

THÈSE

Présentée pour obtenir le titre de :

Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

École doctorale :

Génie Électrique, Électronique, Télécommunications

Spécialité :

Conception de Circuits micro électroniques et micro systèmes

Par :

Citlalih Yollohtli Alejandra GUTIÉRREZ ESTRADA

Méthodes et Outils de la conception Système couplée à la Conduite de Projet

Soutenu le 6 février 2007, devant le jury :

Directrice de thèse :	Claude BARON Maître de conférences (INSA-LESIA),
Co-directeur :	Daniel ESTÈVE Directeur de recherche (CNRS-LAAS),
Rapporteurs :	Laurent GENESTE Michel ALDANONDO
Examineurs :	Anne-Marie GUÉ Jean-Yves FOURNIOLS
Invité :	Marc ZOLGHADRI

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma reconnaissance, à ma directrice de cette thèse, Madame Claude Baron (Maître de conférences à l'INSA de Toulouse), pour m'avoir fait confiance et pour le cadre de travail qu'elle m'a offert.

Mes plus sincères remerciements vont également à mon co-directeur de thèse, Monsieur Daniel Estève, Directeur de Recherche classe exceptionnelle, pour sa confiance et sa patience, recevez toute l'expression de ma reconnaissance pour son dynamisme et ses compétences scientifiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude. De plus, les conseils qu'il m'a divulgué tout au long de la rédaction, ont toujours été clairs et précis, me facilitant grandement la tâche et me permettant d'aboutir à la production de cette thèse.

Je remercie également Mme. Anne-Marie Gué de m'avoir permis de travailler la partie organisationnel et de planification du projet Robot BioPuce.

Je voudrais également remercier à Samuel Rochet et à Jean Verries, partenaires du projet, pour participer à la révision de certains éléments de cette thèse, pour ses conseils et ses avis.

Merci aussi à Hernán Duarte pour leur aide et les discussions durant toute la thèse.

La réalisation de cette thèse a été rendue possible grâce à une bourse du Gouvernement Mexicaine. Je remercie spécialement le CoSNET et à l'Instituto Tecnológico de Toluca, pour les conditions et permis de travail qui m'ont été offertes.

Cette thèse n'aurait pas pu s'écrire sans l'appui moral de mes amis et de mes collègues. Je les remercie à tous.

J'adresse un remerciement particulier à mon mari Sergio Díaz qui ma toujours encouragée et soutenue. Ce mémoire est l'aboutissement de longues années d'études... Je suis fière d'avoir toujours pu trouver en lui le soutien et l'encouragement liés à mes choix... et merci aussi pour notre petite Yaretzi, qui a arrivé dans un moment clé de nos vies, en me donnant plus de courage et d'enthousiasme. Je vous dédie ce mémoire.

Merci enfin à ma mère, mes sœurs, mon frère et ma grande mère, spécialement à la mémoire de mon père et mon grand père, pour tous ses merveilleux conseils et pour son amour, mais sur tout par sa présence qui va toujours me manquer... je vous aime.

Résumé :

Le travail que nous présentons dans ce document se situe dans le cadre de l'élaboration de méthodologies pour le développement des Systèmes. Plus particulièrement, nous proposons une méthode et des outils qui permettent le couplage de deux processus : la Conception de Produit et la Conduite de Projet. Pour la conception, nous présentons un processus qui va des exigences techniques jusqu'à l'élaboration d'un modèle logico-temporel et une représentation qui s'appuie d'abord sur le langage UML puis sur le formalisme HiLeS. Pour la conduite de projet, nous nous appuyons sur un processus classique de planification et nous développons l'idée de sélectionner les solutions optimales parmi des alternatives techniques issues du couplage du processus de conduite avec le processus de conception. L'aspect le plus innovant de ce travail se situe dans les méthodes et les outils que nous proposons pour réaliser ces échanges (tissage) : partitionnement, agrégation et projection.

Ces méthodes et outils sont illustrés sur un exemple d'application : la conception d'un Robot pour la fabrication de BioPuces. Cet exemple nous permet de confronter nos propositions avec la réalisation d'un projet et de montrer ainsi leurs avantages et leurs limitations. Ce travail ouvre la voie à une approche multiprocessus pour développer des systèmes conformément aux standards de l'Ingénierie Système.

Mots clefs : Processus, Conception de Produit, Conduite de Projet, Partitionnement, Projection, Tissage, Fonctions, Tâches.

