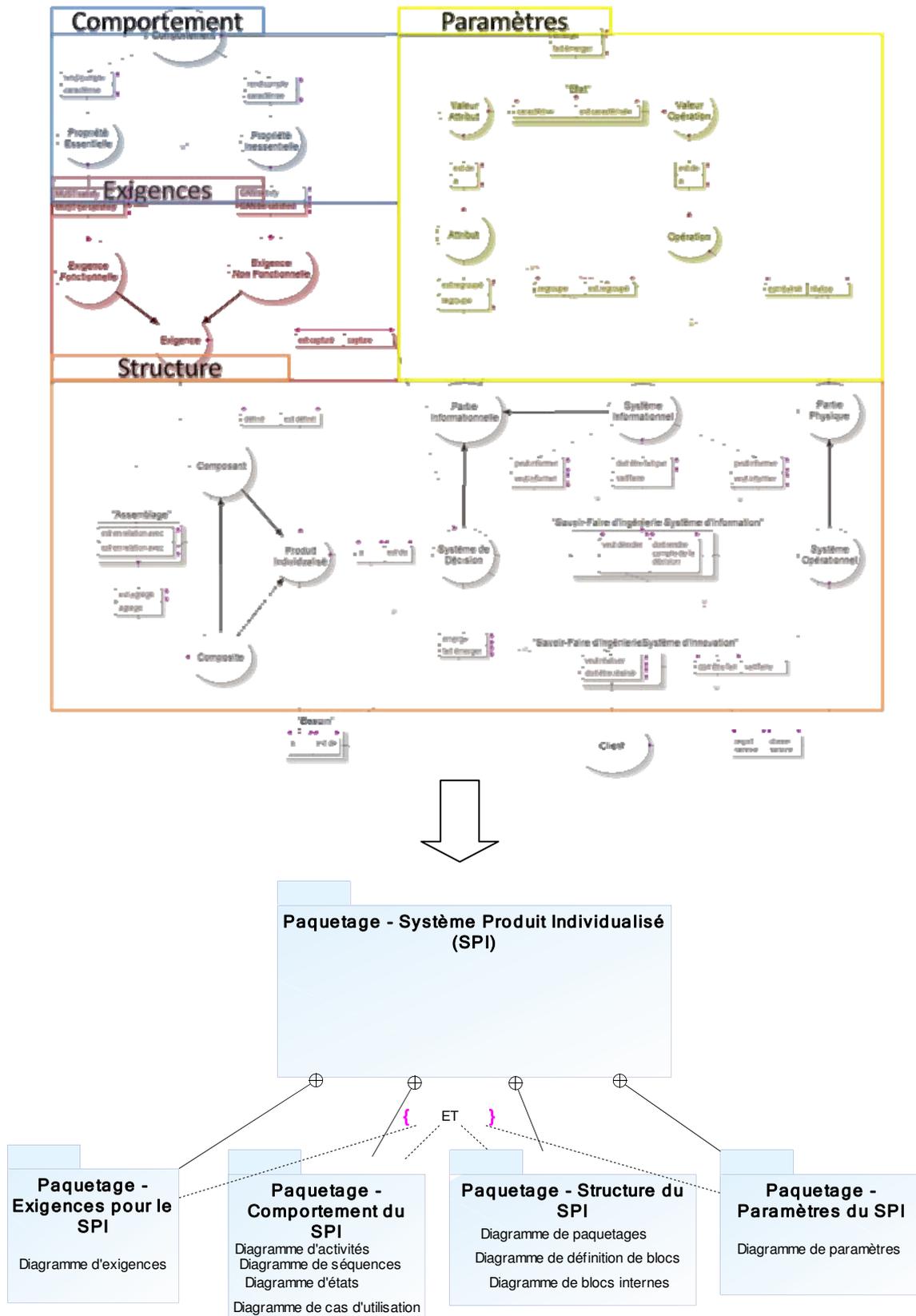


Figure 22. Modélisation du système-produit individualisé comme pivot de l’ingénierie de l’innovation.

### 3.1 Le « pillar » des exigences d’un système-produit individualisé

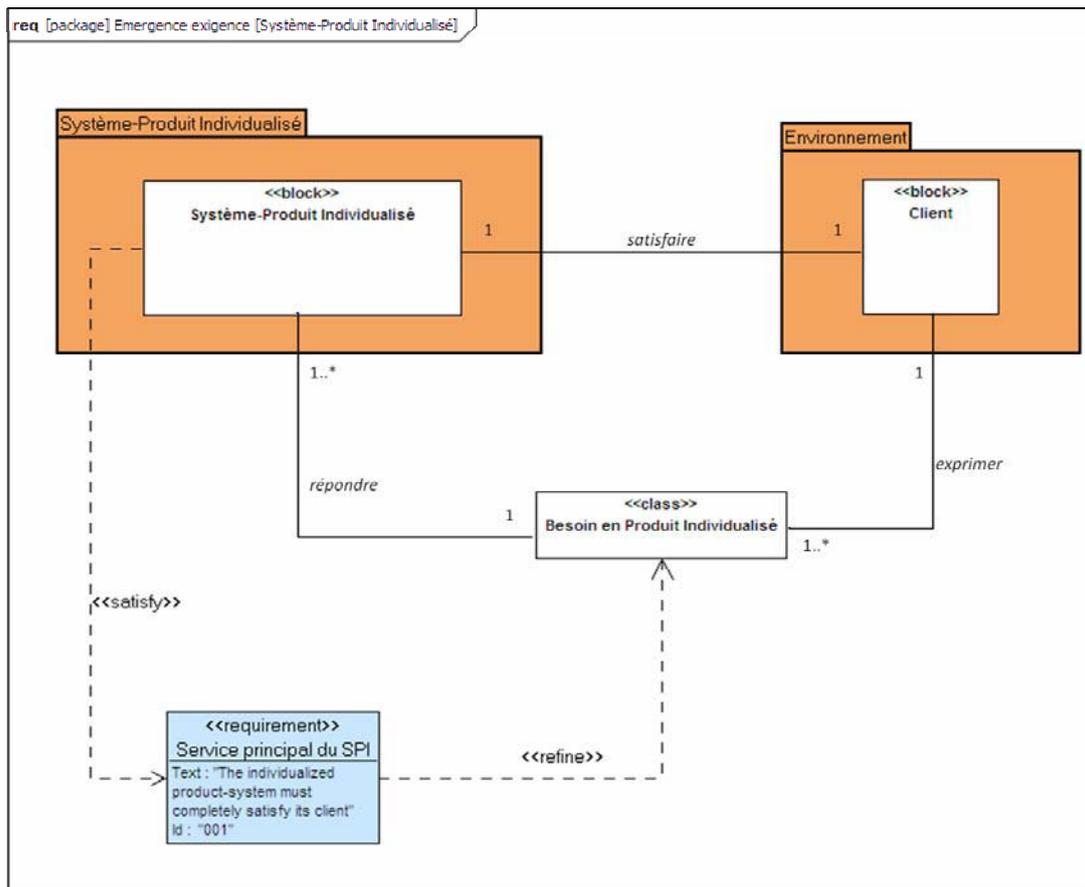


Figure 23. Illustration de l’émergence du besoin et de sa formalisation en exigences.

Dans une démarche d’Ingénierie Système, l’ingénierie des exigences (McConnell, 1996) (Wiegiers, 2003) met à la disposition d’un maître d’œuvre une démarche pour définir et développer les exigences auxquelles le produit individualisé devra répondre pour satisfaire le besoin exprimé par le client et/ou le donneur d’ordre ainsi que les différentes contraintes des parties prenantes du processus d’ingénierie appliqué à ce produit.

En nous basant sur les différentes propriétés énoncées dans le paragraphe précédent, nous pouvons, pour un produit individualisé, déterminer deux types d’exigences : des exigences essentielles que nous définirons comme des exigences « MUST » et des exigences inessentiels que nous définirons comme des exigences « CAN ». D’autre part, nous pouvons également définir des exigences issues directement des propriétés caractérisant tout mécanisme d’individualisation d’un produit : une exigence d’autonomie afin de doter le produit d’une individualité, une exigence d’interopérabilité afin de lui permettre d’interopérer avec d’autres systèmes (Système à faire, système pour faire, projet, ....) et une exigence

d’exécution pour lui donner les moyens d’agir sur son environnement (HMS, 1994) (Ferber, 1995) (Shen & Norrie, 1999).

Pour représenter ces exigences en SysML, nous utilisons le diagramme des exigences de ce langage afin de les modéliser ainsi que les relations entre elles pour exprimer leurs hiérarchisations, leurs dépendances, leurs satisfactions, leurs validations... (figure 24).

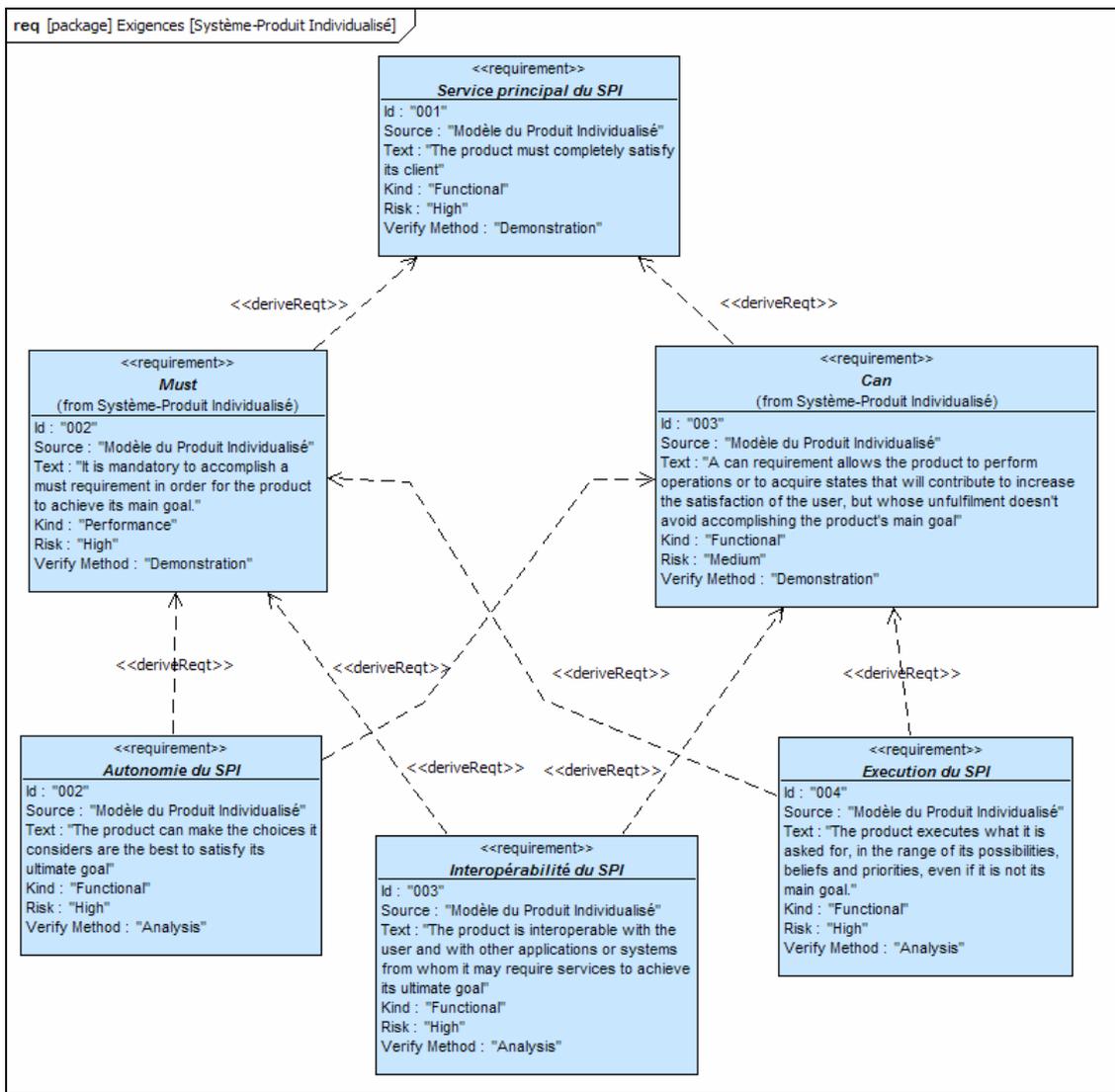


Figure 24. Diagramme d'exigences du produit individualisé.

D’autre part, la démarche de modélisation des exigences permet d’exprimer l’impact de la mise en œuvre d’une exigence sur les autres objets constituant le système-produit, cet impact impliquant pour les objets de satisfaire eux-mêmes à d’autres exigences. Pour cela, nous utilisons en SysML des relations de satisfaction (spécifiant les contraintes de satisfaction), de raffinement (spécifiant en détail chaque exigence) et de vérification afin de s’assurer que l’objet, devant satisfaire une exigence, la réalise véritablement (figure 25).

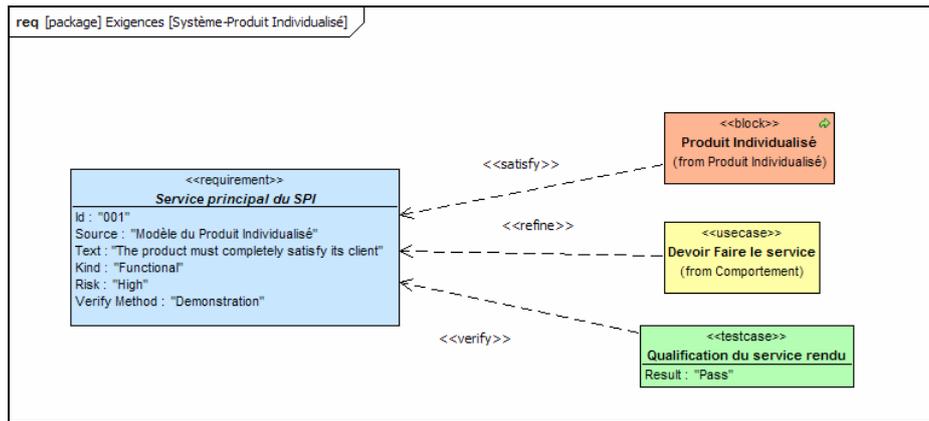


Figure 25. Relation des exigences avec d'autres éléments du modèle.

### 3.2 Le « pillar » de la structure d'un système-produit individualisé

Comme énoncé dans le paragraphe 2.2.2, tout produit individualisé peut être perçu, en fonction des exigences exprimées, comme formant un tout ou comme un assemblage de composants. Il est ainsi soit un composant d'un *ensemble* ou un *ensemble* lui-même et forme ainsi un holon. L'un comme l'autre possède les propriétés d'un système et par conséquent le produit individualisé également. Cette particularité concerne la structure du produit individualisé. Pour la représenter, nous utilisons des diagrammes permettant de décrire la structure de ce système en termes de ses éléments, de leurs relations et de leurs caractéristiques. Ainsi, le diagramme de définition de blocs permet de décrire des blocs (les éléments et leurs caractéristiques) ainsi que leurs associations (agrégation, composition, sous-typage, ...) pour former un ou des paquets définis eux-mêmes dans un diagramme de paquets (Roques, 2009). De plus, le diagramme des blocs internes décrit l'usage de chaque bloc dans un contexte particulier en termes de ses parties, de ses ports, de ses connecteurs. En particulier, ce dernier diagramme a pour objectif de représenter les rôles que peuvent avoir chaque bloc.

Ainsi, d'un point de vue de la structure d'un système-produit individualisé, nous postulons qu'un bloc peut avoir soit un rôle « essentiel » dès lors où il satisfait une exigence « MUST » ou un rôle « inessentiel » dès lors où il satisfait une exigence « CAN ». Ces rôles sont décrits dans chaque diagramme de définition interne d'un bloc, agrémentés des propriétés qu'il doit posséder (figure 26).

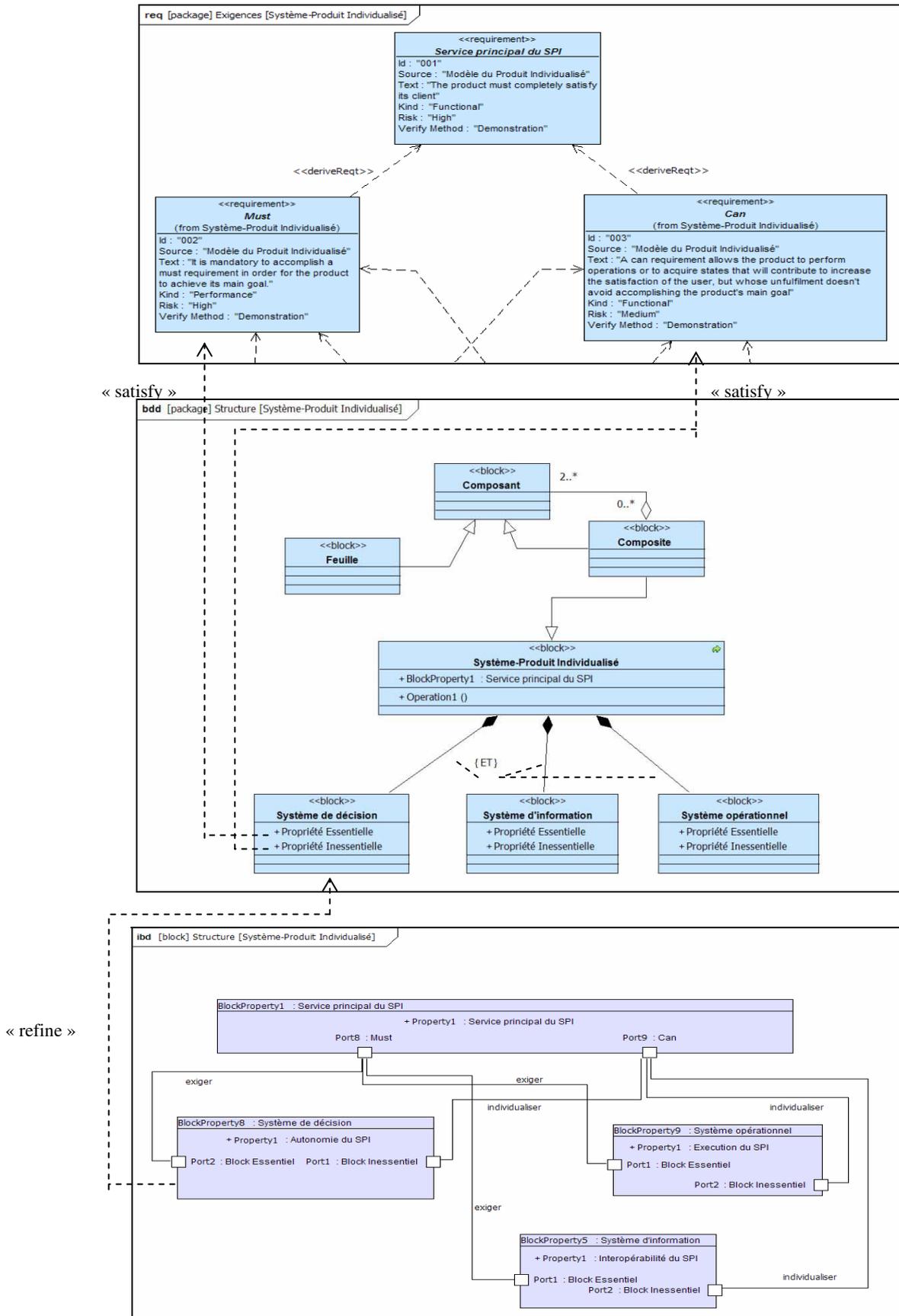


Figure 26. Du modèle des exigences au modèle blocs pour réaliser le système-produit individualisé.

Afin de s'assurer que les différentes exigences soient bien réalisées par les différents éléments de la structure du système-produit individualisé, il s'agit désormais de décrire le diagramme de blocs internes permettant de raffiner le diagramme de définition de blocs. Ce diagramme permet de spécifier la cohérence des relations (décrites par leurs ports de connexion) entre les éléments devant satisfaire et vérifier les exigences attendues (figure 26 cadre **ibd**).

### 3.3 Le « pillar » du comportement d'un système-produit individualisé

En SysML, le « pillar » Comportement permet, via ses diagrammes associés (diagramme d'états, d'activités, de séquences et de cas d'utilisation), de décrire les cas où le *système-produit individualisé* (SPI) sera utilisé et de ce fait quel comportement il devra adopter pour le satisfaire. Dans le cas de nos travaux, il convient aussi de considérer que, pour satisfaire un cas d'utilisation, le SPI devra mettre en œuvre un comportement obligatoire (essentiel) pour satisfaire la fonction attendue par l'utilisateur et un comportement optionnel (inessentiel) pour individualiser cette fonction à un seul utilisateur. Ainsi, nous avons choisi de dénommer :

- tout comportement obligatoire comme un comportement « devoir-faire », devant être réalisé par les blocs essentiels du SPI pour satisfaire les exigences MUST. C'est le « devoir-faire » du produit individualisé.
- tout comportement optionnel comme un comportement « pouvoir-faire », devant être réalisé par les blocs inessentiels du SPI pour satisfaire les exigences CAN. C'est le « pouvoir-faire » du produit individualisé.

Pour représenter ce comportement nous utilisons le diagramme de cas d'utilisation à partir duquel sont construits (figure 27, voir annexes aussi) :

- le diagramme de séquences permettant de décrire le comportement dynamique de l'instance SPI pour satisfaire l'utilisateur,
- le diagramme d'états permettant de décrire les différents états que le SPI prend tout au long de son développement,
- le diagramme d'activités permettant de décrire les différentes activités que le SPI doit mettre en œuvre pour réaliser son comportement

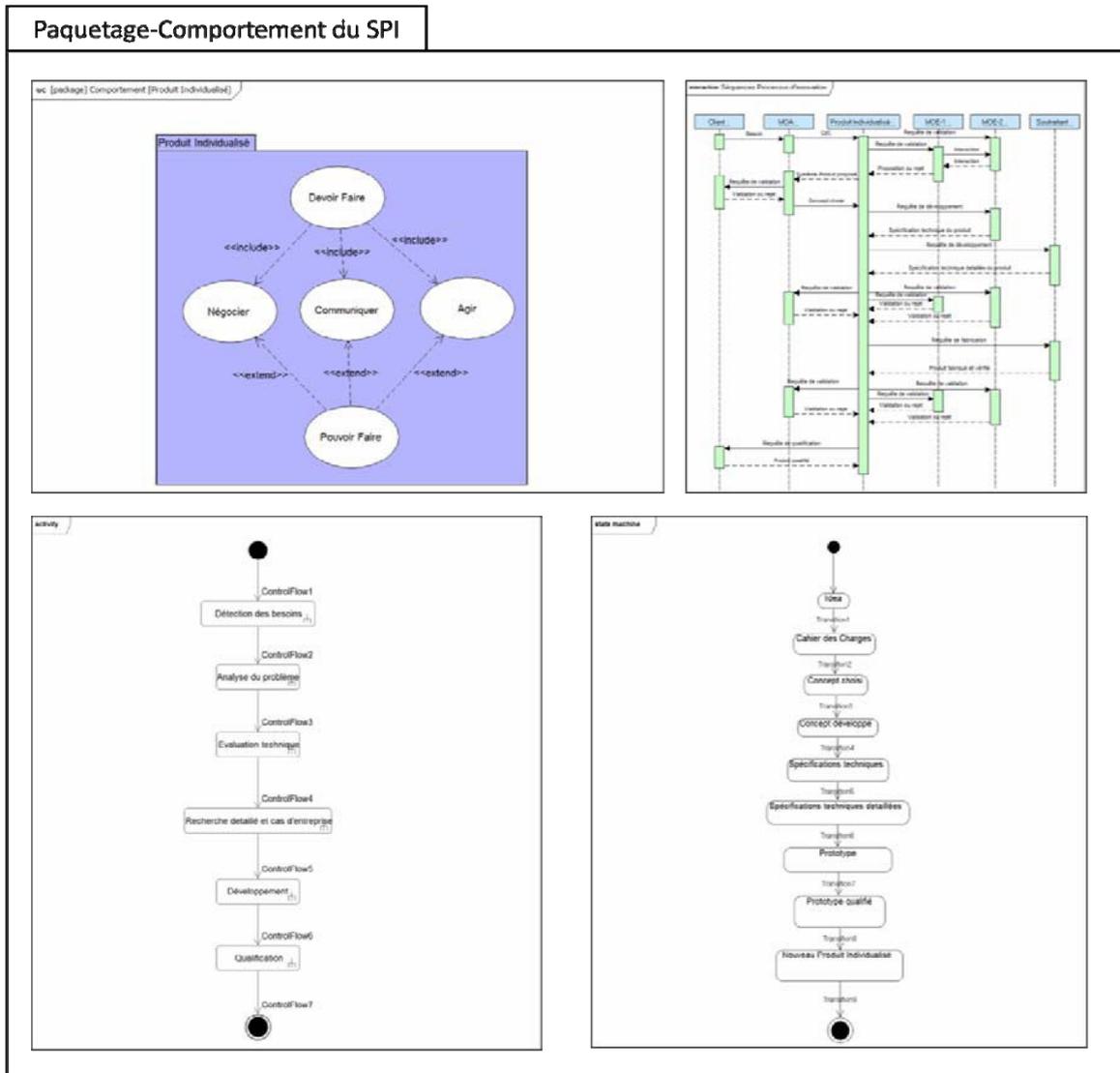


Figure 27. Les différentes vues du comportement du système-produit individualisé (diagramme de cas d’utilisation, de séquences, d’activités et d’états).

### 3.4 Le « pillar » des paramètres d’un système-produit individualisé

Le diagramme de paramètres en SysML permet de spécifier au niveau opérationnel le paramétrage des éléments constitutifs du SPI afin qu’il satisfasse les exigences. Ce paramétrage se fait à l’aide de valeurs (les paramètres) répertoriées dans le diagramme (figure 28).

Ces valeurs maintiennent la cohérence entre les aspects essentiels (must, obligatoires) et les aspects inessentiels (can, optionnels) des trois « pillars » présentés précédemment. Ainsi, nous proposons :

- de caractériser par la couleur noire les paramètres des éléments obligatoires (must, essentiel) permettant au SPI de réaliser le comportement obligatoire,

- de caractériser par la couleur grise les paramètres des éléments optionnels (can, inessentiel) permettant au SPI de réaliser le comportement optionnel.

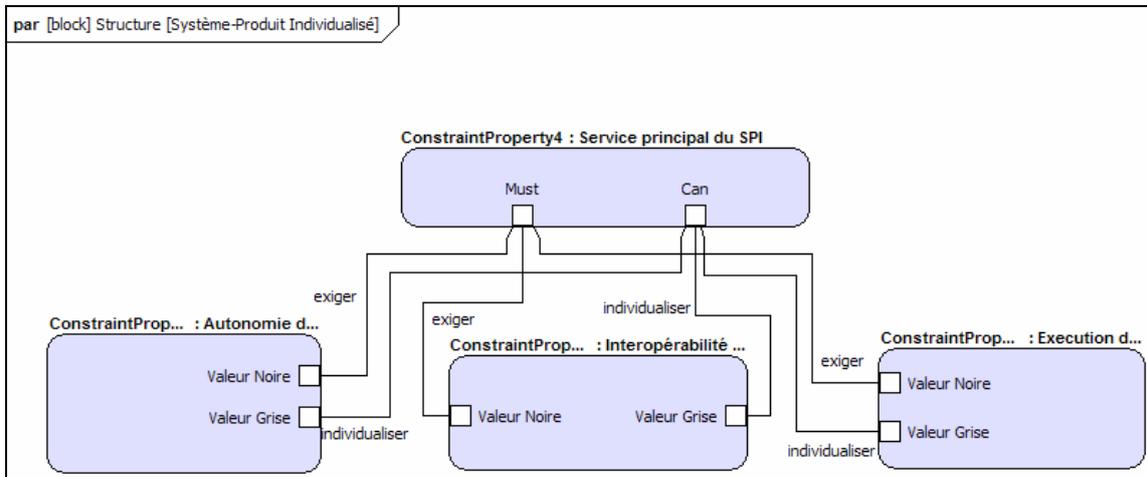


Figure 28. Diagramme de paramètres du modèle du produit individualisé.

### 3.5 Proposition d’un artefact de système-produit individualisé comme pivot de l’ingénierie de l’innovation

Dans cette partie nous sommes attachés à définir en langage d’ingénierie le système-produit individualisé comme l’artefact de raisonnement en ingénierie système de l’innovation basée sur les modèles (ISIBM).

Nous posons qu’à partir du modèle de cet artefact auquel on applique le principe de matérialité (Frachet J.P., 1987) doit émerger le modèle du processus d’ingénierie de l’innovation vue comme une démarche intégrant l’ensemble des systèmes et de leurs ingénieries associées contribuant à innover ce système-produit individualisé.

Nous utilisons dans la suite de nos travaux cet artefact comme le pivot de l’ISIBM pour concevoir au sein d’un tout cohérent le système pour faire l’innovation (le projet d’innovation) ainsi que le système à faire l’innovation pour réaliser le projet.

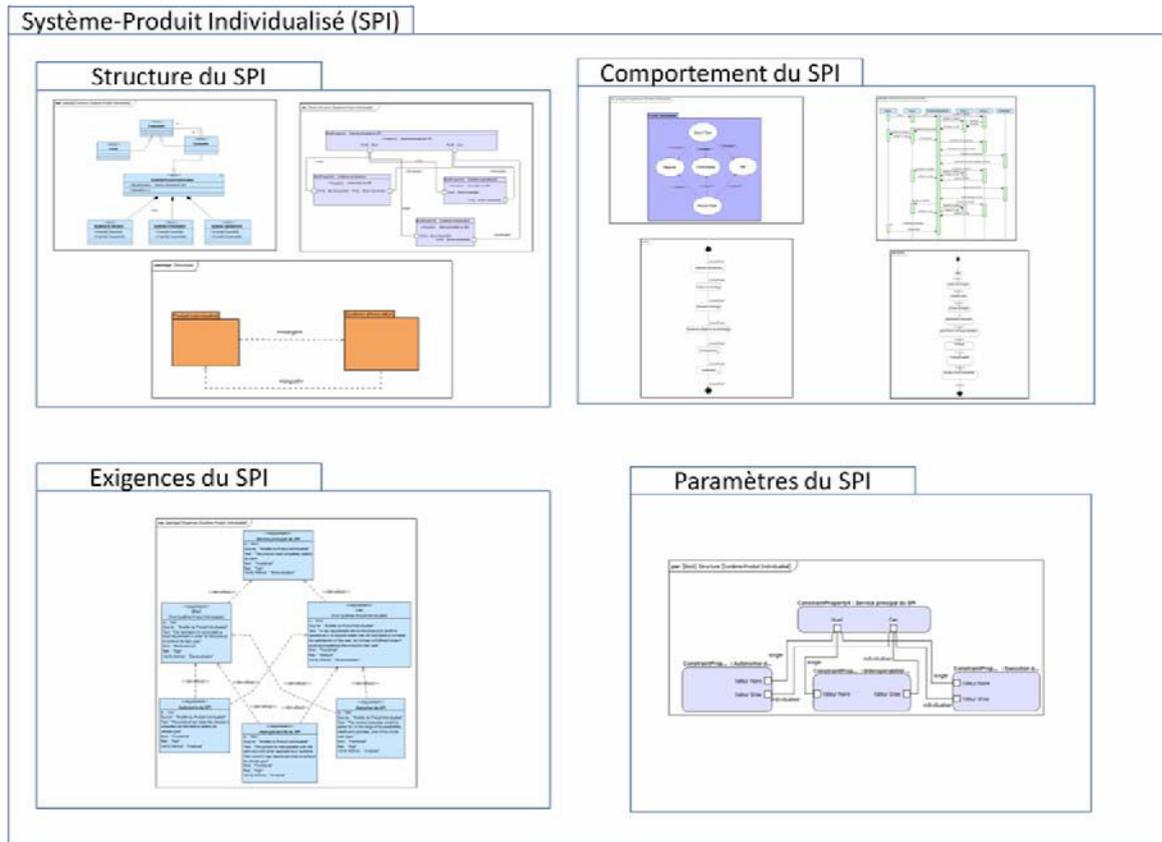


Figure 29. Le système-produit individualisé, pivot de l'ingénierie de l'innovation.

Les éléments des 9 diagrammes constituant les 4 « pillars » pour décrire le système-produit individualisé établissent entre eux des connexions étroites issues des règles de modélisation du langage SysML (figure 29). Ces règles de modélisation font état d'allocation entre les différentes unités de modélisation du langage.

Un *bloc* est l'unité basique de la *structure* du système. Il peut représenter du hardware, du software, des installations, du personnel ou d'autres éléments du système. Une *exigence* est un énoncé qui spécifie une aptitude, une caractéristique ou une limitation d'un système, d'un produit ou d'un processus dans des conditions d'environnement données. Un diagramme d'exigences capture les hiérarchies des exigences et ses relations de dérivation, satisfaction et vérification. Les diagrammes de *comportement* comprennent le diagramme de *cas d'utilisation*, le diagramme d'*activités*, le diagramme de *séquences* et le diagramme d'*états*. Le diagramme de *paramètres* représente les contraintes dans les valeurs des propriétés du système telles que la performance, la fiabilité et les propriétés de masse. Il sert comme un moyen d'intégrer les modèles de spécification et conception avec les modèles d'analyse d'ingénierie.

D’un point de vue de notre artefact de modélisation, la cohérence entre ces diagrammes est assurée par des règles d’allocation entre les différentes propriétés caractérisant notre système. Le tableau 2 rencontre de ces allocations.

**Tableau 2. Caractérisation du produit individualisé.**

SysML	Individualisation vis-à-vis de l’environnement		Individualisation en tant qu’objet		
<b>Exigences</b>	Must	Can	Autonomie	Interopérabilité	Exécution
<b>Structure</b>	Essentiel	Inessentiel	Système de décision	Système d’information	Système opérant
<b>Comportement</b>	Devoir faire	Pouvoir faire	Négociation	Communication	Action
<b>Paramètres</b>	Valeur noire	Valeur grise	D’autonomie	D’interopérabilité	D’exécution

Ce tableau présente de façon résumée la caractérisation d’un produit individualisé. Il reprend les notions des « pillars » de SysML (Exigences, Structure, Comportement et Paramètres) (en lignes) et les relie, d’un côté, avec le rapport que le produit a avec son environnement et, de l’autre côté, par rapport à ses capacités propres à lui-même. Par le rapport que le produit peut avoir avec son environnement, ce tableau fournit un cadre pour décrire un produit individualisé considérant, de façon générale, les aspects essentiels (de base, première colonne) et inessentiels (individualisables, deuxième colonne) du produit par rapport aux 4 « pillars ». Cela permet de décrire le produit individualisé considérant les vues définies par le langage SysML. Par rapport aux capacités propres au produit, ce tableau fournit les éléments de caractérisation nécessaires selon les capacités décisionnelles, informationnelles et opérationnelles d’un produit individualisé tout en considérant également les 4 « pillars » (les trois dernières colonnes), ce qui permet de le décrire par l’intérieur tout en gardant le rapport que le produit a avec son environnement puisqu’il s’agit des mêmes artefacts généraux (Exigences, Structure, Comportement et Paramètres).

#### 4. Conclusion

Nous avons proposé dans ce chapitre une caractérisation et semi-formalisation d’un produit individualisé. Nous avons utilisé la méthode NIAM/ORM pour trouver et diriger l’origine de notre modélisation en identifiant les objets à formaliser.

Dans la logique d'ingénierie système où ces travaux se sont déroulés, nous avons utilisé SysML afin de compléter cette semi-formalisation, appuyés sur les quatre « pillars » (Structure, Comportement, Exigences et Paramètres).

Nous avons réalisé la modélisation des diagrammes et les correspondances qui donnent une logique de suivi et traçabilité aux différents éléments de modélisation. Ainsi, un premier résultat de nos travaux a été de proposer un *méta-modèle* d'un produit individualisé distingué par les aspects qui correspondent aux exigences, structure, comportement et paramètres. Ce *méta-modèle* participe de la sorte à la capitalisation des modèles dès lors où il est instancié par les produits individualisés particuliers qui résulteront du système d'innovation à faire émerger pour chaque projet d'innovation.

Nous concluons qu'il est possible de modéliser un produit individualisé comme un système qui peut interagir avec les éléments de son système d'innovation dès les premières étapes du processus, quand il est seulement une idée. Nous proposons dans le chapitre 2 de ce mémoire que le produit individualisé peut intégrer les métiers, tâches, activités, procédures et acteurs (y compris le client) du système d'innovation qui le réalisera dans une logique d'ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles (ISIBM).

**Ce chapitre a pour objectif de proposer la démarche pour modéliser un système d'innovation et ses ingénieries associées. Nous postulons**

**que le modèle descriptif du système d'innovation doit émerger du modèle du produit individualisé. Ceci afin d'être conçu comme un**

**Chapitre 2**  
**De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles**

**tout cohérent et permettre l'adaptation pour chaque recomposition du système d'innovation pour satisfaire un donneur d'ordre. Pour ce faire, nous proposons une démarche de modélisation centrée sur le produit individualisé qui permet de structurer et d'organiser les deux autres modèles d'ingénierie que nous détaillerons ci-après : le « système-projet pour faire l'innovation » duquel émergera le « système à faire l'innovation »**

---

## 1. Introduction

De l'idée originale à la commercialisation réussie d'un produit, l'innovation est un processus long et complexe car il implique différentes activités et acteurs issus de l'entreprise et de son environnement. De plus, ces acteurs sont généralement issus d'horizons différents, ont des compétences différentes et travaillent sous des contraintes sévères (ressources technologiques et financières limitées, normes et règles à respecter...).

A travers leurs interopérations, ces acteurs et ces activités sont organisés sous forme d'une ingénierie de l'innovation (Boly 2004) afin de passer d'un besoin à une solution d'innovation retenue puis à un produit d'innovation réalisé (prototype, activité nouvelle, ...) mis à disposition des activités d'exploitation.

Dans la suite de ce chapitre nous allons modéliser ces processus d'innovation. Afin de faciliter la lecture nous établissons ci-après une liste de mots clés qui nous seront utiles dans notre exposé. Ces termes sont ceux utilisés dans la communauté du génie industriel et plus globalement de l'ingénierie de l'innovation voire de la gestion des processus de conception.

- **le produit innovant** : c'est l'élément innovant qui est créé par l'entreprise. Il s'agit d'un produit, un procédé ou toute autre forme interreliée avec des activités support (maintenance, distribution...).
- **l'individu ou le groupe d'individus** : à certaines périodes chaque personne au sein de l'entreprise peut devenir un acteur du processus d'innovation. Il jouera un rôle personnel ou participera à un phénomène collectif de création. Cette création relève de processus cognitifs et mentaux que nous n'aborderons pas dans ce mémoire.
- **le projet** : c'est le niveau organisationnel support des activités de conception de l'objet. Selon l'AFITEP<sup>2</sup>, le projet est un système complexe d'intervenants, de moyens et d'actions, constitué pour apporter une réponse à une demande élaborée pour satisfaire au besoin d'un maître d'ouvrage. Sa caractéristique principale réside dans sa durée limitée dans le temps, C'est ce niveau que nous avons cherché à modéliser.

---

<sup>2</sup> Association Francophone de Management de Projet <http://www.afitep.fr/>

- **l'entreprise et son management de l'innovation** : il s'agit du niveau global de gestion du potentiel innovatif de l'entreprise (savoir-faire, méthodes, expériences, processus de développement,...). Ce niveau concerne la culture relative aux projets innovants ainsi que la pérennisation de la dynamique d'innovation (Boly 2008). Ce niveau qui vise à savoir quelles techniques l'entreprise doit maîtriser à terme, les techniques futures de pilotage de l'innovation, l'établissement de la liste des projets qui pourraient être étudiés... est un processus « plus global » qui n'est pas pris en compte dans ce mémoire. En fait on peut considérer que la logique « pour faire » / « à faire » peut être menée à deux échelles (le système global étant le niveau pour faire du niveau projet).

Ainsi nous cherchons à **relier ces éléments relatifs à l'innovation avec le paradigme d'« Intégration d'Entreprise (EI) »** (Kosanke et Nell 1997) (Vernadat 2007) (Panetto et Molina 2008). Ce paradigme est appliqué lorsqu'il est nécessaire de développer des interactions entre des personnes, des systèmes, des services, ... et permet de définir l'organisation de ces éléments et de leurs relations comme un tout afin qu'ils accomplissent leur mission pour satisfaire les utilisateurs.

D'un point de vue ingénierie, la « modélisation d'entreprise » est un pré-requis à l'« intégration d'entreprise » afin de concevoir les différents modèles décrivant l'organisation, la structure,... d'un système. Pour ce faire, les démarches de modélisation d'entreprise peuvent être « top-down » ou « bottom-up » et dépendent de l'artefact du raisonnement de modélisation (Mayer et Auzelle 2007). Ces démarches s'appuient sur des cadres de modélisation tels que CIM-OSA, PERA, GERAM ou plus récemment Zachman. C'est ce travail de modélisation qui fait l'objet du présent chapitre.

*Enterprise Modeling may be used for a variety of purposes:*

*- To (re)design production, management and control processes, including their interactions (through events and information and material flow), and to design how processes use automated (manufacturing and IT) resources as well as human resources (i.e. to design the organization);*

*- To achieve common understanding and agreement between stakeholders (management, workers, owners, partners, etc.) about a number of aspects of the enterprise;*

*- To control the processes based on the model (e.g. using Workflow Management Systems or Model-Based Process Control). (Bernus 2003)*

L'ensemble des travaux présentés dans ce chapitre trouveront leur application dans le chapitre 3 sur les bases de cas d'étude en entreprise.

## 2. Définition du système à faire et du système pour faire

D'un point de vue de l'ingénierie de l'innovation, nous avons retenu le principe d'« Intégration d'Entreprise (EI) » en le transférant à notre champ d'étude. Plus précisément nous avons utilisé un mode de représentation selon deux notions : le « système pour faire » et le « système à faire » (Meinadier 2002). Nous allons détailler ces deux notions ci-après.

A. **Le système à faire.** Ensemble des activités (hors activités de réalisation) qui permettent de passer du besoin au choix de la solution cible retenue. C'est un système à dominante technologique : un ensemble de matériels logiciels, compétences humaines et processus organisé pour répondre à un besoin.

B. **Le système pour faire.** Afin d'organiser, exécuter et coordonner toutes les activités qui conduisent à la réalisation et à la mise à disposition du système à faire, il est nécessaire de mettre en place un système doté de ressources humaines, techniques et d'information. C'est un système à dominante organisationnelle, mis en œuvre (en particulier) pour réaliser l'ingénierie des systèmes précédents (système « ingénierant »). C'est un ensemble d'équipes, de méthodes, de processus et de moyens organisé pour répondre au besoin de conception, évolution et vérification de la définition du système ingénieré. Les systèmes « ingénierant » sont organisés en projets. Plusieurs projets peuvent concerner un même système : projet pour le concevoir, projet pour le produire, projet pour le mettre en service, projet pour le faire évoluer, projet pour le retirer du service, etc. Pour simplifier, dans cette introduction, le système pour faire (système-projet) est assimilé au projet de développement amont du système conduisant au système réalisé (prêt pour être exploité).

Si l'on considère la littérature relative à l'innovation, on peut alors proposer un lien entre ces deux modèles et les apports de l'ingénierie de l'innovation.

A. **Le système à faire** : il y a correspondance entre le système à faire et le concept d'OIC (objet intermédiaire de conception). D'une part les OIC et système à faire sont relatifs à un besoin à satisfaire. De plus ils évoluent dans le temps. Enfin un OIC, ou un objet

nouveau en cours de conception qui peut être un produit, un procédé de fabrication nouveau, un mode d'organisation industriel nouveau.... Enfin les OIC in fine deviennent un produit finalisé lancé sur le marché c'est-à-dire un « système réalisé »

B. **Le système pour faire** : il correspond en innovation à toutes les activités, méthodes et acteurs qui vont concevoir le nouveau produit (suite d'OIC). Nous avons vu que ce système pour faire pouvait être selon le vocabulaire (de l'ingénierie de l'innovation) : un projet (durée limitée dans le temps durant laquelle on conçoit un produit) et le processus global de l'innovation (activités permanentes de l'entreprise pour trouver des opportunités de nouveaux projets).

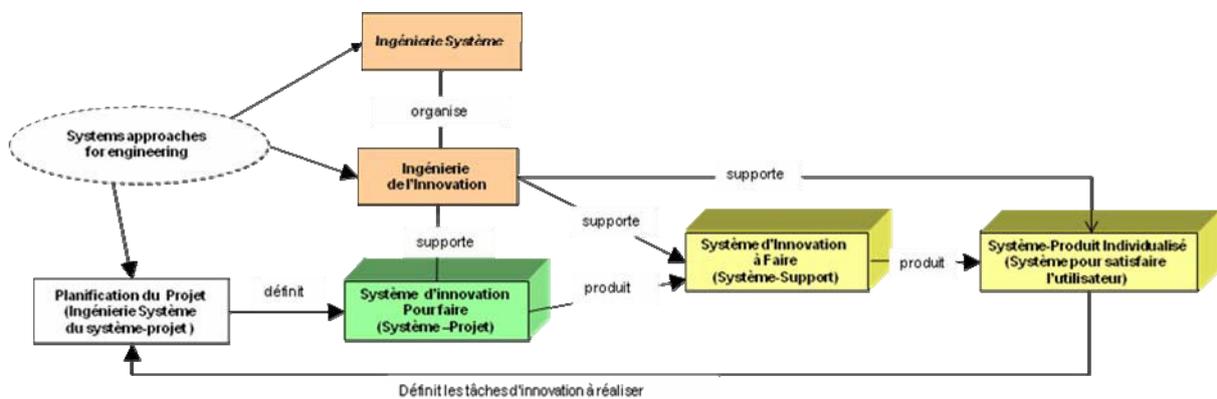


Figure 30. Démarche didactique de l'innovation selon les principes de l'ingénierie système (inspiré de (Meinadier 2002))

A noter que de nombreux auteurs ont montré que beaucoup d'échecs en innovation étaient dus au fait que l'entreprise n'étudie durant le projet que le produit lui-même (Aït El Hadj et Boly 2009). En fait l'innovation ne doit pas être un processus de conception de produit mais un processus de création d'activités nouvelles. Donc le système à faire doit être décrit comme un produit associé à toutes les connaissances pour le fabriquer, le distribuer, le maintenir.... Donc le système à faire est proche de la définition donnée par Boly du système technologique innovant à concevoir, vu comme une combinaison de savoirs (Boly 2008).

### 2.1 Comment relier le système à faire et pour faire : l'approche dirigée par le produit

En ce sens, l'application du principe de matérialité (Frachet 1987) nous permet de postuler que l'ensemble des modèles doivent émerger du modèle du *système-produit individualisé* défini au chapitre 1 afin qu'ils forment un tout cohérent, le système d'innovation, et ceci, pour chaque recombinaison de ce système pour répondre à un besoin.

Nous définissons ainsi une **Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles (ISIBM)** dirigée par le *système-produit individualisé*. Le *système-produit individualisé* est considéré comme l'artefact primaire pour représenter les spécifications et la conception d'un système d'innovation pour faire et à faire une solution innovante.

*In Model Based Systems Engineering, the model becomes a primary artifact to represent the system specification and design. (Friedenthal 2009)*

Pour guider le raisonnement de modélisation de cette ISIBM, nous nous sommes inspirés de la démarche de modélisation d'un système préconisée dans le référentiel Zachman (Sowa et Zachman 1992) (Zachman 2009) permettant de structurer et d'organiser les différents modèles d'ingénieries concernés au sein du système (*produit, à faire, pour faire, ...*). Notre contribution scientifique consiste à les appliquer lors de toute mise en œuvre d'un processus d'innovation en entreprise.

Cependant, afin de respecter notre postulat de travail, nous avons dû enrichir d'une part l'ISIBM avec les différents modèles couramment utilisés pour déterminer un processus d'innovation et d'autre part, les différents points de vue de modélisation et niveaux d'abstraction du cadre Zachman et ceux contenus dans le modèle de produit individualisé tel que proposé dans le chapitre 1. Ce travail d'enrichissement, voire de complétude, se justifie par notre volonté de placer le système-produit individualisé au cœur des systèmes d'innovation et de leurs ingénieries le concernant.

### **3. Des Modèles pour l'ingénierie de l'innovation ...**

#### **3.1 Des modèles d'innovation ...**

Plusieurs facteurs sont à l'origine de la complexité dans les phases amont du processus d'innovation, i.e. le planning et le développement du produit :

- la pluralité fonctionnelle et l'individualisation du produit requis pour des motifs concurrentiels (Weigt 2007),
- la croissante interdisciplinarité des produits techniques due à un environnement compétitif,

- la diversité des modèles et des alternatives requièrent la mise en œuvre de gammes de tailles, de produits modulaires et de paquetages des systèmes, augmente graduellement la complexité des produits techniques (Pahl et Beitz 1996).

De plus, l'aspect très créatif de l'innovation peut amener à la définition d'objectifs de conception d'ingénierie pouvant être perçus indéterminés, génériques, pas clairs, implicites et conflictuels (Doerner 1989) (Pahl et Beitz 1996).

Le terme d'ingénierie de l'innovation est lié à l'application des méthodes, techniques, outils et tout type de ressource de façon systématique pour accélérer et rendre plus efficace le passage d'une idée à un produit vendable dans le marché. Cependant, les activités qui mènent à créer des produits innovants avec succès peuvent être très variables dans leur nature, ce qui ne peut pas permettre à une entreprise de tout maîtriser et qui rend donc l'innovation incertaine et risquée. En même temps, l'innovation est nécessaire dans le monde concurrentiel d'aujourd'hui. Cela mène les entreprises de plus en plus à collaborer et trouver de nouvelles stratégies de travail (Maranzana, Gartiser et Caillaud 2008). Depuis plusieurs dizaines d'années, les académiques de plusieurs disciplines cherchent à définir des bonnes pratiques (Boly 2004) ainsi que des modèles d'innovation (Rothwell 1992) (Cooper 2001) pour soutenir et maîtriser un processus qui, par sa nature complexe, rend difficile son organisation et donc son intégration en entreprise.

Quelque soit son type (de rupture ou incrémentale) ou sa nature (des produits, des processus, des services, d'organisation), l'innovation se caractérise par un enchaînement d'activités plus ou moins défini, devant conduire une idée à sa matérialisation puis sa mise sur le marché. Au sens strict du terme, l'innovation est un processus de création de valeur basé sur la nouveauté, valeur pouvant prendre différentes formes en fonction des attentes de l'entreprise : nouvelle fonction, nouvelle image, nouveau savoir, nouveau positionnement stratégique, etc. Comme tout processus, le processus d'innovation est défini comme un ensemble d'activités reliées entre elles par des flux d'informations ou de matière qui se combinent pour réaliser un produit matériel ou immatériel. Pour ce faire, un processus d'innovation se réfère à des modèles afin d'organiser ces différentes activités.

### **3.1.1 Modèle de Cooper.**

Dans (Cooper 2001), l'auteur propose de considérer le modèle Stage-Gate System comme modèle d'organisation d'un processus d'innovation. Ainsi, ce modèle propose une démarche

permettant de subdiviser le processus de développement de produits nouveaux en un ensemble d'étapes (ou Stages) (figure 31). A l'entrée de chaque étape se trouve une porte (ou Gate), matérialisant des prises de décision qui sont de type Go ou No-Go (appelées aussi « Go/Kill decision points »). Pour prendre ces décisions, l'ensemble de l'équipe projet se réunit afin d'examiner toutes les nouvelles informations en provenance des phases précédentes. En chaque porte, sont organisées les phases (Stages) du projet dont le nombre peut varier de 4 à 6. Le but de chaque étape est de collecter les informations nécessaires pour pouvoir progresser dans le processus. Chaque phase consiste en un ensemble d'activités réalisées en parallèle par une équipe pluridisciplinaire.

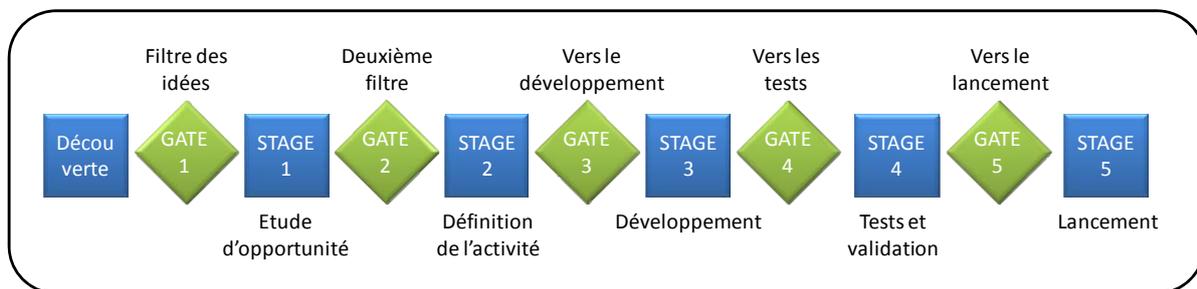


Figure 31. Processus de développement Stage-Gate System (Cooper, 2001).

### 3.1.2 Modèle Fuzzy Front-End.

Le modèle « Fuzzy Front-End » a pour objectif de décrire l'incertitude de l'innovation (« Fuzzy »), particulier dans la mise en œuvre des phases amont (« Front-End »). Les étapes « Front-End » consistent généralement à réaliser un planning de la stratégie, à générer des concepts et à faire une évaluation préliminaire. Les activités durant ces phases sont généralement chaotiques, imprédictibles et non-structurées (P. Koen 2005). Ceci a poussé certains chercheurs à considérer que les processus du « Front-End » peuvent ne pas être linéaires, d'où l'opportunité de les considérer selon un modèle cyclique, tel que proposé par (P. A. Koen 2002) présenté dans la figure 32.

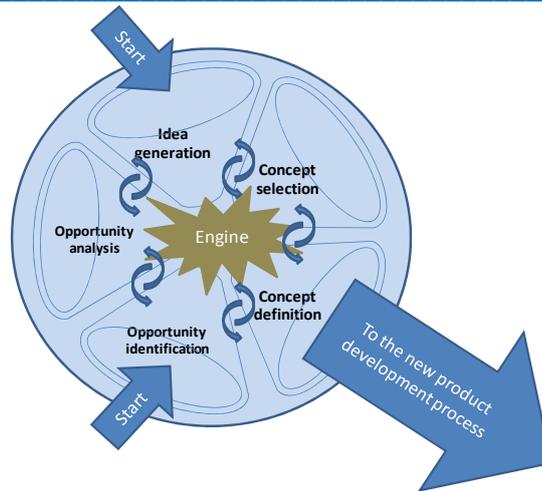


Figure 32. Les phases du Fuzzy Front-End (Koen, 2002)

### 3.1.3 Modèle de management de l'innovation

Dans (Tidd 2006), les auteurs considèrent l'innovation comme étant un noyau d'activités réparties dans le temps, mais ils affirment que l'innovation dans la vie réelle ne répond pas parfaitement à cette image simplifiée et ne constitue que rarement un phénomène isolé, mais plutôt un cycle d'activités répétées dans le temps. L'argument principal est que plusieurs actions différentes doivent intervenir pendant qu'on parcourt les étapes du modèle et qu'à chaque action correspond l'apprentissage de leçons importantes qui concernent les routines efficaces de gestion de l'innovation (figure 33). Ils ont déterminé 4 phases principales :

1. **Plan de recherche.** La première phase du processus d'innovation est la détection dans l'environnement, de signaux indiquant les opportunités de changement, par exemple, nouvelles possibilités technologiques, changements au niveau de la demande des marchés ; elles peuvent également résulter de pressions législatives ou de mesures prises par des concurrents.
2. **Phase de sélection.** Il est indispensable de faire un choix parmi les différents débouchés possibles et opportunités technologiques et d'utiliser les domaines de technologie et de marketing dans lesquels l'entreprise est compétente. Trois intrants alimentent cette phase. Le premier est constitué par le flux de signaux relatifs aux opportunités technologiques et commerciales offertes à l'entreprise. Le deuxième intrant concerne la base technologique actuelle de la firme, c'est-à-dire sa compétence technologique distincte. Le troisième est l'adéquation de l'innovation avec la politique globale de l'entreprise.

3. **Mise en œuvre.** Cette phase de mise en œuvre peut être considérée d'une certaine façon comme un exercice destiné à rassembler différents éléments et à les tisser pour en faire une innovation. Cette phase s'aborde de manière plus détaillée en examinant trois éléments centraux :
  - a. **Acquisition de ressources en savoir.** Cette phase implique la combinaison de connaissances nouvelles et actuelles (disponibles à l'intérieur et à l'extérieur de l'organisation) dans le but de résoudre le problème.
  - b. **Exécution du projet.** Cette phase est au cœur même du processus d'innovation. Elle contribue à la définition d'un concept stratégique précis et permet de dégager certaines idées initiales concernant la réalisation du concept. Elle produit à la fois une innovation bien développée et un marché (interne ou externe) prêt à l'usage et à un lancement final.
  - c. **Lancement de l'innovation.** En parallèle avec le processus de résolution des problèmes techniques associés au développement d'une innovation, il existe également une série d'activités liées à la préparation du marché destiné à son lancement. Le processus global d'innovation ne peut être considéré comme achevé que lorsque le marché-cible aura pris la décision d'adopter l'innovation en question.
4. **Apprentissage et ré-innovation.** Inévitablement, le lancement d'une innovation se traduit par la création de nouveaux stimulants qui font redémarrer le cycle. L'échec éventuel d'un produit/service donne des informations utiles sur les changements à apporter à l'avenir. Un scénario assez répandu est celui de la « ré-innovation » proposé par Rothwell et Gardiner (Tidd, 2006, p.96).

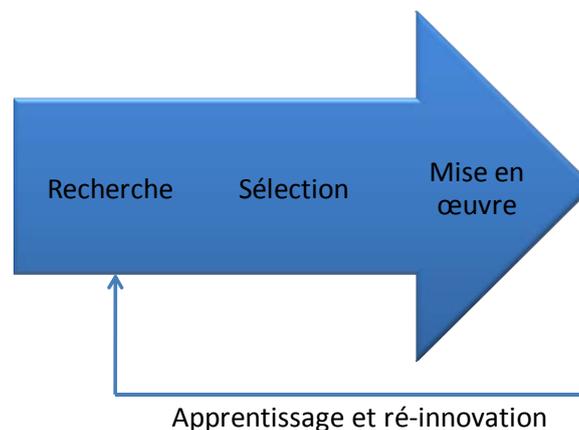


Figure 33. Modèle de management de l'innovation (Tidd 2006).

### 3.1.4 Modèle de Rothwell

Rothwell (Rothwell 1992) a mené une étude sur une période de quarante ans afin d'identifier et de classer différents types d'intégration de l'innovation. A partir de cette étude, il a montré que chaque nouvelle génération pratiquant le management était une réponse à un changement significatif du marché, tel que la croissance économique, l'expansion industrielle, une concurrence plus intense, stagflation, récupération économique, chômage et des ressources contraintes. De plus, il a montré que les impacts de chaque changement de génération impliquent la mise à jour de la stratégie d'entreprise, l'amélioration du processus d'innovation et le développement de nouvelles niches de marché.

Ainsi, il a proposé une catégorisation permettant de rendre compte du type de management de l'innovation appliqué en entreprise. Les 5 générations sont :

1. **Technology Push.** De 1950 jusqu'aux mi 60's, une rapide croissance économique a mené vers une "demande sans fin" qui a permis un grand "technology push" et l'expansion industrielle du monde occidental et du Japon. Les entreprises se sont focalisées majoritairement dans les découvertes scientifiques radicales –« plus de R&D égale à plus de nouveaux produits ».
2. **Market Pull.** La période des mi 60's aux débuts des années 70's a été caractérisée par une « bataille de partage des marchés » qui comprenait des changements des stratégies des entreprises selon un « need pull ». Le focus central cherchait à répondre les besoins des marchés.
3. **Couplage de la R&D et le Marketing.** Dans la période entre mi 70's et mi 80's, la « rationalisation d'efforts » a émergé due à la pression de l'inflation et la stagflation. Le focus stratégique était dans la consolidation des corporations et a résulté dans des « portfolios de produits ».
4. **Processus d'entreprise intégrés.** Pour l'économie occidentale dans les débuts des années 80's jusqu'aux mi 90's, le sujet central était une « bataille contre le temps ». L'approche typique était la « nature parallèle et intégrée » des processus de développement.

5. **Intégration des systèmes et Networking.** Finalement, à partir des années 90's, les contraintes des ressources sont devenues centrales. Le résultat a été le focus dans l'intégration des systèmes et le networking afin d'assurer la flexibilité et la rapidité de développement.

On peut s'interroger si, à ce jour, un nouveau phénomène n'est pas en émergence : l'innovation dite systémique ou open innovation qui cherche à agréger des réseaux de ressources pour intégrer en amont de la conception l'ensemble des disciplines nécessaires à la mise en place d'innovation entreprise par entreprise mais aussi de filières complètes nouvelles (Chesbrough H. 2009).

### 3.1.5 Modèle de l'Ingénierie de l'Innovation

Boly (2004) propose de définir une ingénierie de l'innovation comme une démarche intégrée. Cette démarche a pour objectif de définir le processus d'innovation permettant de supporter cette ingénierie selon 6 points de vue : vision de l'économiste, de l'ingénieur, du cogniticien, vision systémique, du sociologue et du biologiste :

**La vision de l'économiste :** selon cette vision, l'innovation est la mise en marché réussie d'un produit, procédé ou service nouveau. Dans cette définition la réussite est équivalente à la pérennité économique de l'entreprise résultant de la naissance du produit, la génération de l'emploi, l'assurance de retour d'investissement, la réalisation de marges financières.

**La vision opératoire :** selon cette vision, l'innovation est un processus de transformation d'une idée en objet nouveau. Cette transformation se fait par une succession d'étapes. Le processus d'innovation peut être linéaire et/ou itératif. C'est celle-ci que nous privilégions dans ce mémoire en particulier à travers le modèle en V du paragraphe suivant.

**La vision du cogniticien :** Selon (L. Morel 1998), l'innovation est un processus intégré de création de la valeur dont le facteur déterminant est la restructuration des dimensions cognitives des individus engagés dans le processus. Selon cette vision, l'innovation est une rupture avec les méthodes de production, des modes de raisonnement, des organisations et l'adoption d'une nouvelle pratique.

**La vision systémique :** L'innovation est sans doute un processus complexe. La systémique peut aider à mieux comprendre ce processus. Se référant aux théories de systémique (Le Moigne 1994), un objet complexe se définit comme étant une structure composée de

nombreux éléments appartenant à de multiples catégories. Ces éléments sont regroupés en sous-ensembles organisés en niveaux hiérarchiques successifs. Ces éléments et sous-ensembles sont reliés par des interactions nombreuses et de différents types. C'est ainsi que l'innovation apparaît comme étant complexe par l'existence de ses variables multiples (techniques, commerciales, stratégiques, incertitudes...) et inter-corrélées.

**La vision du sociologue** : Le processus d'innovation implique des changements à l'intérieur de l'entreprise. Or, une entreprise est en quelque sorte une mini-société. La mise en place d'un processus d'innovation au sein de l'entreprise induit des interrelations nouvelles plus ou moins conflictuelles entre les personnes concernées.

**La vision du biologiste** : il y a une analogie entre le monde du vivant et le monde de l'innovation. En biologie, trois états fondamentaux sont définis : la survie (maintient de l'organisme vivant dans une forme donnée), la croissance (une progression des dimensions des éléments constitutifs de l'organisme) et le développement (l'acquisition de fonctions par l'organisme). On peut supposer que l'innovation est une forme de développement pour les systèmes industriels.

### 3.1.6 Modèle du cycle de vie d'un produit

Dans ces travaux, nous avons choisi de considérer le processus en V de l'IS afin de structurer le processus d'innovation d'un système-produit individualisé. Le modèle en V est un des plus utilisés en IS dû à son caractère structurant (spécifier avant de concevoir, concevoir avant de réaliser, intégrer en fonction de la conception, vérifier en conformité aux exigences, valider en conformité aux besoins) (figure 34).

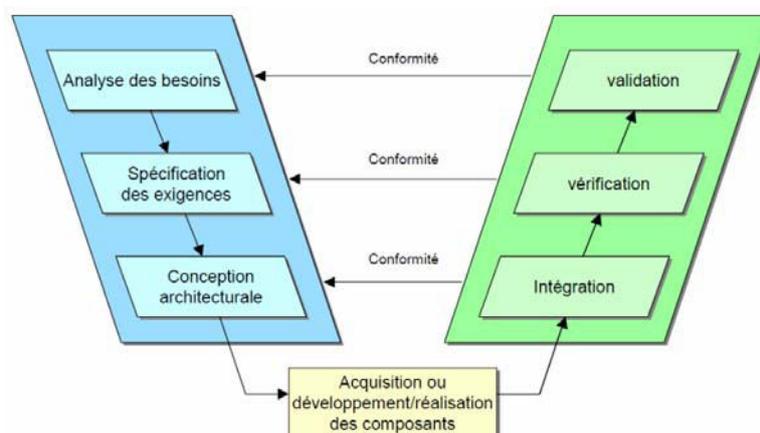


Figure 34. Activités de développement du modèle en V (repris de (AFIS 2006))

Même si le modèle en V est trop dépendant des types de système à réaliser et trop grossier pour décrire le développement des systèmes, sa définition est essentielle pour la maîtrise managériale d'un projet (AFIS 2006). Il peut être aussi adapté à chaque projet spécifique dans les phases amont, puis que le modèle en V est indépendant de l'organisation et du projet (IABG 2004). Ainsi, ce modèle spécifie que les exigences doivent être définies itérativement à partir du besoin du client tout en les raffinant jusqu'au moment où la spécification de chaque composant du système-produit est obtenue. Ensuite les composants sont fabriqués ou achetés et font l'objet d'un processus IVQ (Intégration, Validation et Qualification) (Meinadier 2002). L'Intégration s'assure de l'assemblage des constituants du système. Les opérations de vérification et validation (V&V) sont continues tout au long du processus d'intégration qui fait l'objet d'essais et de tests pour vérifier la compatibilité du produit avec les spécifications techniques et pour le valider par rapport aux exigences. Finalement, il est qualifié dans son environnement opérationnel, montrant sa capacité à répondre à sa finalité originale.

Nous utilisons ce modèle dans la suite de nos travaux comme un cadre pour structurer ce processus en fonction des états que doit prendre le système-produit individualisé pour aboutir à une solution satisfaisant son utilisateur (figure 35). Le système-produit individualisé est performant dès lors où il répond aux attentes de toutes ses parties prenantes dans sa dimension matérielle (biens) et/ou immatérielle (services) (Schmitt 2006). Dans nos travaux nous considérons le cycle de vie d'un produit comme un système au sens du *système à faire* (SAF) de l'ingénierie système. Afin de particulariser la notion de système pour le produit individualisé nous nous sommes dirigés vers la notion de gestion du cycle de vie d'un produit (PLM).

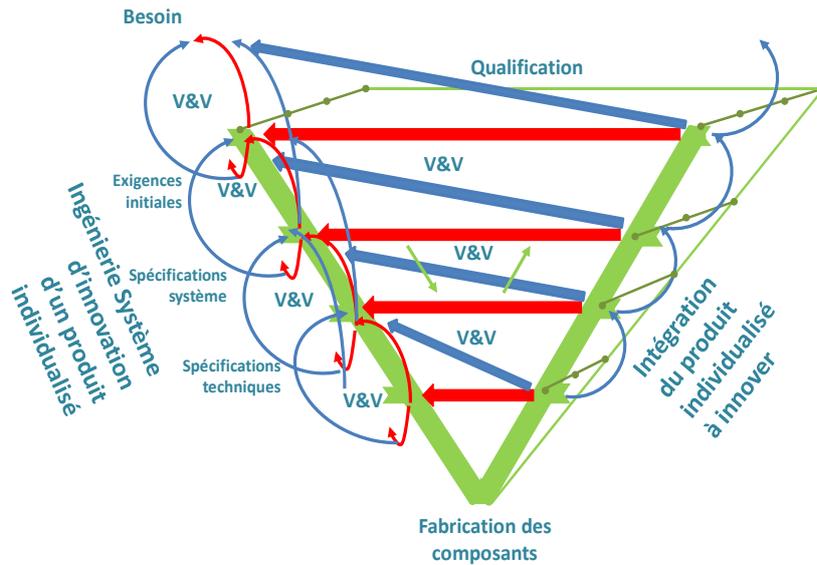


Figure 35. Processus en V de l'ingénierie système d'innovation d'un produit individualisé (adapté de (AFIS 2006)).

### 3.1.7 Modèle de Management du Cycle de Vie d'un Produit

Le cycle de vie d'un produit nécessite un management efficace de l'information concernant le produit tout au long de ses étapes afin de réussir à maximiser l'utilisation des ressources disponibles. D'une part, cette efficacité est atteinte grâce à l'intégration du cycle de vie du produit. Nous considérons cette intégration comme la colonne vertébrale de notre raisonnement de modélisation. D'autre part, elle est atteinte grâce à la capitalisation, à l'internalisation et à l'intégration de l'innovation comme un processus d'entreprise. (Terzi 2006). Ainsi, le PLM (Product Lifecycle Management) a pour but de relier l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit grâce au management de l'information du produit. A cet effet, CIMdata (CIMdata 2002) supporte une démarche PLM selon (1) une approche qui applique un ensemble consistant de solutions qui supportent la création, management, dissémination et utilisation de l'information d'un produit de façon collaborative ; (2) une approche par l'entreprise étendue (clients, partenaires de conception et fournisseurs, etc.) ; (3) une approche globale du concept de cycle de vie du produit ; (4) une approche intégrant le personnel, les processus, les systèmes d'entreprise et l'information.

Afin de mieux comprendre la notion d'intégration du cycle de vie du produit par le produit lui-même, nous avons réalisé une analyse de l'outil de conception mécanique CATIA™ et son outil PLM SmarTeam™, développés par Dassault Systèmes. Cette analyse a été utile pour identifier quelques éléments invariants dans le management du cycle de vie du produit qui ont été profitables pour notre approche de modélisation.

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

Les méta-modèles de CATIA™ et SmarTeam™ ont la capacité de maintenir un historique et un suivi de l'évolution du produit à partir des premières esquisses jusqu'aux assemblages des pièces et la formation des produits (figure 36). Particulièrement, nous nous sommes intéressés à la sauvegarde, sécurisation et réutilisation des données concernant le produit pour la conception d'autres produits à partir de n'importe quel état du produit (figure 37).

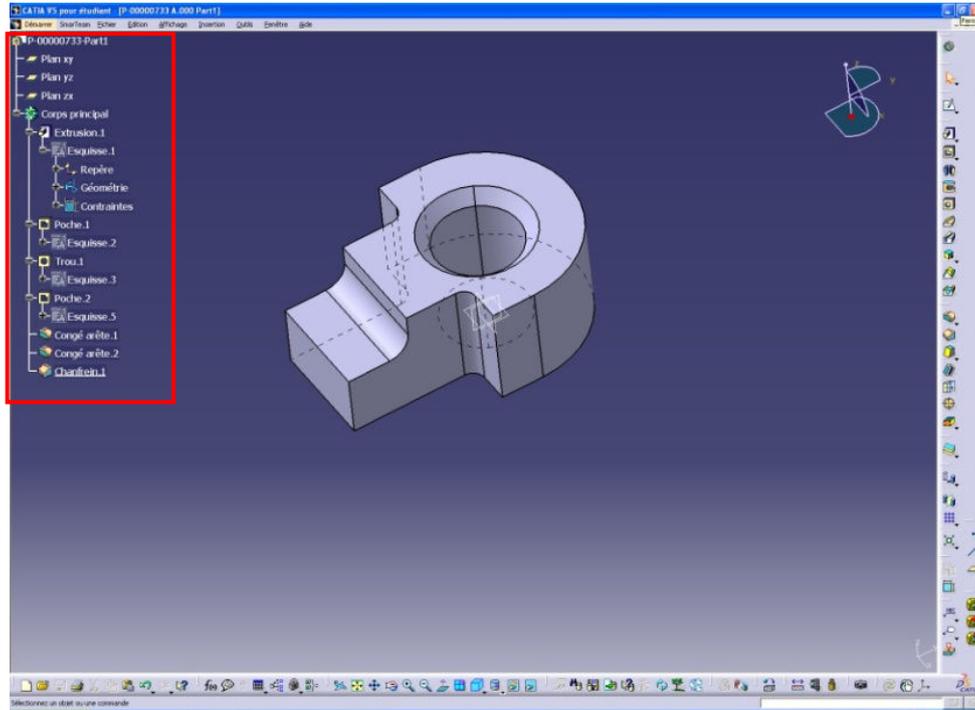
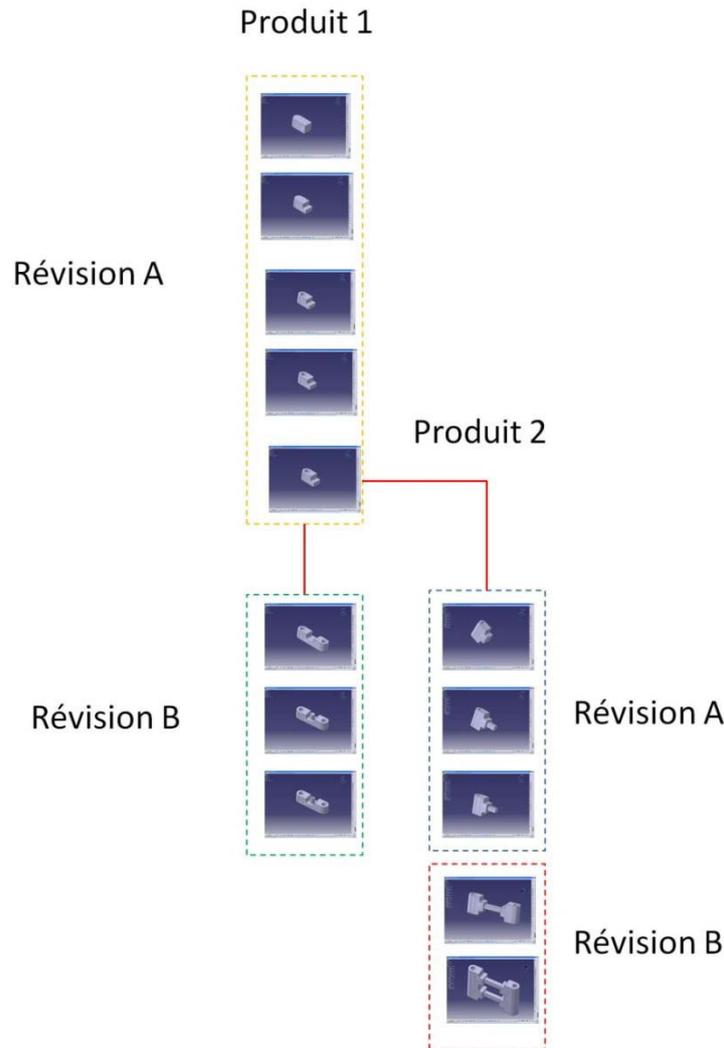


Figure 36. Historique d'une pièce faite en CATIA.



**Figure 37. Suivi de l'évolution d'un produit et création d'un deuxième produit à partir du premier grâce à l'approche PLM de SmarTeam.**

Nos travaux considèrent donc cette analyse du PLM comme support de notre raisonnement. En effet, nous nous sommes inspirés de l'approche PLM dû à la cohérence et consistance qu'elle propose pour gérer les données du produit pendant son cycle de vie. L'apport du PLM à notre approche de modélisation consiste à utiliser le modèle du *système-produit individualisé* pour maintenir la cohérence de ses propres informations au travers de son cycle de vie, puisqu'il s'agit du même « endroit » pour les sauvegarder. Il serait possible ainsi d'éviter les duplications de données ou les redondances d'information comme il se passe dans des projets d'application de l'ingénierie système basée sur les modèles (Andersson H. 2009). Cela favoriserait les tâches de vérification et validation proposées dans le modèle en V de l'IS grâce aux éléments de modélisation pourvus pour cet effet (e.g. diagramme d'exigences).

Ainsi, l'approche PLM nous a fourni des éléments logiques de structuration pour proposer un complément pour le modèle en V. Cela permet de le considérer comme un processus intégré qui permettrait de passer d'un besoin à une solution performante tout en maintenant une cohérence sur un même référentiel, matérialisé par le modèle du système-produit individualisé (figure 38).

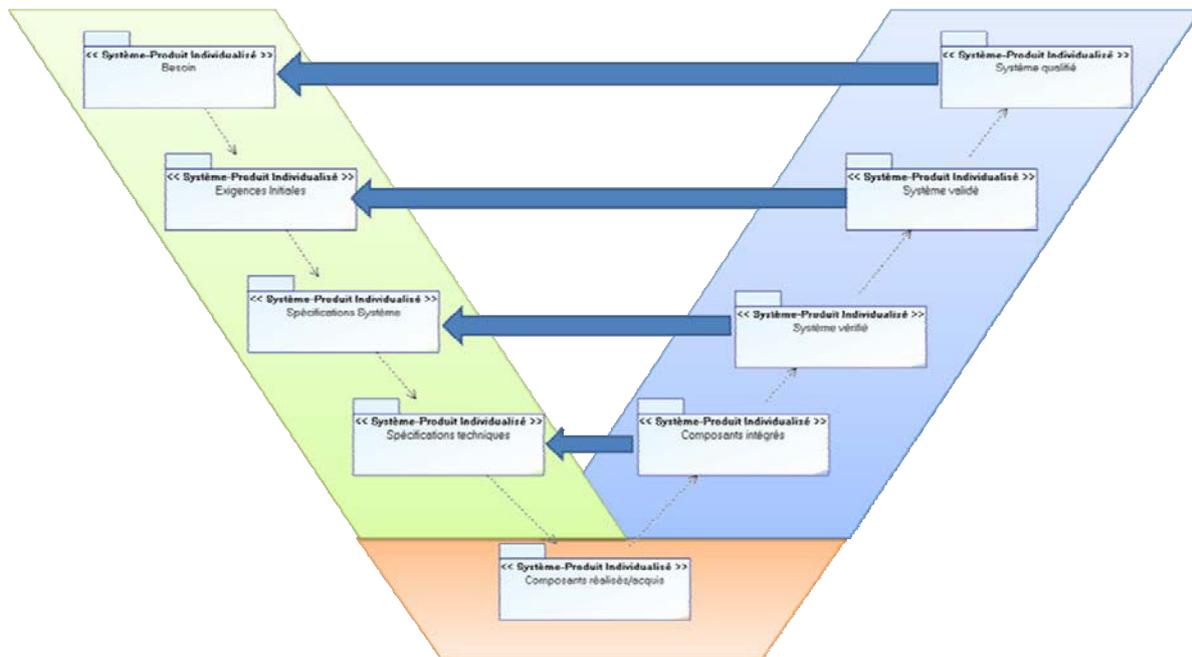


Figure 38. Intégration du modèle en V par le produit individualisé dans un seul cycle de vie.

### 3.1.8 Conclusion et synthèse sur les modèles d'innovation révisés

Les modèles présentés précédemment proposent différentes façons d'organiser le processus d'innovation qui, pourtant, reste complexe. L'innovation ne peut être que distribuée et reposer sur des mécanismes de partage, on parle même d'Open Innovation (Cash Jr. 2008). Pour répondre à ce problème, le processus d'innovation s'organise en activités qui ont tendance à de plus en plus à s'institutionnaliser dans l'entreprise (OCDE 2005) afin de mettre en place dans chaque projet d'innovation des tâches supportant l'innovation d'un produit (veille technologique, intelligence économique...). Ces activités peuvent trouver du support dans les modèles référencés dans des disciplines comme l'ingénierie système (IS), à savoir, le modèle en V, le management du cycle de vie d'un produit ou bien les processus de l'IS pour le développement de systèmes complexes.

Pour synthétiser les différents modèles représentant l'innovation nous nous rapprocherons du processus de planification d'un projet selon (Meinadier 2002). Les tâches devant être réalisées

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

par le projet d'innovation (SPF), lui-même ayant pour mission de réaliser le système d'innovation (SAF) produisant le produit innovant (le système produit-individualisé). Les exigences et contraintes du projet (le **pourquoi**) sont réparties sur ces tâches. Le résultat global est le plan du projet qui regroupe comme un tout cohérent les processus, les activités et enfin tâches (voir figure 39 et le tableau 3) du projet d'innovation.



**Figure 39. Regroupement des tâches en activités et des activités en processus.**

**Tableau 3. Activités et tâches de l'innovation avec les états du système-produit (inspiré de (Boly 2008) (Cooper 2001) (Tidd 2006) (INCOSE 2006) (Eisenmann H. 2009))**

Processus	Activités d'innovation	Tâches d'innovation	Etats du produit à innover
Innovation	Générer des Idées	Veille technologique Intelligence économique Identifier le besoin Analyser le besoin Analyser le marché Construction des scénarios	<i>Inexistant</i>
		Créativité	<i>Idee</i>
		Construction du percept	<i>Percept</i>
	Sélectionner des Idées	Construction du concept Comparer Sélectionner Evaluer	<i>Concept</i>
		Modélisation des choix Définir exigences initiales Analyser la faisabilité (méthodes, procédés, machines, organisation) Evaluer	<i>Cahier des Charges – Exigences initiales</i>
	Développer un concept de produit et l'évaluer	Déterminer les exigences Définir le concept Démarrer conception préliminaire Déterminer approche de vérification	<i>Exigences système</i>
	Définir les spécifications	Etablir les spécifications techniques	<i>Spécification technique</i>
		Définition des spécifications de conception Réaliser plans de développement et de vérification	<i>Spécification de conception</i>
		Validation des spécifications Programmation d'activités de développement.	<i>Spécification techniques validés</i>
	Tester le prototype	Construction du prototype Intégrer, vérifier, valider Entretiens client Tester le produit Ajustements	<i>Prototype</i>
	Implémenter techniquement l'innovation	Tâches de vérification	<i>Système-Produit vérifié</i>
		Tâches de validation	<i>Système Produit validé</i>
	Lancer l'innovation	Tâches de qualification	<i>Système-Produit qualifié</i>
	Apprentissage	Analyser le retour d'expérience de l'utilisateur	<i>Système-Produit opérationnel</i>

#### 4. Des modèles d'Ingénierie Système pour l'Innovation ...

Rappelons que le cadre théorique de nos travaux est l'Ingénierie Système. Il s'agit d'une multidisciplinaire permettant de concevoir un objet complexe comme un système en se basant sur des principes issus de théories liées aux approches systèmes (Wiese P. 2002) (Sousa-Poza A. 2008).

Pour ce faire, l'Ingénierie Système met en œuvre des théories – la théorie des systèmes, théorie de l'organisation, ... – et s'appuie sur un concept – le **système** – pour définir des modèles, des méthodes, des méthodologies, des langages et des outils pour modéliser un système comme un tout cohérent et organisé.

En particulier, l'Ingénierie Système se base sur des préceptes liés au cycle de vie d'un système complexe, liés aux processus de sa mise en œuvre et liés à des cadres de modélisation pour guider le raisonnement de modélisation d'un système complexe.

Notre problématique de base est l'élaboration cohérente d'un produit (le système produit individualisé vu comme un système innovant à faire) et le processus d'innovation support (le projet vu comme un système innovant pour faire). Dans cette partie 4 nous allons détailler ce qui constitue notre contribution théorique :

- Dans un premier temps nous détaillerons le principe théorique retenu pour décrire le lien produit/projet en innovation à savoir l'**Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles (ISIBM)**,
- Puis nous expliciterons la démarche retenue pour mettre en œuvre ce principe théorique. Elle se base sur l'apport du cadre Zachman pour guider notre raisonnement de modélisation et du lien produit/projet en innovation.
- Ensuite nous exposons nos résultats théoriques pour un processus de modélisation du système d'innovation pour faire dirigé par le système-produit individualisé.
- Finalement, nous présentons la démarche pour modéliser le système d'innovation à faire produisant le système-produit individualisé.

---

**C'est-à-dire : ...élaborer une ISIBM dirigée par le système-produit individualisé.**

Par rapport aux concepts que nous avons vus dans les paragraphes précédents (modèles d'innovation, cycle de vie du produit en IS...), nous avons identifié le besoin de mettre en place une ingénierie qui permette de définir le modèle du *système-produit individualisé* comme le pivot des activités d'innovation tout au long de son cycle de vie. Plus particulièrement, il s'agit de définir une *ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles* (ISIBM) au sens de *l'ingénierie système basé sur les modèles* (ISBM) (J. Estefan 2008).

#### **4.1 Définition d'une ISIBM...**

Globalement, dans un contexte d'ingénierie système, l'ingénierie système basée sur les modèles – ISBM – est la discipline qui modélise les interactions et interopérabilité d'un système afin de supporter le bon développement et l'ingénierie du système d'intérêt (Garcia 2009). Une méthodologie en ISBM comprend un ensemble de processus, méthodes et outils reliés pour supporter l'ingénierie système dans un contexte « basée sur les modèles » ou bien « dirigée par les modèles » (J. Estefan 2008). En l'ISBM, le modèle devient l'artefact principal pour représenter la spécification et conception du système. (Friedenthal 2009).

*In MBSE, the model becomes a primary artifact to represent the system specification and design (Friedenthal 2009)*

Plus particulièrement, dans ces travaux nous proposons de considérer le modèle du système-produit individualisé comme le pivot pour supporter une *ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles* (ISIBM). Pour cela, nous utilisons le modèle du *système-produit individualisé* défini dans le chapitre 1 basée sur les 4 « pillars » (Exigences, Structure, Comportement et Paramètres) comme proposé par SysML. En effet, SysML est approprié pour représenter la conception générale de haut niveau du système à développer, particulier des phases amont du processus d'innovation. Ces modèles de haut niveau conviennent pour définir les exigences, développer des concepts, évaluer la faisabilité et exécuter des études de marché (Eisenmann H. 2009). Nous postulons que ces activités doivent être organisées par le *système d'innovation pour faire* et exécutées par le *système d'innovation à faire* sans perdre de vue le modèle du *système-produit individualisé*.

*SysML is adequate to represent the overall high-level design of the system to be developed. These high-level models are appropriate in the early lifecycle phases, to elaborate requirements, develop concepts, assess feasibility, and perform trade studies (Eisenmann H. 2009)*

Ainsi, l'ISIBM que nous proposons est caractérisée par la pratique d'une *ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles* qui considère l'artefact de modélisation *système-produit individualisé* (SPI) comme le pivot, l'intégrateur, des activités d'innovation et duquel émergent le *système d'innovation pour faire* et le *système d'innovation à faire*. Nous postulons que cette ISIBM peut être considérée comme une instantiation de l'ISBM, puisqu'elle :

- est supportée par l'ingénierie système (processus en V, normes ISO, EIA, IEEE etc.),
- considère le cycle de vie d'un *système-produit individualisé* à innover,
- utilise une démarche basée sur les modèles,

mais aussi :

- considère l'artefact SPI comme le pivot de la démarche ISIBM,
- est guidée par le cadre Zachman d'architecture d'entreprise (caractéristique que nous allons justifier et détailler ci-après au paragraphe 4.3)

## 4.2 Une approche conforme aux normes

L'ingénierie généralement se base sur des normes et standards. Ils sont issus de consensus entre des experts dans des domaines variés, et servent à concevoir des processus d'ingénierie par des bonnes pratiques et par des méthodes propres aux entreprises (qui cherchent à réaliser un SAF) (Rochet 2007). Parmi les normes et standards utilisés en IS, la norme ISO/IEC 15288 identifie 26 processus, 25 d'entre eux regroupés dans 4 familles de processus : les processus d'entreprise, les processus contractuels, les processus du projet et les processus techniques. Le processus restant est destiné pour les processus spéciaux, qui peuvent concerner la customisation (ISO/IEC-15288 2008). La norme ISO/IEC 15288 est affinée par 2 autres normes. Ainsi l'on retrouve notamment la norme IEEE 1220 (IEEE-Standard-1220 2005) qui se focalise sur les processus techniques d'Ingénierie Système allant de l'analyse des

exigences jusqu'à la définition physique du système et la norme (ANSI/EIA-632 1999) qui complète les processus techniques de définition du système en couvrant la réalisation des produits jusqu'à leur mise en service (transfert du concepteur à l'utilisateur). De plus, elle incorpore les processus contractuels d'acquisition et de fourniture.

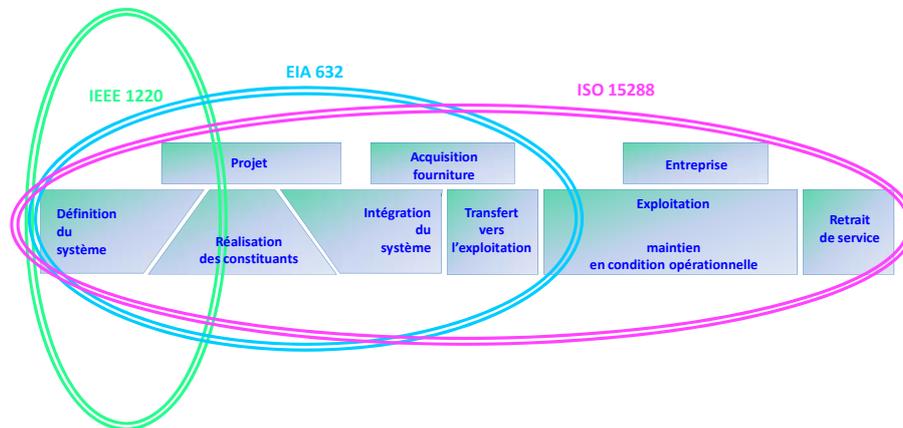


Figure 40. Couverture des normes relatives à la mise en œuvre d'une IS durant le cycle de vie d'un système (AFIS: <http://www.afis.fr/doc/normes/normes.html>)

Le périmètre de ces travaux ne se situe pas seulement sur l'étape « Définition du système » (partiellement les ISO 15288 et EIA 632 mais toute l'IEEE 1220), mais aussi sur les phases amont d'ingénierie d'un système d'innovation à faire : la planification du système d'innovation pour faire (vue d'ensemble du projet, concepts pour l'ISIBM, modélisation du système d'innovation pour faire) (figure 41).

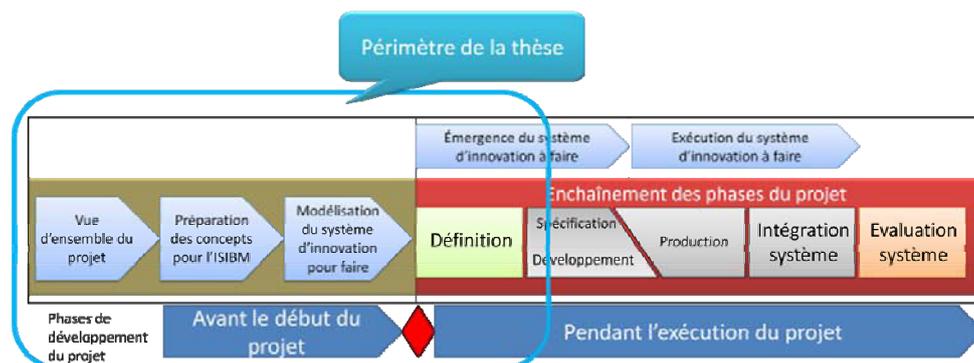


Figure 41. Phases amont pour la mise en œuvre de l'ISIBM.

### 4.3 Modèle de processus en Ingénierie Système

Dans le principe, l'opération de planification relative à une ISIBM consiste à rendre cohérentes entre elles trois logiques, dans le respect des objectifs et contraintes du projet (figure 42) :

- La logique des produits à réaliser ou à obtenir (les composants du SPI – le **quoi**)
- La logique temporelle des processus (enchaînement des activités – le **comment**, et le **quand**)
- La logique de la structure organisationnelle du projet (le **qui** et le **où**)

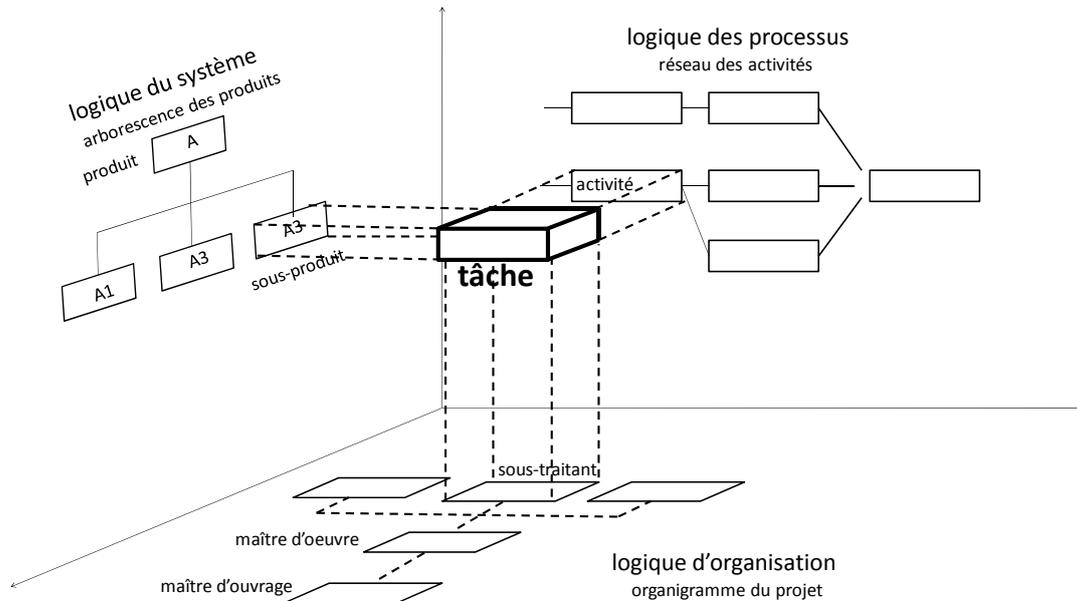


Figure 42. La tâche au cœur de trois logiques (repris de (Meinadier 2002))

Les tâches se trouvent à la croisée de ces trois logiques, générées par l'application d'une activité à un produit à réaliser et affectées à une entité du projet. Cette forte relation entre l'architecture du produit et les organisations pour le faire (projets, équipes...) a déjà été souligné par de nombreux chercheurs (Bonjour, et al. 2009)

Afin de mettre en œuvre cette approche dans notre démarche ISIBM, nous trouvons important de cadrer le développement du processus de modélisation. Pour ce faire, nous nous sommes orientés vers la notion de cadres d'architecture dû à son caractère intégrateur et rassemblant des vues d'un système complexe.

#### 4.4 Cadres d'architecture en Ingénierie Système : notre choix l'approche de Zachman

Un cadre d'architecture est une façon de représenter des systèmes ingénierisés. Ils servent comme un outil de communication pour représenter les différentes vues d'un système complexe. Chaque vue fournit les caractéristiques du système à réaliser pour les diverses parties prenantes impliquées dans le développement ou management du système.

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

Initialement, les cadres d'architecture ont été développés à des fins militaires dans le but de définir des exigences par rapport aux fournisseurs de systèmes d'armes et de technologies de l'information. Aujourd'hui, on les retrouve aussi bien dans l'administration territoriale que dans l'industrie. Les plus connus définissent des catégories de vues par rapport au domaine qu'ils traitent – par exemple « affaires », « technique », « services », etc. dans un contexte particulier, pour un objectif ou mission particulière (cf. tableau 4).

**Tableau 4. Synthèse des cadres de modélisation et langages de modélisation (repris de (Auzelle 2009) ).**

	Références	Année	Cadre de modélisation	
Ministres de la défense & organisations de défense	(TOGAF 1995)	1995	TOGAF, promu par l'Open Group Architecture Framework	
	(Architecture_Working_Group 1997)	1997	C4ISR, (Computerized Command, Control, Communications Intelligence Surveillance Reconnaissance) promu par le département de la défense Américaine	
	(Office Of Force Transformation Washington 2005)	2001	Net-Centric Operations and Warfare, directive et implémentation de l'architecture réseau-centré au département de la défense Américaine	
	(AGATE 2002)	2002	AGATE, Atelier de Gestion de l'Architecture Technique des Systèmes d'Information de Commandement, promu par la Délégation Générale pour l'Armement en France	
	(MODAF 2007)	2007	MoDAF, promu par le ministère de la défense Britannique	
	(DoD 2001 (As Amended through 16 October 2006))	200x	DoDAF, promu par le département de la défense Américaine	
	(Doumeingts 1984)	1984	Méthode GRAI	
	(Zachman 1987 ; Sowa and Zachman 1992)	1987	Cadre de Modélisation de Zachman	
	(CEN/ENV-40003 1990)	1990	CEN ENV 40 003 :computer integrated manufacturing – CIM systems architecture framework for modeling	
	(Spewak and Hill 1992)	1992	EAP, Enterprise Architecture Planning	
Entreprise	(Williams 1992)	1992	PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture)	
	(Scheer 1992)	1992	ARIS – Business Process Modeling	
	(AMICE 1993)	1993	CIMOSA (Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture)	
	(Zanettin 1994)	1994	GIM (GRAI Integrated Modelling)	
	(Doumeingts et al. 1996)	1996	GIM : GRAI Integrated Methodology for Product Development	
	CEN:ENV-12204 1995	1996	CEN ENV 12 204: advanced manufacturing technology – systems architecture – constructs for enterprise modeling	
	(GERAM 1999)	1997	GERAM, Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology (Version 1.6.3)	
	ANSI/IEEE 1471-2000 (ISO IEC DIS 25961)	2000	Recommandation pour la description de l'architecture de systèmes Logiciels complexes	
	(ISO-15704 2000)	2000	Industrial automation systems – Requirements for enterprise reference architectures and methodologies	
	(ISO/CEN-19440 2002)	2002	ISO/CEN 19440: Language Constructs for Enterprise Modelling	
	(Panetto et al. 2004)	2004	UEML: Unified Enterprise Modelling Language	
	Administration territoriale	(TISAF 1997)	1997	TISAF, Treasury Information Systems Architecture Framework
		(FEAF 2006)	1999	FEAF, Federal Architecture Framework, Version 1.1, promu par le gouvernement fédéral, avec laquelle DoDAF a des dépendances
		2006		

Fondamentalement, les cadres d'architecture répondent au problème de communication que rencontrent tous les acteurs humains qui souhaitent concourir à un objectif commun : un « Système à Faire ». Ainsi, il est avantageux de baser une modélisation sur un cadre d'architecture afin de circonscrire la complexité du système à modéliser. En effet, suivant les parties prenantes, le « découpage » en de multiples vues réduit cette complexité puisque chaque vue correspond à un modèle particulier d'un système.