Abstract:

The work that we present in this document is located in the framework of the formation of methodologies for the development Systems. More particularly, we propose a method and tools which allow coupling two processes: The Product Design and the Project Management. For the design, we present a process which goes from the technical requirements until the development of a logico-temporal model and a representation which is based initially on UML language then on the HiLeS formalism. For the project management, we are based on a traditional process of planning and we develop the idea to select the optimal solutions among technical alternatives resulting from the coupling of the management process with the product design. The more innovating aspect of this work is located in the methods and tools that we propose for realize these exchanges (weaving): partitioning, aggregation and projection.

These methods and tools are illustrated on an application example: the design of a Biochip Robot. This example enables us to confront our proposals with the realization of a project and show their advantages and their limitations. This work opens the way with an approach multiprocess to develop the systems in accordance with the standards of the system engineering.

Keywords: Process, Product Design, Project management, Partitioning, Projection, Weaving, Functions, Tasks

Table des matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1. Présentation de la Problématique et Définition du Projet ...	9
1.1 La mise en correspondance de notre approche sur l'ingénierie de Système et la Norme Standard EIA-632	9
1.2 Transformation des Modèles et Représentation de couplage de processus.....	11
1.3 Le Couplage : Conception Produit – Conduite de Projet	13
1.3.1 Le processus de la Conception de Produit.....	15
1.3.2 Couplage des processus de conception et de la représentation organique...	16
1.3.3 Le processus de Conduite de Projet.....	18
1.4 L'exemple Choisi : Conception et Réalisation d'un Système Automatisé de Dépôt Localisé pour la Fonctionnalisation des Puces à ADN.....	21
1.4.1 Présentation de l'Équipe Projet. Robot de Fabrication de BioPuces.....	21
1.5. Rappel sur L'ADN.....	22
1.5.1 Rappel sur les bases azotées de l'ADN.....	22
1.5.2 La Puce à ADN (BioPuce).....	24
1.5.3 Les Composants du Système Technique	26
1.5.3.1 Les Micro Éjecteurs	26
1.5.3.2 Le Système de Positionnement.....	28
1.5.4 Description Générale du Robot.....	28
1.6 Ce que l'on va faire : la stratégie d'une plateforme : "HiLeS/GESOS" avec la Base de Données partagée).....	31
1.7 Conclusions du Chapitre.....	34

Chapitre 2. Méthodes et Outils: Conception de Produit / Conduite de Projet.....	38
2.1 L'outil HiLeS.....	39
2.1.1 Le formalisme HiLeS.....	39
2.1.1.1 Modélisation fonctionnelle HiLeS.....	41
2.1.1.2 Modélisation organique HiLeS : HiLeS Architect.....	41
2.1.1.3. Les autres outils associés à HiLeS.....	42
2.2. La formalisation des exigences guidée par la notion UML/SysML	43
2.2.1 Les diagrammes d'UML	45
2.2.2 La Modélisation amont dans le formalisme HiLeS	50
2.3 Le rôle de L'outil TINA via HiLeS.....	51
2.4 Le couplage au Simulateur VHDL-AMS.....	52
2.5 De HiLeS à GESOS : les outils de couplage conception/planification.....	53
2.5 .1 L'approche Taguchi dans la conduite de Projet.....	55
2.6 Conclusions du chapitre.....	58

Chapitre 3. Méthodologie de Partitionnement Par Tissage :	
Fonctionnel / Organique	61
3.1 Les éléments du tissage : Conception / Conduite.....	62
3.2 Fiches et Base de Données.....	66
3.3 La Démarche de Partitionnement.....	71
3.3.1 Décomposition Fonctionnelle et l'Agrégation de fonctions.....	73
3.3.2 De la décomposition organique aux modules structuro-fonctionnels.....	75
3.3.3 Modélisation Organique	77
3.4 Le Processus de Projection.....	78
3.5 Pré Planification et Pré Tâches	81
3.5.1 Tâches et Modélisation WBS.....	83
3.5.2 Réalisation du Graphe du Projet	86
3.5.3 Génération et Sélection de Scénarios avec l'outil GESOS.....	87
3.5.4 Appel d'offres.....	89
3.6 Conclusions du Chapitre.....	90