De façon générale, un cadre d'architecture d'entreprise doit être organisé de façon qu'elle soutienne les raisonnements sur sa structure, propriétés et comportement. Il permet de manager la complexité et les risques dus à plusieurs facteurs tels que la technologie, la taille, les interfaces, le contexte et les parties prenantes (Chen 2008).

Notre problématique s'inscrit dans le domaine de l'innovation de produits avec une sensibilité orientée vers le management de l'information du système-produit à innover et un besoin d'ingénierie du *système d'innovation à faire* et du *système d'innovation pour faire*. Nous nous sommes donc intéressés à 3 cadres répondant au moins partiellement à notre problématique : CIMOSA, PERA et Zachman.

Le cadre CIMOSA est particulièrement intéressant lorsqu'il s'agit de voir les opérations de l'entreprise pas comme un grand modèle monolithique mais plutôt comme un ensemble de processus coopératifs. Néanmoins, il ne fournit pas de guide ou de méthode permettant de le spécifier à des niveaux d'échelles différents et sur des niveaux d'observation différents (MOA, MOE) à travers le temps afin d'en capitaliser ses modèles. De plus, nous avons noté que CIMOSA n'aborde pas les aspects temporels de gestion d'un projet et donc ne participe pas à la capitalisation d'un système à faire.

Le cadre PERA se focalise sur la préparation du plan directeur, la définition du rôle humain et il couvre toutes les phases du cycle de vie de l'entreprise. Cependant, il existe un manque de formalismes et la méthodologie n'est pas clairement définie. D'autre part, on peut noter que PERA ne donne pas de méthode ou de guide pour décrire le « comment faire », le « pourquoi le faire » et « sur quoi agir pour faire », l'architecture d'un système d'innovation. Nous avons noté que PERA apporte une dimension importante en termes de gestion temporelle dans la

conduite d'un projet d'innovation, mais qu'il ne fournit pas tous les points de vue nécessaires à l'ingénierie d'un système d'innovation à faire (comment, pourquoi, quoi).

#### 4.4.1 Zachman

Zachman (Sowa et Zachman 1992) propose un cadre de modélisation structuré dont le but est de rendre le plus exhaustif possible l'étude des points de vue des modélisateurs sur le système à étudier.

*Le cadre pour l'architecture des entreprises introduit en 1987 par John Zachman propose une structure logique pour classer et organiser les représentations de l'entreprise qui sont d'intérêt aussi bien pour sa direction que pour le développement de ses systèmes. Il trouve son origine dans des structures analogues que l'on trouve dans des disciplines plus anciennes telles que l'architecture, la construction, l'ingénierie ou l'industrie et qui classent et organisent les éléments créés durant le processus de conception et de fabrication de produits techniques complexes (ex. : bâtiment, aéronautique (MEGA software))*

Le cadre de modélisation de Zachman est une matrice à deux dimensions avec 6 colonnes et 6 lignes. Chaque cellule **représente** une vue partielle **d'un système** complexe ou non. Les lignes définissent le niveau de modélisation et donc le point de vue du modélisateur :

- **Contextuel (vue de planificateur du système - stratège)** : Cette ligne correspond à l'identification du système à réaliser. Cela correspond à un résumé pour le planificateur ou investisseur qui désire une estimation de la portée du système, combien il coûterait ou comment il s'exécuterait.
- **Conceptuel (vue de propriétaire du système - directeurs)** : Cette ligne correspond à la définition du système. Cela correspond au modèle d'entreprise (business model) qui constitue la conception du système et montre les entités, processus et leurs interactions.
- **Logique (vue de concepteur du système - concepteurs)** : Cette ligne correspond à la représentation du système. Cela correspond au modèle du système conçu par les analystes du système qui doivent déterminer les données et fonctions des éléments qui représentent les entités et processus du système.

- **Physique (vue de réalisateur du système - ingénieurs)** : Cette ligne correspond à la spécification du système. Cela correspond au modèle technologique (outils, technologies, matériaux, etc.) qui doit adapter le modèle du système aux contraintes (des outils, technologies, matériaux, etc.) afin de définir les spécifications du système.
- **Composants (vue de sous-traitants du système - techniciens)** : Cette ligne correspond à la configuration du système. Cela correspond aux spécifications détaillées qui sont données aux techniciens qui construisent les pièces et modules sans s'inquiéter sur le contexte ou la structure générale du système.

Les colonnes représentent différentes abstractions du monde réel, c'est-à-dire, différentes façons de le représenter. Faire cette séparation permet de prendre en compte une vue à la fois afin de réduire la complexité du problème de conception. Le cadre Zachman propose 6 points de vue de l'observation du modélisateur : quoi, comment, où, qui, quand, pourquoi. L'union des cellules doit couvrir l'ensemble des points de vue d'un système.

- **Quoi (les entités impliquées – matériel)** : de façon générale, cette colonne décrit « de quoi la chose est faite ». Dans les termes d'un système d'information (pour lequel le cadre Zachman a été fait originalement), cela signifie les données. Un exemple est le « Bill of materials », qui pourrait être vu comme le « Bill of innovation tasks » éventuellement.
- **Comment (la description fonctionnelle – processus et transformations)** : dans les termes des systèmes d'information, cela serait appelé un modèle de processus (ou modèle fonctionnel), ainsi que sa représentation descriptive « input-process-output ». Cela correspond à la définition des processus d'entreprise.
- **Où (localisation des processus et entités – sites d'exécution)** : dans les termes des systèmes d'information, cela serait appelé le modèle du réseau, focalisé dans les flux (connections) entre les différents composants. Cela correspond aux sites géographiques, départements, ateliers, bureaux, etc.
- **Qui (groupes de l'organisation – le personnel)** : cela correspond à l'allocation du travail et la structure de l'autorité et la responsabilité. Ce n'est pas obligatoire que ça soit une personne ou un groupe de personnes. Cela peut être une machine ou un agent software.

- **Quand (durée des périodes – le temps) :** Le temps est abstrait du monde réel pour concevoir les relations événement-à-événement qui établissent les critères de performance et les niveaux quantitatifs pour les ressources de l'entreprise. La durée des périodes établit l'engagement externe de l'entreprise ainsi que les niveaux des ressources pour répondre aux engagements. En général, plus la durée est courte, plus de ressources sont requises.
- **Pourquoi (les raisons pour le faire – la motivation) :** Cette colonne comprend les représentations descriptives qui illustrent la motivation de l'entreprise. Cela correspond aux objectifs (goals) et les moyens (méthodes ou stratégies) pour les atteindre.

Les grands principes qui guident l'application du cadre Zachman comprennent :

- Un système « complet » pouvant être modélisé en répondant à des questions simples (perspectives) comme : pourquoi, qui, quoi, comment, où et quand ?
  - Les six perspectives (pourquoi, qui, quoi, comment, où, quand) capturent tous les modèles critiques exigés pour l'analyse, la spécification et le développement d'un système.
  - Les contraintes pour chaque perspective sont cumulatives. Celles d'une rangée inférieure sont ajoutées à celles des lignes supérieures pour fournir un nombre croissant de restrictions.
  - Les colonnes représentent différentes abstractions dans un effort de réduire la complexité de n'importe quel modèle simple qui est établi.
  - Les colonnes n'ont pas d'ordre.
  - Les modèles dans chaque colonne sont uniques.
  - Chaque ligne représente une perspective unique.
  - Chaque cellule est unique en son genre.
  - La logique est récursive :
    - le propriétaire du produit est le client de l'entreprise ; le propriétaire de l'entreprise est le client des systèmes d'information ; le propriétaire des systèmes d'information (SI) est le client d'un fabricant d'outils CPAO (Conception de Programmes Assisté par Ordinateur), etc.
- et similairement :
- l'entreprise transforme la vue de propriétaire du produit, à travers des suites de transformations des modèles, dans le produit lui-même ; l'entreprise de systèmes d'information transforme la vue de propriétaire de l'entreprise, à travers des suites de transformations des modèles d'entreprise, dans le système d'information de l'entreprise ; le fabricant d'outils CPAO transforme la vue de propriétaire de l'entreprise SI dans le système de l'entreprise SI.

Un des avantages majeurs du cadre de modélisation de Zachman est d'offrir au modélisateur une vision complète du système complexe qu'il doit modéliser. Ainsi, ce cadre fournit un

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

guide (ou filtre) avec des croisements de points de vue simples à interpréter (la matrices 6x6) et permet d'avoir une vision complète rapidement accessible des objets de modélisation d'un système d'innovation à faire.

Nous retiendrons pour ce mémoire le cadre de modélisation de Zachman parce qu'il :

- est adapté aux processus d'entreprise,
- propose un guide simple et relativement générique,
- laisse une grande liberté d'instanciation à son utilisateur dans son action de modélisation,
- permet la spécification d'un système d'innovation à des niveaux d'observations différentes,
- permet la spécification d'un système d'innovation de manière récursive.

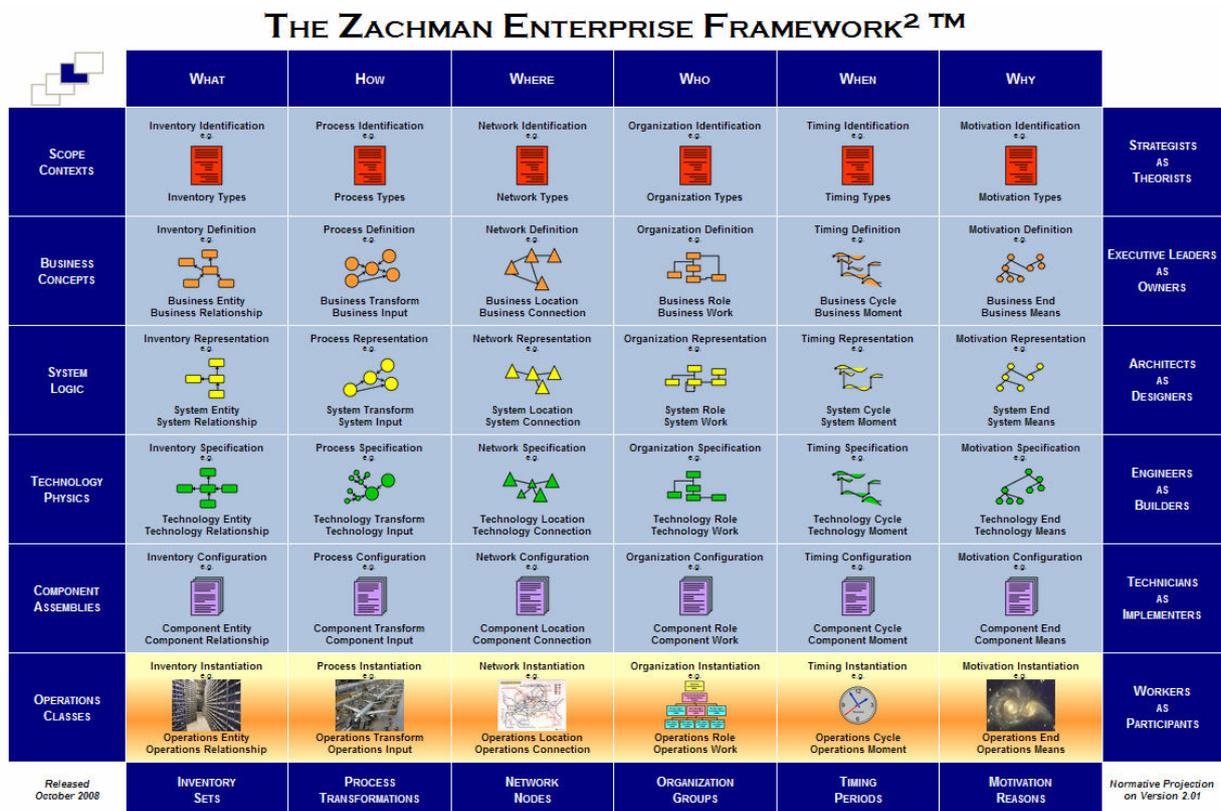


Figure 43. Cadre Zachman (Sowa et Zachman 1992).

Ainsi notre problématique peut être reformulée de la manière suivante : il s'agit d'établir un lien entre le modèle de produit innovant individualisé du chapitre 1 et le cadre de Zachman support de modélisation du système pour faire l'innovation.

En effet, afin de formaliser le processus d'innovation pour notre démarche ISIBM, nous proposons d'utiliser les diagrammes SysML tels que définis dans le *système-produit individualisé*. Cela permet de fournir l'intégration par le produit des tâches et activités

d'innovation organisées en tant que *système d'innovation pour faire* et *système d'innovation à faire*.

L'application de la méthodologie ISIBM est faite aux niveaux contextuel et conceptuel de notre cadre de modélisation correspondant au rôle joué par la maîtrise d'ouvrage (MOA) et la maîtrise d'œuvre de rang 1 (MOE-1). Ce travail de modélisation s'est fait par projection du modèle du système-produit (défini au chapitre 1) sur le cadre de modélisation Zachman supportant le *système d'innovation pour faire*. A l'instar des 3 logiques autour de la tâche (cf. p. 19) (Meinadier 2002), le modèle du *système-produit individualisé* guide le *système d'innovation pour faire* et de là émerge le *système d'innovation à faire* le système-produit individualisé et innovant. La liaison entre les trois systèmes, ce qu'ils ont en commun, c'est chaque tâche d'innovation que le *système-produit individualisé* demandera et qui sera exécutée par le *système d'innovation à faire* étant organisée par le *système d'innovation pour faire* (système-projet).

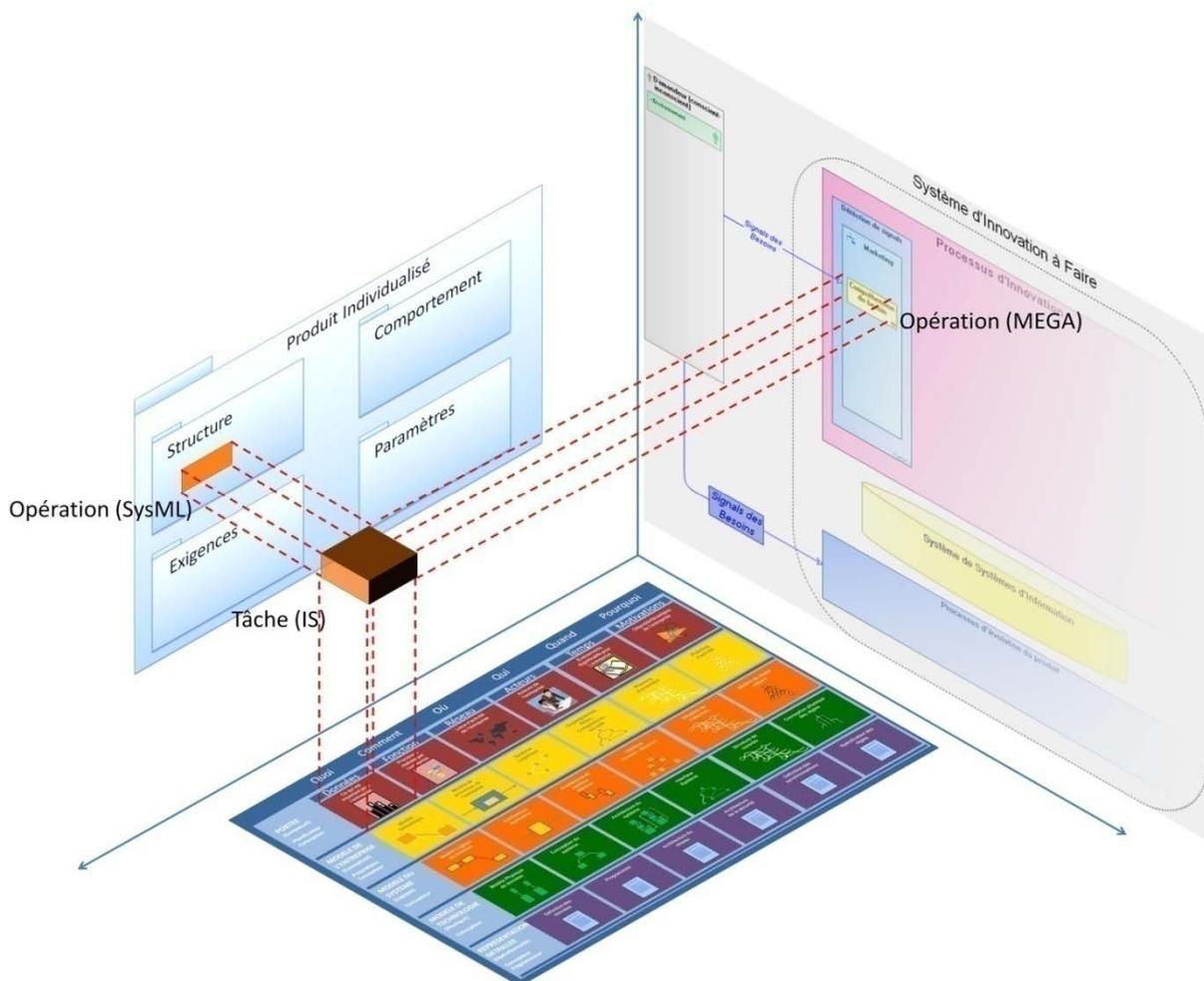


Figure 44. Tâche d'innovation demandée par le système-produit individualisé, organisé par le système d'innovation pour faire et exécuté par le système d'innovation à faire.

Les paragraphes suivants sont consacrés au processus de modélisation du *système d'innovation pour faire*, supporté par le cadre Zachman, et à la modélisation émergente du *système d'innovation à faire* produisant le système-produit individualisé.

#### 4.5 Notre contribution, nos résultats théoriques...pour un processus de modélisation du *système d'innovation pour faire* dirigé par le système-produit individualisé.

##### 4.5.1 Proposition générale

Notre méthodologie a comme objectif d'assurer la cohérence et les interopérations entre les **trois systèmes composant** le *système d'innovation centré sur le produit individualisé* :

- le *système-produit individualisé* à innover,
- le *système d'innovation pour faire* (le projet d'innovation) et
- le *système d'innovation à faire* (le système technologique).

Cette cohérence est assurée par les relations d'interopérabilité qui lient les éléments de modélisation de chacun de ces systèmes. La connaissance capturée dans ces modèles est considérée comme une base des exigences de collaboration entre ces systèmes (Pingaud H. 2008). En effet, le *système pour faire* notre **ISIMB** met en activité 3 types d'acteurs principaux :

- **Le client** : Nous avons retenu la configuration la plus simple (ce n'est pas le cas général en innovation) où le client est l'initiateur qui fait émerger le *système d'innovation à faire* qui doit fabriquer son produit individualisé avec l'expression de son besoin. Il fixe les objectifs de hauts niveaux pour déterminer le service dont il a besoin. C'est lui qui choisit le MOA suite à l'Appel d'Offre et c'est lui qui réceptionne le système-produit individualisé une fois que celui-ci est terminé.
- **La maîtrise d'ouvrage – MOA** : elle est l'architecte principal du *système d'innovation à faire* qui va réaliser le système-produit individualisé. Elle est en lien direct avec le client non seulement de manière personnelle mais aussi à travers le système-produit individualisé (SPI). C'est elle qui détermine les objectifs et qui utilise

le modèle du SPI pour piloter le projet supporté par le *système d'innovation pour faire*. Elle est aussi en lien direct avec la maîtrise d'œuvre pour définir les tâches d'innovation à réaliser.

- **La maîtrise d'œuvre – MOE** : la maîtrise d'œuvre programme une ingénierie d'innovation spécifique sur le produit individualisé en accord avec les contraintes et exigences définies par la MOA. Elle peut ajouter les besoins et les exigences propres à son système particulier d'innovation mais ils ne devront jamais être en opposition ou avoir une influence négative sur les besoins et les exigences de la MOA. Elle est spécialiste métier du domaine où l'innovation doit être déployée et interopérer avec d'autres sous-traitants. Elle participe à la définition des correspondances sémantiques des concepts du *système-produit individualisé* et ceux du *système d'innovation à faire*. Elle fournit les solutions techniques répondant aux exigences du *système d'innovation à faire* requis par le *système-produit individualisé*.

L'approche décrit dans ce paragraphe fournit en détail le raisonnement que nous avons suivi pour intégrer le modèle du *système-produit individualisé* afin de proposer le *système d'innovation pour faire* notre ISIBM et ainsi construire un modèle cohérent des éléments qui concernent le *système-produit individualisé* et les éléments qui concernent le système d'innovation (MOA, MOE's). Nous avons pris comme référence commune le concept de cadre architectural, en nous basant sur le cadre Zachman, puis qu'il propose les différents niveaux et objets de système et donc rend un **support** pour l'intégration des tâches d'innovation à travers les modèles du système-produit individualisé en SysML. Le mapping obtenu (figure 45) est un premier résultat de cette intégration par le produit proposée qui sera expérimenté dans le chapitre 3. Pour réaliser ce mapping, nous nous sommes inspiré des travaux de (Frankel 2003) et (Jovanovic 2006).

	What	How	Where	Who	When	Why
Contextual (MOA)	<p>Package diagram Block definition diagram Use Case diagram</p>	<p>Activity diagram Use Case diagram Diagramme de processus</p>	<p>Diagramme de sites</p>	<p>Use Case diagram Activity diagram Organigramme fonctionnel</p>	<p>Sequence diagram Activity diagram</p>	<p>Requirement diagram</p>
Conceptual (MOE-1)	<p>Block definition diagram</p>	<p>Activity diagram Use Case diagram State diagram Sequence diagram Diagramme de mise en œuvre de processus</p>	<p>Diagramme de sites</p>	<p>Use Case diagram Activity diagram Organigramme d'acteurs</p>	<p>Sequence diagram Activity diagram</p>	<p>Requirement diagram</p>
Logical (MOE-2)	<p>Package diagram Block definition diagram Internal block diagram</p>	<p>Activity diagram Use Case diagram State diagram Sequence diagram</p>	<p>Internal block diagram</p>	<p>Use Case diagram Sequence diagram</p>	<p>Sequence diagram State diagram</p>	<p>Requirement diagram</p>
Technical (réalisateur)	<p>Package diagram Block definition diagram Internal block diagram</p>	<p>Activity diagram Use Case diagram State diagram Sequence diagram Internal block diagram</p>	<p>Internal block diagram</p>	<p>Use Case diagram Activity diagram</p>	<p>Sequence diagram State diagram</p>	<p>Requirement diagram</p>
Operational (Operational)	<p>Parametric diagram</p>	<p>Parametric diagram Activity diagram</p>	<p>Parametric diagram</p>	<p>Use Case diagram Activity diagram Parametric diagram</p>	<p>Sequence diagram State diagram Parametric diagram</p>	<p>Requirement diagram Parametric diagram</p>

Figure 45. Types de formalisme du cadre de modélisation Zachman intégrant les unités de modélisation du langage SysML.

Dans ces travaux, le *système-produit individualisé* est l'élément central des interopérations synchroniques et diachroniques parmi les acteurs du *système d'innovation à faire*. Par conséquent, le *système-produit individualisé* devient le vecteur des objectifs et des exigences de la MOA et de la MOE, au travers des invariants de modélisation rattachés à des cellules particulières des niveaux « Contextual » et « Conceptual » du cadre Zachman. Nous considérons le produit comme le fil conducteur de la modélisation des invariants, tel que proposé par (Munerato 1998) (Bajic et Chaxel 1997) (Wong 2002) (Gouyon 2004) (G. V. Morel 2007) (Tursi 2007) (Baïna 2008). Ainsi, nous nous focalisons sur la caractérisation définie dans le chapitre 1 pour modéliser les informations *essentielles* et *inessentielles* du produit afin qu'il puisse être développé et satisfaire ainsi son utilisateur. Ainsi, le produit possède son propre packaging qui est en relation avec le packaging *du système d'innovation à faire*.

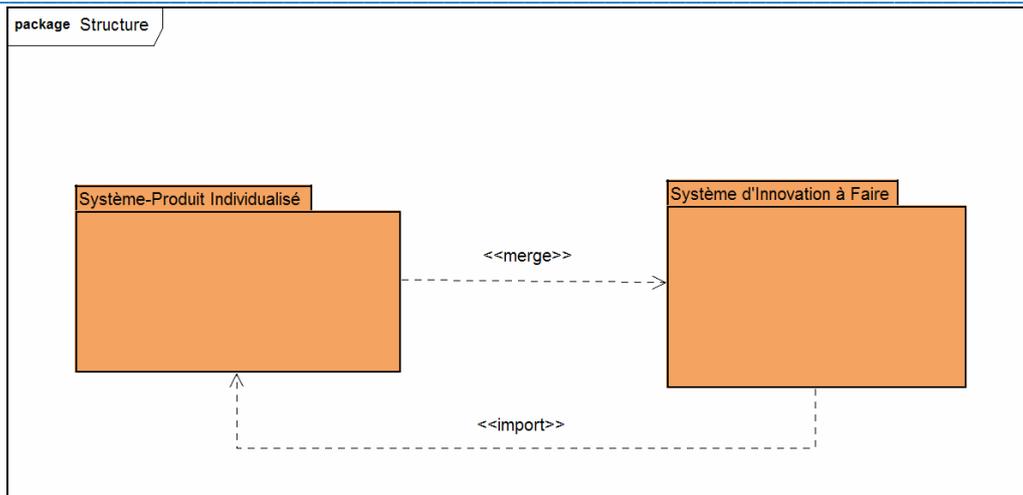


Figure 46. Interactions entre le Produit Individualisé et le Système d'Innovation à Faire.

L'IS, de par sa nature systémique, se limite à des correspondances sémantiques entre modèles, difficiles à faire. Ce qui justifie l'usage du cadre de modélisation de Zachman qui ne fait pas de correspondances formelles entre modèles (cellules). L'utilisation du modèle du produit individualisé en SysML dans le cadre Zachman garantit une cohérence sémantique de modélisation et d'interprétation avec l'ensemble des acteurs travaillant sur UN même projet d'innovation (figure 47).

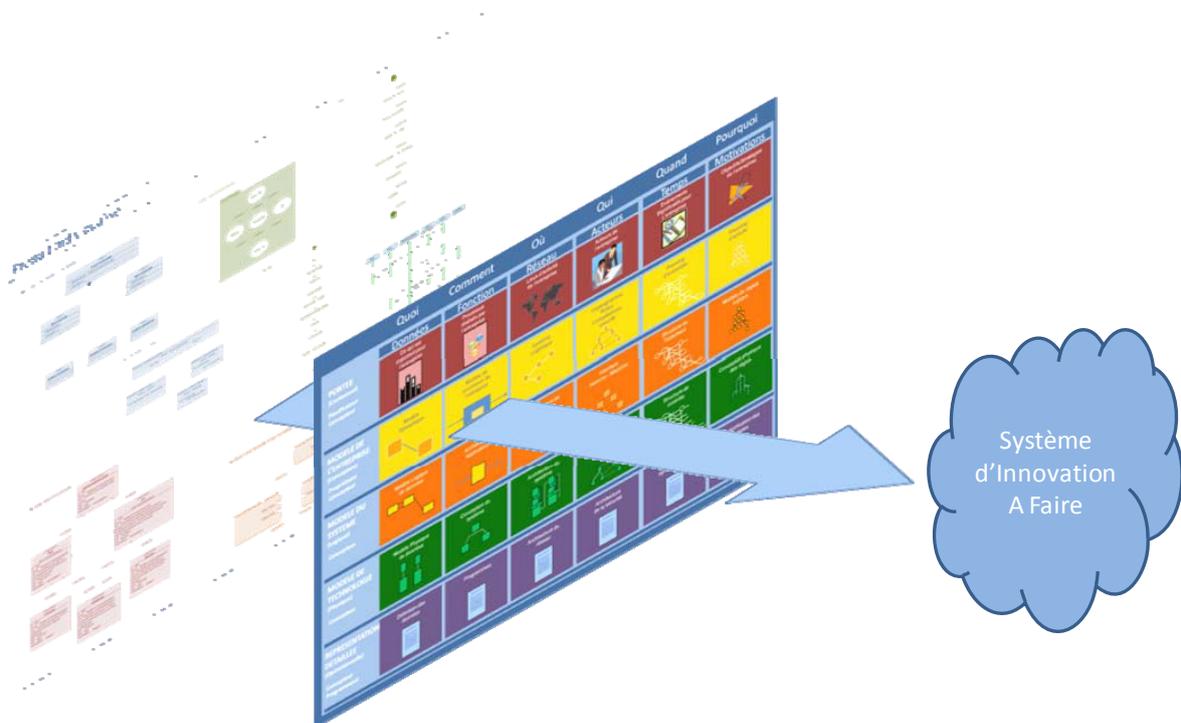


Figure 47. Illustration du système d'innovation pour faire dirigé par le système-produit individualisé utilisant le cadre Zachman afin de faire émerger le système d'innovation à faire.

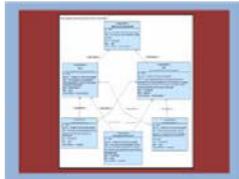
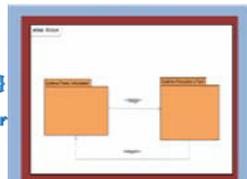
## 4.5.2 Résultats en terme de modélisation : remplissage du cadre de Zachman et lien avec le SPI

### 4.5.2.1 Niveau « Contextuel »

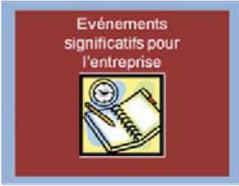
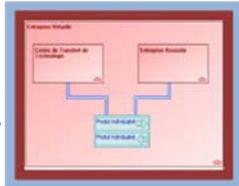
Le système d'innovation pour faire décrit dans les paragraphes suivants prend en compte les niveaux contextuel et conceptuel du cadre Zachman. Notre méthodologie démarre avec la modélisation des exigences, qui représente le diagramme fondateur de tous les modèles qui vont suivre. D'après (McConnell 1996) et (Wiegiers 2003), nous reprenons l'ingénierie des exigences comme le point de départ pour réaliser un produit individualisé qu'un client a commandé et en même temps spécifier le système d'innovation à faire que la MOA va coordonner. Ce sont donc bien les exigences d'un produit individualisé bénéficiaire qui conduisent à faire émerger le système d'innovation à faire qui devra contribuer à sa réalisation.

Ensuite il s'agit de modéliser les paquetages du système-produit individualisé et du système d'innovation à faire dans la cellule Zachman « quoi », afin de maintenir la cohérence entre ce que devient le SPI et les ingénieries du SIAF associées pour la réalisation du SPI. Les relations entre ces deux paquetages sont assurées par les modèles du SPI au niveau organisationnel et par les tâches au niveau opérationnel.

Tableau 5. Démarche de modélisation en ISIBM pour le niveau contextuel de Zachman.

Cellule du cadre Zachman	Description	Modèle du SPI correspondant
<p><b>Pourquoi</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>Le SPI en tant qu'artefact de modélisation et pivot de la démarche ISIBM est porteur de ses propres exigences définies par la MOA d'après le besoin exprimé par le client.</p>	<p><b>Pourquoi</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p><b>Exigences MOA</b></p>
<p><b>Quoi</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>A partir des exigences définies, les paquetages du SPI et du système d'innovation à faire – SIAF – seront mis en scène afin de faire le lien et donc faire émerger ce dernier.</p>	<p><b>Quoi</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p><b>Paquetages</b></p>

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

<p style="text-align: center;"><b>Comment</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>La cellule « Comment » du niveau contextuel du cadre Zachman correspond partiellement aux besoins de modélisation du comportement du SPI pour le SIAF. Ainsi, nous faisons le lien entre les types de comportement du SPI avec les éléments structurels pour les réaliser.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Comment</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p style="text-align: center;">Cas d'utilisation, activités, processus</p>
<p style="text-align: center;"><b>Quand</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>Cette cellule correspond également aux besoins de modélisation du comportement du SPI pour le SIAF. Ici nous modélisons l'aspect diachronique du déroulement général du cycle de vie du SPI.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Quand</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p style="text-align: center;">Séquences</p>
<p style="text-align: center;"><b>Où</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>La cellule « Où » est mieux décrite par le diagramme de sites de MEGA. Nous laissons donc ce diagramme pour cette cellule, sans proposer un diagramme SysML.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Où</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p style="text-align: center;">Sites</p>
<p style="text-align: center;"><b>Qui</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p> 	<p>La cellule « Qui » du cadre Zachman correspond aux besoins de modélisation du comportement du SPI pour le SIAF. Il est possible de définir les acteurs principaux qui participent aux étapes du processus d'innovation.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Qui</b></p> <p><b>PORTEE</b> {Contextuel} Planificateur Concepteur</p>  <p style="text-align: center;">Cas d'utilisation, activités, organigramme fonctionnel</p>

	What	How	Where	Who	When	Why
Contextual (MOA)	 ② Package diagram  Block definition diagram  Use Case diagram	 ③ Activity diagram  Use Case diagram  Diagramme de processus	 ⑤ Diagramme de sites	 Use Case diagram  Activity diagram  ⑥ Organigramme fonctionnel	 ④ Sequence diagram  Activity diagram	 ① Requirement diagram

Figure 48. Synthèse des activités de modélisation au niveau contextuel du cadre Zachman - spécifications de la MOA.

**Tableau 6. Séquencement de la modélisation des spécifications du Système d'Innovation à Faire par la MOA**

Modélisation	Modèles utilisés
1 Définition d'exigences en fonction des besoins exprimés par le client	Diagramme d'exigences
2 Définition du produit individualisé	Diagramme de paquetages, de définition de blocs, de cas d'utilisation
3 Définitions des domaines fonctionnels et de leurs processus génériques	Diagramme de processus, d'activités et de cas d'utilisation
4 Définition des activités et synchronisation des activités d'innovation	Diagramme d'interactions, diagramme d'activités
5 Description du contexte géographique des sites	Diagramme de sites
6 Description des rôles fonctionnels et organisationnels du Système d'Innovation	Organigramme structurel, diagramme de cas d'utilisation, diagramme d'activités

Le tableau 6 ci-dessus résume les activités de modélisation et les modèles utilisés pour le niveau « Contextuel » du cadre Zachman. Les numéros du tableau correspondent avec les numéros dans les cases de la figure 48. Toutes ces activités de modélisation du niveau « Contextuel » correspondent avec les phases amont du modèle en V (voir figures 35 et 38) « Analyse des besoins » et « Exigences initiales ». Les activités 2 à 6 du tableau 6 complètent les vues du cadre Zachman (quoi, comment, où, qui et quand) correspondant à ces étapes du modèle en V. Ainsi, nous pouvons constater l'utilité du cadre Zachman, du modèle en V et les diagrammes du modèle du système-produit individualisé pour guider notre démarche ISIBM.

#### 4.5.2.2 Niveau « Conceptual »

La découverte des composants/ensembles du produit individualisé est une tâche qui incombe à la MOE dans sa phase de spécification au niveau « Conceptual ». Ainsi, la réalisation des diagrammes du niveau conceptuel de Zachman est faite à partir des diagrammes définis dans le niveau contextuel, raffinant le diagramme d'exigences et continuant avec le reste des diagrammes (blocs, activités, cas d'utilisation, etc.) selon la cellule où il faut modéliser. Ainsi, nous décrivons la modélisation du niveau conceptuel de Zachman pour continuer la démarche de construction du *système d'innovation pour faire*.

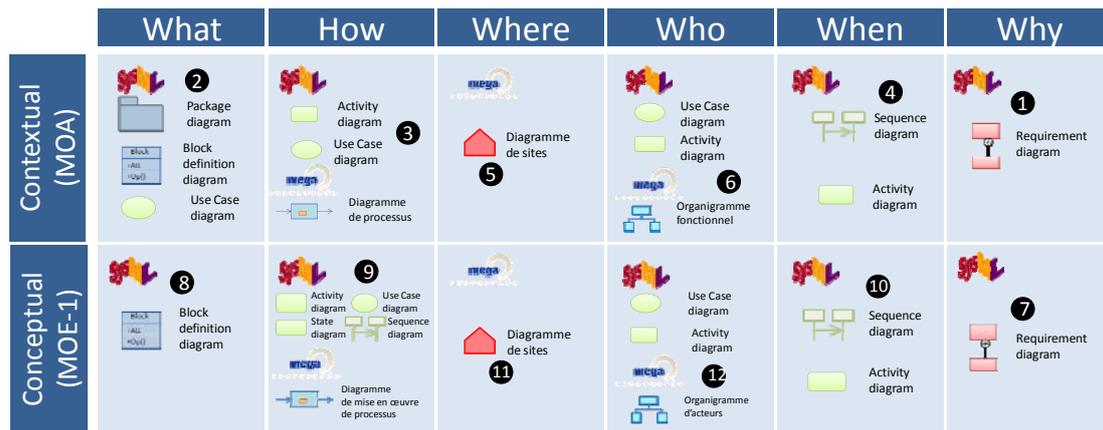
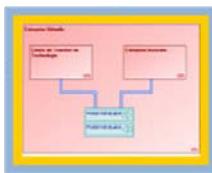


Figure 49. Zachman du Système d'Innovation à Faire - spécifications de la MOE (deuxième ligne)

Tableau 7. Démarche de modélisation en ISIBM pour le niveau conceptuel de Zachman.

Cellule du cadre Zachman	Description	Modèle du SPI correspondant
<p><b>Pourquoi</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	Raffinement des exigences par la MOE en fonction des exigences modélisées par la MOA.	<p><b>Pourquoi</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Exigences MOE</p>
<p><b>Quoi</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	Suite aux exigences définies par la MOE au niveau conceptuel, et considérant les paquetages définis dans la cellule quoi du niveau conceptuel, la MOE définit les blocs composant le SPI.	<p><b>Quoi</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Blocs</p>
<p><b>Comment</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	Dans la cellule « Comment » du niveau conceptuel du cadre Zachman la MOE modélise des procédures et opérations métiers avec rattachement de cas d'utilisation et associations aux exigences prédéfinies	<p><b>Comment</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Cas d'utilisation, activités, processus</p>
<p><b>Quand</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	Dans cette cellule, la MOE réalise la définition détaillée des synchronisations et activités d'innovation dans un diagramme de séquences et d'activités.	<p><b>Quand</b></p> <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Séquences</p>

## Chapitre 2 : De l'Ingénierie de l'innovation à une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles

<p><b>Où</b></p>  <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	<p>Cette cellule est aussi mieux décrite par le diagramme de sites de MEGA. La MOE s'occupe de détailler un peu plus les caractéristiques des sites où l'innovation a lieu.</p>	<p><b>Où</b></p>  <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Sites</p>
<p><b>Qui</b></p>  <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p>	<p>Dans cette cellule, la MOE définit les rôles opérationnels des acteurs propres au site à l'aide du diagramme de cas d'utilisation, diagramme d'activités et un organigramme d'acteurs.</p>	<p><b>Qui</b></p>  <p>MODELE DE L'ENTREPRISE {Conceptuel} Propriétaire Concepteur</p> <p>Cas d'utilisation, activités, organigramme d'acteurs</p>

**Tableau 8. Séquencement de la modélisation des spécifications du Système d'Innovation à Faire par la MOE.**

Modélisation	Modèles utilisés	
7	Définition des exigences en fonction des besoins exprimés par la MOA	Diagramme d'exigences
8	Modélisation des blocs du produit individualisé	Diagramme de définition des blocs
9	Modélisation des procédures et opérations métiers avec rattachement de cas d'utilisation et associations aux exigences prédéfinies	Diagramme de procédures, diagramme d'activités, d'états, de cas d'utilisation et de séquences
10	Définition détaillée des synchronisations et activités d'innovation	Diagramme d'interactions, d'activités
11	Description local du contexte géographique	Diagramme de sites
12	Définition des rôles opérationnels propres au site	Organigramme, diagramme de cas d'utilisation, diagramme d'activités

Le tableau 8 ci-dessus résume les activités de modélisation et les modèles utilisés pour le niveau « Conceptual » du cadre Zachman. Les numéros du tableau correspondent avec les numéros des cases de la ligne « Conceptual » de la figure 49. Ces activités de modélisation du niveau « Contextual » correspondent avec la phase « Spécifications système » (voir figures 35 et 38) du modèle en V. Les activités 8 à 12 du tableau 8 complètent les vues du cadre Zachman (quoi, comment, où, qui et quand) correspondant à cette étape du modèle en V.

Cette démarche pourrait être appliquée à travers tous les niveaux du cadre Zachman de façon récursive jusqu'à la définition des spécifications détaillés (niveau « Composants » du cadre Zachman, cf. paragraphe 4.4.1). Cela correspond avec les activités selon le modèle en V juste avant la réalisation/acquisition des composants du système (cf. figures 35 et 38). Cependant, dans nos travaux, nous développons la démarche uniquement pour les niveaux « Conceptual »

et « Contextual » (figure 50) dû aux contraintes de temps et dû à l'objectif didactique de cette exposition.



Figure 50. Processus ISIBM dans Zachman (niveaux « Contextual » et « Conceptual »).

Ce processus de modélisation nous a permis d'identifier l'évolution du produit tout au long des niveaux du cadre Zachman (le produit est un besoin, puis des exigences initiales (niveau « Contextual », puis des spécifications système (niveau « Conceptual »)...). Nous avons rapprochée cette évolution du produit à l'approche du cycle de vie d'un système selon la perspective de GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) mappée dans le cadre Zachman par (Noran 2003). Bien que les concepts de cycle de vie et de phases de cycle de vie ne soient pas présentés explicitement dans Zachman, la notion de *livrables* décrite dans Zachman permet de faire correspondre les perspectives des parties prenantes (Contextual, Conceptual...) avec les types d'activités des phases du cycle de vie de GERAM (voir annexe 5). Cela nous permet de faire une analogie sur phases du cycle de vie avec les états du produit au long de son évolution (figure 51).

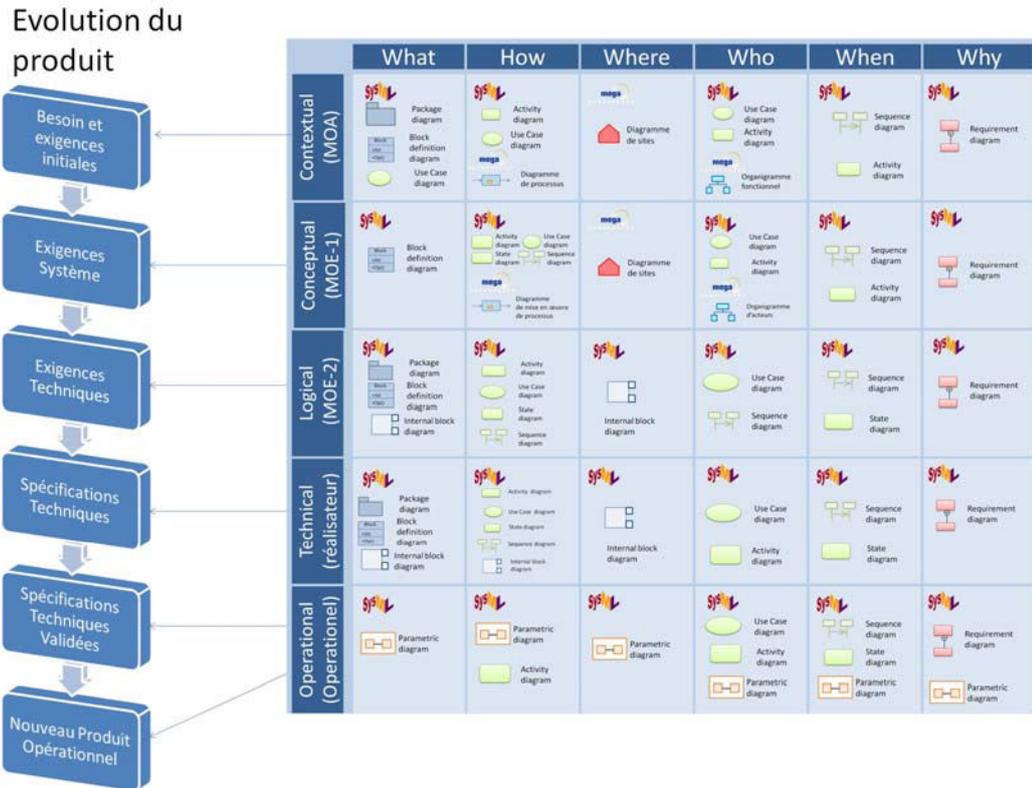


Figure 51. Evolution du produit au long de la définition du système d'innovation à faire.

### 4.5.3 Synthèse des résultats

Dans ce paragraphe, nous avons développé une démarche du *système d'innovation pour faire* en nous basant sur quelques uns des modèles les plus répandus de l'innovation. Nous nous sommes également basés sur l'ingénierie système pour procurer une alternative concernant l'utilisation de modèles et ainsi proposer une véritable ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles (ISIBM), en s'inspirant de l'ISMB (ingénierie système basée sur les modèles). Plus particulièrement, nous avons utilisé 4 concepts principaux afin de supporter l'intégration du *système-produit individualisé* avec son *système d'innovation pour faire* :

1. le modèle en V comme support structurant de l'ingénierie système,
2. le cadre Zachman comme guide pour considérer les différentes vues du monde réel et ses points d'observation afin de réduire la complexité,
3. l'approche du PLM comme principe de base pour proposer une intégration sur un même référentiel (le produit),

4. le modèle du système produit individualisé comme le vecteur de cette intégration tout au long de son cycle de vie.

Nous avons choisi de modéliser un *système d'innovation pour faire* supportés par les prémisses du cadre Zachman. Le résultat de cette démarche est illustré par un mapping des diagrammes SysML et MEGA correspondant au modèle du *système-produit individualisé*. Ainsi, le système d'innovation pour faire organise le système produit individualisé afin de favoriser l'émergence du *système d'innovation à faire* (SIAF) pour réaliser le produit.

Nous allons constater dans le chapitre 3 que cette démarche favorise l'intégration de chaque aspect du produit (sous-système, composant (structure), exigences, comportement) avec la tâche, l'acteur, le métier, le processus, l'opération, le rôle, la finalité, le lieu et le temps du système d'innovation qui correspond à l'état du produit, dans n'importe quel moment de son cycle de vie.

Le paragraphe suivant décrit la démarche d'émergence du SIAF de façon didactique afin d'achever la définition du système d'innovation centré sur le produit individualisé.

#### **4.6... pour modéliser le système d'innovation à faire produisant le système-produit individualisé.**

L'émergence du système d'innovation démarre à partir du moment où le modèle du *système-produit individualisé*, dans son état initial, est utilisé par la MOA. Au début du processus, le *système d'innovation à faire* n'est pas défini. Il émerge progressivement. Par contre, ce qu'on connaît est une méthodologie (le *système d'innovation pour faire*) en accord avec des normes et règles qui permettent de cadrer cette démarche dans un contexte d'ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles (ISIBM).

##### **4.6.1 Préparation de la modélisation du système d'innovation à faire**

Afin de prototyper l'émergence du *système d'innovation à faire* (SIAF), nous avons utilisé la suite de modélisation MEGA. En effet, il existe un très grand nombre de progiciels de modélisation (Schekkerman 2009) qui pourraient répondre à nos besoins, mais notre choix s'est porté sur MEGA Modelling Suite. L'expertise du laboratoire sur cet environnement a facilité les tâches de modélisation. De plus, MEGA propose une réelle cohérence des modèles, à savoir que comme chaque objet de modélisation est unique, toute modification d'un objet dans un modèle se répercute dans l'ensemble des modèles qui l'utilisent. Cela est

possible grâce à un « repository »<sup>3</sup> commun pour tous les intervenants dans une base de données spécifique pour un groupe de participants déterminé.

MEGA se base sur des messages reliant des objets (acteurs, processus, activités...). Un *message* représente un flux circulant à l'intérieur de l'entreprise, ou échangé entre l'entreprise et son environnement. Par commodité, un flux financier comme le règlement du client, ou un flux de matière comme la livraison d'un produit est également représenté par un message.

Nous avons utilisé MEGA en tant qu'approche didactique, cela implique l'utilisation d'une classe *système-produit individualisé* (en tant que bloc SysML) pour illustrer notre principe de modélisation.

Selon le vocabulaire MEGA, un message peut être informationnel, financier ou flux de matière dont contenu est décrit en termes d'objets clairement identifiés. Nous avons, donc, associé la classe du *système-produit individualisé* à chaque message qui concerne le produit, entre chacun des objets MEGA (acteurs, processus, activité, procédure, opération).

Ainsi, tout message d'un modèle de MEGA Process, il serait virtuellement possible d'embarquer le bloc du *système-produit individualisé* (SPI) et donc avoir accès à tous les diagrammes du modèle (Figure 52).

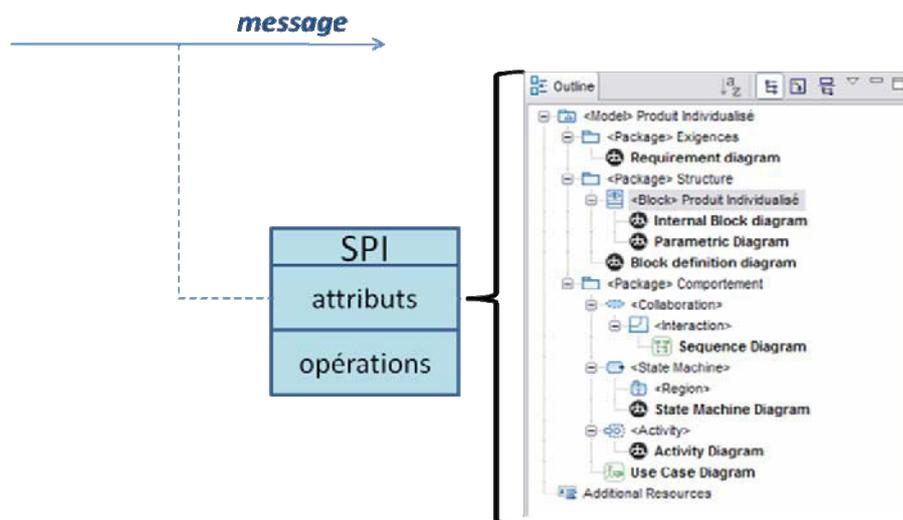


Figure 52. Illustration des diagrammes SysML accessibles dans la classe du SPI embarquée sur un message de MEGA.

<sup>3</sup> Un « repository » d'information est une façon de déployer de l'information stockée sur un même endroit afin de réduire les problèmes de la prolifération de données.

Notre prototypage utilise aussi la capacité d'accéder aux informations concernant le système-produit individualisé depuis les objets concernés par ce dernier, ou le message dans le modèle du processus.

Afin de maintenir cette démarche de modélisation cohérente avec le principe d'intégration par les tâches pour le projet et les opérations du produit, nous utilisons la capacité de MEGA à créer un lien entre les opérations d'une classe (de la classe du système-produit individualisé) et les opérations du processus (figure 53).

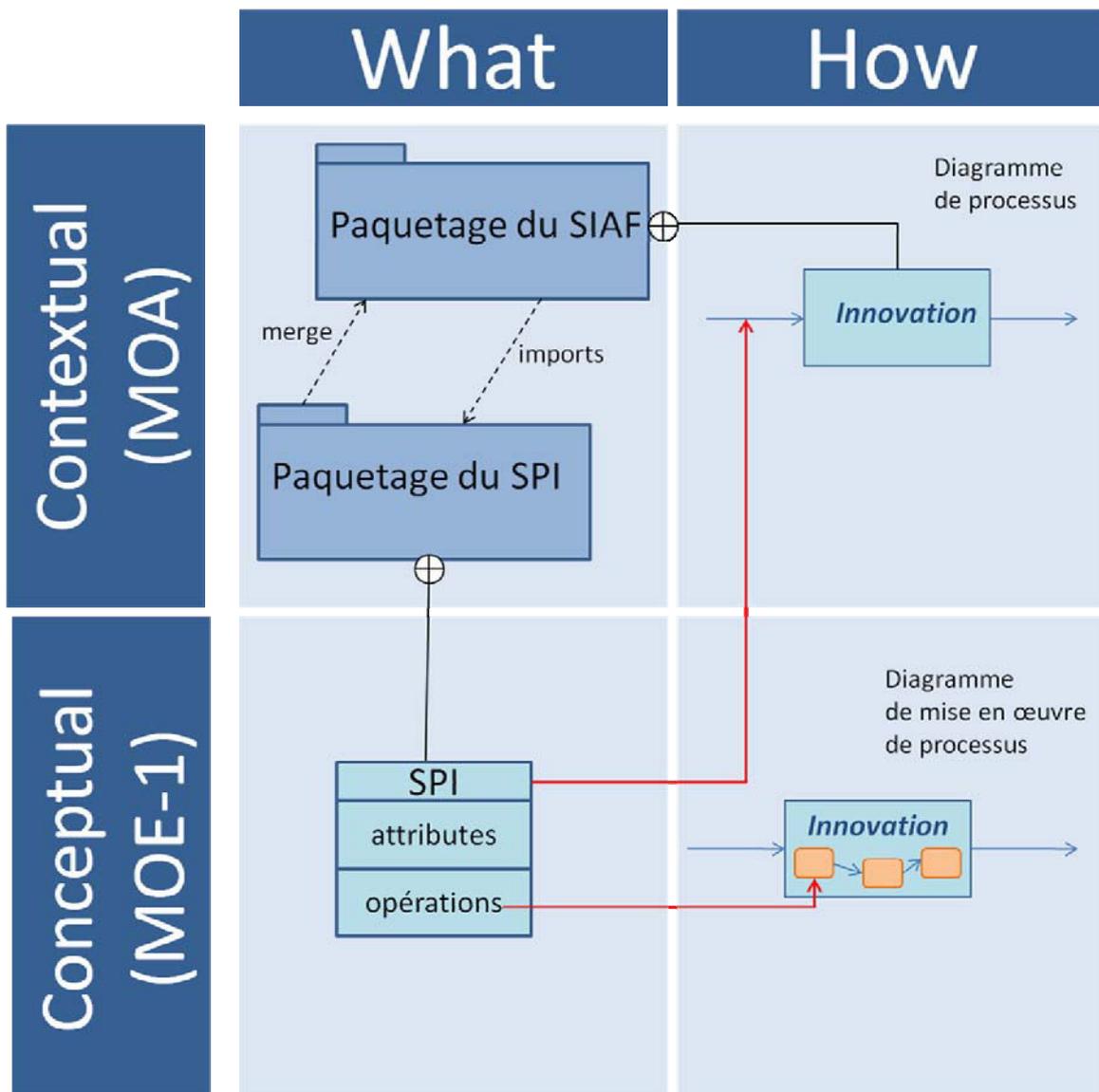


Figure 53. Illustration de la liaison des opérations du produit avec les tâches du processus.

#### 4.6.2 Description de l'émergence du système d'innovation à faire

Ce paragraphe décrit l'émergence du système d'innovation à faire qui réalise le SPI.

Les étapes générales du *système d'innovation à faire* que nous prenons en compte pour le modéliser comprennent les activités d'innovation décrites dans le tableau 1 et peuvent être classifiées dans 5 étapes principales :

1. Détection des signaux
2. Analyse du problème
3. Cas d'entreprise et évaluation technique
4. Recherche détaillée
5. Développement
6. Qualification

Les prochains paragraphes décrivent brièvement ces étapes d'innovation que l'on considère pour le *système d'innovation à faire*. Nous précisons que notre objectif n'est pas de proposer une nouvelle description du processus d'innovation, mais de proposer une démarche *d'ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles* qui prend en compte le modèle du système-produit individualisé comme le pivot afin d'intégrer les activités d'innovation.

##### 4.6.2.1 Détection des signaux

Nous considérons l'environnement comme tout acteur, interne ou externe à l'entreprise, qui, de façon consciente ou inconsciente, émet des signaux qui peuvent être interprétés comme des besoins. L'organisation détecte des signaux concernant les possibilités d'innovation selon les frontières du marché, la compréhension de la dynamique du marché, le repérage de tendances, la veille technologique et l'intelligence économique. Généralement, ces signaux doivent être captés par l'acteur marketing, qui doit ensuite savoir les interpréter et faire passer à son analyse (figure 54).

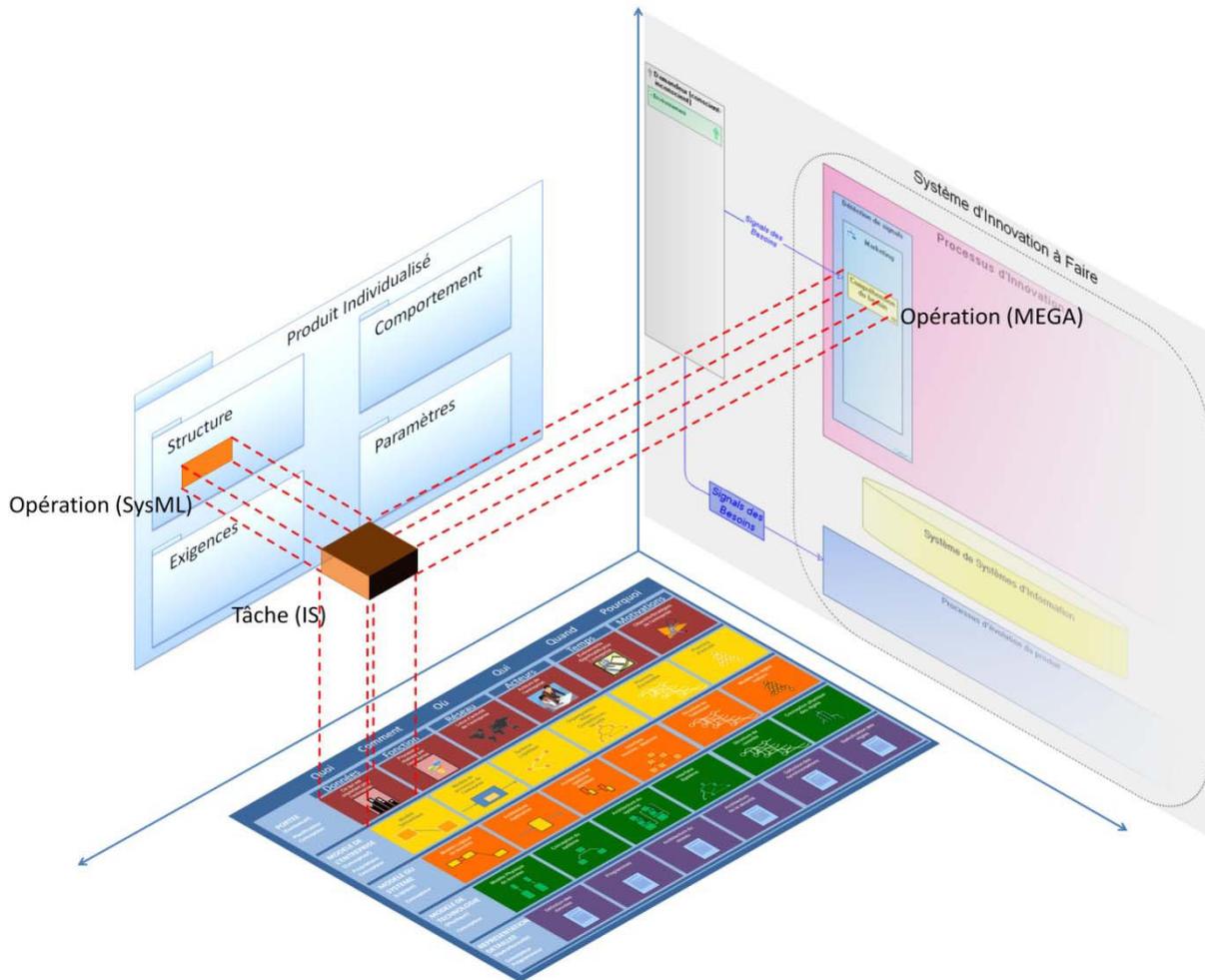


Figure 54. Début du processus individualisé d'innovation et de l'émergence du système d'innovation à faire.

#### 4.6.2.2 Analyse du problème

Une fois que le signal d'un besoin est identifié, l'étape suivante est de l'analyse par rapport à des facteurs tels que la stratégie de l'entreprise, ses ressources, ses accords, etc. Dans cette étape, il est indispensable de bien comprendre la problématique à résoudre et bien la justifier. La méthode C4 (Maxant 2004) propose une série de pas pour arriver à comprendre une problématique, proposer des solutions et concrétiser ces solutions pour les confronter et ainsi prendre une décision qui mènera à l'étape suivante du processus d'innovation.

Le rôle de l'artefact système-produit individualisé est d'être le demandeur des tâches (services) pour achever sa finalité ainsi que d'être un espace de référence pour les acteurs du SIAF et du SIPF.

#### 4.6.2.3 Dossier d'entreprise et évaluation technique

Le dossier d'entreprise (Business case) constitue la préparation et présentation d'un dossier qui explique plus clairement les concepts de base et de les transformer en une image plus nette qui permettra de prendre des décisions concernant l'affectation de ressources. Simultanément, une analyse de la faisabilité concernant les fonctions internes du produit et les méthodes, procédés, machines, organisation etc. nécessaires pour sa réalisation (le système à faire) doit être faite.

Pendant ces deux étapes, le produit individualisé traverse les états d' « idée », « percept », « concept », voire « cahier des charges ». Toutes ces informations peuvent être modélisées et enregistrées dans la structure du produit individualisé. Ainsi, le système d'innovation à faire émerge progressivement et les informations sur ce système et processus individualisé sont stockées dans le produit lui-même (figure 55).

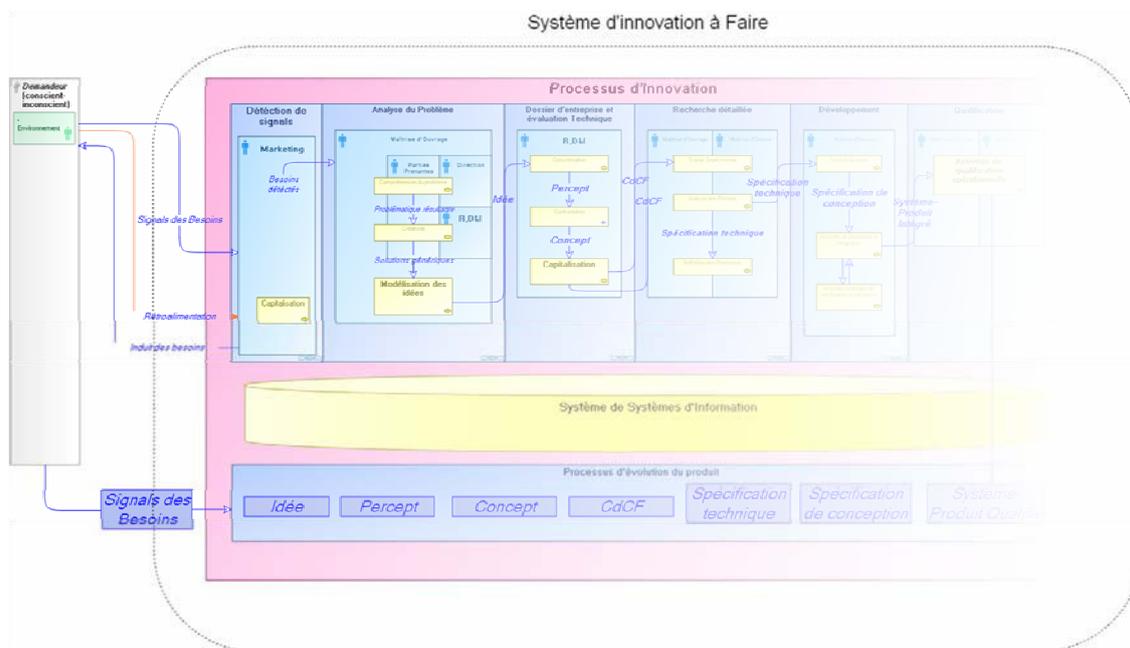


Figure 55. Emergence progressive du système d'innovation à faire.

#### 4.6.2.4 Recherche détaillée

Avant le développement, il faut avoir acquis les connaissances et un savoir confirmé dans le but de résoudre les problèmes posés par l'innovation. Cette phase comporte à la fois la production de connaissances technologiques et commerciales (par le biais de recherches effectuées à l'intérieur de l'organisation) et un transfert de technologie (entre les sources internes ou à partir de sources extérieures). Cette étape englobe les activités de détermination des exigences système, définition formelle du concept, démarrage de la conception

préliminaire du produit et des activités supports (distribution, maintenance...) et détermination de l'approche de vérification.

#### 4.6.2.5 Développement

Le développement s'agit essentiellement d'un processus graduel de réduction des incertitudes techniques grâce à différentes étapes de résolution de problèmes. Une fois les connaissances acquises et/ou développées, le développement du nouveau produit se fait en raffinant les exigences système jusqu'aux spécifications techniques et de conception, avec le comportement, structure et paramètres du système-produit, jusqu'au niveau de ses composants, pour ensuite les intégrer, valider, et qualifier (IVQ) afin de former le prototype.

#### 4.6.2.6 Qualification

La qualification consiste à démontrer que le produit est capable de répondre aux exigences spécifiées. Cette étape ferme le cycle de développement et valide les connaissances générées et utilisés pendant la création du nouveau produit. Mais les travaux d'innovation ne finissent pas avec la qualification d'un nouveau produit. Une fois celui-ci délivré, il faudrait faire un examen du projet accompli associé à une tentative de tirer les leçons de l'expérience acquise, ainsi que la retro-alimentation de l'utilisation du produit et des éventuelles demandes des produits similaires (figure 56).

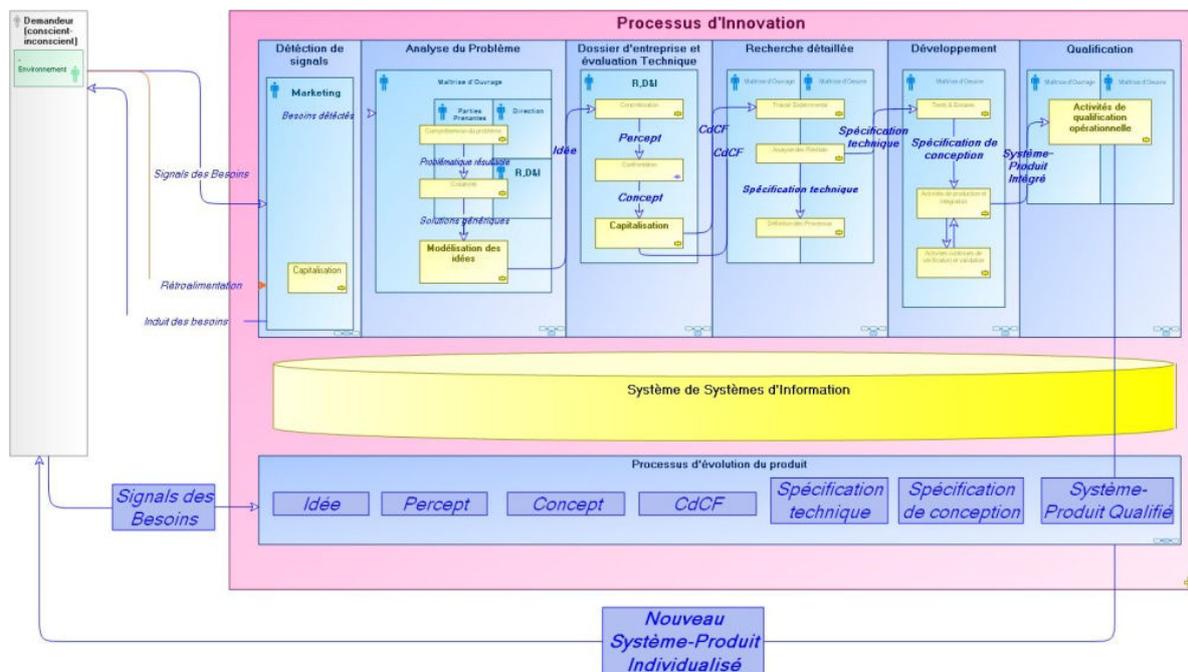


Figure 56. Système d'innovation à faire émergé.

La figure 57 illustre le processus d'émergence du *système d'innovation à faire*. Il représente non seulement les phases d'innovation décrites ci-dessus, mais aussi concrétise les interactions (guidés par le cadre Zachman) entre les trois systèmes décrits précédemment afin de former un système d'innovation centré sur le produit. Notre démarche ISIBM, favorise les activités de modélisation et afin d'intégrer les activités, processus, opérations, métiers, rôles, etc. des étapes du processus d'innovation avec les sous-systèmes, composants, exigences, comportements, structure et paramètres du produit, grâce au modèle du produit individualisé, à travers son évolution.

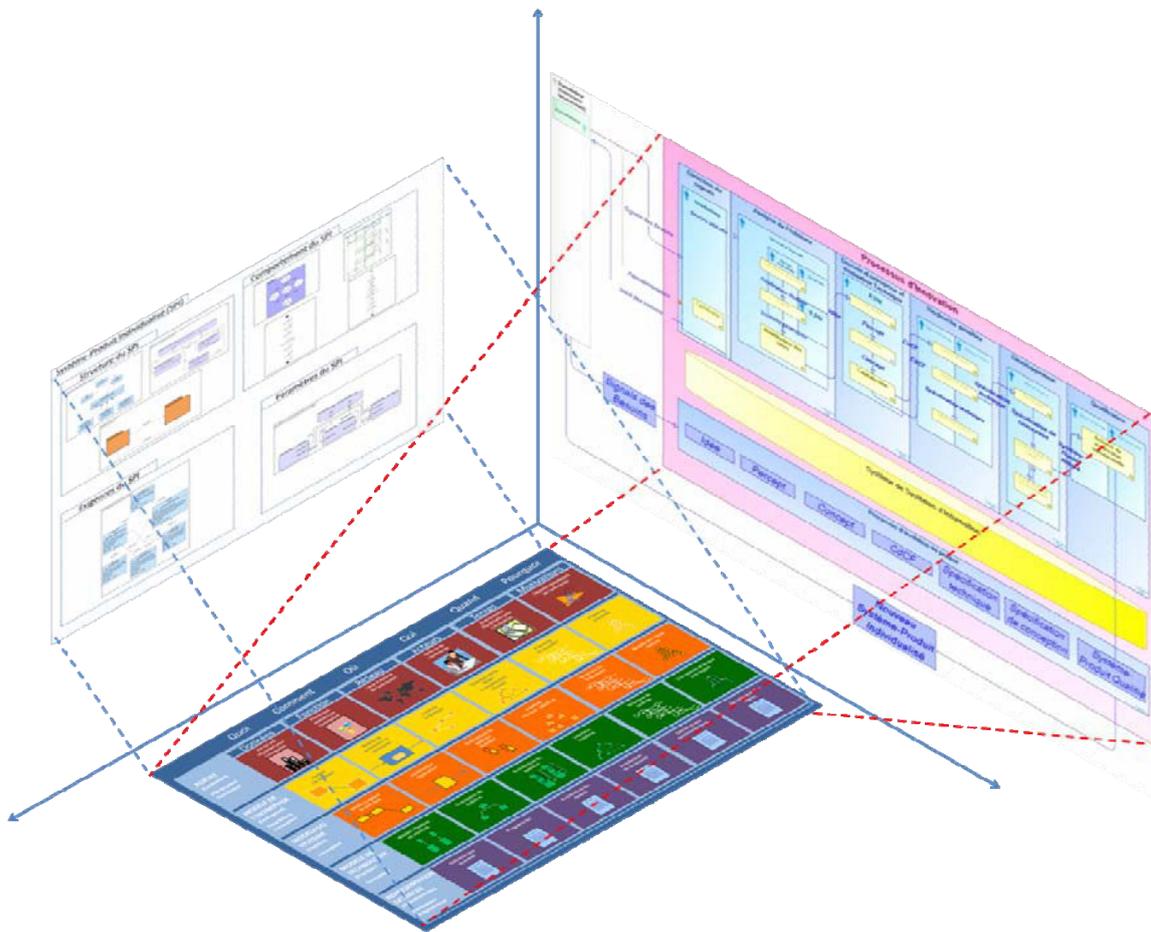


Figure 57. Illustration de l'émergence du système d'innovation à faire.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une démarche d'ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles (ISIBM) centré sur le modèle du *système-produit individualisé* proposé dans le chapitre 1. Cette démarche propose une méthodologie : un *système d'innovation pour faire* guidé par le cadre Zachman. Nous avons illustré l'émergence du *système d'innovation à faire* (SIAF) qui va réaliser le produit afin de mieux expliquer la relation entre les trois systèmes (produit, pour faire, à faire...).

Nous avons fait d'abord une recherche sur quelques uns des modèles du processus d'innovation les plus répondus dans le monde académique et industriel à manière de rappeler que le processus d'innovation n'est pas donné pour suivre comme une recette, mais qu'il est nécessaire, peut-être aujourd'hui plus que jamais, qu'il soit intégré dans les démarches business des entreprises.

Nous avons souligné l'importance de l'utilisation de l'ingénierie système pour les processus d'innovation. Elle est approprié pour ce qu'est un processus complexe et incertain qui a besoin d'un éventail de disciplines ample pour réussir à créer des systèmes produits vendables dans le marché mais que surtout répondent à un besoin spécifique, pas toujours très clair, demandé par un client.

Nous avons défini et proposé une ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles dirigée par le système produit individualisé. Cela a été supporté par la notion d'ingénierie système basée sur les modèles (ISBM), où le modèle est considéré comme l'artefact primaire pour représenter les spécifications et la conception d'un système.

Pour cela, nous avons souligné l'importance du management du cycle de vie du produit pour assurer une cohérence de ce qui est voulu par l'environnement et ce qu'est délivré par l'entreprise. Dans la même logique, nous avons étudié les cadres de modélisation majeurs de l'ingénierie de systèmes et notamment le cadre de modélisation Zachman, afin de guider le raisonnement de modélisation de l'ISIBM. La relative généricité de ce cadre de modélisation lui confère une relative souplesse d'usage. En effet, le modélisateur garde une grande liberté d'action dans son acte de modélisation d'un système, tout en étant cadré par des points de vue à la fois sur le niveau d'abstraction d'un système (contextuel, conceptuel, logique, technique et opérationnel) et sur le niveau d'observation d'un système (quoi, comment, où, qui, quand, pourquoi). Ainsi, en réponse aux problématiques d'intégration du processus d'innovation et

de capitalisation des processus et produits nouveaux (individualisés), nous proposons de « distribuer » les « bons modèles », à la « bonne place », au « bon moment », au travers d'un cadre de modélisation Zachman représentant l'ingénierie d'innovation particulière de chaque nouveau système-produit constitutif d'un système d'innovation à faire. Notre méthodologie d'ingénierie n'a pas pour objectif de remettre en cause les bonnes pratiques et les méthodologies déjà existantes en ingénierie de l'innovation. Cependant, elle cherche à contribuer pour guider le modélisateur à cadrer ces bonnes pratiques afin d'aider à l'intégration du processus d'innovation. De plus, elle participe à une certaine forme de capitalisation de la modélisation au fil de temps.

Nous nous sommes appuyés sur l'environnement MEGA Modelling Suite dont le méta-modèle fournit les objets de base de modalisation d'un système d'innovation à faire y compris certains relatifs à son ingénierie, comme la gestion de projet et le cadre de Zachman. Nous avons proposé une méthodologie pour un *système d'innovation pour faire* avec le modèle du *système-produit individualisé* d'où émerge le système d'innovation à faire. L'ensemble de ces systèmes comprend le *système d'innovation centré sur le produit individualisé* dont la finalité est de rendre une solution économiquement viable, efficace et répondant aux exigences de toutes les parties prenantes.

Dans le chapitre suivant, nous allons illustrer avec un cas d'étude l'application de cette approche dans un projet de transfert de technologie en entreprise.

---

## **Chapitre 3**

### **Scénario d'application de l'ISIBM dans un projet de transfert de technologie**

**Ce chapitre constitue la partie expérimentale de notre recherche. Il a pour objectif de proposer un scénario d'application de notre ingénierie système de l'innovation basé sur les modèles (ISIBM). Ce scénario est basé sur un projet industriel ayant pour objet la spécification d'un produit innovant dans le cadre d'un transfert de technologie entre un centre technique et une PME.**

---

## 1. Objectifs expérimentaux

Dans ce chapitre, nous cherchons à démontrer notre proposition d'ISIBM sur la base d'un scénario particulier d'un projet de Transfert de Technologie (TT) en entreprise. Pour ce faire, dans un premier temps, nous introduisons le contexte du *système d'innovation à faire* en ce qui concerne le transfert de technologie et l'innovation. Dans un deuxième temps nous expliquons la démarche pour modéliser ce projet de transfert de technologie dans l'approche d'ISIBM. Finalement, nous présentons les modèles résultants de la démarche dans les niveaux contextuel et conceptuel du cadre Zachman.

Cette expérimentation poursuit plusieurs buts :

- Vérifier la cohérence générale de notre ISIBM. Cette cohérence est évaluée par différents éléments :
  1. l'adéquation entre les cases du cadre de Zachman et les unités de modélisation du représentant le SPI,
  2. la possibilité de décrire le processus d'émergence selon notre modèle et en comparaison avec l'approche par OIC traditionnelle en ingénierie de l'innovation,
  3. la pertinence des modèles correspondant aux étapes du processus de TT modélisé,
- Vérifier l'aspect opérationnel des modèles : à partir d'une description très précise des processus d'innovation par observation in situ d'un projet (données d'entrée), il convient de valider le fait que nous parvenions à construire nos modèles,
- Valider l'aspect qui concerne l'« intégration par le produit » de l'approche proposée basé sur un langage formel de modélisation de systèmes (SysML) et le cadre Zachman.

## 2. Choix du terrain expérimental

Notre cas d'étude se focalise sur le processus de Transfert de Technologie (TT) qui est un cas particulier d'innovation (Chauvet, 2003) (Zahra & George, 2002). En effet, le TT peut avoir

comme but l'amélioration de certains produits, le développement de nouveaux produits, processus ou services.

Plus précisément, nous avons appliqué notre méthodologie d'ISIBM au sein d'une PME de 8 personnes qui exécute des activités d'assemblage dans son processus de fabrication. L'entreprise fait partie de l'industrie manufacturière aérospatial de pièces métal-mécaniques. Cette entreprise a besoin de **mettre à jour son processus d'assemblage**, puisque le processus actuel utilise une technologie qui est déjà obsolète par rapport à la performance et aux coûts des concurrents et les exigences des clients. Le domaine d'application particulier concerne l'application d'un nouveau procédé d'assemblage métallique. Notons que le changement de procédé a un impact sur la configuration des produits industriels, il ne s'agit pas d'une simple substitution dans le processus de production. La nouveauté du procédé (technique qui fait l'objet actuellement de brevets et de nombreuses publications scientifiques), les changements à apporter aux produits manufacturés et le processus d'apprentissage nécessaire au sein de l'entreprise permettent d'affirmer que l'on est dans un contexte d'innovation selon les critères traditionnels (C. M. Kooli-Chaabane H. 2009).

**Notre cas d'étude a été mené dans le cadre d'un Pôle de Compétitivité. S'agissant d'un réel projet d'innovation dont le lancement définitif est prévu dans quelques semaines (au moment de la rédaction de ce mémoire) des règles essentielles de confidentialité seront respectées. Les éléments différenciateurs de la technique et du produit ne seront pas décrits dans le détail.**

Le choix de ce terrain expérimental repose sur les éléments suivants :

- Nous bénéficions d'un ensemble de données très riche. En effet, ce projet fait l'objet d'une campagne d'observation in situ menée par mes collègues H. Kooli-Chaabane, M. Camargo et V. Boly. Cette campagne consiste en une participation / observation de toutes les phases de conception collective et par analyse de tous les documents échangés entre les concepteurs. Cette campagne a une durée de 18 mois et suit un protocole très strict de collecte des données,
- L'acteur industriel principal est une PME ce qui a simplifié la description de certains éléments de nos modèles comme par exemple les acteurs impliqués dans le processus d'innovation,

- Le processus de TT peut être considéré comme complexe. Dans ce projet, comme généralement dans les projets de Transfert de Technologie, un grand nombre d'acteurs (services dans une entreprise, universités, centres de transfert, et d'autres organisations) doivent coordonner leur travail et utiliser les ressources et savoir-faire disponibles afin d'atteindre les objectifs et finalités établis,
- Un procédé d'assemblage est une suite d'opérations qui ont un résultat (l'assemblage) répondant à différents critères voulus par l'assembleur. Par voie de conséquence, un procédé d'assemblage est donc aussi une somme de connaissances techniques à agencer selon les besoins de l'utilisateur de ce procédé. Or, ce procédé d'assemblage peut être vu lui-même comme étant un produit lorsque l'assembleur n'est pas capable de le réaliser lui-même et qu'il le veut. Ce procédé d'assemblage (produit voulu) peut être donc délivré comme le résultat d'un processus de transfert de technologie. De plus, lorsqu'il répond aux spécifications d'UN SEUL assembleur, il peut être vu comme un **produit individualisé**.

### 3. Démarche expérimentale

Nous avons effectué des séances de travail collectif avec les collègues chargés de l'observation. Douze réunions de différentes durées ont été nécessaires pour construire et raffiner les différents modèles qui sont présentés dans ce chapitre. Au total, environ 25 heures de travail de modélisation effectif ont du être réalisées.

Nous avons utilisé les logiciels *MEGA Modelling Suite*<sup>4</sup> et *TOPCASED*<sup>5</sup> pour obtenir nos représentations symboliques et illustrer l'application de la démarche ISIBM. L'utilisation de MEGA répond au besoin de cohérence des modèles et aux capacités de liaison entre les objets dans l'environnement de modélisation. L'utilisation de TOPCASED répond aux besoins de modélisation sur un éditeur SysML.

Le tableau 9 ci-dessous décrit les grandes étapes réalisées dans l'application de cette démarche de modélisation du processus de transfert de technologie. Chaque étape est caractérisée par un nom et fournit d'une description concernant les activités menées dans chacune. Dans la colonne « Représentation », un diagramme d'activités SysML résume l'ensemble des étapes pour donner une vue globale de la démarche expérimentale. Nous

---

<sup>4</sup> [www.mega.com](http://www.mega.com)

<sup>5</sup> [www.topcased.org](http://www.topcased.org)

précisions que cette démarche est ainsi décrite afin d'illustrer l'application de l'ISIBM. L'idéal serait de démarrer l'ISIBM directement par la modélisation du niveau contextuel de Zachman, i.e. partant de l'étape 3 dans le tableau 9.

**Tableau 9. Etapes expérimentales pour l'application de l'ISIBM dans le projet de TT.**

Etape	Nom	Description	Représentation
1	Vue d'ensemble du projet (données brutes) (paragraphe 4)	<p>Pour cette étape, nous avons considéré :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les comptes rendus des réunions</li> <li>• Les acteurs présents aux réunions ou cités dans les comptes rendus (paragraphe 4.1)</li> <li>• Les étapes du processus de transfert (Kooli) (paragraphe 4.2)</li> <li>• Les concepts définis dans le projet de modélisation du processus de TT (Kooli et Casorzo) (parag. 4.3)</li> </ul>	
2	Correspondance des concepts (paragraphe 5.1)	<p>Dans cette étape nous rappelons les entités ISIBM qui jouent dans la démarche de modélisation. Ensuite, nous avons établi une correspondance entre les concepts de l'ISIBM, l'innovation et le processus de TT afin d'assurer une cohérence qui favorise la compréhension des modèles construits dans l'étape suivante. Finalement, nous adaptons le modèle de la démarche ISIBM pour ce projet de TT.</p>	
3	Mise en œuvre démarche ISIBM Niveau Contextuel (parag. 5.2.1)	<p>Pour cette phase, nous avons appliqué la démarche ISIBM décrite dans le chapitre précédent afin de construire les modèles du niveau Contextuel du cadre Zachman par rapport au but poursuivi du projet de TT.</p>	
4	Mise en œuvre démarche ISIBM Niveau Conceptuel (parag. 5.2.2)	<p>Cette étape continue l'application de l'ISIBM pour le niveau Conceptuel du cadre Zachman afin de décrire et modéliser de façon intégrée les aspects concernant le produit individualisé et le système à faire.</p>	
5	Validation des modèles	<p>Pour cela nous avons confronté les modèles construits dans chaque niveau du cadre Zachman avec les membres du projet de TT afin de vérifier et valider la cohérence des modèles avec les activités, acteurs, métiers,</p>	

---

		éléments, procédures, séquences, etc. du processus de TT réalisé.	
--	--	---	--

Afin de valider notre ISIBM, nous décrivons le processus de modélisation du projet de transfert de technologie en utilisant notre méthodologie comprenant notre *système d'innovation pour faire*, le *système d'innovation à faire* et le *système-produit individualisé* afin d'intégrer les différents acteurs, processus, activités, métiers, etc. avec les parties qui correspondent au produit.

#### 4. Données brutes concernant le projet de TT

Nous avons distingué en théorie trois éléments : le système d'innovation à faire, le système d'innovation pour faire et le produit individualisé. Nous allons confronter cette vision au terrain. Pour cela, nous allons modéliser les échanges entre acteurs.

##### 4.1 Acteurs du projet TT

Comme mentionné antérieurement, un grand nombre d'acteurs participent dans un projet complexe de transfert de technologie. Dans ce cas d'étude particulier, nous avons défini les acteurs du projet en collaboration avec les observateurs. Ces acteurs identifiés ont été rassemblés sous forme d'une entreprise virtuelle. Ce choix de l'entreprise virtuelle s'explique parce qu'il s'agit d'une entité créée spécifiquement pour le développement du projet et qui disparaît une fois le projet achevé :

- **Entreprise Virtuelle:** C'est l'entité qui accueille le *système d'innovation à faire* (SIAF). Elle englobe l'ensemble de matériels, logiciels, compétences humaines et processus participant dans le projet et qui a été créée spécifiquement pour ce projet en particulier. Les acteurs décrits par la suite font partie de l'entreprise virtuelle et vont fournir/consommer de l'information en utilisant l'artefact commun de modélisation système-produit individualisé.
- **Entreprise Associée:** cet acteur représente l'entreprise qui fait face aux conditions de l'environnement et qui exprime le besoin (client, donneur d'ordres). C'est le principal intéressé à implémenter la solution obtenue par le projet de transfert de technologie. L'Entreprise Associée détecte des signaux de l'environnement, ensuite elle les interprète et formalise pour énoncer son besoin. Cet acteur dispose du processus



#### 4.2 Etapes du processus TT

Les frontières du projet de ce cas d'étude ont été formalisées textuellement dans un document Word©. C'est le point de départ de notre étude de cas. Ce document a été rédigé par nos collègues Kooli-Chaabane, Boly et Camargo, mais nous n'avons pas le droit de l'inclure dans les annexes de cette thèse puis qu'il est à titre confidentiel. Néanmoins, nous présentons la gestion de ce projet en particulier avec ses différentes phases détaillées dans le tableau ci-dessous et son GANTT associé (figure 59).

Nom de la tâche	Durée	Début	Fin
<b>Contact</b>	<b>7 jours</b>	<b>Lun 01/10/07</b>	<b>Mar 09/10/07</b>
Initialisation	1 jour	Lun 01/10/07	Lun 01/10/07
Contact	1 jour	Mar 09/10/07	Mar 09/10/07
<b>Prospecting</b>	<b>40 jours</b>	<b>Jeu 18/10/07</b>	<b>Mer 12/12/07</b>
Définition du projet	5 jours	Jeu 18/10/07	Mer 24/10/07
Visite des ateliers	1 jour	Jeu 25/10/07	Jeu 25/10/07
Elaboration d'une proposition technique	6 jours	Mar 04/12/07	Mar 11/12/07
Présentation proposition technique	1 jour	Mer 12/12/07	Mer 12/12/07
<b>Developing</b>	<b>65 jours</b>	<b>Ven 18/01/08</b>	<b>Jeu 17/04/08</b>
Initialisation	1 jour	Ven 18/01/08	Ven 18/01/08
Echanges techniques	1 jour	Ven 25/01/08	Ven 25/01/08
Echanges choix du matériel	1 jour	Ven 29/02/08	Ven 29/02/08
Recherche du fournisseur du matériel	14 jours	Mer 12/03/08	Lun 31/03/08
Echanges choix du matériel	1 jour	Mer 19/03/08	Mer 19/03/08
Choix du matériel	1 jour	Mar 25/03/08	Mar 25/03/08
Arrivée des échantillons	1 jour	Jeu 17/04/08	Jeu 17/04/08
<b>Trial</b>	<b>44 jours</b>	<b>Jeu 01/05/08</b>	<b>Mar 01/07/08</b>
Réalisation des essais par le CTT	2 jours	Jeu 01/05/08	Ven 02/05/08
Compte rendu des choix faits	1 jour	Mar 01/07/08	Mar 01/07/08
<b>Adoption</b>	<b>1 jour</b>	<b>Mer 01/10/08</b>	<b>Mer 01/10/08</b>
Implementation de la technologie transférée	1 jour	Mer 01/10/08	Mer 01/10/08

Figure 59. Extrait du Gantt du projet de transfert de technologie (d'après Kooli-Chaabane et al. 2009)

De plus les responsables du projet de transfert utilisaient une autre clé de répartition des tâches pour suivre leur projet. Nous avons donc pu et dû traiter ces données. En fait il s'agissait d'une répartition des tâches ci-dessus selon 4 phases :

- **Prospecter** : c'est la phase où l'on vérifie que les questionnements industriels peuvent relever d'un problème relatif à la technologie dont on dispose et que l'on souhaite transférer. C'est aussi les étapes de contractualisation entre acteurs et de définition de programmes de travail,
- **Développer** : c'est toute la phase de développement technique mais aussi de mise au point des activités supports (qualité, contrôle...)
- **Essayer** : c'est la partie des tests (dont l'acceptabilité client)

➤ **Adopter** : c'est la partie apprentissage qui se déroule tout au long du projet.

#### 4.3 Concepts définis dans le projet de modélisation du processus de TT

Nous avons utilisé les invariants de modélisation définis dans les travaux de Kooli-Chaabane (C. M. Kooli-Chaabane H. 2009) et Casorzo (Casorzo C. 2010) afin de les adapter à notre modèle de référence pour ce projet. Plus particulièrement, ces invariants concernent l'OIT (Objet Intermédiaire de Transfert) et l'OF (Objet Final).

**Objet Intermédiaire de Transfert (OIT)** : c'est un objet créé pour matérialiser et faire évoluer la connaissance et ainsi faciliter le transfert de technologie et le développer par l'ensemble de parties prenantes. Il améliore les compétences d'au moins une des parties prenantes et ajoute de la valeur au projet (C. M. Kooli-Chaabane H. 2009). Les objets tels que des maquettes ou des prototypes mais aussi des documents type étude techniques, plans ou même contrats de partenariats sont des OIT.

**Objet Final (OF)**: L'Objet Final représente l'objet de transfert de technologie à être transféré. Cet objet déclenche la création du projet de TT et il dirige son développement (Casorzo, 2010). L'Objet Final est le résultat des interactions avec les Objets Intermédiaires de Transfert (OIT).

## 5. Résultats expérimentaux relatifs à l'application de l'ISIBM au projet de transfert de technologie

### 5.1 Correspondance des concepts

Le but de notre approche est d'appliquer notre démarche d'ISIBM afin de contribuer à réduire la complexité dans la modélisation du processus de transfert selon des niveaux d'observation différents et avec des points de vue différents. Nous postulons que les diagrammes correspondant au modèle du produit individualisé peuvent être distribués tels que des instances des cellules du cadre de modélisation de Zachman (voir Chapitre 2). Celui-ci permet d'avoir une vision globale et intégrée où chaque objet de modélisation est en lien avec un autre au travers de relations et de règles de modélisation. Ce sont ces relations et ces règles de modélisation qui garantissent la cohérence entre les modèles distribués et capitalisés au sein de chaque de modélisation de Zachman (figure 60).

Selon les définitions du paragraphe 4.3, l'Objet Final correspond avec notre définition de système-produit individualisé (SPI) et avec la définition de produit innovant (tableau 2, première ligne). Selon la définition de l'OIT, il existe une correspondance avec le concept d'Objet Final, de façon analogique à la correspondance entre le concept de produit innovant et les OIC (Objets Intermédiaires de Conception) (cf. Chapitre 2 de ce mémoire).

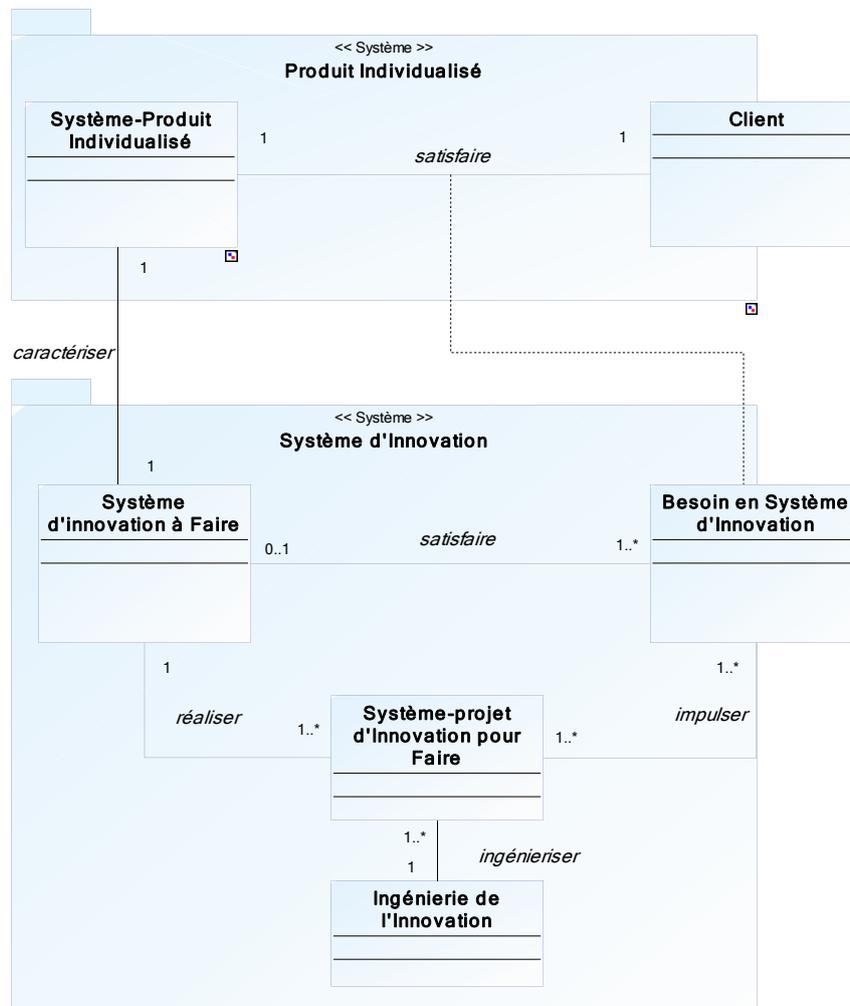


Figure 60. Relation entre les modèles du système produit individualisé et le système d'innovation.

Cela permet d'étendre cette correspondance entre notre concept de système d'innovation à faire, le concept de système technologique (Boly, 2009) et l'entreprise virtuelle (Casorzo 2010) (tableau 10, deuxième ligne) ; également cela correspond à notre définition du système d'innovation pour faire, le projet d'innovation (Boly, 2008) et le modèle du processus de transfert de technologie (C. M. Kooli-Chaabane H. 2009).

Tableau 10. Correspondances entre les concepts de l'ISIBM, de l'Innovation et du Transfert de Technologie.

ISIBM	Innovation	Transfert de Technologie
SPI	↔ Produit Innovant + OICs	↔ Objet Final+OITs
SAF	↔ Système technologique	↔ Entreprise virtuelle
SPF	↔ Projet d'innovation	↔ Processus de Transfert de Technologie

SPI: Système Produit Individualisé

SAF: Système à Faire

SPF : Système pour Faire

OIC : Objet Intermédiaire de Conception

OIT : Objet Intermédiaire de Transfert

individualisé représente l'objet final attendu par l'entreprise **travailler sous atmosphère contrôlée**. En effet, le rôle du système-produit individualisé pendant le projet de transfert est d'intégrer les tâches du processus de transfert afin de faciliter la coordination du travail et les flux d'information à travers des acteurs de l'entreprise virtuelle (le *système d'innovation à faire*) émergé.

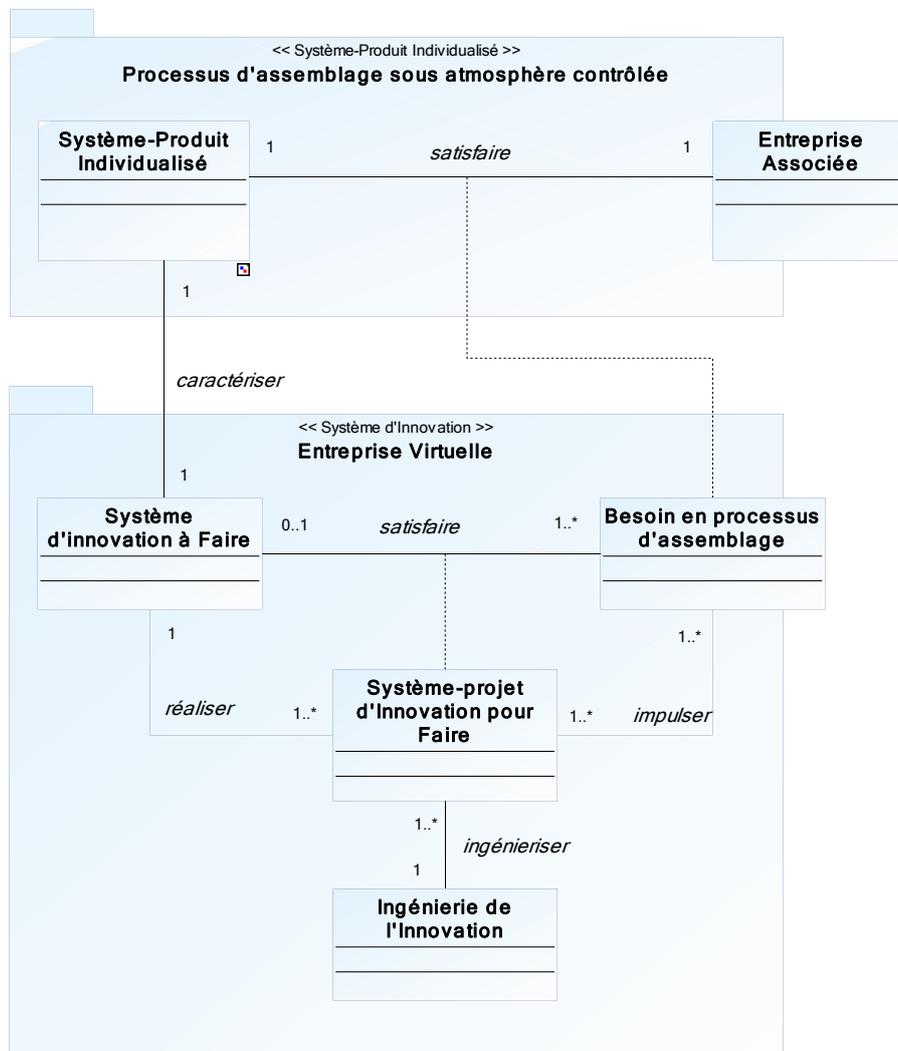


Figure 61. Adaptation du modèle d'innovation émergent de la relation individualisé client-produit-système d'innovation à faire.

De cette façon, nous montrons la correspondance de nos concepts par rapport à l'innovation et au processus de transfert de technologie afin de les appliquer à l'ISIBM. Cela assure la cohérence entre ces concepts et donc une meilleure compréhension de la mise en œuvre de la démarche.

### **5.2 Résultats relatifs aux deux niveaux du cadre de Zachman : contextuel et conceptuel**

La mise en œuvre de notre démarche concerne surtout la MOA pour définir le niveau contextuel du système d'innovation à faire (niveau « Contextuel » du cadre de modélisation de Zachman) et la MOE pour définir le niveau conceptuel du système d'innovation à faire (niveau « Conceptuel » du cadre de modélisation de Zachman). Ceci dit, le cas d'étude présenté dans ce chapitre se focalise dans les premières étapes du processus de transfert et non-pas dans la modélisation des résultats issues des activités d'expérimentation des acteurs concernés.

Les vues de modélisation concernent les niveaux contextuel et conceptuel du système d'innovation à faire (niveaux « Contextuel » et « Conceptuel » du cadre de modélisation Zachman) (figure 62). Ces travaux de modélisation peuvent être résumés dans le tableau 11 qui présente l'ensemble de diagrammes correspondant les cases du cadre Zachman des niveaux « Contextuel » et « Conceptuel ». Nous n'avons pas modélisé les niveaux plus détaillées dû aux contraintes du temps et la portée de notre étude.

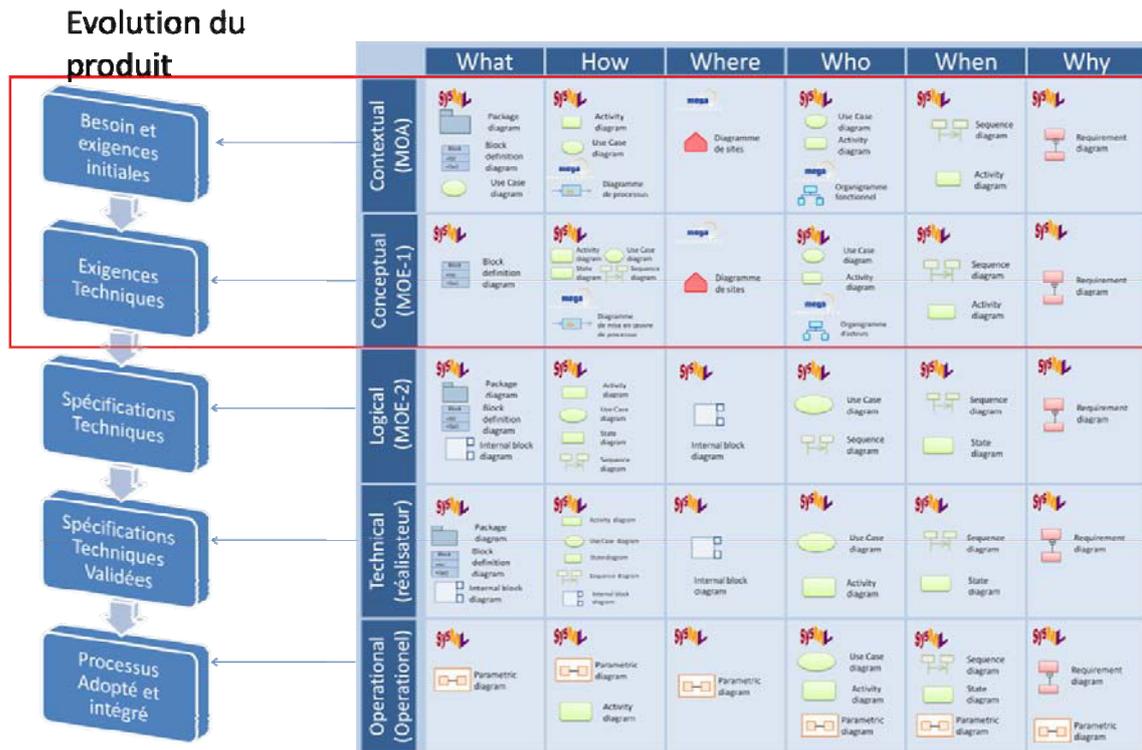


Figure 62. Portée du cas d'étude.

# Chapitre 3 : Scénario d'application de l'ISIBM dans un projet de transfert de technologie

Tableau 11. Ensemble de diagrammes de l'ISIBM appliqué au cas du processus de TT dans les niveaux « Contextuel » et « Conceptuel » du cadre Zachman.

	WHAT	HOW	WHERE	WHO	WHEN	WHY
CONTEXTUAL						
CONCEPTUAL						

### 5.2.1 Résultats expérimentaux sur le Niveau « Contextual »

Nous allons maintenant illustrer notre proposition méthodologique, ainsi que le prototype d'outillage de modélisation à travers l'ISIBM pour ce projet particulier de transfert de technologie. Le niveau « Contextual » concerne la première ligne du cadre Zachman et correspond au début du processus de transfert (Contact) et au premier et deuxième état du produit individualisé (voir figure 63).

#### 5.2.1.1 Données de base concernant le niveau contextuel

Nous nous sommes basées sur les données décrits dans le paragraphe 4.1 *Modélisation de la vue d'ensemble du projet de TT*. Ces données concernent le début du projet de transfert et permettent de démarrer les tâches de modélisation par la MOA. Plus particulièrement, les données de base du niveau contextuel doivent permettre d'établir les périmètres du projet et fournir une vue globale des objectifs, stratégies, échéances, organisation, lieux et processus à mettre en œuvre pour la réalisation du projet.

#### 5.2.1.2 Interprétation et résultats sur le niveau contextuel

A partir des données mentionnées et de la mise en œuvre de la démarche ISIBM, nous obtenons la liste suivante de diagrammes qui permet de décrire le niveau contextuel du projet :

1. *Un diagramme d'exigences initiales.*
2. *Un diagramme de paquetages (organisation structurelle) répondant aux exigences du produit individualisé.*
3. *Un diagramme d'activités et de cas d'utilisation qui spécifient ses processus principaux.*
4. *Un diagramme de séquence qui spécifie les points de synchronisation entre les éléments du processus de transfert.*
5. *Une cartographie de sites contributeurs.*
6. *Un organigramme, diagramme de cas d'utilisation ou de métiers pour connaître les acteurs, sa hiérarchie et ses fonctions dans le projet.*

Chaque élément de cette liste correspond à une case du niveau « Contextual » dans le cadre Zachman (voir correspondance des numéros de la liste dans la figure 63). De plus, ce niveau d'observation correspond avec les états du produit « Besoins » et « Exigences initiales » et avec l'étape « Contact » du modèle du processus de TT fourni par (Kooli-Chaabane et al, 2009) (figure 63).

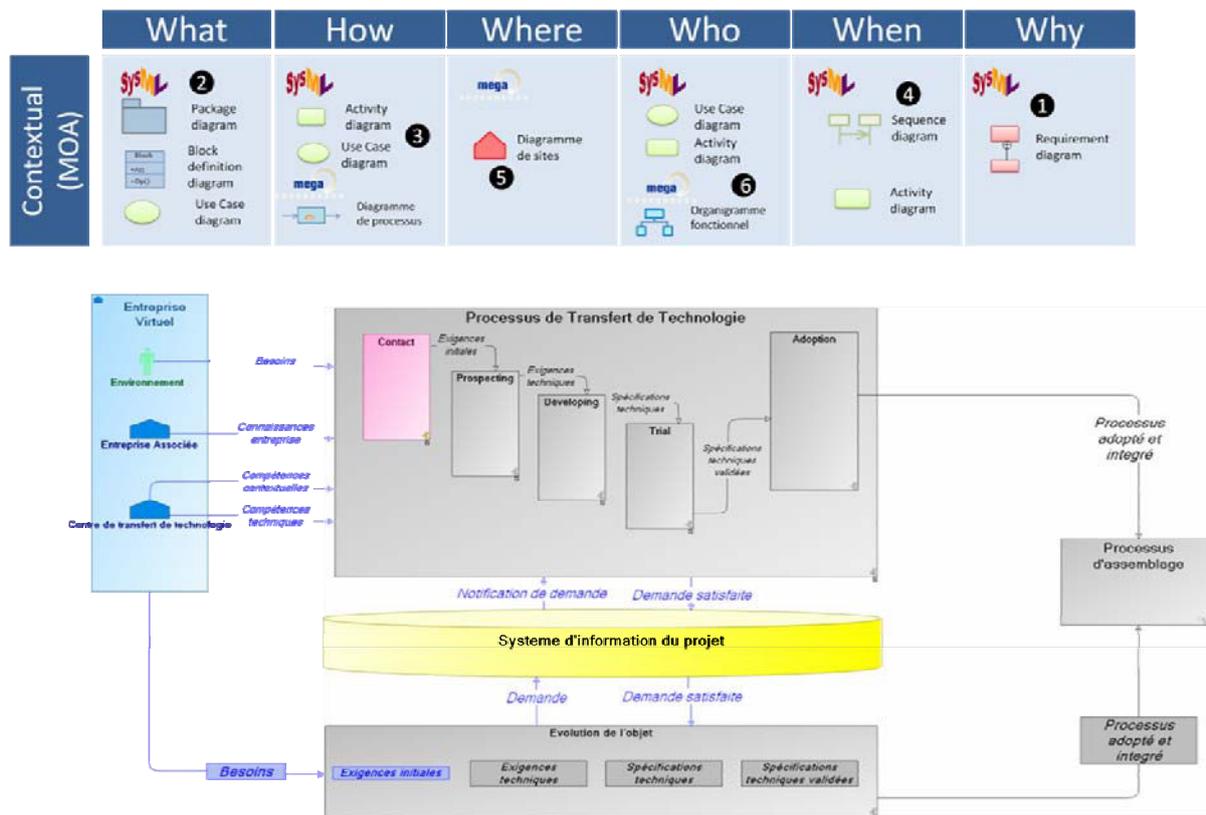


Figure 63. Correspondance du niveau contextuel du cadre Zachman avec le Système d'Innovation à Faire le processus de transfert de technologie (zones colorées).

La figure 63 ci-dessus fournit une vue globale des diagrammes concernant le niveau « Contextuel » du cadre Zachman et leur correspondance avec les états du produit et l'étape concernant le système à faire (le processus de TT). Il est pertinent de préciser que cette figure illustre de manière simplifiée la liaison qu'existe vraiment entre le système produit individualisé et son système à faire. Cela va au-delà d'une élémentaire congruence entre les acteurs concernés, l'état du produit et l'étape du processus (zones colorées). Elle comprend aussi les métiers, rôles, risques et problèmes associés, sites, interfaces, stratégies, outils, méthodes... Malheureusement, les illustrer avec des figures résulterait dans une pléthore de modèles qui mettrait en déclin l'objectif didactique du mémoire.

Maintenir cette congruence n'est pas une tâche facile même avec un outil de modélisation aussi puissante que MEGA. Pour cela, nous proposons une démarche de modélisation que nous décrivons dans les paragraphes à venir, d'abord pour le niveau « Contextuel » et ensuite pour le niveau « Conceptual » du cadre Zachman. Cette démarche pourrait être développée jusqu'au niveau opérationnel de Zachman (5<sup>ème</sup> ligne), mais cela ne correspond pas à la portée de ces travaux.

a. Exigences du produit (Contextual Why du SAF)



Figure 64. Correspondance de la cellule Why du cadre Zachman au niveau « Contextual » avec les exigences du modèle du système-produit individualisé.

Afin de démarrer le processus de modélisation, il est nécessaire de comprendre clairement les objectifs de l'entreprise associée. A cet effet, un premier diagramme d'exigences SysML a été modélisé suivant les prémisses de l'ISIBM (figure 64). Une fois le diagramme d'exigences validé par la MOA, il devient la référence pour l'ensemble des autres modèles. Il est de la sorte le document contractuel entre l'entreprise associée et le centre de transfert. Ainsi, parmi les objectifs principaux de l'entreprise associée, le centre de transfert s'est focalisé sur le produit individualisé à faire: **la technologie d'assemblage sous atmosphère contrôlée à transférer.**

La modélisation de ce premier diagramme d'exigences consiste à identifier les exigences selon les critères définis pour le modèle du produit individualisé. Par exemple, l'exigence principale du projet de transfert de technologie, « Passer au processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée », raffine l'exigence « Service principal du produit », du modèle définit dans le chapitre 1. Cette exigence principale est décomposée en exigences plus élémentaires que nous avons identifié. Nous avons créé le champ « *Individualisation* », situé en bas de chaque exigence. Ensuite, nous avons déterminé le critère de l'exigence par rapport au modèle. Ainsi, dans le diagramme d'exigences de la figure 65 il est possible de voir le type d'exigence selon ce critère. Par exemple, pour l'exigence « Coûts de fabrication » il s'agit d'un critère d'individualisation du type « MUST », car c'est un des facteurs déclencheurs du projet. Ce critère correspond aussi à l'« AUTONOMIE » de la technologie d'assemblage à transférer, car cela correspond à la capacité de cette technologie d'assemblage d'être pérennisé de façon « autonome ». De la même façon, chaque exigence du produit individualisé (le processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée à transférer) a été classifiée selon ce type de critère afin de permettre une meilleure traçabilité et management des exigences au long du cycle de vie d'innovation.

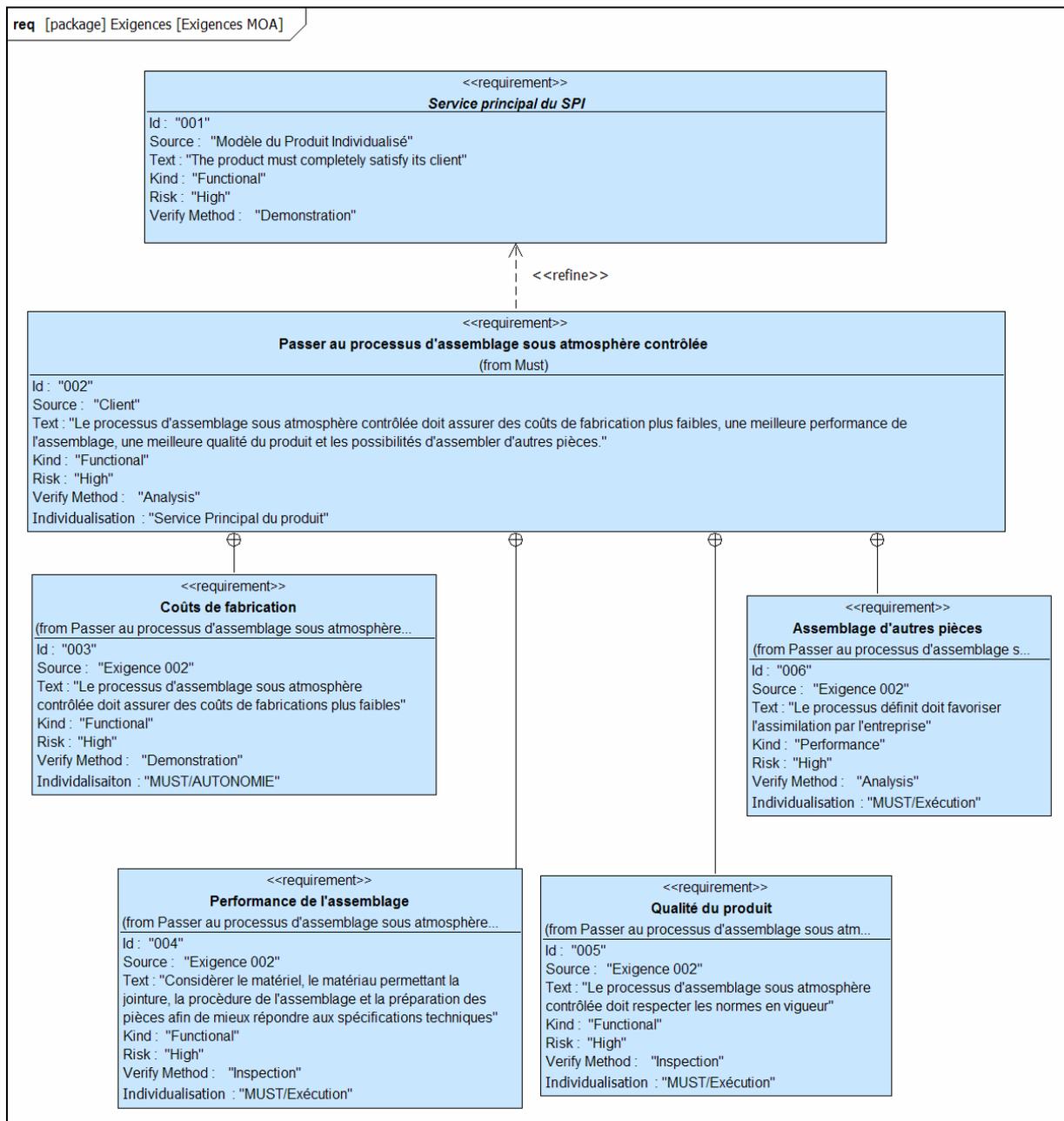


Figure 65. Diagramme d'exigences initiales du produit individualisé.

Ainsi on constate que notre modèle a permis de répertorier et classer toutes exigences formulées par les concepteurs. L'ensemble des exigences a été prise en compte à partir des documents rédigés. On peut conclure quant à l'efficacité de cette partie de l'ISIBM.

b. Résultats relatifs à la Structure du produit : Diagramme de Paquetages (Contextual What du SAF)

Nous avons modélisé la structure du produit individualisé dans un diagramme de paquetages nous basant sur les exigences définies dans le paragraphe précédent. Cela a été fait dans un rôle de MOA, considérant que ce serait le rôle pris par l’entreprise associée et le centre de transfert. Un paquetage partitionne le domaine d’étude et les travaux associés. Il permet de regrouper divers éléments (cas d’utilisation, blocs, activités, etc.). Un paquetage peut aussi contenir d’autres paquetages.

Ainsi, les exigences peuvent être regroupées dans un paquetage, les cas d’utilisation dans un autre, les blocs relatifs au processus d’assemblage sous atmosphère contrôlée, etc.

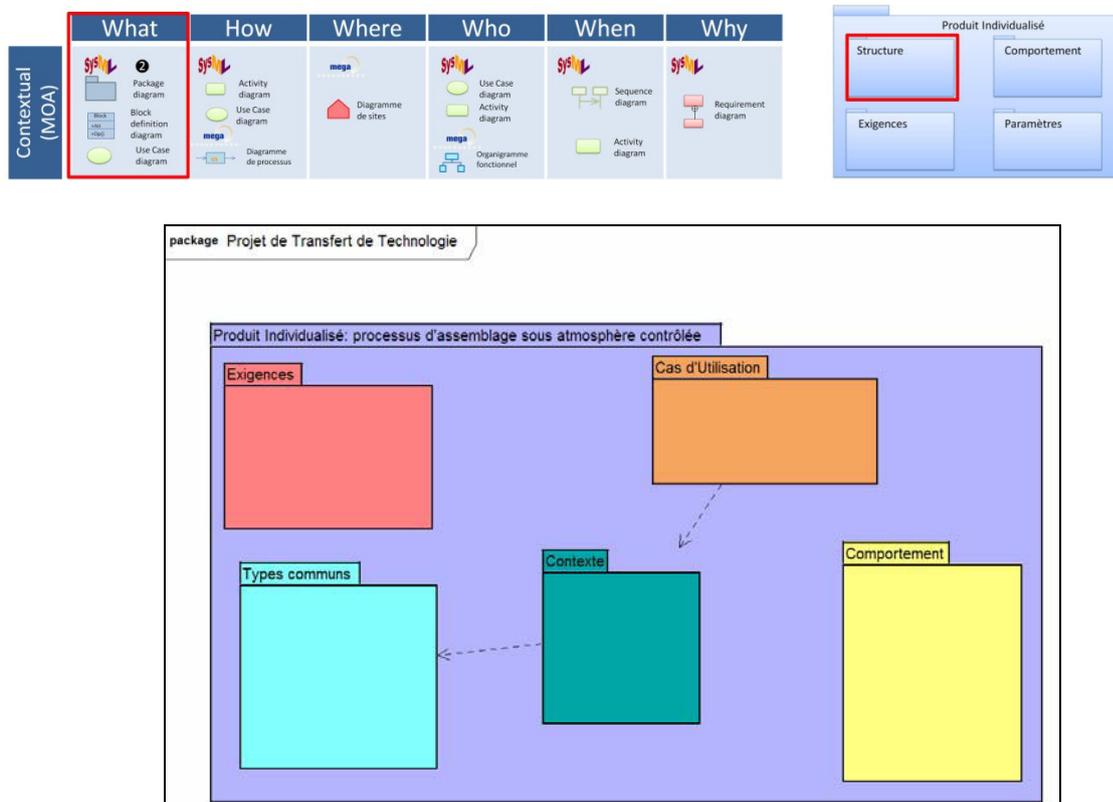


Figure 66. Diagramme de paquetages produit individualisé : le processus d’assemblage sous atmosphère contrôlée.

La figure 66 ci-dessus illustre comment certains modèles du produit individualisé seraient organisés dans un modèle de paquetages. Nous précisons que le découpage en paquetages ici est un choix purement arbitraire. On pourrait également regrouper les paquetages différemment pour insister sur la décomposition architecturale du produit individualisé.

c. Résultats relatifs au Comportement du produit : diagramme d'activités (Contextual How du SAF)

Le comportement du produit concerne les aspects du cadre Zachman qui comprennent les colonnes *How*, *Where*, *Who* et *When*. Dans ce paragraphe, nous traitons la case *How* du niveau « Contextual ». Les modèles concernant cette case (activités, cas d'utilisation, diagramme de processus) spécifient le ou les domaines fonctionnels relatifs au *système-produit individualisé* et les processus s'y rattachant. Nous avons utilisé les étapes du processus de TT pour construire le diagramme d'activités après l'expression du besoin par l'entreprise (figure 67). Ce processus peut être aussi modélisé par le diagramme d'environnement de processus en MEGA (figure 68), ce qui fait le lien avec le modèle global du processus (cf. figure 63).

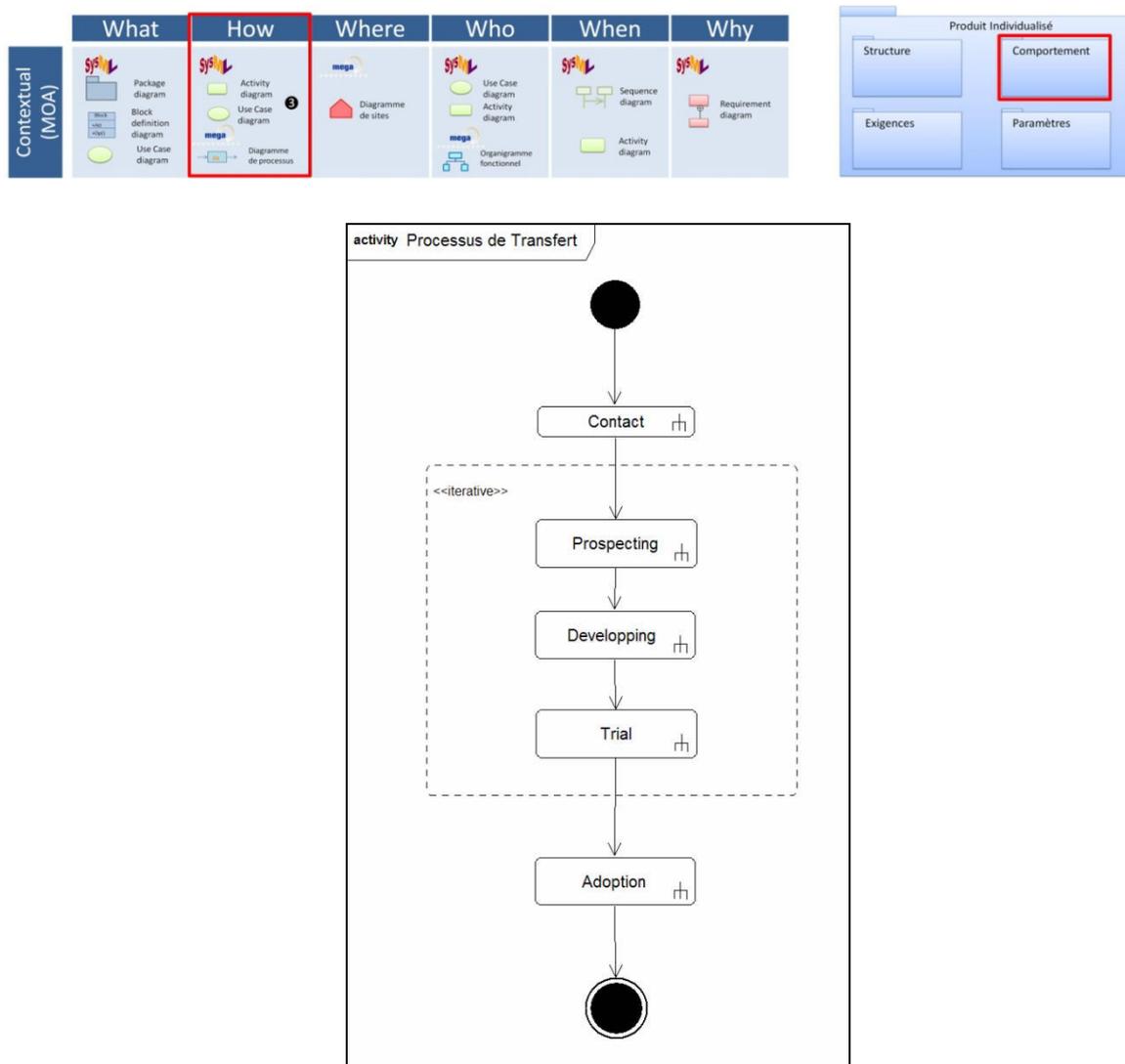


Figure 67. Diagramme de d'activités SysML avec les étapes générales du processus de TT (inspiré de Kooli-Chaabane et al. 2009)

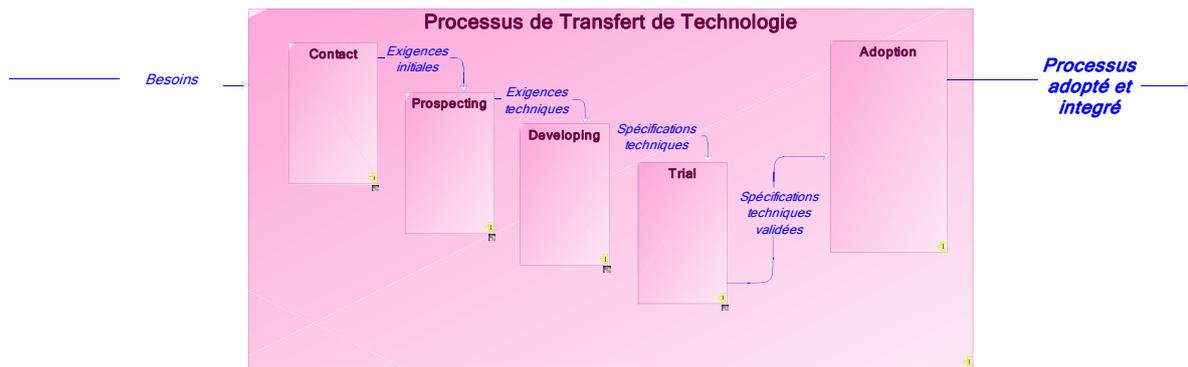


Figure 68. Diagramme de définition de processus MEGA des étapes du processus de Transfert de Technologie (idem)

La figure 68 ci-dessus illustre le modèle du processus de TT avec les messages qui sont transmis entre les sous-processus selon les règles de modélisation en MEGA. Le modèle du produit individualisé (processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée) est embarqué dans tous les messages (voir chapitre 2). Cela permet de maintenir la cohérence entre les états du produit (*cf.* figure 77) et les phases du processus.

d. Comportement du produit : diagramme de séquences (Contextual When du SAF)

Ce diagramme de séquences spécifie et caractérise les échanges informationnels entre les acteurs constitutifs de l'entreprise virtuelle et le *système-produit individualisé* au long du processus de transfert de technologie.

Les données d'entrée sont :

- Les activités réalisées lors des observations sur les phases de conception.
- Les dates quand elles ont été réalisées.
- Les acteurs qui ont participé à ces activités.
- La durée des activités.
- La pertinence des activités dans le progrès du processus de TT

Nous avons interprété ces données pour construire le diagramme de séquences de la figure 69 ci-dessous. En effet, ce diagramme ne permet pas seulement d'apprécier les échanges informationnels entre les acteurs du processus de TT, mais aussi de souligner le rôle intégrateur du produit individualisé. Cela est possible grâce à sa participation active tout au long du processus de TT, depuis la modélisation des besoins (puis sa formalisation sous forme

d'exigences) jusqu'à la modélisation de la procédure final afin d'être implémenté par l'entreprise associée.

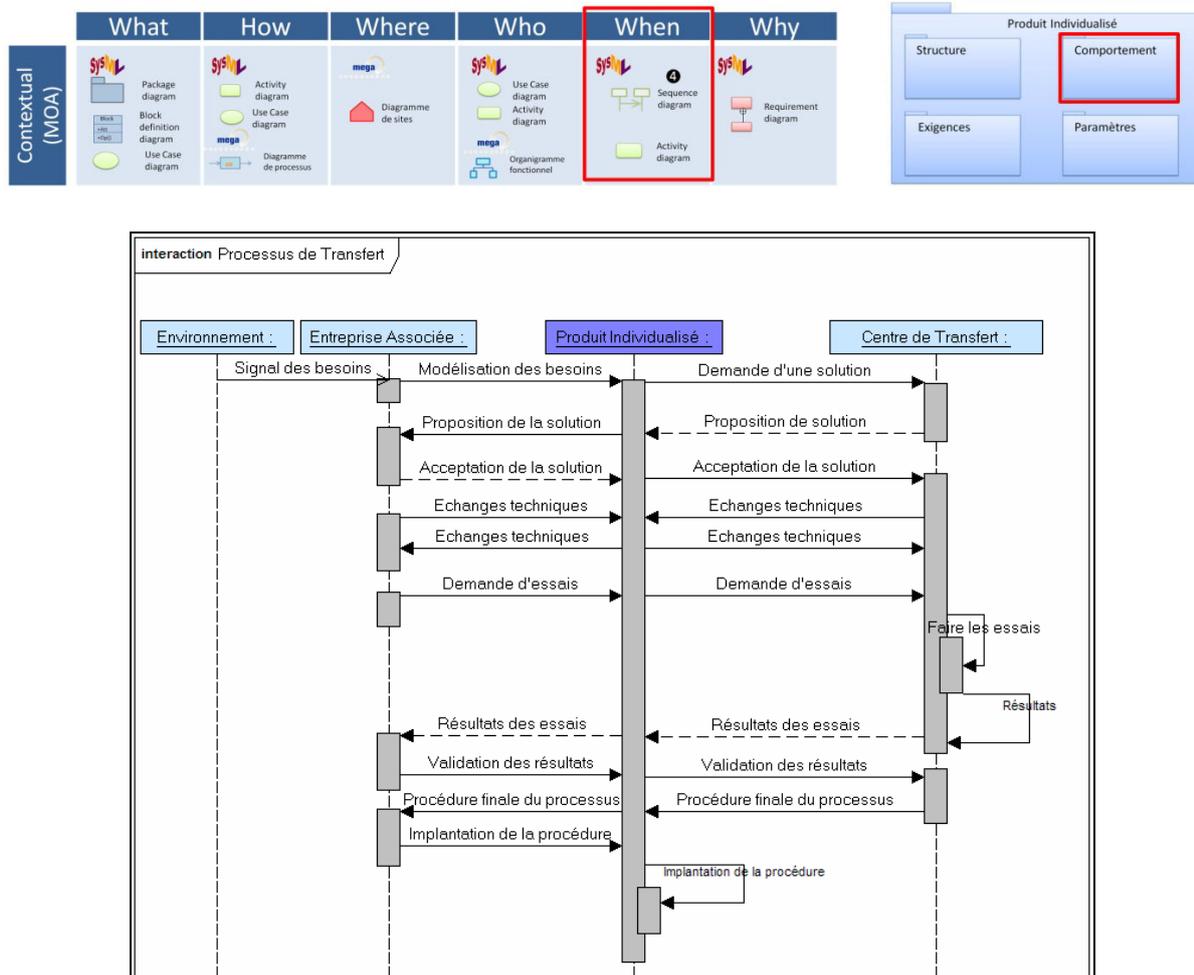


Figure 69. Rôle intégrateur du produit individualisé tout au long du processus de TT.

e. Diagramme de sites (Contextual Where du SAF)

Ce diagramme spécifie les lieux où les activités du processus de transfert se déroulent ainsi que les canaux qui permettent les échanges *holoniques* (information/matière) (Baïna, 2006) entre les sites. Dans ce diagramme il est possible d'apprécier que l'entreprise virtuelle englobe le centre de transfert de technologie et l'entreprise associée. Ce qui est échangé c'est le *produit individualisé*. Nous avons utilisé un diagramme de sites de MEGA pour inclure les lieux où les comportements du produit se réalisent.

Les données d'entrées sont :

- Les lieux géographiques d'intérêt pour le projet de TT.
- L'organisation de ces lieux géographiques et ses interrelations.

- Les canaux pour transmettre les informations entre les sites (ou acteurs)

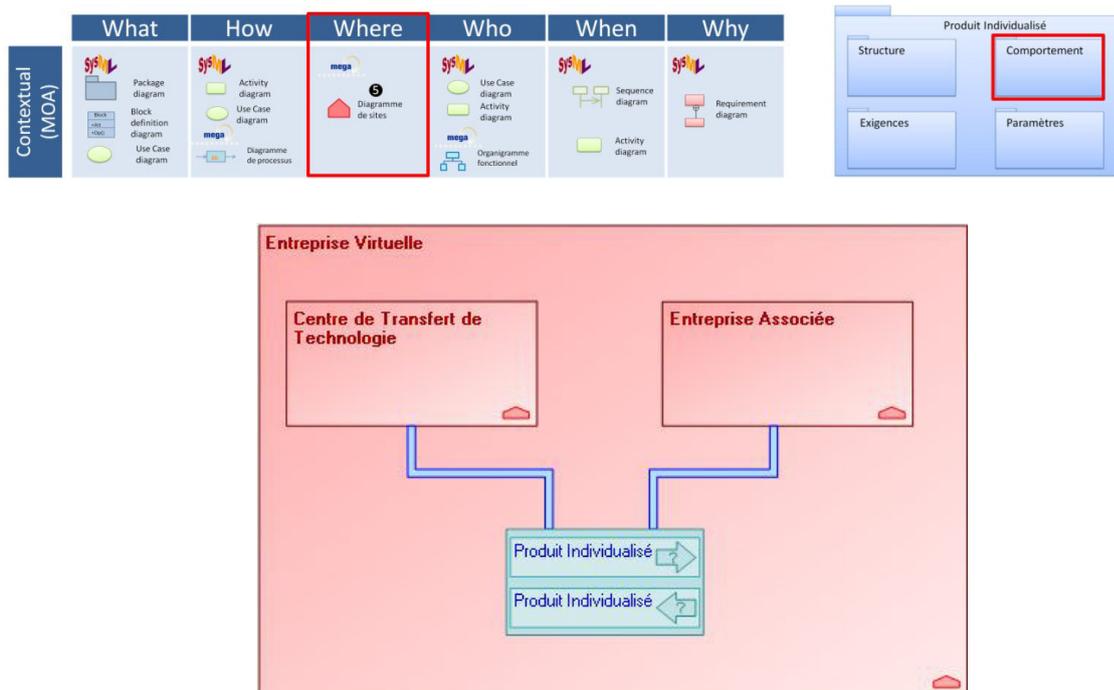


Figure 70. Diagramme de sites du Système d'Innovation à Faire « entreprise virtuelle » focalisé sur le projet de transfert.

La figure 70 ci-dessus illustre les lieux géographiques qui comprennent l'entreprise virtuelle. Il s'agit d'un diagramme de site fourni par l'environnement de modélisation MEGA. Nous le présentons de manière simple afin d'insister sur notre approche concernant le rôle intégrateur du produit individualisé, mais il pourrait contenir également acteurs, messages, applications, bases de données, serveurs installés, etc.

#### f. Diagramme de cas d'utilisation (Contextual Who du SAF)

Un cas d'utilisation est une suite d'actions qui amène un résultat observable pour un acteur particulier. Dans notre démarche, le diagramme de cas d'utilisation permet spécifier les acteurs concernés par le processus de TT et aussi les relier aux cas où ils participent. Ce diagramme peut être enrichi avec un organigramme fonctionnel afin de connaître les personnes réelles et leur hiérarchie pour le projet de transfert.

Les données d'entrées sont :

- Les acteurs qui interviendront dans le processus de TT. Un acteur représente un élément de l'organisation de l'entreprise (MOA, MOE, client, direction, etc.).
- Les cas d'utilisation où les acteurs interviennent (étapes du processus TT).

- Le système où ils interviennent (le système à faire le TT : l'entreprise virtuelle)

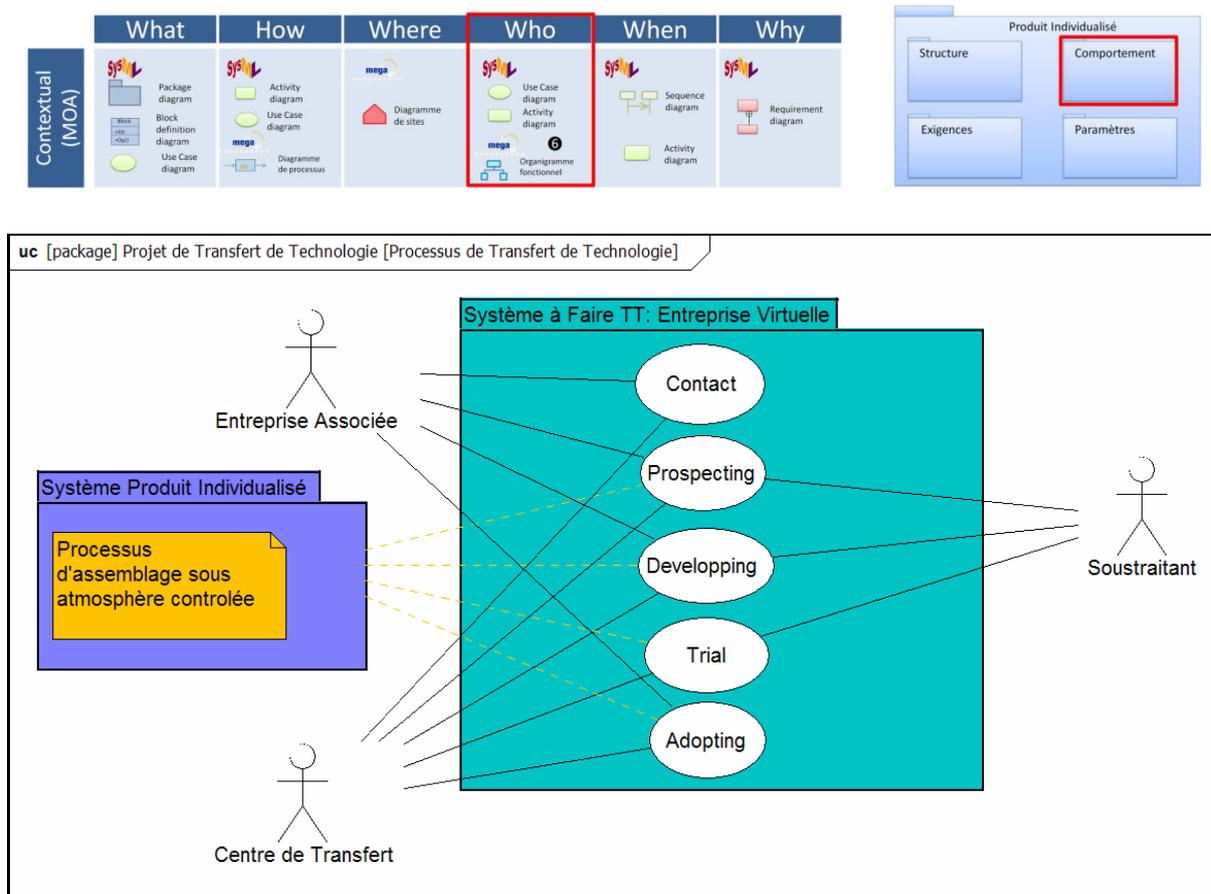


Figure 71. Diagramme de cas d'utilisation pour le Système d'Innovation à Faire.

La figure 71 ci-dessus illustre les acteurs concernés par le processus de TT dans un niveau global. Il montre les frontières du système à faire (l'entreprise virtuelle) et signale les cas qui concernent ces acteurs. Nous avons inclus le système produit individualisé (le processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée) comme un semi-acteur, puisqu'il est actif au long du processus de TT, mais il n'a pas vraiment les compétences d'un acteur proprement dit. Ses interventions dans les cas d'utilisation signalés comprennent surtout l'appui aux acteurs en tant que conteneur d'information (exigences, structure, comportement, paramètres) et à la limite comme conseiller des activités à faire par suggestion selon ses états et ses objectifs. Cette illustration insiste aussi sur la nature du système produit individualisé en tant qu'« indépendant » du système à faire. Autrement dit, il s'agit d'une entité qui contribue à l'intégration des éléments qui vont le réaliser. Une espèce de relation symbiotique : le produit individualisé dépend du SAF pour être construit, le SAF dépend du SPI pour maintenir une cohérence de ses éléments.

## 5.2.2 Résultats expérimentaux sur le Niveau Conceptuel

Ce niveau concerne la deuxième ligne du cadre Zachman et correspond à la phase « Prospecting » du processus de transfert et au troisième état du produit individualisé (voir figure 73).

### 5.2.2.1 Données de base concernant le niveau conceptuel

Au début du niveau conceptuel, l'état du produit est « **exigences initiales** » (figure 65) :

- « Coûts de fabrication »
- « Performance assemblage »
- « Qualité du produit »
- « Assemblage d'autres pièces »

Ce sont ces dernières qui vont guider la MOE dans les tâches de modélisation de ce deuxième niveau du cadre Zachman afin de déterminer les exigences techniques (figure 72).

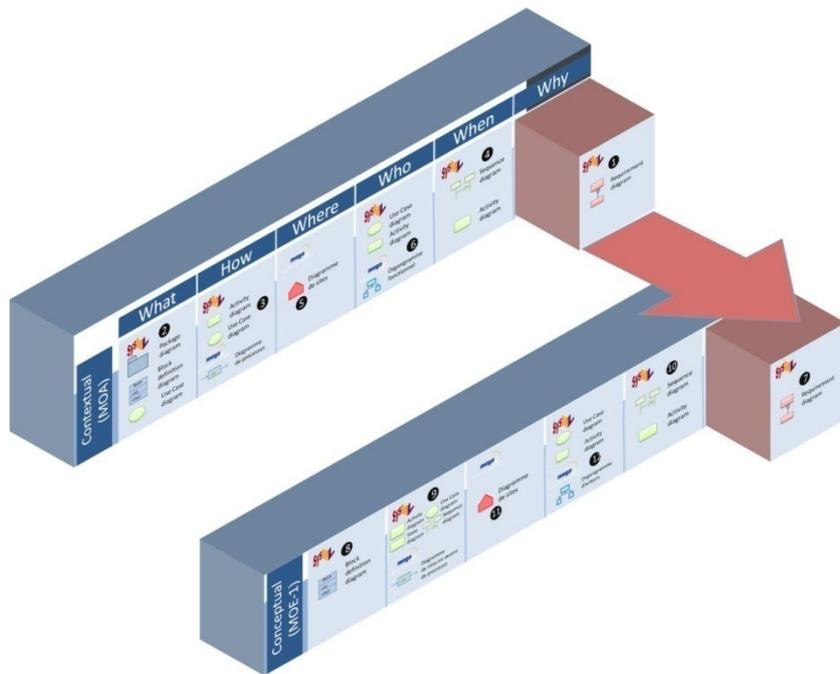


Figure 72. Processus d'ISIBM dans le cadre Zachman.

Agissant comme MOE cette fois, les données fournies par les comptes-rendus et les réunions de travaux avec mes collègues nous ont permis de définir le niveau conceptuel du produit individualisé. A partir de l'analyse des besoins formalisés dans l'étape précédente et les diagrammes dans le modèle du produit individualisé, nous avons modélisé les connaissances

sur les processus, les procédures les modes opératoires, les procédés de la technologie d'assemblage. Basés sur les comptes-rendus de nos collègues, nous les avons enrichis progressivement, permettant ainsi l'évolution du *système-produit individualisé*.

#### *5.2.2.2 Interprétation et résultats sur le niveau conceptuel*

Nous avons réalisé les modèles basés sur les modèles du niveau précédent et dans les données fournis par les comptes-rendus afin de définir les diagrammes concernant les cases de ce deuxième niveau du cadre Zachman :

- 7. Diagramme des exigences particulières pour chacune des exigences modélisées dans l'étape précédente.*
- 8. Diagramme de définition de blocs pour le produit individualisé.*
- 9. Diagramme de mise en œuvre de processus spécifiant les activités de recherche et filtrage pour déterminer la technologie à utiliser. Diagrammes d'activités, plus détaillés, pour spécifier les tâches à réaliser. Pareil pour des diagrammes d'états, et de cas d'utilisation.*
- 10. Diagramme de séquences pour spécifier la temporalité des tâches à réaliser.*
- 11. Diagramme de sites ou de spécification de départements ou de zones où les tâches vont se dérouler.*
- 12. Organigramme opérationnel des acteurs de l'entreprise virtuelle qui participent à cette étape.*

La figure 73 ci-dessous continue la vue globale de la démarche ISIBM présenté originalement dans la figure 63. Cette fois elle se focalise sur le niveau « Conceptual » du cadre Zachman ainsi que la correspondance avec l'état suivant du produit et l'étape concernant le processus de TT.

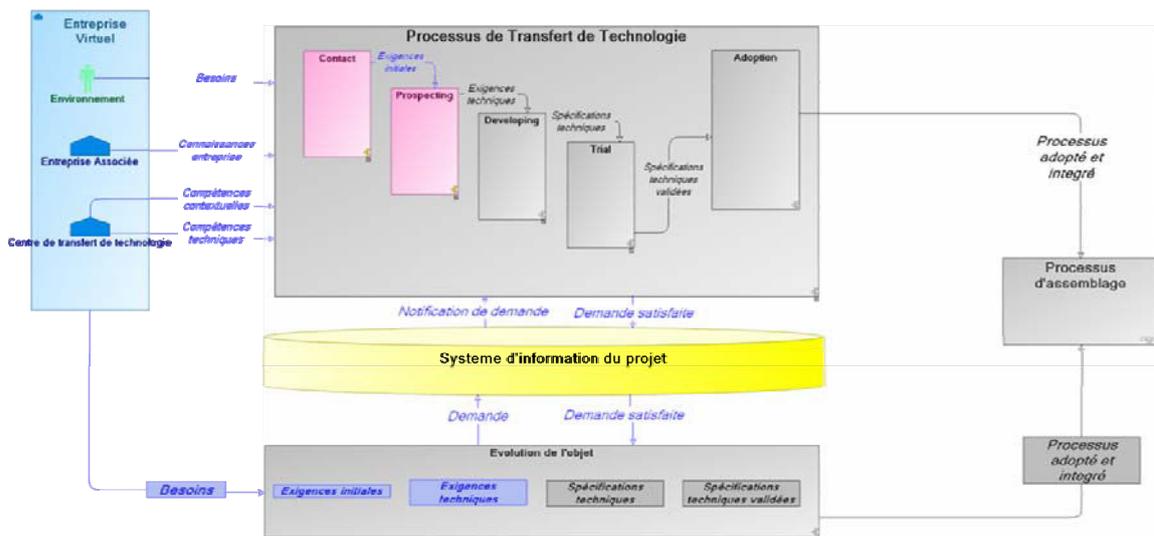


Figure 73. Illustration du niveau conceptuel de la modélisation du Système d'Innovation à Faire (zones colorées).

g. Exigences dérivées du produit (Conceptual Why du SAF).

Pour modéliser le point de vue « Conceptual » du cadre Zachman, nous nous sommes basés sur les exigences du niveau « Contextuel » afin de déterminer les exigences de ce niveau. La relation entre les exigences des deux niveaux est une association « *derive req* » de SysML. De la figure 65 nous reprenons l'exigence « Performance de l'assemblage », appartenant à l'exigence principale et nous la dérivons en considérant les mêmes critères d'individualisation que dans le niveau contextuel. Par exemple, dans la figure 74, l'exigence 006, « Matériau permettant la jointure » est définie comme une exigence MUST/EXECUTION. D'une part, c'est une exigence MUST parce qu'il est essentiel d'avoir un matériau d'apport afin de réussir l'assemblage. D'autre part, c'est une exigence EXECUTION car elle relie cette caractéristique avec le niveau opératif des pièces du processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée.

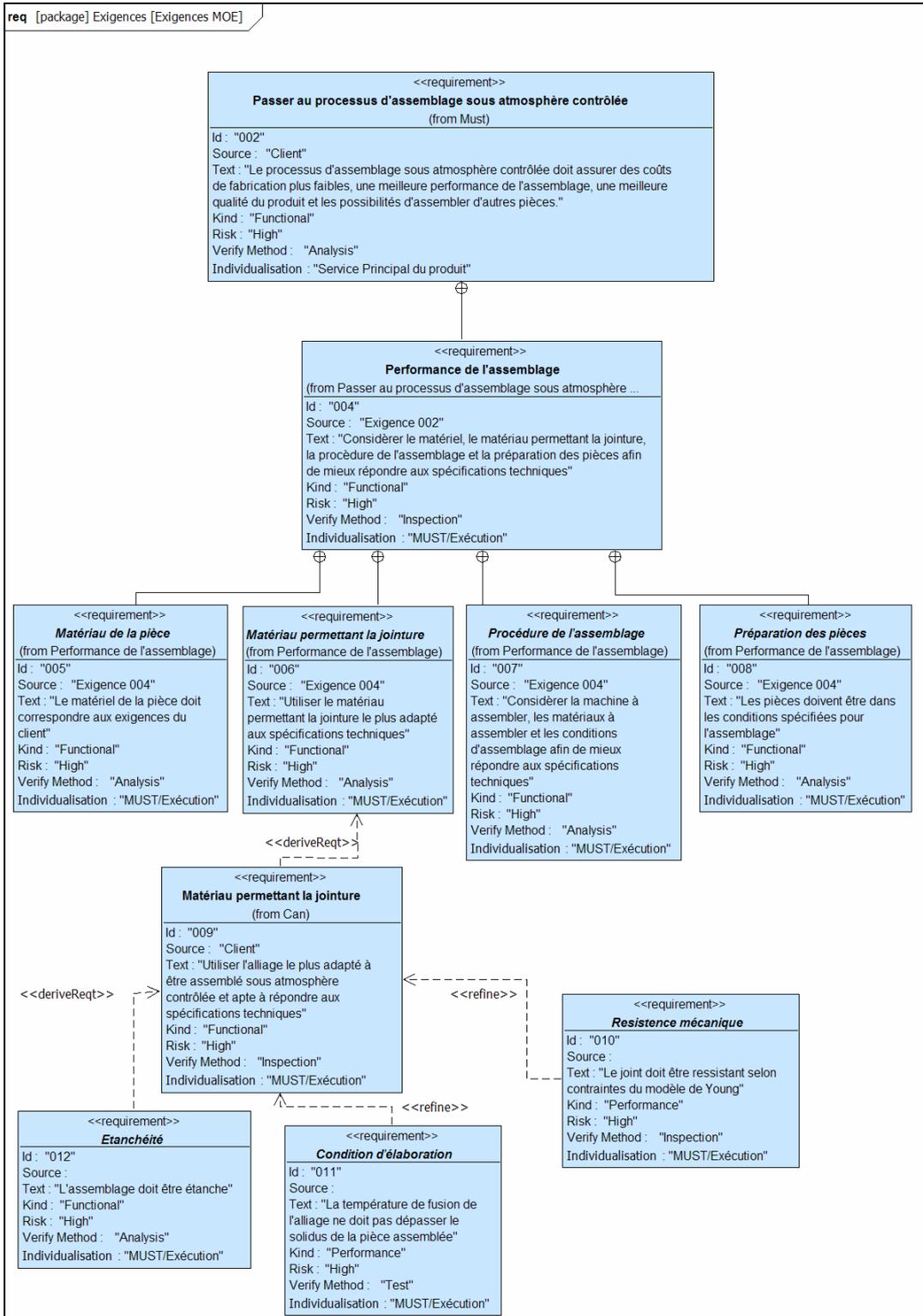


Figure 74. Diagramme d'exigences niveau MOE – Conceptual.

h. Résultats relatifs à la Structure du produit : Diagramme de blocs (Conceptual What du SAF)

Les blocs peuvent être utilisés pour représenter des entités physiques, logiques ou conceptuelles. Dans l'exemple présenté dans la figure 75, nous utilisons ce type de diagramme pour représenter la partie physique du *système-produit individualisé* qui a été utilisé pour déterminer spécifications du processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée, c'est-à-dire, la pièce sur laquelle les expériences d'assemblage ont été menées. Cette pièce instancie les activités de transfert. Il s'agit d'un guide d'onde composé par un couvercle et un boîtier qui doivent être assemblés. Ils instancient les parties physiques essentielles du produit individualisé c'est-à-dire les composants du produit à assembler.

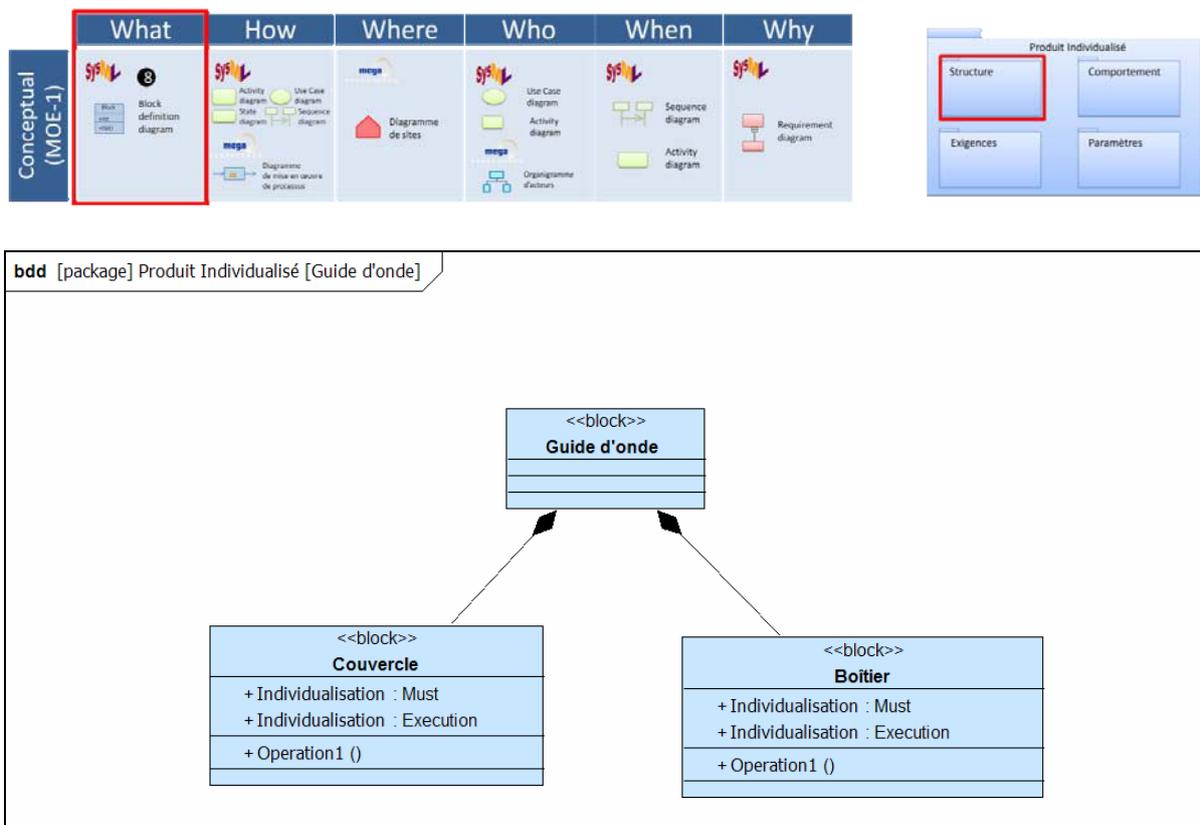


Figure 75. Diagramme de définition de blocs pour la pièce objet du transfert de technologie.

i. Résultats relatifs au Comportement du produit : diagramme d'activités (Contextual How du SAF)

Les diagrammes d'activités, de séquences, d'états et de cas d'utilisation de ce niveau sont eux aussi dérivées des diagrammes du niveau « Contextuel ». Ils sont élaborés par les membres de l'entreprise virtuelle à la demande du produit individualisé, pour détailler les diagrammes du niveau précédent.

Pour chaque activité modélisée dans le diagramme d'activités du niveau contextuel, un autre diagramme d'activité peut être élaboré pour les détailler au fur et à mesure que les niveaux se déploient. Les données d'entrée sont les activités réalisées pendant la phase « Prospecting » selon les comptes-rendus des observations menées par nos collègues.

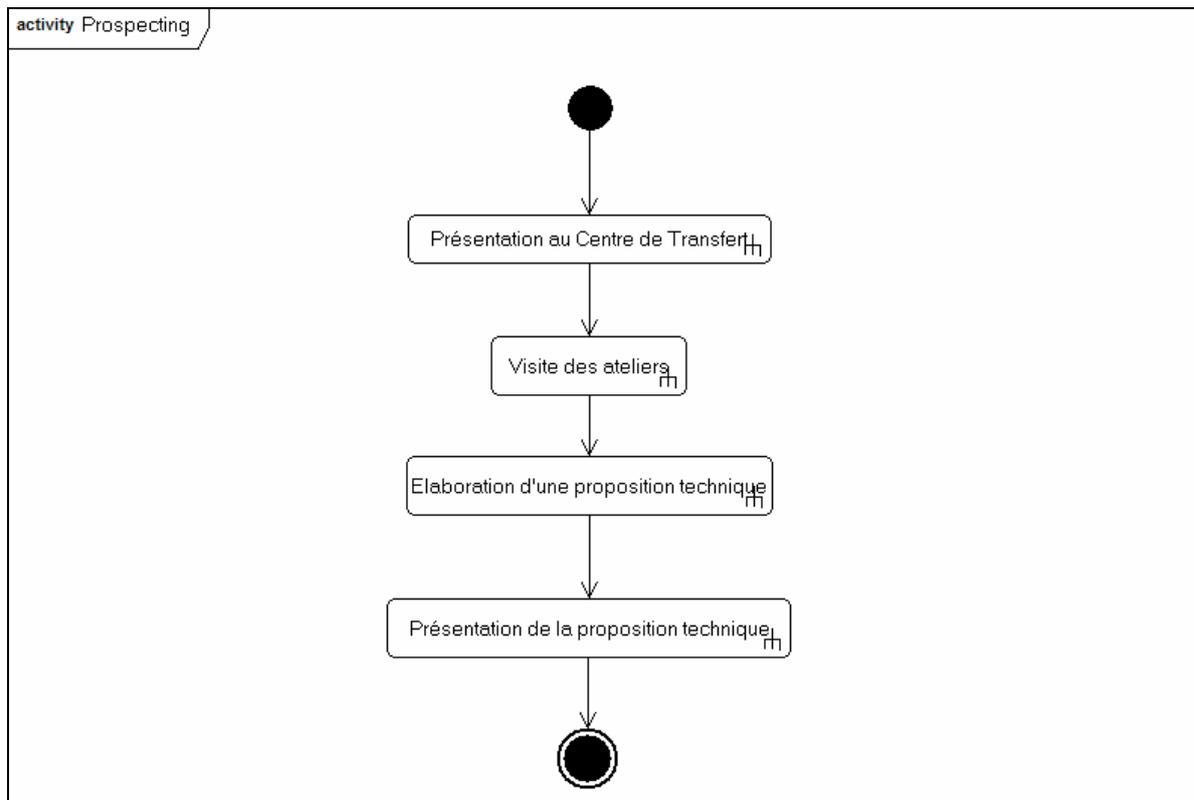


Figure 76. Diagramme d'activités « Prospecting » au niveau conceptuel.

La figure 76 ci-dessus illustre les activités de manière séquentielle de la phase « Prospecting ». Ainsi, chaque phase du processus de TT peut être détaillée, ainsi que les activités qui les constituent de façon granulaire.

j. Comportement du produit : diagramme d'états (Conceptual how du SAF)

Au niveau conceptuel, il est possible de visualiser d'un point de vue global les états que le produit aura pendant le processus de transfert. Ces états ont été définis progressivement au fur et à mesure que le projet avançait selon la définition du *système d'innovation à faire*.

Les données d'entrée pour réaliser ce diagramme sont :

- Les livrables après chaque phase du processus de TT.
- Les phases du processus de TT.
- Les activités de V&V selon le processus en V

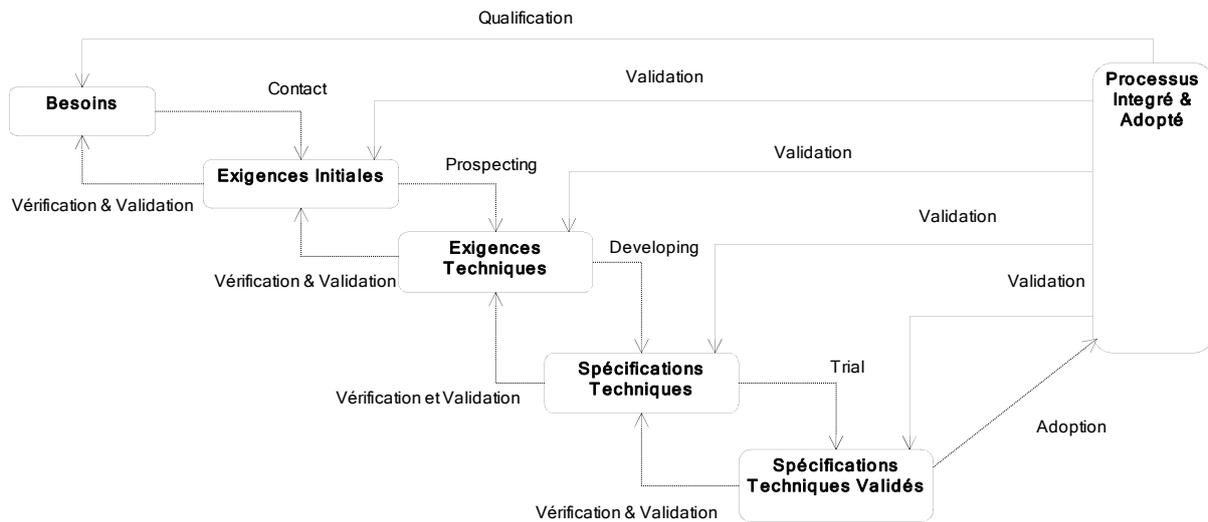


Figure 77. Diagramme d'états du niveau conceptuel (inspiré de Casorzo 2010).

La figure 77 ci-dessus montre les différents états de l'évolution de l'Objet Final (le produit individualisé) basé dans les étapes du modèle du processus de TT comme décrit dans (Casorzo 2010). Dans ce cas d'étude, nous avons décrit partiellement ce qui correspond aux premiers deux états (besoins et exigences initiales). L'ensemble d'états comprend :

- *Besoin* : C'est l'état initial de l'Objet Final (OF). Cet état représente l'OF quand il se trouve dans un état de signaux de besoins de l'environnement. Dans notre cas d'étude, cet état comprend la découverte par l'entreprise associée qu'elle doit changer son processus d'assemblage (le besoin) ainsi que ce qu'elle nécessite pour satisfaire ce besoin récemment réalisé (le coût de fabrication, la performance de l'assemblage, la qualité du produit...).
- *Exigences initiales* : C'est l'état de l'OF après le premier sous-processus du processus de TT, où les signaux des besoins sont analysés afin de formaliser un ensemble d'exigences initiales pour l'OF. C'est la définition des exigences « Coûts de fabrication », « Performance de l'assemblage », « Qualité du produit », « Assemblage d'autres pièces » (figure 65).

- *Exigences techniques* : C'est le troisième état de l'OF. Dans cet état, l'OF contient aussi les exigences techniques sur le support technologique pour le créer à travers de son processus de TT. Dans notre cas d'étude, cela est décrit partiellement dans la figure 74, où nous avons détaillé l'exigence « Performance de l'assemblage » et nous l'avons dérivée en certaines exigences techniques. La même démarche serait pour les exigences « Coûts de fabrication », « Qualité du produit » et « Assemblage d'autres pièces ».
- *Spécifications techniques* : Dans cet état, toutes les spécifications de la technologie sélectionnée pour supporter sa création doivent avoir été ajoutées au modèle de l'OF (état pas atteint dans ce cas d'étude).
- *Spécifications techniques validées* : Après le sous-processus de tests, l'OF valide toutes les spécifications techniques de l'état précédent (état pas atteint dans ce cas d'étude).
- *Processus intégré et adopté* : Finalement, l'OF devient un processus intégré et adopté au sein de l'entreprise associé (état pas atteint dans ce cas d'étude).

k. Comportement du produit : diagramme de cas d'utilisation (Conceptual Who du SAF)

Pour ce niveau d'observation, la case étiquetée *Who* peut comprendre des diagrammes de cas d'utilisation, mais aussi des diagrammes d'activités ou un organigramme d'acteurs (figure 78). Pour illustrer notre démarche nous avons modélisé le cas d'utilisation « Developing » de la figure 71. Les données d'entrée sont les acteurs qui interviennent dans cette étape, des cas d'utilisation concernant cette phase et les frontières où ils interviennent (donné par le cas d'utilisation « Developing »).



Figure 78. Diagramme de cas d'utilisation « Developing » au niveau conceptuel (continue).

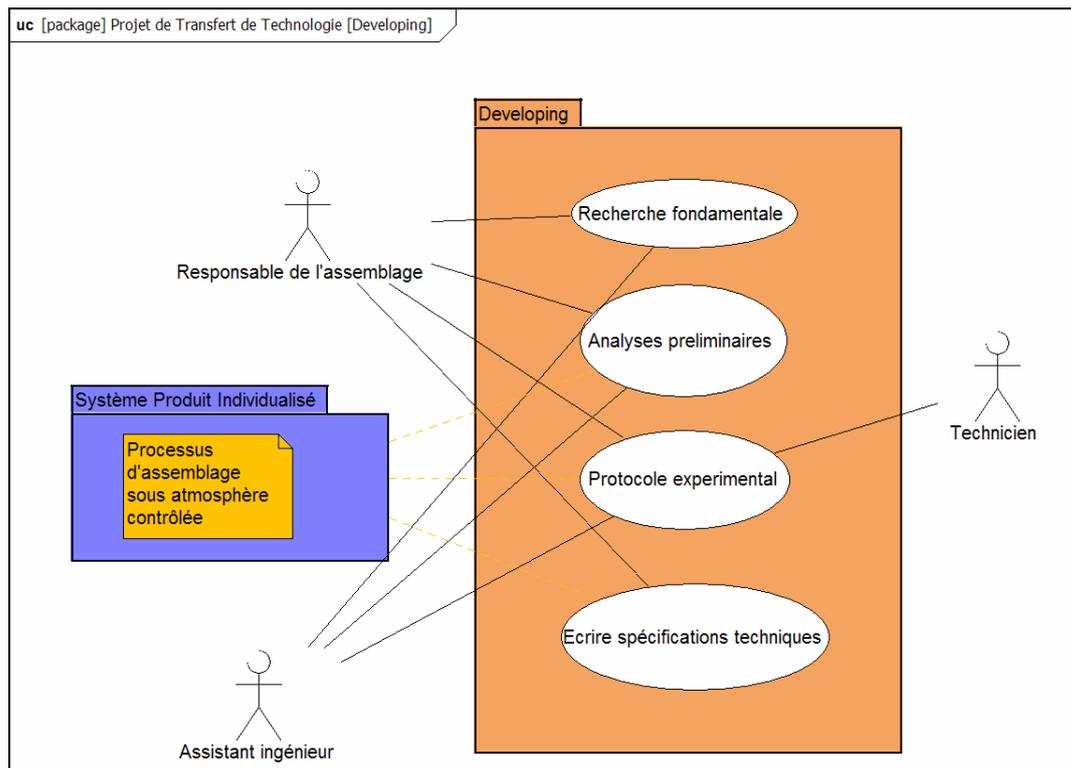


Figure 78 (continuation). Diagramme de cas d'utilisation « Developing » au niveau conceptuel.

Notons que dans ce diagramme le produit individualisé participe aux cas d'utilisation pertinents qui concernent son propre développement. Il favorise le développement des cas où il participe.

#### 1. Diagramme de sites (Conceptual where du SAF)

Le diagramme de sites est considéré comme restant inchangé à ce niveau de détail, donc, nous ne le présentons pas à nouveau.

#### m. Comportement du produit : diagramme de séquences (Conceptual when du SAF)

Au niveau conceptuel, le diagramme de séquences modélise la chronologie des tâches des acteurs définis dans les cas d'utilisation du niveau contextuel (figure 79). Dans cet exemple, nous détaillons les interactions de l'acteur « Entreprise Associée » dans le cas de la modélisation des besoins.

Les données d'entrée sont :

- Les activités concernant la modélisation des besoins lors des observations.
- Les acteurs qui ont participé à ces activités

- La durée des activités.
- La séquence des activités.

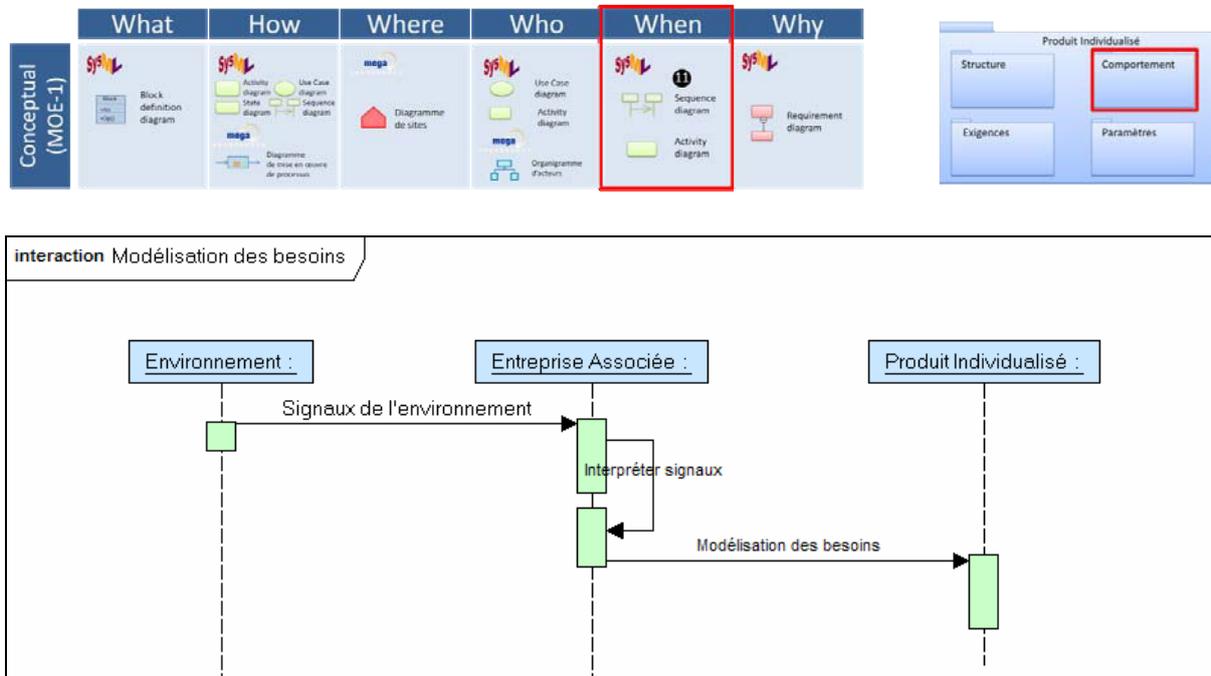


Figure 79. Diagramme d'interactions du niveau conceptuel concernant la modélisation des besoins.

Les séquences des activités montrés dans ce diagramme illustrent le niveau de détail qu'il est possible d'atteindre selon le niveau d'observation où l'on se trouve.

L'illustration de notre démarche de modélisation ne va pas plus loin dû aux contraintes de temps et à la portée de notre étude en outre de la confidentialité des travaux de transfert de technologie dans ce projet. Cependant, nous avons montré la faisabilité d'une ISIBM considérant la récursivité du cadre Zachman et du modèle du système produit individualisé, à l'instar de (Auzelle, 2009).

### 5.3 Paramètres du produit

Le diagramme de paramètres du produit n'est pas encore applicable à ce niveau d'abstraction du système-produit individualisé. En effet, le diagramme de paramètres concerne le niveau opérationnel du cadre Zachman et peut également être considéré tout au long des colonnes, le perspectives *what*, *how*, *where*, *who*, *when* et *why*. Dans cette application, nous ne touchons pas ce niveau, car les paramètres modélisent en fait les résultats de la technologie à transférer.

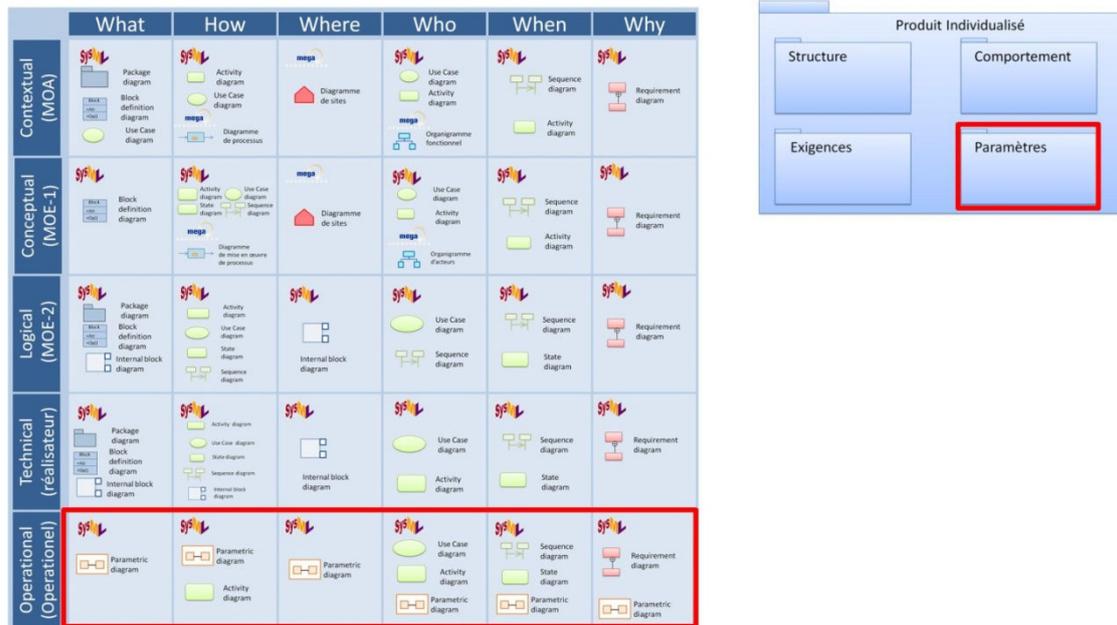


Figure 80. Paramètres de produit au niveau opérationnel du cadre Zachman.

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué le modèle du *système-produit individualisé* décrit dans le chapitre 1 et *l'ingénierie d'un système d'innovation basée sur les modèles* (ISIBM) décrite dans le chapitre 2 pour modéliser un projet de Transfert de Technologie. Cette démarche a été cadrée par la matrice de Zachman. Nous constatons qu'il existe un processus d'évolution du produit, partant de l'identification d'un besoin à la réalisation d'une solution performante, qui peut être guidée par les cases de chaque niveau (contextuel, conceptuel...) (figure 81). Au niveau contextuel, par exemple, les besoins sont formalisés sous forme d'exigences initiales (case Why). Cela est complété par les diagrammes des cases *What*, *How*, *Where*, *Who* et *When*, qui décrivent les différents points de vue du système-produit. Ces diagrammes sont détenus dans le modèle du système-produit individualisé. Au niveau conceptuel, les exigences initiales sont raffinées sous forme d'exigences techniques. Egalement, dans ce niveau les diagrammes correspondant aux différents points de vue (les colonnes) sont raffinés progressivement par les modélisateurs. Nous constatons ainsi le processus d'évolution du SPI. En effet, nous avons trouvé que les modèles répondent aux besoins de modélisation, mais surtout d'intégration de l'information, de sa traçabilité depuis la formulation du besoin jusqu'aux spécifications techniques du produit. Cet aspect permet de faire un rapport avec la notion des objets intermédiaires de conception (OIC) en innovation puisque ils contribuent à la définition de l'objet innovant. Nous avons aussi constaté que grâce à la matrice de

Zachman il est possible d'objectiver les interactions entre les acteurs du processus de TT pour chaque niveau d'abstraction pendant l'exécution du projet.

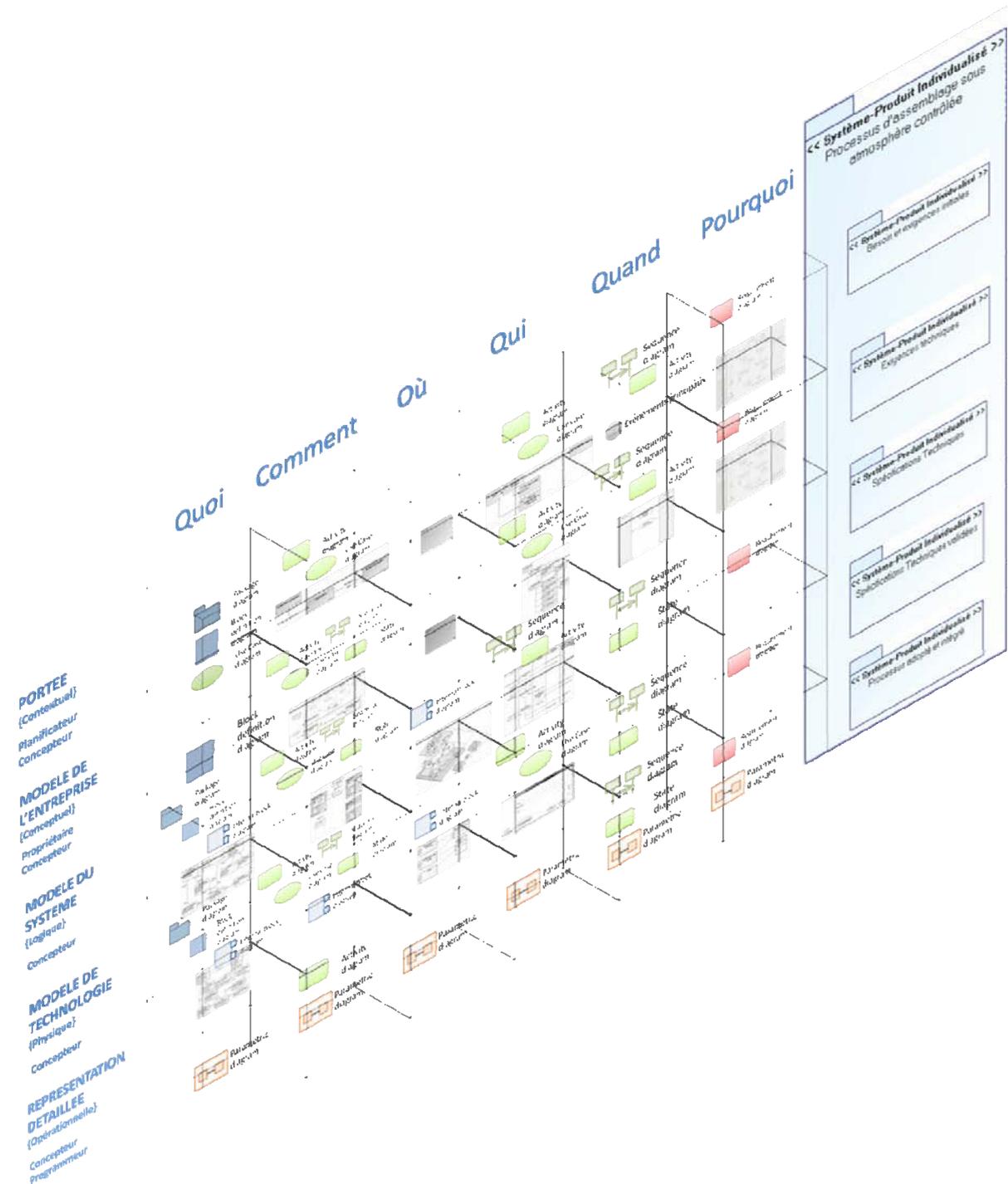


Figure 81. Evolution du SPI guidée par le cadre Zachman.

La figure 81 ci-dessous illustre une des tâches du processus individualisé de transfert de technologie selon notre approche. A l'instar des 3 logiques autour de la tâche (cf. figure 42 dans le chapitre 2), l'ISIBM considère les modèles du système-produit individualisé (SPI)

pour intégrer les tâches du processus d'innovation (le processus de transfert de technologie dans ce cas). Cela fait émerger le système à faire (les éléments qui exécuteront le processus de transfert de technologie) tout en maintenant la cohérence des modèles du SPI et en s'appuyant sur les éléments du système pour faire guidés par le cadre Zachman.

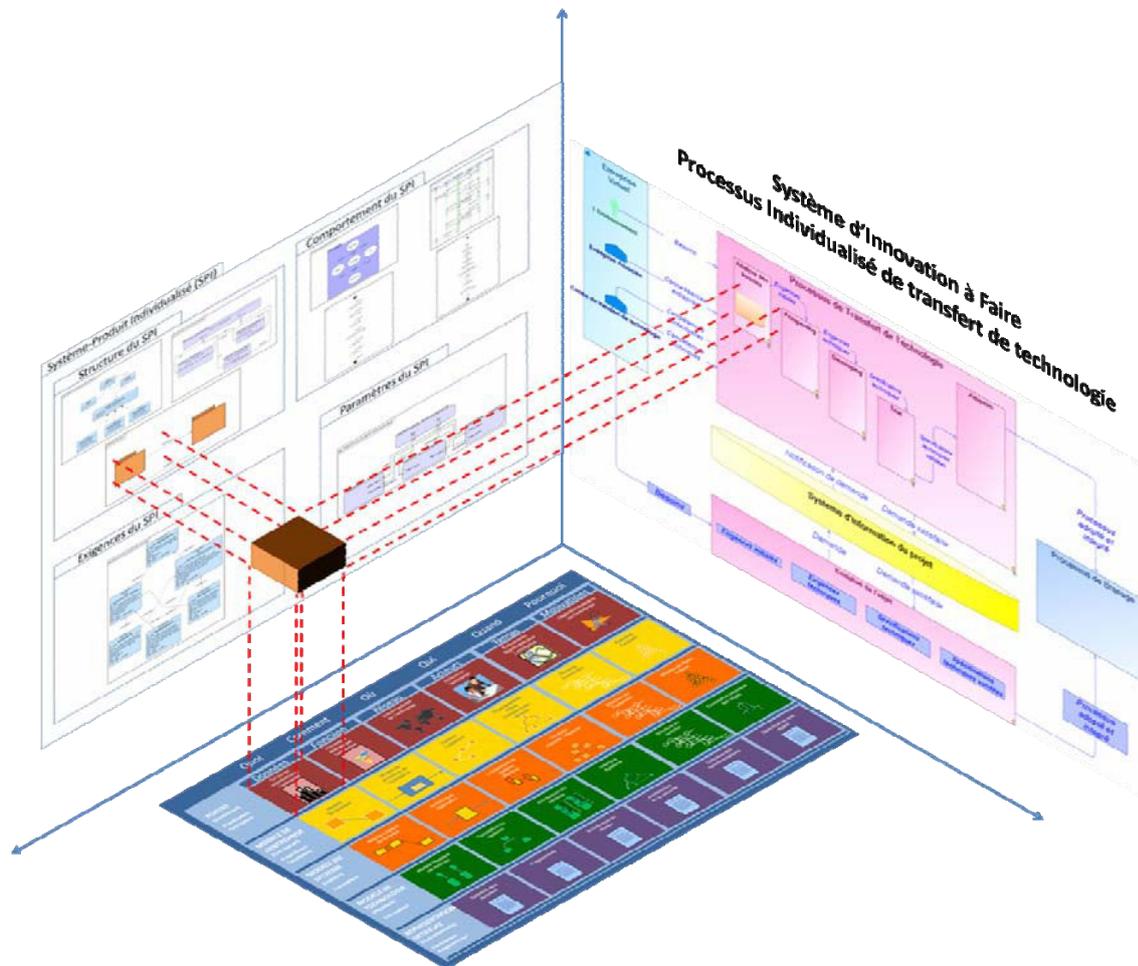


Figure 82. Extrait de l'ISIBM appliqué pour le projet de transfert de technologie.

Grâce à ces modèles, nous avons été capables de remarquer que le procédé d'assemblage sous atmosphère contrôlée se construit au fur et à mesure. Cela met en évidence la présence d'un cycle de vie qui prend en compte :

- les états du produit (besoin, exigences initiales, exigences techniques, spécifications techniques, spécifications techniques validées, processus adopté et intégré),
- les activités séquentielles (identification des besoins, définition des objectifs, formalisation des exigences, modélisation des cas d'utilisation, expérimentation...)
- l'intervention des acteurs,

- les interactions entre les acteurs à chaque phase (séquences) et la
- spécificité des rôles des acteurs impliqués.

La MOA doit s'occuper de la modélisation des diagrammes au niveau « Contextuel » du cadre Zachman et assister le développement des modèles par la MOE de rang 1 dans le niveau « Conceptuel ».

Suivant cette démarche, nous pourrions conclure que le modèle du produit individualisé peut supporter, grâce aux quatre piliers, la modélisation de tout le cycle de vie du processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée. Cela depuis le début du processus de TT avec la formulation du besoin, jusqu'au début du processus d'intégration du produit. La matrice Zachman très utile dans la démarche ISIBM, puisqu'elle permet de cadrer les activités de modélisation maintenant une congruence entre les niveaux d'observation (lignes), les différentes perspectives (colonnes), les modélisateurs concernés (MOA, MOE...) et les états du produit (besoins, exigences...).

Cependant, nous assumons que le niveau descriptif menée dans cette expérimentation reste très général. Par exemple, nous n'avons pas détaillé les phases de résolution de problèmes du processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée, ni la spécification de paramètres pour sa mise en œuvre (e.g. température de l'assemblage). De plus, les échanges entre acteurs menant à ce détail n'ont pas été décrits. Cela supporte cependant la complémentarité de notre démarche avec les travaux de (C. M. Kooli-Chaabane H. 2009) (C. M. Kooli-Chaabane H. 2010).

Une contrainte qui a limité notre expérimentation a été le temps pour appliquer la méthodologie. D'une part nous avons dû attendre l'élaboration complète de notre approche pour démarrer l'expérimentation, enfin nous avons dû fonctionner au rythme de la disponibilité des données descriptives du projet et donc nous avons « subi » les délais de développement de la nouvelle technologie. Toutefois c'était le risque inhérent à cette phase terrain. Ceci a limité aussi le nombre de projets à modéliser. De plus, il serait approprié de réaliser une étude avec un système d'information intégré qui permette de travailler en temps réel avec les modèles. Nous postulons que travailler ainsi donnera lieu à une accélération du processus, une réduction d'ambiguïtés et de la redondance de l'information.

## **Conclusion générale et perspectives**

**Ce chapitre a pour objectif de conclure les travaux présentés dans ce mémoire et décrire les perspectives pour réaliser des travaux futurs de recherche.**

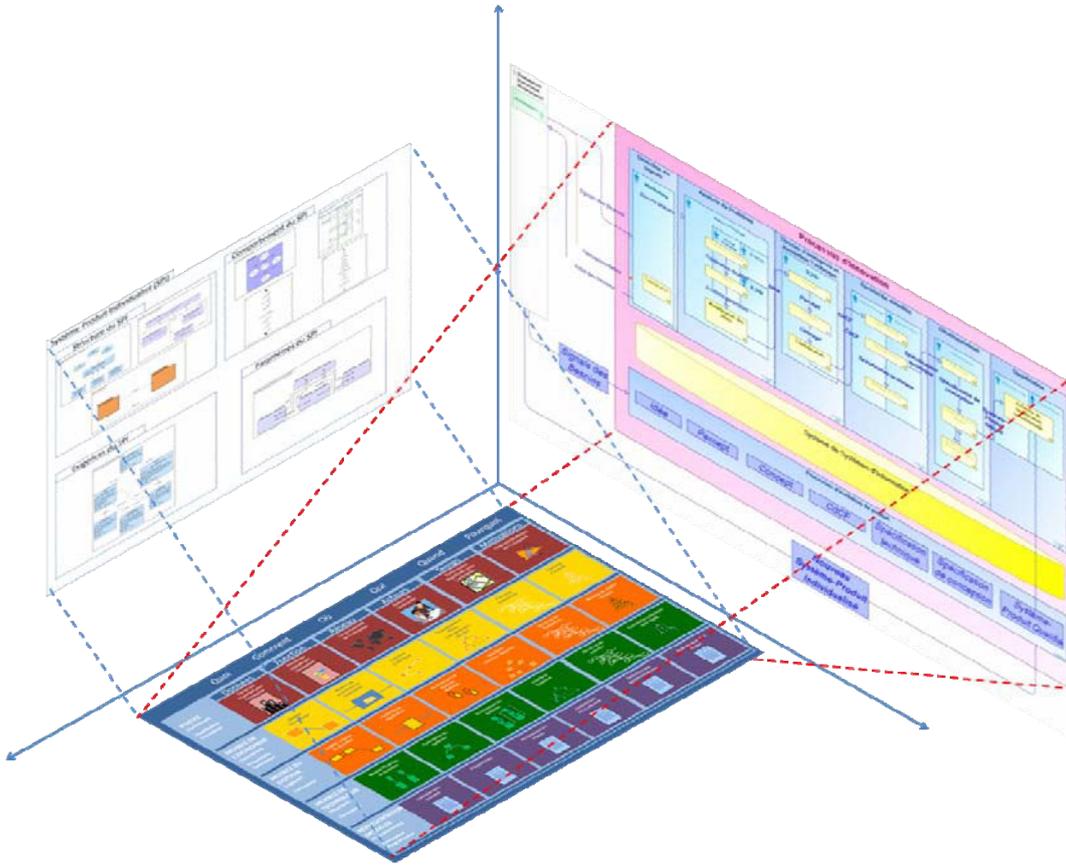
---

---

### Conclusion générale

Les travaux de cette thèse se veulent être une contribution à l'Ingénierie de l'Innovation au travers d'une ingénierie basée sur les modèles. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés des travaux des Systèmes Contrôlés par le Produit afin de proposer une démarche où le produit est l'intégrateur des activités d'innovation. Dû à la complexité inhérente du processus d'innovation, nous avons choisi comme cadre théorique l'ingénierie système. L'ensemble de ces travaux a donc abordé :

- La caractérisation et formalisation d'un produit individualisé afin de le voir comme un tout organisé et cohérent capable de porter les informations qui peuvent contribuer à sa réalisation. Pour rendre opérationnelle cette caractérisation, nous avons utilisé l'approche des 4 « pillars » de SysML afin de mettre en œuvre une démarche basée sur les modèles pour son processus d'innovation.
- La proposition d'une démarche cadrée par l'ingénierie système pour définir une ingénierie système de l'innovation basée sur les modèles. Le processus de construction de cette démarche a compris :
  - La prise en compte du modèle en V comme processus de réalisation du système-produit individualisé.
  - L'utilisation du modèle du système-produit individualisé pour rendre opérationnelle cette démarche.
  - L'utilisation du cadre de modélisation Zachman pour guider notre raisonnement de modélisation puisque il fournit un cadre structuré avec différents points de vue et niveaux d'abstraction.
  - L'enrichissement des cellules du cadre Zachman avec les diagrammes SysML du modèle du système produit individualisé afin d'intégrer les vues et éléments du produit avec son système à faire.



**Figure 83. Illustration de la démarche ISIBM.**

Essentiellement, le principe primordial de la démarche ISIBM est que le produit individualisé contribue à la définition des tâches du « système pour faire » selon les besoins du client et des parties prenantes. A partir de ce moment il établit les exigences pour le « système à faire » (le produit technologique innovant) et le fait émerger pour qu'il le réalise.

Nous avons appliqué cette démarche dans un cas réel d'une entreprise afin de la valider. Grâce à cette application, nous avons remarqué que la méthodologie proposée reste appropriée pour bien d'autres projets, puisqu'elle débute avec la formalisation d'un besoin, qui peut être bien sûr le début d'un processus d'innovation, et reste actif tout au long du cycle de vie du produit, jusqu'à la réalisation du prototype et bien au-delà. Par exemple, dans des projets où existe le besoin de travailler sur une pièce particulière qui doit être échangée parmi différents acteurs, cela pourrait être un champ d'application de cette approche.

Nous avons proposé par nos modèles d'intégrer de manière logique des éléments théoriques que l'on trouve dans la littérature en ingénierie de l'innovation mais qui n'avaient pas de liens entre eux. Par exemple, nous avons objectivé le fait que l'innovation est un processus

d'évolution des objets (OIC), que les processus de transfert sont des échanges entre un récepteur de technologies et un émetteur mais aussi un processus de construction conjoint.

Nous avons montré aussi ce que l'on affirme depuis longtemps sur l'innovation : on doit construire un processus d'innovation adapté au cas de chaque projet, de chaque technologie que l'on essaie de concevoir. Avec notre approche, nous proposons de lier le système-produit individualisé au « système pour faire » (projet) et donc cela représente cette adaptation du processus d'innovation au produit à concevoir. De cette façon, nous rendons « lisible » ces propositions des auteurs qui étudient l'innovation.

Une remarque intéressante concerne les interactions du produit individualisé avec les éléments composants de son système pour faire. Si nous regardons le concept et les caractéristiques d'un *système de systèmes*, l'entreprise virtuelle pourrait être elle-même vue comme un système de systèmes comme mentionnée dans (Casorzo C. 2010). Ce système de systèmes émerge juste pour accomplir la réalisation du produit, puis, théoriquement, il disparaît. L'entreprise associée, le centre de transfert de technologie, le pouvoir public, l'entreprise sous-traitante, etc. continuent à travailler sur ses respectives finalités... y compris le produit individualisé.

Nous sommes conscients que cette notion est encore en train d'émerger dans la communauté de l'Ingénierie Système. Cette notion de système de systèmes pourrait être utile pour la gestion des projets d'innovation.

Nous avons constaté aussi les limites de nos travaux. Nous n'avons pas étudié l'émergence des connaissances, puisque l'innovation veut dire nouveauté, donc domaines que l'on ne maîtrise pas au départ, donc création de connaissances. Une autre limite de notre travail est que l'expérimentation est restée sur un niveau descriptif général. Nous n'avons pas modélisé « le quotidien » du processus de transfert : cela reste à faire. Une autre limite est que due à la nature exploratrice de notre travail, nous nous sommes basés seulement sur un champ disciplinaire : l'ingénierie système. Mais il y a des travaux par ailleurs dans d'autres domaines, par exemple en génie mécanique. Donc une perspective est d'intégrer les apports d'autres disciplines.

### Perspectives

Dans le court/moyen terme, la réalisation d'un environnement de modélisation intégré (e.g. MEGA) qui prenne en compte cette démarche est une perspective intéressante pour les besoins de modélisation en entreprises qui proposent des produits individualisés...

Une première perspective future à ce travail serait d'ordre technologique. Il s'agirait de concevoir les techniques nécessaires à la mise en œuvre de ces propositions au niveau de la modélisation. Supposant que l'on puisse mettre une puce RFID sur la pièce, elle pourrait être porteuse de ses propres informations et contribuer à guider sa propre évolution au cours du projet. Par exemple, la puce RFID porterait le modèle du système-produit individualisé. En arrivant à un acteur donné, elle demanderait les tâches nécessaires à être réalisées et les informations à être sauvegardées sur elle-même sous forme des diagrammes SysML. Ainsi, à son départ pour l'étape suivante, elle serait porteuse des informations ajoutée récemment, elle serait capable d'indiquer les tâches suivantes à réaliser et elle serait porteuse de toutes les activités réalisés depuis el début de son cycle de vie.

Au long terme, l'implémentation d'un système d'information pour développer cette approche en temps réel est une perspective intéressante de recherche qui permettrait de corroborer ce que nous avons montré dans ce mémoire en faisant l'analyse des données d'un cas réel d'innovation. Nous avons testé la cohérence entre les interactions des différents acteurs d'un processus d'innovation avec la modélisation du produit individualisé. Une application en temps réel permettrait de savoir

- si cette approche intègre réellement le processus d'innovation et l'information du produit,
- si la traçabilité de l'information du produit est possible de façon fiable depuis la toute première idée pour résoudre un besoin jusqu'à la définition des spécifications techniques du produit
- si la validation du produit est possible qu'à partir des modèles
- si elle accélère le processus d'innovation
- si les erreurs pendant la conception du produit sont réduites
- si les besoins de retravailler les designs sont réduits

- si la redondance des informations est réduite

Des résultats positifs de ces aspects donneraient des avantages intéressants pour les concepteurs industriels au niveau de conception des produits et de ses systèmes à faire. Cela se traduirait par

- une capitalisation des processus de développement des nouveaux produits
- une meilleure coordination entre les différents acteurs du processus d'innovation
- conception des produits plus rapide et efficiente.

De plus, l'approche proposée est adaptable aux évolutions des besoins de l'entreprise et au progrès technologique (e.g. intelligence ambiante).

## Bibliographie

- AFIS. «Découvrir et comprendre l'Ingénierie Système.» *Association Française d'Ingénierie Système, groupe de travail en IS*. 2006.
- Aït El Hadj, S., et V. Boly. *Les Systèmes Techniques*. Paris: Hermes, 2009.
- Andersson H., Herzog E., Johansson G., Johansson O. «Experience from Introducing UML/SysML at Saab Aerosystems.» *Systems Engineering*, 2009: 1-12.
- ANSI/EIA-632. «Processes for Engineering a System.» Arlington, Virginia: Electronics Industries Alliance, 1999.
- Auzelle, J.P. «Proposition d'un cadre de modélisation multi-échelles d'un Système d'Information en entreprise centré sur le produit.» *Thèse de doctorat à l'Université Henri Poincaré*. Nancy, 11 mars 2009.
- Baïna, S, H Panetto, et G Morel. «New paradigms for a product oriented modelling: Case study for traceability.» Édité par Elsevier. *Computers in Industry* 60 (2009): 172–183.
- Baïna, S. «Interopérabilité dirigée par les modèles: Une approche Orientée Produit pour l'interopérabilité des systèmes d'entreprise.» *Thèse Université Henri Poincaré*. Nancy, 2006.
- Baïna, S., Panetto, H. and Benali, K. «Product oriented modelling and interoperability issues.» Dans *Enterprise Information Systems*, édité par Y., Filipe, J., Constantopoulos, P. and Cordeiro, J. Manolopoulos, 293-308. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
- Bajic, E., et F. Chaxel. «Towards a holon-product oriented management.» *Proceedings of the 4th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS '97)*. Seoul, 1997.
- Bernus, P. «Enterprise models for enterprise architecture and ISO9000:2000.» *Annual Reviews in Control* (Elsevier) 27 (2003): 211–220.
- Beuche, D., Papajewski, H., Schröder-Preikschat, W. «Variability management with feature models.» *Science of Computer Programming* 53, n° 3 (2004): 333-352.
- Blecker, T., Abdelkafi, N., Kaluza, B., Friedrich, G., Kreutler, G. *Information and Management Systems for Product Customization*. Boston, Massachusetts: Springer Science, 2005.
- Blecker, Thorsten, Abdelkafi, Nizar, Kaluza, Bernd and Friedrich. *MPRA - Munich Personal RePEc Archive*. 2003. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/5251/> (accès le 11 13, 2009).
- Boly, V. *Ingénierie de l'Innovation*. Hermes Science Publications, 2004.
- . *Ingénierie de l'Innovation*. Paris: Hermes Science Publications, 2008.

Bonjour, E., M. Dulmet, S. Deniaud, et J.P. Micaelli. «Propagating product architecture decisions onto the project organisation: a comparison between two methods.» *International Journal of Design Engineering* 2, n° 4 (2009): 451-471.

Boussières, J.B. *Expression du besoin et cahier des charges fonctionnel: Elaboration et rédaction*. 2ème. AFNOR, 2008.

Cash Jr., J.I., Earl, M.J., Morison, R. «Teaming up to crack innovation enterprise integration.» *Harvard Business Review* 86, n° 11 (2008): 90-100.

Casorzo C., Mayer F., Kooli-Chaabane H., Camargo M., Alfaro M. «Proposition of a technology transfert project modelling approach: application to the metallic brazing industry.» *To appear in International Journal of Innovation and Technology Management*, 2010.

CEN. «NF EN 12 973 : Management par la Valeur.» 2000.

Chapurlat, V. «Vérification et validation de modèles de systèmes complexe: application à la modélisation d'entreprise.» *Habilitation à Diriger les Recherches de l'Université de Montpellier*. Montpellier, 1 mars 2007.

Chauvet, V. «Construction d'une échelle de mesure de la capacité d'absorption.» *XIIème Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique*. Les Côtes de Carthage 3-6 juin 2003, 2003.

Chen D., Doumeingts G., Vernadat F. «Architectures for enterprise integration and interoperability: past, present and future.» *Computers in Industry* 59, n° 7 (2008): 647-659.

Chen, D., Doumeingts, G., Vernadat, F. «Architectures for enterprise integration and interoperability: past, present and future.» *Computers in Industry* 59, n° 7 (2008): 647-659.

Chesbrough H., Vanhaverbeke W., West J. *Open Innovation: Researching a New Paradigm*. London: Oxford University Press, 2009.

CIMdata. *Product Lifecycle Management, empowering the future of business*. 2002. [www.cimdata.com](http://www.cimdata.com).

Cooper, R.G. *Winning at New Products. Accelerating the Process from Idea to Launch*. Third. Basic Books, 2001.

Da Silveira, G., Borenstein, D., Fogliatto, F. «Mass customization: literature review and research directions.» *International Journal of Production Economics* 72 (2001): 1-13.

Davila, Tony, Epstein M.J., et Shelton Robert. *Making Innovation Work: How to Manage It, Measure It, and Profit from It*. New Jersey: Pearson Education, 2005.

de la Brestsche, B. *La méthode APTE, analyse de la valeur, analyse fonctionnelle*. Petrelle, 2000.

De Rosnay, A. *Le microscope*. Vol. Collection Points. Ed. Le Seuil, 1975.

- Doerner, D. *Die Logik des Misslingens*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 1989.
- Duray, R., Ward, P., Milligan, G., Berry, W. «Approaches to mass customization: configurations and empirical validation.» *Journal of Operations Management* 18, n° 6 (2000): 605-625.
- Eisenmann H., Miro J., de Konning H.P. «MBSE for European Space-Systems Development.» *INSIGHT* 12, n° 4 (2009): 47-53.
- Estefan, J. A. *Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies*. INCOSE MBSE Initiative, www.incose.org, 2008.
- Estefan, J.A. «Survey of Model Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies.» *INCOSE MBSE Initiative*. 23 May 2008.
- Ferber, J. *Les Systèmes multi-agents: Vers une intelligence collective*. Paris: InterEditions, 1995.
- Frachet J.P. «Une introduction au Génie Automatique : faisabilité d'une chaîne d'outils CAO pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles.» Thèse de Doctorat d'Etat es-Sciences Physiques, Université de Nancy I – UHP, 1987.
- Frachet, Jean-Pierre. «Une introduction au Génie Automatique : faisabilité d'une chaîne d'outils CAO pour la conception et l'exploitation des machines automatiques industrielles.» Thèse de Doctorat d'Etat es-Sciences Physiques, Université de Nancy I – UHP, 1987.
- Frankel, D.S., Harmon, P., Mukerji, J., Odel, J., Owen, M., Rivitt, P., Rosen, M., Soley, R.M. «The Zachman Framework and the OMG's Model Driven Architecture.» *Business Process Trends (White Paper)*, 2003: 1-14.
- Friedenthal, S. «SysML: lessons from early applications and future directions.» Édité par INCOSE. *INSIGHT* 12, n° 4 (2009): 10-11.
- Gamma E., Helm R., Johnson R. Vlissides J. *Design Patterns Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley, 1995.
- Garcia, J.S. «Executable and Integrative Whole-System Modeling via the Application of OpEMCSS and Holons for MBSE.» *INSIGHT* 12, n° 4 (2009): 21-23.
- Garcia, Rosanna, et Roger Calantone. «A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review.» *The Journal of Product Innovation Management* 19 (2002): 110-132.
- Gouyon, D. «Contrôle par le Produit des Systèmes d'Exécution de la Production: Apport des Techniques de synthèse.» *Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré*. Nancy, 6 12 2004.
- Gracia, J.J.E. *Individuality, An Essay on the Foundations of Metaphysics*. New York: State University of New York Press, 1988.

Halpin, T.A. *Conceptual Schema and Relational Database Design*. 2nd Edition. Sidney: Prentice Hall, 1995.

HMS. *Holonic Manufacturing Systems*. 1994. <http://hms.ifw.uni-hannover.de/> HMS Server.

IABG. *Das V-Modell*. 2004. <http://v-modell.iabg.de/index.php> (accès le 2010).

IEEE-Standard-1220. «IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process.» New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2005.

INCOSE. *Systems Engineering Handbook, a guide for system life cycle processes and activities*. Édité par C. Haskins. INCOSE, 2006.

ISO/IEC-15288. «System Life Cycle Processes and its Guide ISO.» Geneva: ISO TC 184/SC7/JTC1, 2008.

Jovanovic, V., Mrdalj, S., Gardiner, A. «A Zachman Cube.» *Issues in Information Systems*, 2006: 257-262.

Kline, S.J., et N. Rosenberg. «An overview of innovation.» Dans *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, édité par R Landau et N.R., 275-305. Washington DC: National Academy Press, 1986.

Koen, P.A. «The Fuzzy Front End for Incremental, Platform, and Breakthrough Products.» Dans *The PDMA Handbook of New Product Development*, édité par K.B. Kahn, 211-227. Wiley, 2005.

Koen, P.A., Ajamian, G.M., Boyce, S., Clamen, A., Fisher, E., Fountoulakis, S., Johnson, A., Puri, P. et Seibert, R. «Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques.» Dans *The PDMA Toolbook for New Product Development*, 5-35. New York: John Wiley & Sons, 2002.

Kooli-Chaabane H., Camargo M., Boly V., Yannou B. «Modeling Technology Transfer between a Technology Transfert Center and SME.» *The 19th International Conference on Management of Technology (IAMOT)*. Le Caire, 2010.

Kooli-Chaabane H., Camargo M., Boly V., Yannou B., Mazet T. «A Methodology to Study the Process of Technology Transfert at Micro Level: A New Approach Based on Qualitative and Quantitative Observation.» *Journal of Technology Transfert (for coming)*, 2009.

Kosanke, K, et J.G Nell. «Enterprise engineering and integration:Building international consensus.» Édité par K Kosanke et J.G Nell. (Springer-Verlag) 1997.

Kotler, P. «Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation and Control.» Édité par Englewood Cliffs. (Prentice-Hall International) 1988.

Le Moigne, J.L. *La Théorie du Système Général*. 4ème. Paris: PUF, 1994.

MacCarthy, B., Brabazon, P., Bramham, J. «Fundamental modes of operation for mass customization.» *International Journal of Production Economics* 85, n° 3 (2003): 289-304.

- Maranzana, N., N. Gartiser, et E. Caillaud. «From concurrent engineering to collaborative learning of design.» *International Journal of Design and Innovation Research* 4, n° 1 (2008): 39-51.
- Maxant, O., Piat, G., Roussel, B. «Méthode de conception et d'évaluation des concepts innovants.» Dans *L'innovation à l'ère des réseaux*, édité par H., Richir, S., Samier, H. Christofol, 448. Hermes Science Publications, 2004.
- Mayer, Frédérique, et Jean-Philippe Auzelle. «Is system of systems a candidate rationale artifact for enterprise information-intensive system modeling?» *9th MITIP International Conference on The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprise*. Florence, Italie, 2007.
- McConnell, S. *Rapid Development: Taming Wild Software Schedules*. Redmond: Microsoft Press, 1996.
- McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y. Ashton, K. «Auto ID systems and intelligent manufacturing control.» *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16, n° 4 (2003): 365-376.
- Meinadier, J.P. *Le métier d'intégration de systèmes*. Paris: Hermes Science Publications, 2002.
- . *Le métier d'intégration des systèmes*. Paris: Hermes Science Publication, 2002.
- Mer S., Jeantet A., Tichkiewitch S. «Les objets intermédiaires de la conception: modélisation et communication.» Dans *Le communicationnel pour concevoir*, édité par Caelen et Zreik, 330. Paris: Europia, 1995.
- Morel, G., Valckenaers, P., Faure, J.M., Pereira, C., Diedrich, C. «Manufacturing plant control challenges and issues.» *Control Engineering Practice* 15, n° 11 (2007): 1321-1331.
- Morel, L. «Proposition d'une ingénierie intégrée de l'innovation vue comme un processus permanent de création de valeur.» *Thèse de Doctorat, INPL*. Nancy, 1998.
- Munerato, F. «Robotisation d'un îlot de production manufacturière: aspect contrôle-commande et communication.» *Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré*. Nancy, 18 avril 1998.
- Muther, A. *Electronic Customer Care: Die Anbieter-Kunden-Beziehung im Informationszeitalter*. Berlin: Springer Verlag, 2000.
- Nikolaidou, M, et N. Alexopoulou. «Enterprise information system engineering: A model based approach based on the Zachman framework.» *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 2008.
- Noran, O. «An analysis of the Zachman Framework for enterprise architecture from the GERAM perspective.» *Annual Reviews in Control* 27 (2003): 163-183.

OCDE. *Manuel d'Oslo: Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données de l'innovation*. 3ème Edition. Paris: Les Editions de l'OCDE, 2005.

OECD. *The Measurement of Scientific and Technological Activities, Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data Oslo Manual*. 1997.

OMG. «SysML Specification.» OMG, 2008.

Pahl, G., et W. Beitz. *Engineering Design*. Berlin: Springer, 1996.

Panetto, H., et A. Molina. «Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems: Trends and issues.» *Computers in Industry* 59, n° 7 (2008): 641-646.

Piller, F.T. *Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2000.

Piller, F.T. «Mass Customization: Reflections on the State of the Concept.» *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 16 (2005): 313-334.

Pine II, B.J. *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

Pingaud H., Benaben F., Touzi J. «Model transformation of collaborative business process into mediation information system.» *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* 17, n° 1 (2008).

Ro Y.K., Liker J.K., Fixon S.K. «Modularity as a Strategy for Supply Chain Coordination: The Case of U.S. Auto.» *IEEE Transactions on Engineering Management* 54, n° 1 (2007): 172-189.

Rochet, S. «Formalisation des processus de l'Ingénierie Système: Proposition d'une méthode d'adaptation des processus génériques à différents contextes d'application.» *Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*. Toulouse, 26 Novembre 2007.

Roques, P. *SysML par l'exemple*. Eyrolles, 2009.

Rosenberg, O. «Variantenfertigung.» Dans *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, de Werner Kern, 211962129. Stuttgart: Schaeffer-Poeschel, 1996.

Rothwell, R. «Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s.» *R&D*, 1992.

Sausser, B., et J. Boardman. «Complementarity: In Search of the Biology of Systems.» *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*. 2007. 1-5.

Schekkerman, J. *Enterprise Architecture Tool Selection Guide V5.0*. 2009. [http://www.enterprise-architecture.info/Images/EA\\_Tools/Enterprise Architecture Tool Selection Guide v5.0.pdf](http://www.enterprise-architecture.info/Images/EA_Tools/Enterprise_Architecture_Tool_Selection_Guide_v5.0.pdf).

Schmitt, C., Fischbach, K., Schoder, D. «Enabling Open Innovation in a World of Ubiquitous Computing.» *Proceedings of the first international workshop on advanced data processing in*

*ubiquitous computing (ADPUC 2006)*. Melbourne: ACM International Proceeding Series, 2006. 5.

Shen, W., et D. Norrie. «Agent-based systems for intelligent manufacturing: A state-of-the-art survey.» *Knowledge and Information Systems, an International Journal* 1, n° 2 (1999): 129-156.

Simondon, Gilbert. *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris: Aubier, 1958.

Sousa-Poza A., Kovacic S., Keating Ch. «System of Systems Engineering: An emerging multidiscipline.» *International Journal of Systems of Systems Engineering* 1, n° 1 (2008): 1-17.

Sowa, J.F., et J.A. Zachman. «Extending and formalizing the framework for information systems architecture.» *IBM Systems Journal* 31, n° 3 (1992): 590-616.

Terzi, S., Cassina, J., Panetto, H. «Development of a Metamodel to Foster Interoperability along the Product Lifecycle Traceability.» Dans *Interoperability of Enterprise Software and Applications*, 1-11. London: Springer, 2006.

Tidd, J., Bessant, J., Pavitt, K. *Management de l'innovation*. Bruxelles: De Boeck, 2006.

Tolido, R. «From Benchmarking to Mashmarking - new perspectives on innovation.» *Face to Face - Capgemini Magazine* 5, n° 1 (2007): 4-8.

Tursi, A., Panetto, H., Morel, G. and Dassisti, M. «Ontology-Based Products Information Interoperability in Networked Manufacturing Enterprises.» *Proceedings of the IFAC CEA'07 conference on Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing*. Monterrey, Mexique: Elsevier - IFAC, 2007.

Union, European. *Green Paper on Innovation*. Brussels: European Commission, 1995.

Van Gaasbeek, J.R. «Before Requirements: What, Who, Where, When, Why and How.» *INCOSE INSIGHT* 2, n° 4 (2000): 11-14.

Vernadat, F. *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*. Springer, 1996.

Vernadat, F.B. «Interoperable enterprise systems: Principles, concepts, and methods.» *Annual Reviews in Control* (Elsevier) 31 (2007): 137-145.

Weigt, M. «Implications of Complexity in Early Stages of Innovation Process for the Definition of Heuristic Engineering Methods.» Dans *The Future of Product Development*, édité par Lothar-Krause, 135-144. Berlin Heidelberg: Springer, 2007.

Wiegers, K.E. *Software Requirements 2: Practical techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle*. Redmond: Microsoft Press, 2003.

Wiese P., John P. *Engineering Design in the Multi-Discipline Era: A Systems Approach*. Wiley, 2002.

Wong, C.Y., McFarlane, D., Zaharudin, A.A., Agarwal, V. «The intelligent product driven supply chain.» 2002. 393-398.

Zachman, J.A. *The Zachman Framework™: The Official Concise Definition*. 2009. <http://zachmaninternational.com/index.php>.

Zahra, S.A., et G. George. «Absorptive capacity: A review, reconceptualization and extension.» *The Academy of Management review* 27, n° 2 (2002): 185-204.

## Index des illustrations

Figure 1. Modèle de la chaîne interconnectée (Kline et Rosenberg 1986).....	8
Figure 2 : Démarche intégrée d'innovation d'après (Boly 2004) et (Meinadier 2002) .....	9
Figure 3. Système d'innovation pour mettre en œuvre l'ingénierie système afin de satisfaire un besoin. ...	12
Figure 4. Product-driven manufacturing enterprise-wide control (Morel et al. 2007b) .....	14
Figure 5. Notre démarche en Ingénierie Système.....	16
Figure 6. Cadre Zachman (www.zifa.com) .....	17
Figure 7. Proposition d'un cadre de modélisation, basé sur la cadre Zachman, incluant le système-produit à innover .....	18
Figure 8. Début du processus individualisé d'innovation et de l'émergence du système à faire.....	19
Figure 9. Caractérisation d'un produit individualisé comme un objet .....	27
Figure 10. Propriétés essentielle et inessentielle de l'objet technique (inspiré de (Simondon, 1958))......	29
Figure 11. Propriétés « genus » et « différence spécifique » d'un objet individuel (inspiré de (Gracia, 1988))......	30
Figure 12. Modules "MUST" et "CAN" d'un produit sur mesure (inspiré de (Rosenberg, 1996)) .....	32
Figure 13. Individualisation d'un produit prenant en compte les aspects besoin/désir – besoin objectif/besoin subjectif – besoin primaire/besoin secondaire du client.....	34
Figure 14. Caractérisation d'un produit vu comme un objet .....	36
Figure 15. Inspiré du pattern composite de (Gamma E., 1995). .....	36
Figure 16. Caractérisation d'un produit vu comme un objet organisé.....	37
Figure 17. Caractérisation d'un produit comme un tout/partie.....	38
Figure 18. Caractérisation d'un produit vu comme un système (De Rosnay, 1975) (Le Moigne, 1994) .....	40
Figure 19. Le produit vu comme un système-produit individualisé, pivot de la modélisation en Ingénierie de l'Innovation .....	41
Figure 20. Les quatre « pillars » d'un système complexe .....	43
Figure 21. Les 4 « pillars » - exemple du lève vitres (Inspiré de <a href="http://www.omgsysml.org/">http://www.omgsysml.org/</a> ) .....	44
Figure 22. Modélisation du système-produit individualisé comme pivot de l'ingénierie de l'innovation... ..	45
Figure 23. Illustration de l'émergence du besoin et de sa formalisation en exigences. ....	46
Figure 24. Diagramme d'exigences du produit individualisé. ....	47
Figure 25. Relation des exigences avec d'autres éléments du modèle.....	48
Figure 26. Du modèle des exigences au modèle blocs pour réaliser le système-produit individualisé. ....	49
Figure 27. Les différentes vues du comportement du système-produit individualisé (diagramme de cas d'utilisation, de séquences, d'activités et d'états). ....	51
Figure 28. Diagramme de paramètres du modèle du produit individualisé.....	52
Figure 29. Le système-produit individualisé, pivot de l'ingénierie de l'innovation.....	53
Figure 30. Démarche didactique de l'innovation selon les principes de l'ingénierie système (inspiré de (Meinadier 2002)).....	60
Figure 31. Processus de développement Stage-Gate System (Cooper, 2001). ....	63

Figure 32. Les phases du Fuzzy Front-End (Koen, 2002).....	64
Figure 33. Modèle de management de l'innovation (Tidd 2006).....	66
Figure 34. Activités de développement du modèle en V (repris de (AFIS 2006)) .....	68
Figure 35. Processus en V de l'ingénierie système d'innovation d'un produit individualisé (adapté de (AFIS 2006)). .....	70
Figure 36. Historique d'une pièce faite en CATIA.....	71
Figure 37. Suivi de l'évolution d'un produit et création d'un deuxième produit à partir du premier grâce à l'approche PLM de SmarTeam. ....	72
Figure 38. Intégration du modèle en V par le produit individualisé dans un seul cycle de vie. ....	73
Figure 39. Regroupement des tâches en activités et des activités en processus. ....	74
Figure 40. Couverture des normes relatives à la mise en œuvre d'une IS durant le cycle de vie d'un système (AFIS: <a href="http://www.afis.fr/doc/normes/normes.html">http://www.afis.fr/doc/normes/normes.html</a> ).....	78
Figure 41. Phases amont pour la mise en œuvre de l'ISIBM.....	78
Figure 42. La tâche au cœur de trois logiques (repris de (Meinadier 2002)) .....	79
Figure 43. Cadre Zachman (Sowa et Zachman 1992).....	85
Figure 44. Tâche d'innovation demandée par le système-produit individualisé, organisé par le système d'innovation pour faire et exécuté par le système d'innovation à faire.....	87
Figure 45. Types de formalisme du cadre de modélisation Zachman intégrant les unités de modélisation du langage SysML.....	89
Figure 46. Interactions entre le Produit Individualisé et le Système d'Innovation à Faire. ....	90
Figure 47. Illustration du <i>système d'innovation pour faire</i> dirigé par le <i>système-produit individualisé</i> utilisant le cadre Zachman afin de faire émerger le <i>système d'innovation à faire</i> . ....	90
Figure 48. Synthèse des activités de modélisation au niveau contextuel du cadre Zachman - spécifications de la MOA.....	92
Figure 49. Zachman du Système d'Innovation à Faire - spécifications de la MOE (deuxième ligne).....	94
Figure 50. Processus ISIBM dans Zachman (niveaux « Contextua » et « Conceptual »).....	96
Figure 51. Evolution du produit au long de la définition du système d'innovation à faire.....	97
Figure 52. Illustration des diagrammes SysML accessibles dans la classe du SPI embarquée sur un message de MEGA. ....	99
Figure 53. Illustration de la liaison des opérations du produit avec les tâches du processus. ....	100
Figure 54. Début du processus individualisé d'innovation et de l'émergence du système d'innovation à faire. ....	102
Figure 55. Emergence progressive du système d'innovation à faire.....	103
Figure 56. Système d'innovation à faire émergé. ....	104
Figure 57. Illustration de l'émergence du système d'innovation à faire. ....	105
Figure 58. Vue d'ensemble des acteurs du projet de transfert de technologie (repris de (Casorzo C., 2010)) .....	114
Figure 59. Extrait du Gantt du projet de transfert de technologie (d'après Kooli-Chaabane et al. 2009) 115	
Figure 60. Relation entre les modèles du système produit individualisé et le système d'innovation. ....	117

<b>Figure 61. Adaptation du modèle d'innovation émergent de la relation individualisé client-produit-système d'innovation à faire.....</b>	<b>118</b>
<b>Figure 62. Portée du cas d'étude.....</b>	<b>120</b>
<b>Figure 63. Correspondance du niveau contextuel du cadre Zachman avec le Système d'Innovation à Faire le processus de transfert de technologie (zones colorées).....</b>	<b>123</b>
<b>Figure 64. Correspondance de la cellule Why du cadre Zachman au niveau « contextuel » avec les exigences du modèle du système-produit individualisé.....</b>	<b>124</b>
<b>Figure 65. Diagramme d'exigences initiales du produit individualisé.....</b>	<b>125</b>
<b>Figure 66. Diagramme de paquetages produit individualisé : le processus d'assemblage sous atmosphère contrôlée.....</b>	<b>126</b>
<b>Figure 67. Diagramme de d'activités SysML avec les étapes générales du processus de TT (inspiré de Kooli-Chaabane et al. 2009) .....</b>	<b>127</b>
<b>Figure 68. Diagramme de définition de processus MEGA des étapes du processus de Transfert de Technologie (idem).....</b>	<b>128</b>
<b>Figure 69. Rôle intégrateur du produit individualisé tout au long du processus de TT. ....</b>	<b>129</b>
<b>Figure 70. Diagramme de sites du Système d'Innovation à Faire « entreprise virtuelle » focalisé sur le projet de transfert. ....</b>	<b>130</b>
<b>Figure 71. Diagramme de cas d'utilisation pour le Système d'Innovation à Faire. ....</b>	<b>131</b>
<b>Figure 72. Processus d'ISBM dans le cadre Zachman.....</b>	<b>132</b>
<b>Figure 73. Illustration du niveau conceptuel de la modélisation du Système d'Innovation à Faire (zones colorées). ....</b>	<b>134</b>
<b>Figure 74. Diagramme d'exigences niveau MOE – Conceptual.....</b>	<b>135</b>
<b>Figure 75. Diagramme de définition de blocs pour la pièce objet du transfert de technologie. ....</b>	<b>136</b>
<b>Figure 76. Diagramme d'activités « Prospecting » au niveau conceptuel. ....</b>	<b>137</b>
<b>Figure 77. Diagramme d'états du niveau conceptuel (inspiré de Casorzo 2010).....</b>	<b>138</b>
<b>Figure 78 (continuation). Diagramme de cas d'utilisation « Developing » au niveau conceptuel. ....</b>	<b>140</b>
<b>Figure 79. Diagramme d'interactions du niveau conceptuel concernant la modélisation des besoins. ....</b>	<b>141</b>
<b>Figure 80. Paramètres de produit au niveau opérationnel du cadre Zachman. ....</b>	<b>142</b>
<b>Figure 81. Evolution du SPI guidée par le cadre Zachman.....</b>	<b>143</b>
<b>Figure 82. Extrait de l'ISIBM appliqué pour le projet de transfert de technologie.....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 83. Illustration de la démarche ISIBM.....</b>	<b>148</b>

## Index des tableaux

<b>Tableau 1. Niveaux d'individualisation d'un produit.</b> .....	24
<b>Tableau 2. Caractérisation du produit individualisé.</b> .....	54
<b>Tableau 3. Activités et tâches de l'innovation avec les états du système-produit (inspiré de (Boly 2008) (Cooper 2001) (Tidd 2006) (INCOSE 2006) (Eisenmann H. 2009) )</b> .....	74
<b>Tableau 4. Synthèse des cadres de modélisation et langages de modélisation (repris de (Auzelle 2009) ).</b> .	80
<b>Tableau 5. Démarche de modélisation en ISIBM pour le niveau contextuel de Zachman.</b> .....	91
<b>Tableau 6. Séquencement de la modélisation des spécifications du Système d'Innovation à Faire par la MOA</b> .....	93
<b>Tableau 7. Démarche de modélisation en ISIBM pour le niveau conceptuel de Zachman.</b> .....	94
<b>Tableau 8. Séquencement de la modélisation des spécifications du Système d'Innovation à Faire par la MOE.</b> .....	95
<b>Tableau 9. Etapes expérimentales pour l'application de l'ISIBM dans le projet de TT.</b> .....	112
<b>Tableau 10. Correspondances entre les concepts de l'ISIBM, de l'Innovation et du Transfert de Technologie.</b> .....	117
<b>Tableau 11. Ensemble de diagrammes de l'ISIBM appliqué au cas du processus de TT dans les niveaux « Contextual » et « Conceptual » du cadre Zachman.</b> .....	121

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE  
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL  
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

**Monsieur Vincent CHAPURLAT, Professeur, LGI2P, EMA, Nîmes**

**Monsieur Emmanuel CAILLAUD, Professeur, LGECO-INSA, Strasbourg**

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

**Monsieur CASTRO ESPIRITU Evaristo**

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,  
une thèse intitulée :

**« Contribution à l'ingénierie de l'innovation : proposition d'un cadre de modélisation  
pour un système d'innovation centré sur le produit »**

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « **Génie des Systèmes Industriels** »

Fait à Vandoeuvre, le 20 avril 2010.

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT

Pour le Président par délégation  
Le Secrétaire Général de l'INPL,

J.Y. RIVIERE



NANCY BRABOIS  
2, AVENUE DE LA  
FORET-DE-HAYE  
BOITE POSTALE 3  
F - 5 4 5 0 1  
VANDŒUVRE CEDEX

## Résumé

### **Contribution à l'ingénierie de l'innovation : proposition d'un cadre de modélisation pour un système d'innovation centré sur le produit.**

*Mots clés : individualisation, innovation, ingénierie système, modélisation*

Ces travaux se veulent une contribution à l'ingénierie de l'innovation utilisant l'ingénierie système comme cadre théorique. Notre but principal est de proposer un cadre de modélisation pour un système d'innovation centré sur le produit afin de favoriser et assister la sélection objective de la stratégie, les processus, l'équipement et l'organisation pour créer un produit individualisé et innovant.

Pour cela, notre recherche s'est focalisée dans un premier temps en la caractérisation et la formalisation d'un **produit individualisé**. Il s'agit de montrer comment un produit peut être décrit de manière précise sous forme d'un système. In fine nous avons obtenu un modèle de produit individualisé pour le connecter aisément avec d'autres modèles concernant cette fois les processus d'innovation

Dans un deuxième temps, nous avons conçu et proposé une approche de modélisation pour un système d'innovation. Pour cela, nous avons postulé que le modèle descriptif du système d'innovation doit émerger du modèle du produit individualisé. Ceci afin d'être conçu comme un tout cohérent et permettre l'adaptation pour chaque recomposition du système d'innovation pour satisfaire un donneur d'ordre. Cela nous a permis de définir une Ingénierie Système de l'Innovation Basée sur les Modèles (ISIBM).

Finalement, nous avons appliqué l'ISIBM dans un scénario expérimental concernant un projet industriel de transfert de technologie entre un centre technique et une PME. Les résultats montrent que l'approche de modélisation proposée supporte l'intégration des éléments théoriques de l'ingénierie de l'innovation qui n'étaient pas liés avant.

## Abstract

### **Contribution to innovation engineering: proposal of a modeling framework for a product centered innovation system.**

*Keywords: individualization, innovation, systems engineering, modeling*

This work aims to be a contribution for innovation engineering using systems engineering as theoretical framework. The term innovation engineering is related to systematically applying any kind of resource to accelerate the passage of an idea to a saleable product. Our main objective is to propose a product-centered innovation system modeling framework to provide guidance and enable the objective selection of the strategy, processes, equipment and organization to create an individualized (and innovative) product.

For this, our research first focused in formalizing and characterizing an individualized product. More precisely, it was about describing a product as a system considering that it has several representational forms (physical, informational...) that were to be integrated into a unique view. This part's main objective was to obtain the model of an individualized product that allowed using it with the models concerning the innovation process.

Secondly, we designed and proposed a modeling approach for the innovation system. For this, we postulated that the descriptive model of the innovation system had to emerge from the individualized product model. The objective here was to design it as a coherent whole that would allow the model's adaptation for any reorganization of the innovation system to satisfy one client. This led us to define a Model Based Innovation Systems Engineering (MBISE).

Finally, we applied the MBISE within an experimental scenario concerning an industrial technology transfer project between a technical center and a SME. It was found that the modeling approach supports the integration of theoretical elements of innovation engineering that were not linked before.

**Ecole Doctorale RP2E (Ressources, Procédés, Produit, Environnement)**

**Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (ERPI)**

## **ANNEXES de la Thèse**

Présentée pour l'obtention du titre de

**Docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine**

en Génie des Systèmes Industriels

par **Evaristo Castro Espíritu**

**CONTRIBUTION A L'INGENIERIE DE L'INNOVATION :**

**PROPOSITION D'UN CADRE DE MODELISATION POUR UN SYSTEME D'INNOVATION CENTRE SUR LE  
PRODUIT**

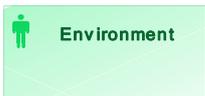
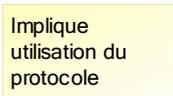
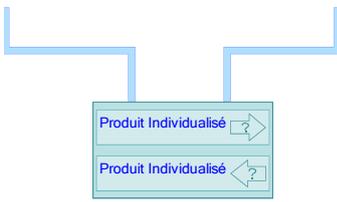
Soutenue publiquement le 30 avril 2010 devant la commission d'examen :

Membres du jury :

Rapporteurs :	M. Vincent Chapurlat	Professeur, Ecole de Mines d'Alès
	M. Emmanuel Caillaud	Professeur, Université de Strasbourg
Examineurs :	M. Eric Bonjour	Maître de Conférences HDR, Université de Franche-Comté
	M. Arturo Molina	Professeur, Tecnológico de Monterrey
	Mme. Frédérique Mayer	Maître de Conférences, INPL (Codirectrice de thèse)
	M. Pascal Lhoste	Professeur, INPL (Directeur de thèse)

**ANNEXE 1. Concepts et représentations symboliques de MEGA Modelling Suite**

**Tableau 1. Symbole – concept – définition des objets de modélisation sous MEGA Modelling Suite**

Symbole	Concept	Définition
<b>Diagramme de processus</b>		
	Processus	Un processus est une chaîne de valeur fournissant un bien ou un service à un client interne ou externe à l'entreprise. Cette chaîne de valeur est décrite par une séquence d'activités de transformation. Elle est mise en œuvre par des procédures.
	Acteur externe	Un acteur externe représente un organisme qui échange des flux avec l'entreprise. Ex : Client, Fournisseur, Administration.
	Message	Un message représente un flux circulant à l'intérieur de l'entreprise ou échangé entre l'entreprise et son environnement. C'est généralement un flux d'information comme une commande ou une facture. Par commodité, un flux financier comme le règlement du client, ou un flux de matière comme la livraison d'un produit est également représenté par un message.
	Note	Une note est une annotation ou remarque apportant un commentaire, un éclaircissement sur un texte ou dessin. Les notes peuvent être de différents types : Remarque, Question, Documentation, Evolution, Correction, Anomalie, etc.
<b>Diagramme de site</b>		
	Site	Un site est un lieu géographique où est implantée l'entreprise. Les sites peuvent être des sites-types tels que le siège, l'agence, l'usine, ou des lieux géographiques précis comme l'agence de Marseille, l'usine de Poissy, etc.
	Canal	Un canal de communication est une voie par laquelle transitent les flux d'information (les messages et leurs contenus) entre un émetteur et récepteur. Ces derniers peuvent être des zones d'urbanisme, des métiers ou des acteurs de l'entreprise, etc.
<b>Organigramme</b>		
	Acteur Responsable	Un acteur interne représente un élément de l'organisation d'une entreprise tel qu'une direction, un service ou un poste de travail. Il est défini à un niveau plus ou moins fin en fonction de la précision à fournir sur l'organisation (cf type d'acteur). Ex : la direction financière, la direction commerciale,

## Annexes

		le service marketing, l'agent commercial.
	Acteur	Un acteur représente une personne ou un groupe de personnes qui interviennent dans les processus ou dans le système d'information de l'entreprise. Un acteur peut être interne ou externe à l'entreprise.
<b>Diagramme de mise en œuvre du processus</b>		
	Acteur externe	Un acteur externe représente un organisme qui échange des flux avec l'entreprise. Ex : Client, Fournisseur, Administration.
	Opération	Une opération est un service qui peut être demandé à un objet pour mettre en œuvre un comportement défini. Une opération possède une signature qui permet de préciser les paramètres qui lui sont nécessaires. Plus spécifiquement, une opération est une étape d'un processus organisationnel correspondant à l'intervention d'un acteur de l'organisation.
	Procédure	Une procédure décrit la marche à suivre pour mettre en œuvre tout ou partie du processus d'élaboration d'un produit ou un flux. Une procédure est représentée par une succession d'opérations déclenchées par la réception d'un message.
	Base de données	Une base de données permet de spécifier la structure de stockage logique ou physique des données.

Annexe 2. Diagrammes du modèle du produit individualisé en *Objecteering*<sup>1</sup>.

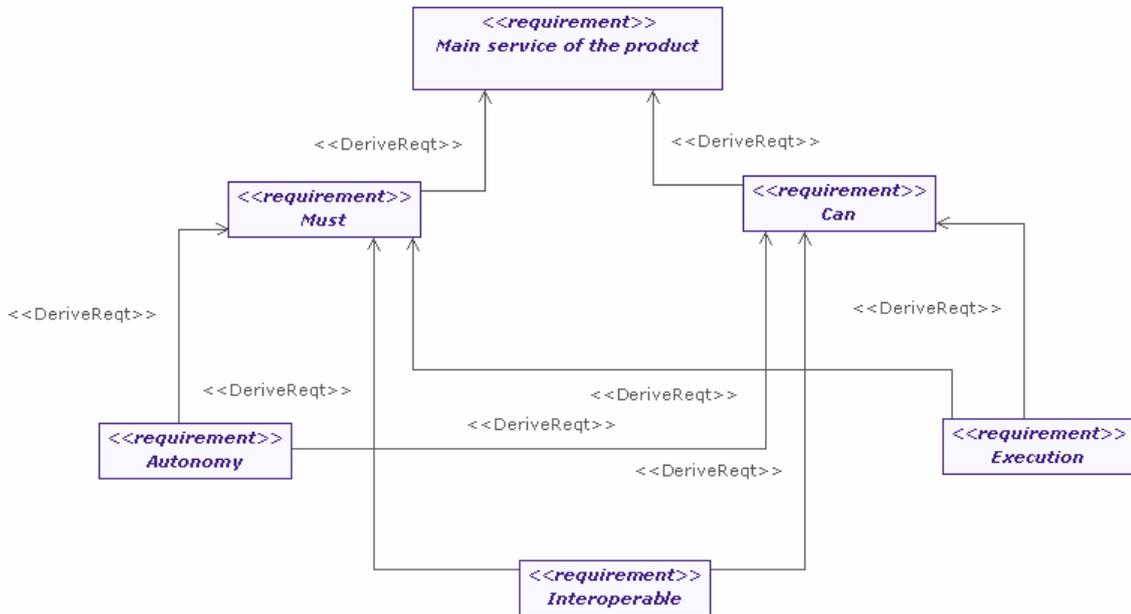


Figure A. Diagramme d'Exigences.

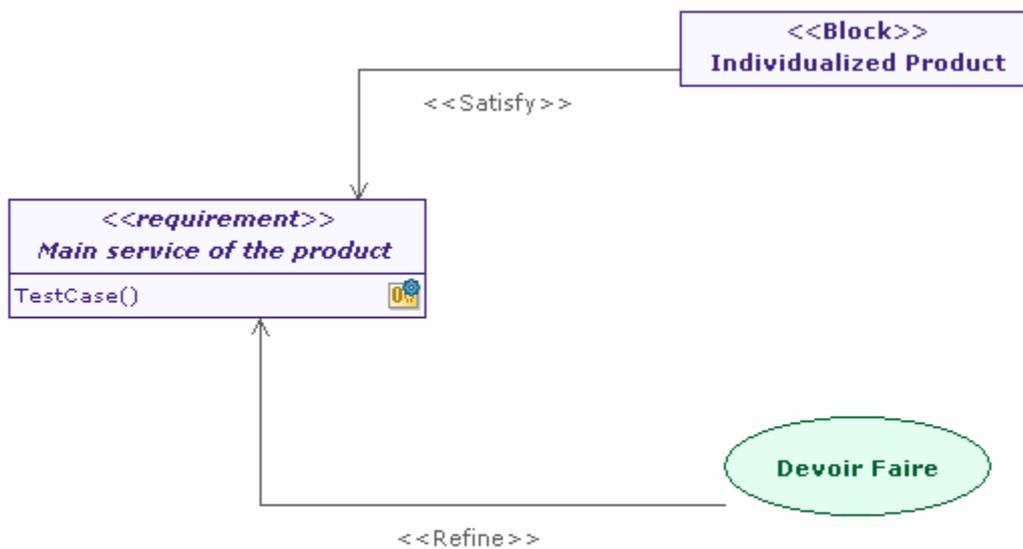


Figure B. Relation entre les exigences et autres éléments des diagrammes.

<sup>1</sup> **Objecteering** est un outil de modélisation UML et SysML avancé, développé et commercialisé par Objecteering Software, une filiale de Softeam.

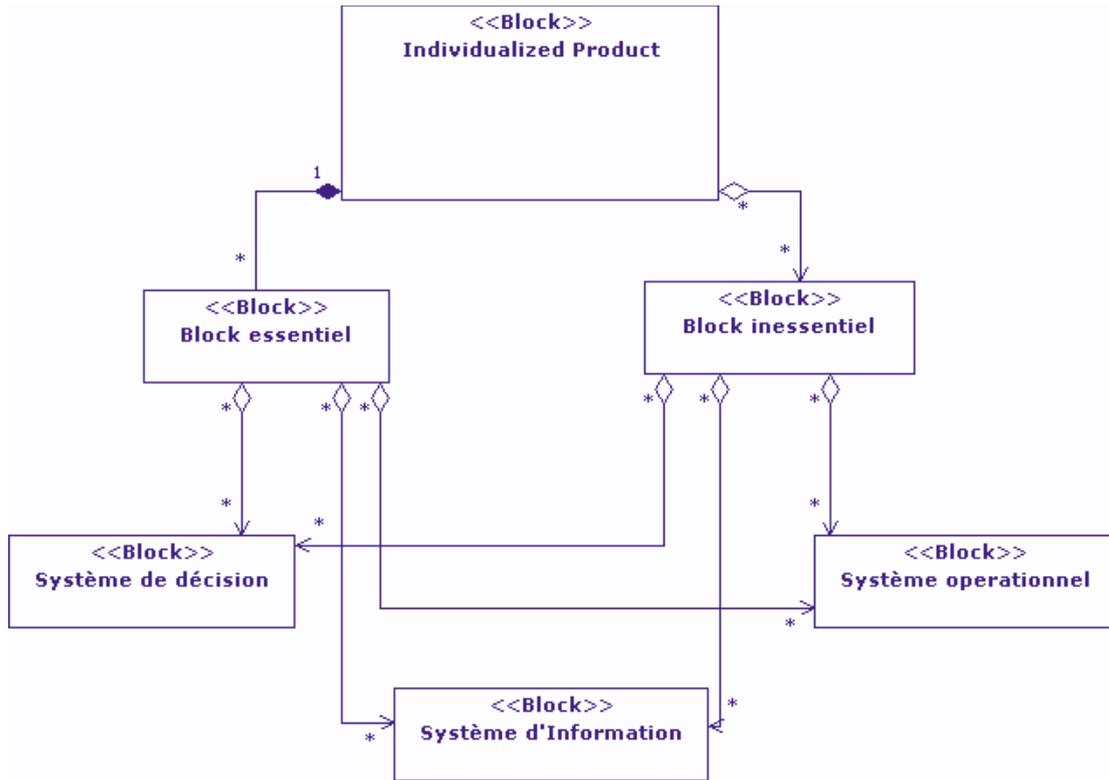


Figure C. Diagramme de blocs

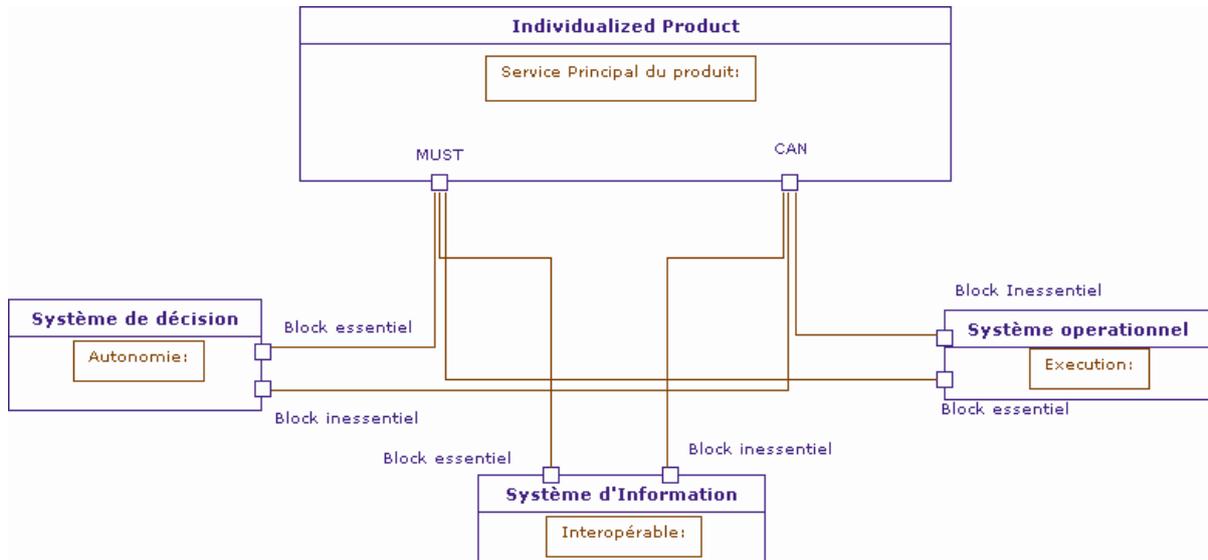
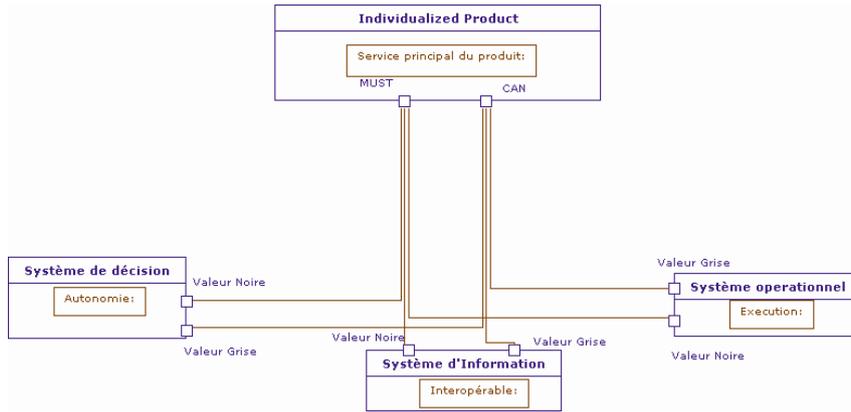
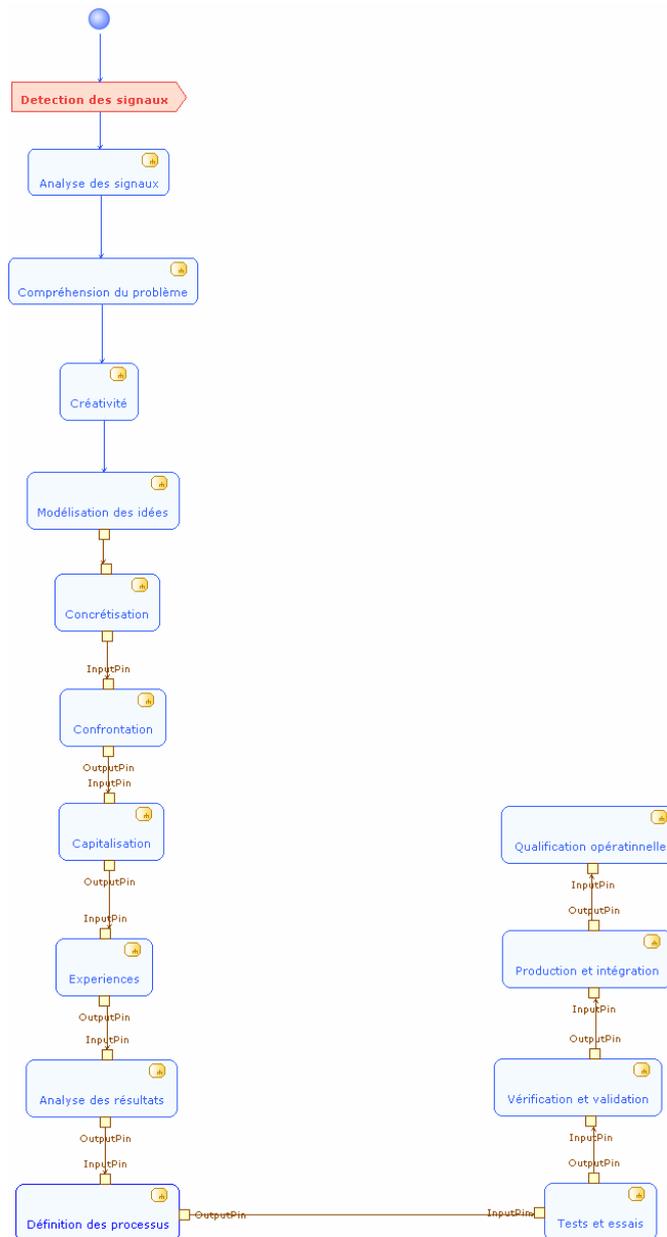


Figure D. Diagramme de blocs internes.

## Annexes



**Figure E. Diagramme paramétrique.**



**Figure F. Diagramme d'Activités.**

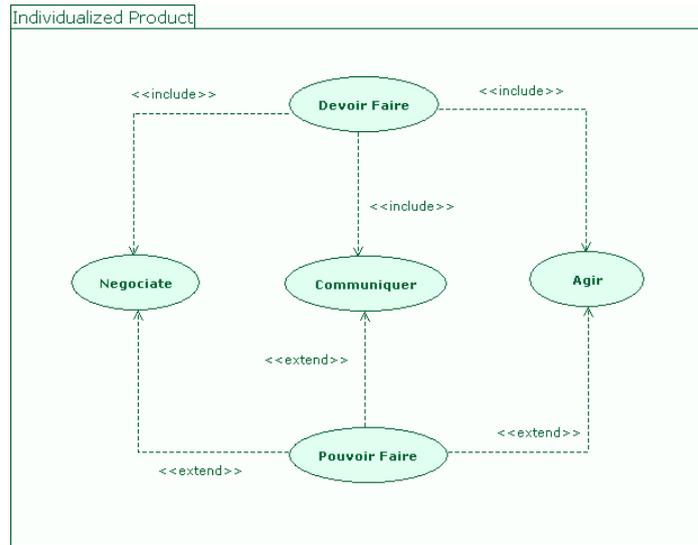


Figure G. Diagramme de cas d'utilisation.

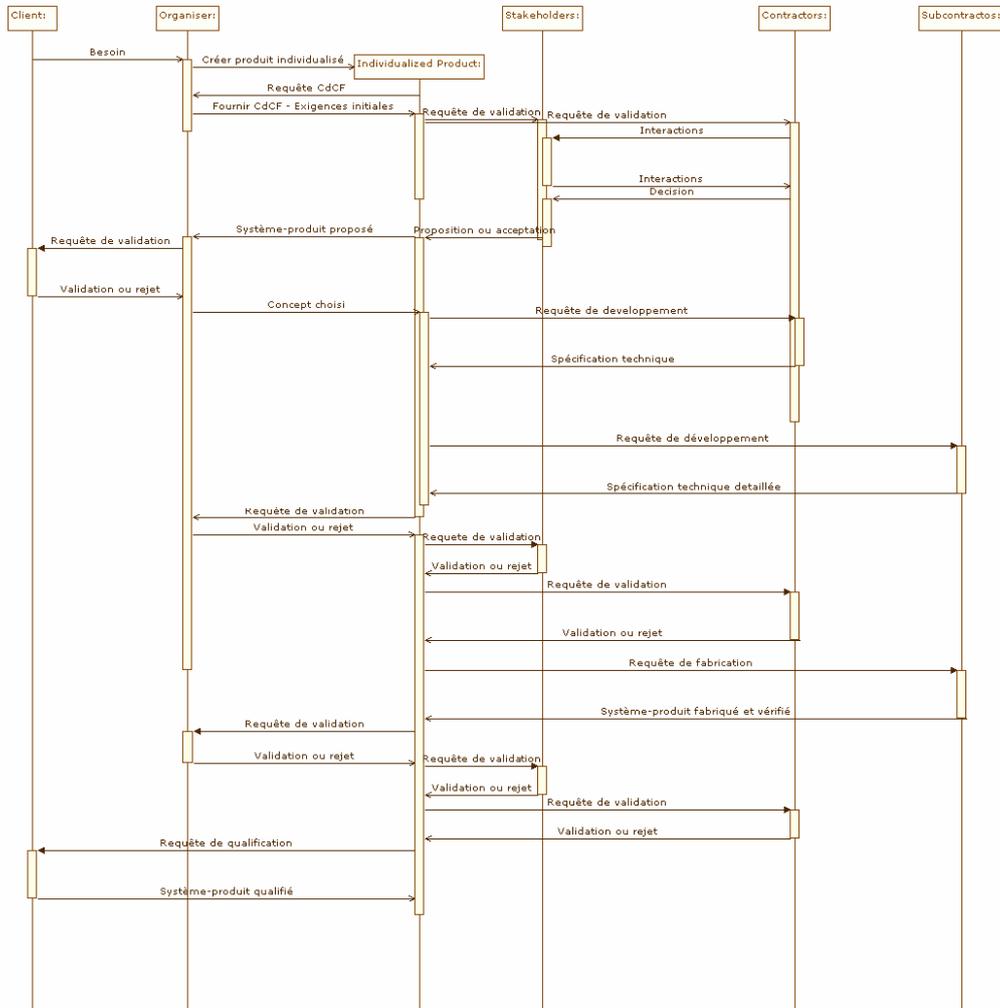


Figure H. Diagramme de séquences.

Annexe 3. Diagrammes en MEGA

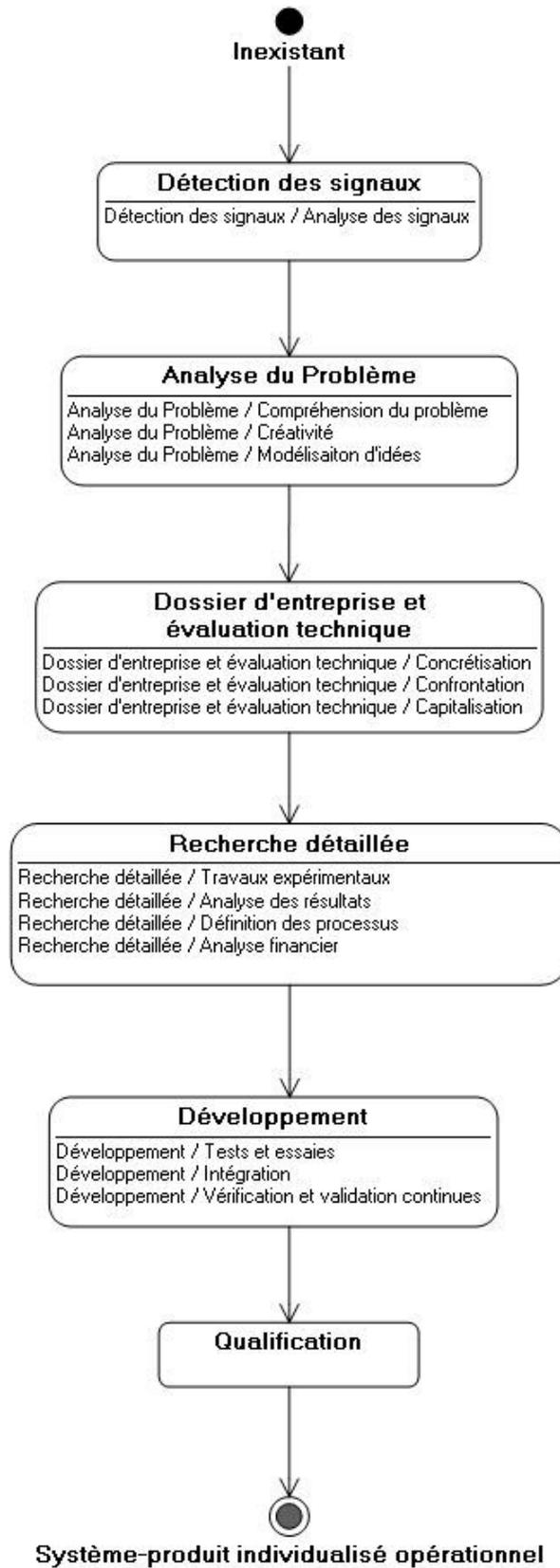


Figure A. Diagramme d'Activités.

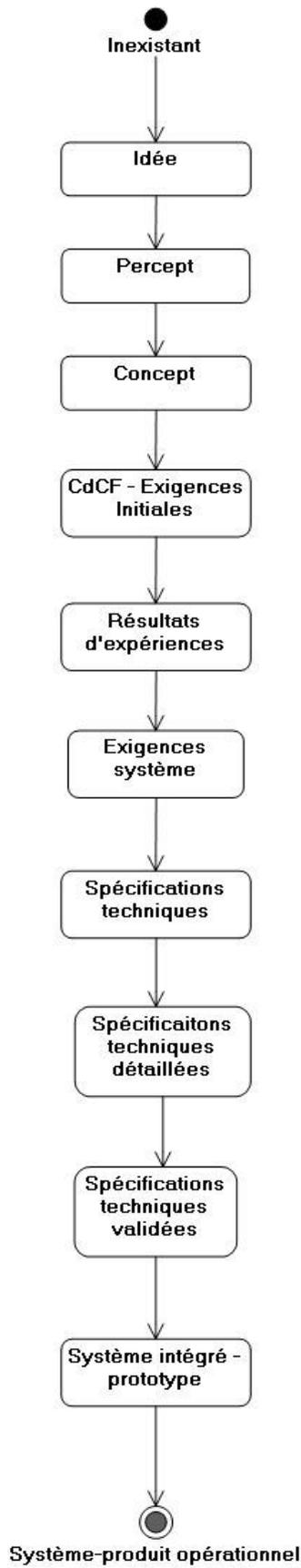


Figure B. Diagramme d'Etats.

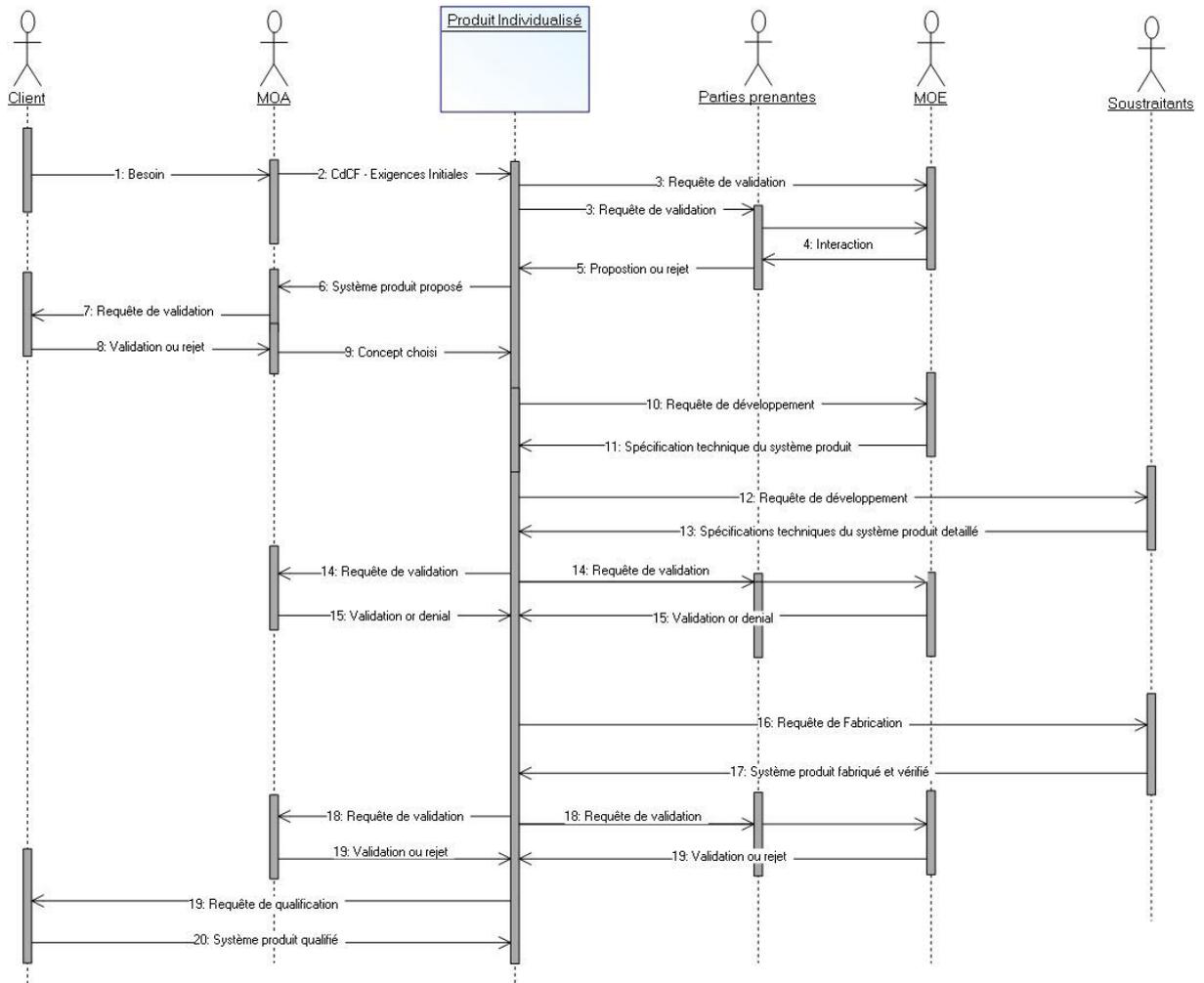


Figure C. Diagramme de Séquences.

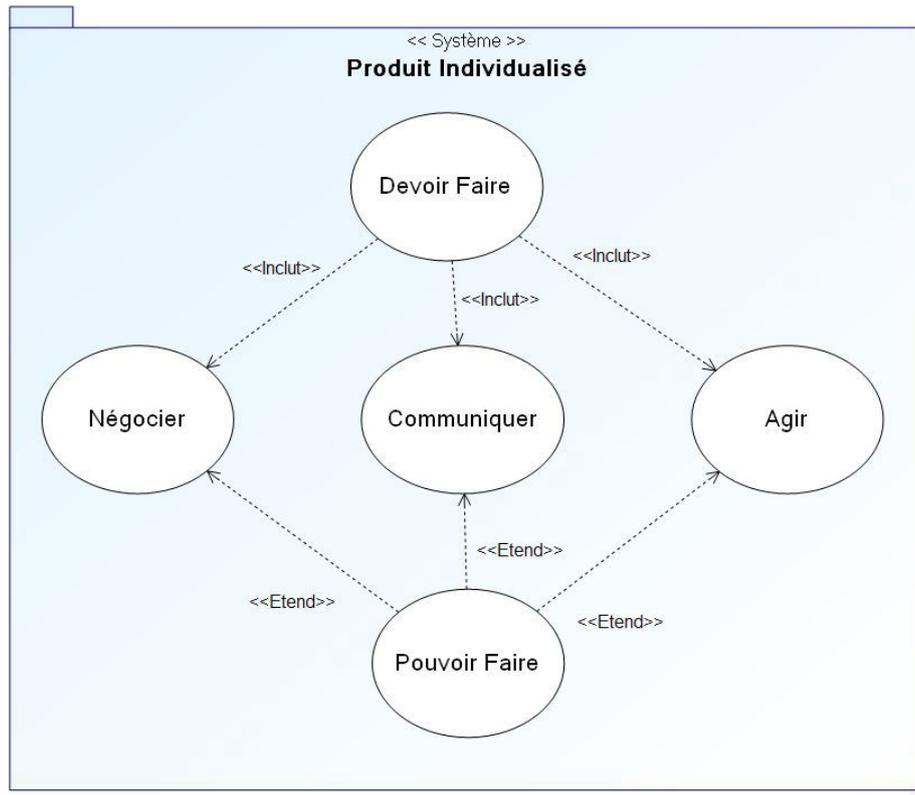


Figure D. Diagramme de cas d'utilisation.

**Annexe 4. Diagrammes d'Activités, d'Etats et de Séquences du modèle du Produit Individualisé en Topcased.**

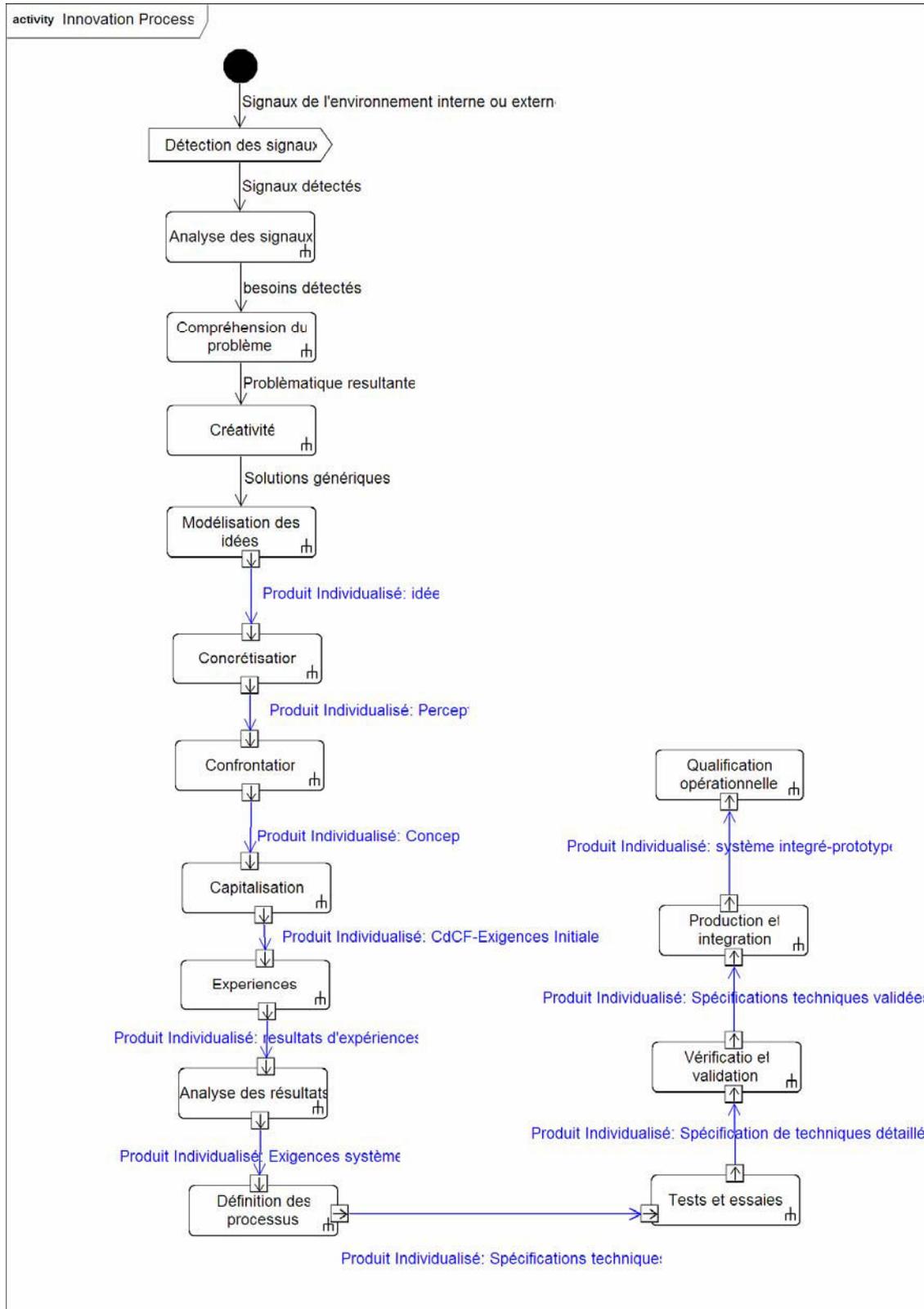


Figure A. Diagramme d'Activités

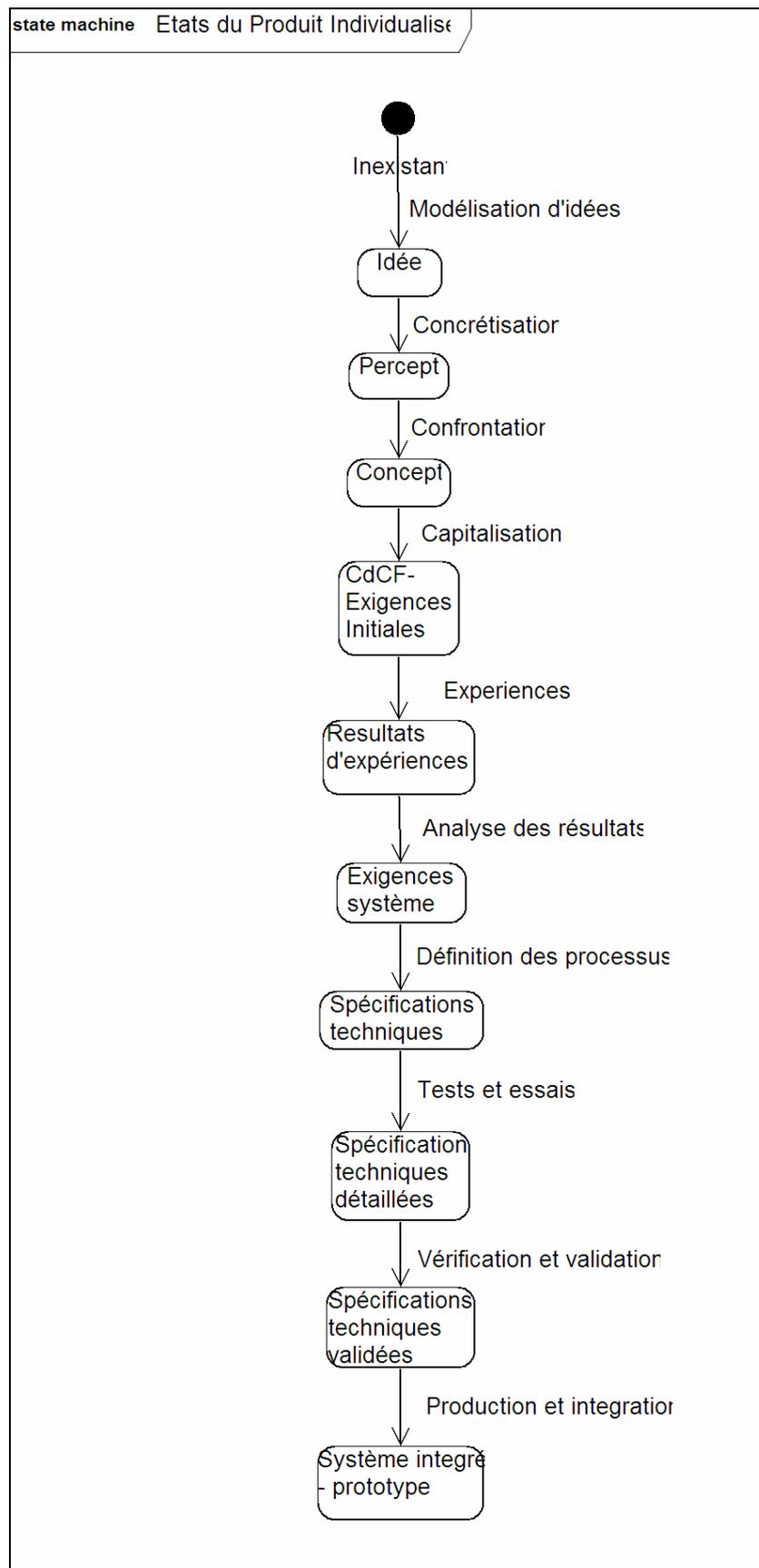


Figure B. Diagramme d'Etats

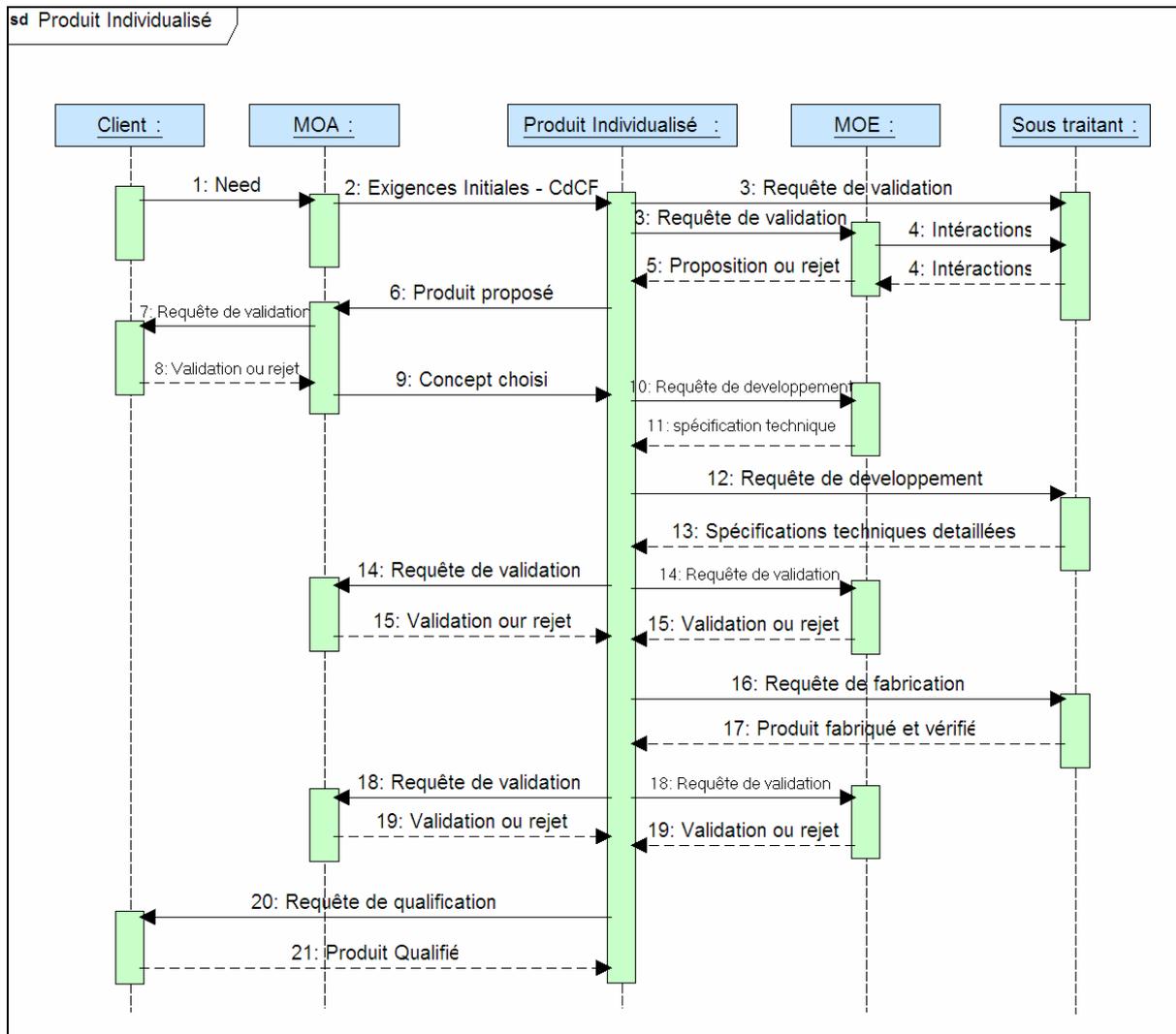
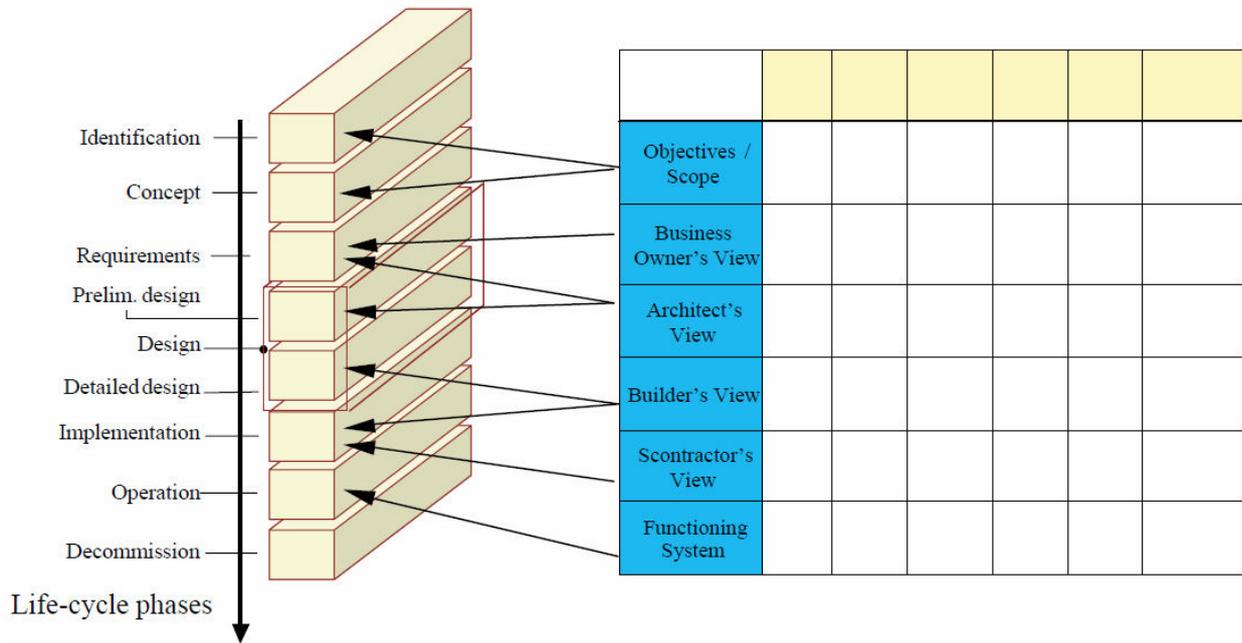


Figure C. Diagramme de Séquences

**Annexe 5. Mapping de Zachman dans GERAM.**



Mapping of Zachman perspectives to life cycle phases of GERA (other Zachman and GERA frameworks' dimensions omitted for clarity) (repris de Noran, 2003, Bibliographie du Chapitre 2)

**Annexe 6. Mapping des diagrammes UML dans Zachman**

		← Abstractions (Columns) →					
The Zachman Framework		DATA <i>What (Things)</i>	FUNCTION <i>How (Process)</i>	NETWORK <i>Where (Location)</i>	PEOPLE <i>Who (People)</i>	TIME <i>When (Time)</i>	MOTIVATION <i>Why (Motivation)</i>
Perspectives (Rows)	SCOPE (Contextual) <i>Planner</i>	List of things important to the business <i>Package and Class Diagrams Use Case Diagrams</i>	List of processes the business performs <i>Activity Diagrams</i>	List of Locations in which the business operates	List of Organizations Important to the Business	List of Events Significant to the Business	List of Business Goals/Strategies
	BUSINESS MODEL (Conceptual) <i>Owner</i>	Semantic Model <i>Class and Composite Structure Diagrams</i>	Business Process Model <i>Activity, State, and Interaction Diagrams</i>	Business Logistics System	Work Flow Model	Master Schedule	Business Plan
	SYSTEM MODEL (Logical) <i>Designer</i>	Logical Data Model <i>Class, Package, and Component Diagrams</i>	Application Architecture <i>Activity, State, and Interaction Diagrams</i>	Distributed System Architecture <i>Deployment Diagram</i>	Human Interface Architecture	Processing Structure	Business Rule Model
	TECHNOLOGY MODEL (Physical) <i>Builder</i>	Physical Data Model <i>Class, Package, and Component Diagrams</i>	System Design <i>Activity, State, and Interaction Diagrams</i>	Technology Architecture <i>Deployment Diagram</i>	Presentation Architecture	Control Structure	Rule Design
	DETAILED REPRESENTATIONS (Out-of-Context) <i>Sub-Contractor</i>	Data Definition	Program	Network Architecture	Security Architecture	Timing Definition	Rule Specification

Reprise de [Frankel et al. 2003] Bibliographie du Chapitre

Zachman Framework	Data (What)	Function (How)	Network (Where)	People (Who)	Time (When)	Motivation (Why)
Scope Model	Class, Package, Use Case	Activity, Use Case, Component		Activity	Activity	
Enterprise Model	Class	Use Case, Activity, State, Sequence, Communication		Use Case, Activity	Use Case, Activity	
System Model	Class, Package, Component	Use Case, Activity, State, Sequence, Communication	Deployment, Component	Class, Use Case, Sequence	Sequence, Communication, State	Class
Technology Model	Class, Package, Component	Use Case, Activity, Class, Sequence, Component	Component, Deployment	Sequence, Class	Sequence, Communication, State	Package, Class, Sequence, Communication
Detail Representation			Component, Deployment		State, Sequence	Sequence

Repris de [Jovanovid et al. 2006] Bibliographie du Chapitre 2

**Annexe 7. Coïncidence des technologies et approches organisationnelles entre le processus d'innovation et les processus individualisés**

Technologies	Processus d'Innovation	Processus d'Individualisés
<b>De conception</b>		Familles de produits Modularité
	Conception Assisté par Ordinateur Ingénierie Assistée par Ordinateur Simulation et Prototypage Rapide Intelligence Artificielle Bases de Données et Data-Mining Systèmes Experts Echange électronique de fichiers CAO Outils d'optimisation TRIZ	
<b>De Fabrication</b>	Systèmes automatisés de stockage et extraction  Contrôle de processus numérique ou télécommandé	
	Conception Assistée par Ordinateur/Fabrication Assistée par Ordinateur (CAO/FAO) Fabrication Rapide (Rapid Manufacturing) Commande Numérique Machines Outils Robots Systèmes Automatisés de Transfert Cellules Flexibles de Fabrication Systèmes Flexibles de Fabrication Fabrication Intégrée par Ordinateur (CIM) Production Intégrée par Ordinateur (CIP) Lasers pour le traitement des matériaux Usinage à Grande Vitesse Contrôleurs Logiques Programmables (PLC) Commande et l'acquisition des données de surveillance (SCADA) Logiciels basés sur les connaissances	
<b>De Coordination</b>	Prologiciel de Gestion Intégrée (ERP)  Systèmes de Gestion des Projets	Planeation des Processus Assisté par Ordinateur (CAPP) Management de la chaîne d'approvisionnement Modularisation de la chaîne d'approvisionnement QFD
	RFID Internet/Intranet/Extranet Electronic Data Exchange (EDI) et le Commerce électronique Local Area Networks (LANs) Planification des besoins en matières (MRP) Planification des ressources pour la fabrication (MRPII) Système de Gestion de données techniques (PDM/PLM) Qualité totale (TQM) Juste-en-temps (JIT) Six Sigma Lean Manufacturing	
<b>Approches Organisationnelles</b>		Systèmes mechatroniques intelligents
	Systèmes Holoniques de Fabrication Systèmes Multi-Agents Systèmes Intelligents de Fabrication Customer co-design	
<b>Cadres d'architecture</b>	CIMOSA	

### Bibliographie du Tableau :

- Dodgson, M., Gann, D.M., Salter, A.J. (2002), "The Intensification of Innovation", *International Journal of Innovation Management*, Vol. 6, No. 1, pp. 53-83.
- Dean, P.R., Tu, Y.L., Xue, D. (2009), « An information system for one-of-a-kind production », *International Journal of Production Research*, Volume 47, Issue 4, pp. 1071-1087.
- Czajkiewicz, Z., Sirinterlikci, A., Uslu, O. (2007), "Rapid manufacturing - The future of production systems", *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 14p.
- Haifeng Liu,; Youliang Huang,; Wee-Keong Ng,; Bin Song,; Xiang Li,; Wen-Feng Lu (2007), "Deriving configuration knowledge and evaluating product variants through intelligent techniques", *Information, Communications & Signal Processing, 2007 6th International Conference on*, 10-13 Dec. 2007 Page(s):1 – 5.
- Moon, S.K., Simpson, T.W., Kumara, S.R.T., (2007) "A process model and data mining to support designing families of services", *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, DETC2007, Volume 6 PART A, 2008, Pages 591-600.
- Hou, L., Lin, Z.-S., Zheng, T.-J. Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong (2008) "Expert system for Web-based FEA pre-processor", *Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, Volume 14, Issue 3, March 2008, Pages 499-505.
- Ninan, J.A., Siddique, Z. (2007) "Internet-based framework to support integration of the customer in the design of customizable products", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Volume 221, Issue 3, Pages 529-538.
- Bi, Z.M., Lang, S.Y.T. (2007) "Automated robotic programming for products with changes", *International Journal of Production Research*, Volume 45, Issue 9, Pages 2105-2118.
- Yiyuan, L., Jianwei, Y., Jinxiang D. (2006), "A component management system for mass customization", *First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, IMSCCS'06*, Volume 2, Article number 1633921, Pages 398-404.
- Badurdeen, F.F., Chadalavada, P.K. (2007), "Job scheduling in micicells for mass customization manufacturing", *IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings*, Pages 818-823.
- Xu, X., Fang, S., Gu, X., Xu, X. (2006), "An integrated manufacturing system for mass customization", *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, Volume 2, Article number 1714397, Pages 6782-6786
- Demirli, K., Yimer, A.D. (2008) "Fuzzy scheduling of a build-to-order supply chain", *International Journal of Production Research*, Volume 46, Issue 14, Pages 3931-3958.
- Delamore, P. (2007), "Case studies in digital textile printing", *Textile Forum*, Issue 3, Pages 30-31
- Bruccoleri, M. (2007), "Reconfigurable control of robotized manufacturing cells", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 23, Issue 1, Pages 94-106.
- Flordal, H., Spensieri, D., Åkesson, K., Fabian, M. (2004), "Supervision of multiple industrial robots optimal and collision free work cycles". *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications*, Volume 2, Pages 1404-1409.
- Felfernig, A., Friedrich, G., Jannach, D., Russ, C., Zanker, M. (2005), "Effective sales support using knowledge-based recommender systems", *Elektrotechnik und Informationstechnik*, Volume 122, Issue 7-8, Pages 238-242.
- Da Silveira, G., Borenstein, D., Fogliatto, F.S. (2001), Mass customization: Literature review and research directions, *International Journal of Production Economics*, Vol. 72, No. 1, pp. 1-13.
- Aydin, A.O., Güngör, A. (2005), "Effective relational database approach to represent bills-of-materials", *International Journal of Production Research*, Volume 43, Issue 6, Pages 1143-1170.
- Huang, K. (2008), "Study on product life-cycle genetic engineering theory", *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, DETC2007, Volume 4, Pages 963-968.
- Alsafi, Y., Vyatkin, V. (2008), "A deployment of an ontology-based reconfiguration agent for intelligent mechatronic systems", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Article number 4677040, Pages 1780-1785.
- Zobel, R., Filos, E. (2006), "Technology management with a global perspective: The case of IMS", *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, Volume 1, Article number 4077361, Pages xl-xliv.
- Pereira, C.M., Sousa, P. (2008), "Business process modelling through equivalence of activity properties", *ICEIS 2008 - Proceedings of the 10th International Conference on Enterprise Information Systems Volume 1 ISAS*, Pages 137-146.
- Segarra, G. (1999), "Advanced information technology innovation roadmap", *Computers in Industry*, Volume 40, Issue 2, Pages 185-195.

### Annexe 8. Analyse du métamodèle de CATIA et sa solution PLM SmarTeam

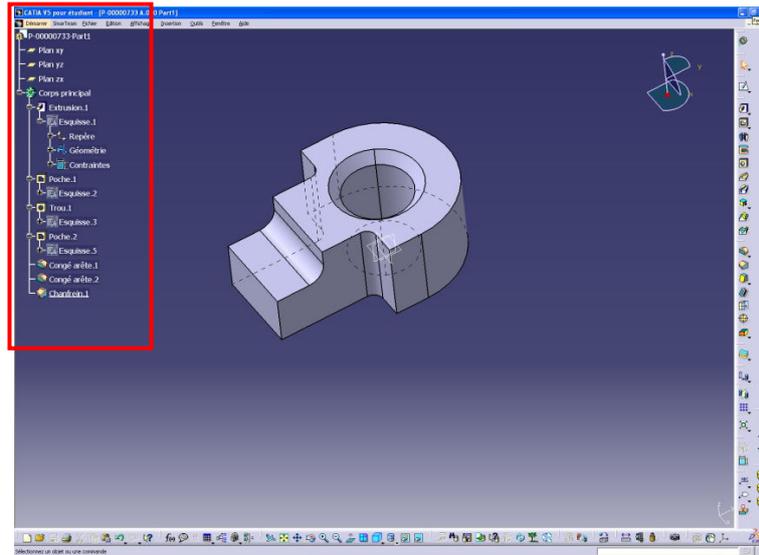
Nous avons étudié le méta-modèle de CATIA et SmarTeam pour la CAO afin de comprendre les capacités du méta-modèle de cette application PLM. Plus précisément, cette analyse a pour but de modéliser l'approche de gestion de données utilisée dans CATIA – SmarTeam dans le but d'utiliser l'approche PLM de SmaTeam – CATIA Integration pour organiser la gestion de documents, dessins, modèles, exigences client, etc. des pièces comme source d'inspiration pour le développement du meta-modèle du produit individualisé dans son utilisation en un système d'innovation centrée sur le produit.

Les logiciels :

- **CATIA V5R18.** CATIA est une suite intégrée d'applications logicielles qui englobe tous les aspects de la conception de produit, à savoir la CAO (conception assisté par ordinateur), l'IAO (ingénierie assistée par ordinateur) et la FAO (fabrication assisté par ordinateur), grâce à des fonctions permettant le support de tous les types de conceptions de produits collaboratives, ou favorisant l'intégration transparente requise pour le support intégral des processus de l'entreprise.
- **SmarTeam.** SmarTeam est un outil de gestion des documents et des dessins intégré, transparent et rapidement implémentable destiné aux utilisateurs de CATIA. Il permet aux utilisateurs de gérer des pièces, des produits et des dessins en leur fournissant des fonctions d'aide à la construction d'assemblages. SmarTeam, associé au système de gestion des données techniques CATIA Integration, a été conçu pour offrir tous les outils nécessaires pour créer, modifier, visualiser et contrôler les documents CATIA.

#### Principes du Modèle SmarTeam – CATIA Integration

CATIA permet d'avoir un historique en ordre chronologique de toutes les actions faites dans la conception d'une pièce (extrusion, poche, trou, etc.). L'historique capture à partir du moindre point, ligne droite, arc, etc. (figure).



**Figure A. Historique d'une pièce faite en CATIA (encadré rouge).**

Chaque changement de forme est décrit dans l'historique de la pièce. De la même façon, à chaque changement de forme peut correspondre des esquisses avec des repères, géométries ou contraintes établies. Chaque pièce peut être modélisée pour satisfaire les exigences de son utilisateur, soit une personne ou une autre pièce. Ce modèle a une correspondance le plus près possible de la forme réel de la pièce et peut être transmise à d'autres types des modèles, comme des dessins par exemple. Une modification sur le modèle de la pièce aura des impacts sur le dessin. Autrement dit, il existe une correspondance entre la représentation informationnel et physique (bien que virtuel) de la pièce.

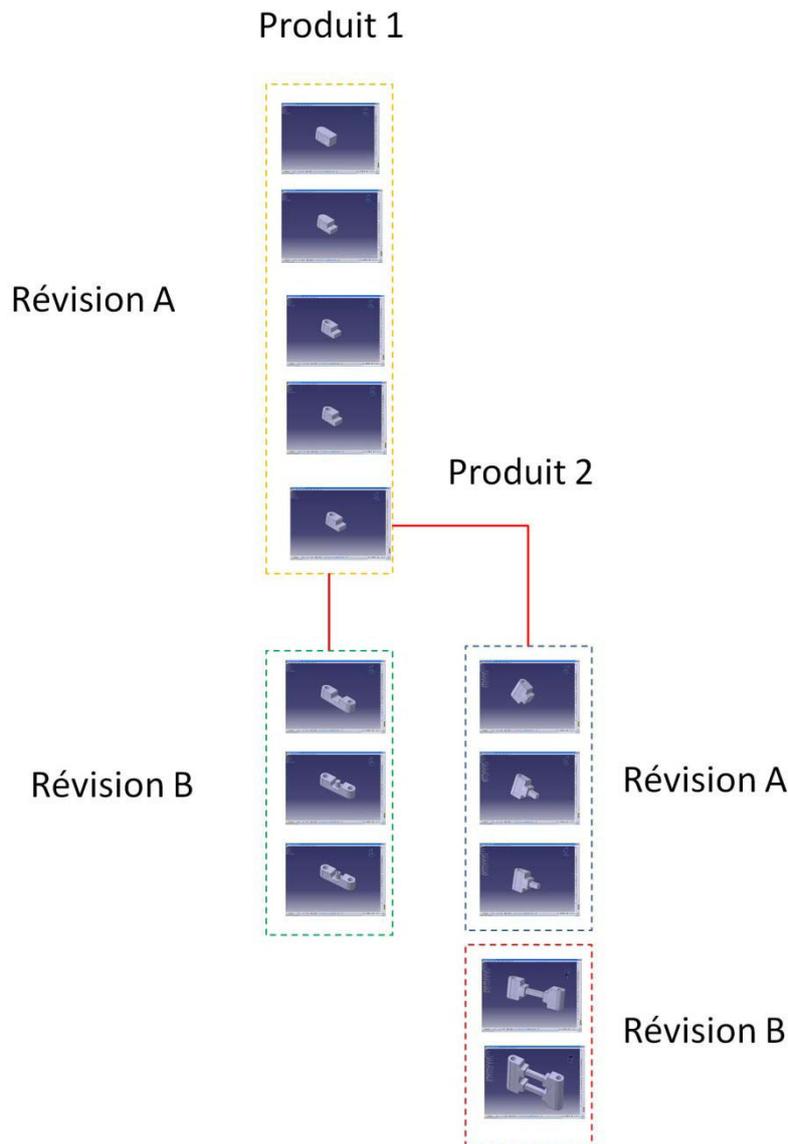
L'important de cette analyse de la conception de pièces mécaniques en CATIA est sa capacité à gérer les actions sur la conception de pièces avec un ordre chronologique sur chaque pièce individuelle. Cependant, une fois que la pièce a été sauvegardée, comment savoir la différence entre la modification des pièces à un moment ou à un autre ? Comment savoir si la pièce a été vérifié et validé pour sa fabrication ?

La gestion de données de cette approche ne correspond plus à CATIA, car la complexité qui peut générer a une autre dimension, celle de la gestion de données du produit PDM/PLM.

La gestion efficace des donnée techniques, si important pour la réussite de toute entreprise, est l'objectif principal des initiatives PLM. SmarTeam tente de créer un système de gestion pour favoriser la collaboration des membres du système entreprise pour définir leurs exigences en matière de conception du produit.

La structure SmarTeam organise toutes les données autour des projets afin de favoriser le parcours de données et la recherche de documents. Dans un projet donné, il est possible de créer des pièces, assemblages, assemblages avec des assemblages, utiliser des pièces existantes, etc. qui correspondent à ce seul projet.

La gestion des pièces, assemblages etc. est faite à travers d'un coffre fort électronique où seulement certains membres de l'équipe ont accès et où les modifications des pièces sont enregistrés tout en maintenant un historique. La figure montre l'évolution d'une pièce ou un produit à travers les révisions. En effet, il est possible de créer une autre pièce ou produit à partir d'une version où état ancien du produit (produit 2) Toutes les propriétés de cet état sont hérités par le nouveau produit et il peut continuer son évolution.



**Figure B. Evolution d'un produit et création d'un deuxième produit à partir du premier.**

L'objectif de cette analyse est d'assimiler la démarche de gestion de documents PLM de SmarTeam pour le modèle du produit individualisé. Ainsi, une démarche similaire pourrait être menée utilisant le modèle et cela permettrait de garder une traçabilité de tout le cycle de vie du produit et enregistrer son évolution depuis qu'il est une idée. Nous avons identifié deux cas différents dans l'évolution d'un produit. Le premier est celui de la divergence des idées au cours de l'évolution du produit dans les étapes amont du processus d'innovation (figure C). Ce cas peut générer la naissance des nouveaux produit à partir d'un seul produit

original Le deuxième cas est celui de la convergence d'idées pour la création d'un nouveau produit à partir de plusieurs produits qui peuvent l'inspirer (figure D).

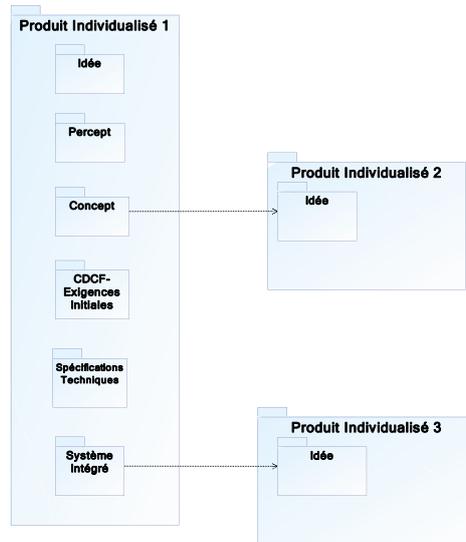


Figure C. Cas de divergence d'idées pour créer d'autres produits à partir d'une même idée.

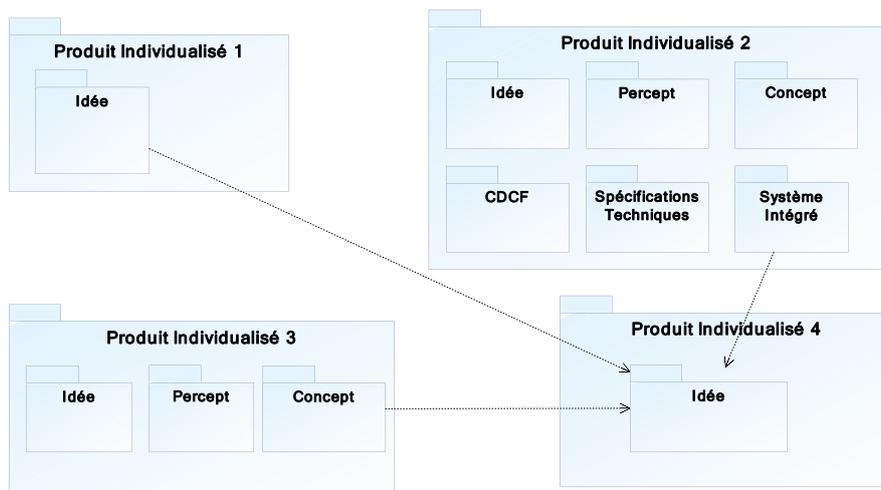


Figure D. Cas de convergence d'idées pour créer un nouveau produit à partir de plusieurs idées.