Chapitre 4. Application de la Modélisation du Robot de Fabrication de Biopuces.....	93
4.1 Introduction.....	93
4.2 Extraction des Exigences.....	93
4.2.1 Cahier des Charges du Robot de Fabrication de BioPuces.....	94
4.2.2 La technologie centrale : les Micro éjecteurs matriciels.....	94
4.2.3 Les fonctions attendues du système.....	94
4.2.4 Liste de contraintes fonctionnelles et temporelles.....	95
4.3 Modélisation avec UML : Formalisation des spécifications	96
4.4 La Démarche de Conception effectué sur le Robot de Fabrication de BioPuces..	103
4.4.1 Modélisation Fonctionnelle.....	103
4.4.1.1 L'agrégation de Fonctions.....	106
4.4.2 Modélisation Organique du Système	109
4.4.3 Processus de Tissage effectué sur le Robot BioPuce.....	112
4.4.4 Les sorties attendues de la plateforme HiLeS	115
4.5 La Démarche de Conduite effectué sur le Robot de Fabrication de BioPuces.....	117
4.5.1 Définition des Tâches	117
4.6 La Pré Planification du travail à effectuer pour le Robot BioPuce.....	123
4.6.1 Réalisation du Graphe du Projet.....	124
4.6.2 Alternatives de réalisation et génération des Scénarios du Projet	125
4.6.3 Les entrées d'une proposition de pré planification.....	126
4.7 L'étape de Planification du Projet : Robot BioPuce.....	127
4.7.1 Sélection GESOS.....	128
4.8 Conclusions du Chapitre.....	129
 Chapitre 5. Conclusions et Perspectives Générales.....	 131
 Glossaire.....	 138
 Bibliographie.....	 155

Annexe A.....	161
Annexe B.....	166

Liste des figures

FIGURE 0-1	Les processus de l'EIA-632 et nos domaines d'intérêt	3
FIGURE 0-2	Exigences de la conception système ANSI/EIA-632 ([Jam 98]) et nos domaines d'intérêt	4
FIGURE 1-1	Représentation thématique de la transformation de modèles	12
FIGURE 1-2	Transformations de Modèles et processus couplés	12
FIGURE 1-3	Représentation du concept de modèle Partagé	13
FIGURE 1-4	Cycle en V de la conception-vérification	15
FIGURE 1-5	Complémentarité de deux représentations en "V" et en "Y"	16
FIGURE 1-6	Détails d'un couplage en "Y" couplant la description organique et le Processus de conception	17
FIGURE 1-7	Démarche de la Conduite de projet	19
FIGURE 1-8	Molécules de l'ADN	22
FIGURE 1-9	Structure en forme de double hélice de l'ADN	23
FIGURE 1-10	Réplication de l'ADN	23
FIGURE 1-11	Schéma de une Puce à ADN	24
FIGURE 1-12	Domaines d'application de la BioPuce	26
FIGURE 1-13	Micro Éjecteurs Matriciels	26
FIGURE 1-14	Séquence de dépôt	27
FIGURE 1-15	Séquence pour l'analyse de la Puce à ADN	27
FIGURE 1-16	Positionnement des matrices d'éjection et de la Puce	28
FIGURE 1-17	Simulation 3D du dispositif du robot	30
FIGURE 1-18	Contrôleur du banc de positionnement Newport	30
FIGURE 1-19	Matériel mis en oeuvre	30
FIGURE 1-20	Interface utilisateur du logiciel de commande	31
FIGURE 1-21	Plateforme commune HiLeS-GESOS	34
FIGURE 1-22	Diagramme général des étapes de la méthodologie	35
FIGURE 2-1	Les éléments de base du formalisme HiLeS et son modèle de commande par réseaux de Petri	40
FIGURE 2-2	Les signaux sur HiLeS	40
FIGURE 2-3	Exemple de Modélisation Fonctionnelle HiLeS	40

FIGURE 2-4	La décomposition fonctionnelle par niveaux dans HiLeS	41
FIGURE 2-5	Domaines de compétence des différents outils	42
FIGURE 2-6	Application du formalisme UML pour l'analyse du cahier des charges	45
FIGURE 2-7	Représentation d'un diagramme de contexte	46
FIGURE 2-8	Diagramme des cas d'utilisation	47
FIGURE 2-9	Les ressources du modèle de cas d'utilisation	48
FIGURE 2-10	Représentation du virage vers l'objet après une étude de cas d'utilisation	48
FIGURE 2-11	Correspondance entre les formalismes UML et HiLeS	50
FIGURE 2-12	Alternatives de réalisation du projet à partir de ses différentes étapes	53
FIGURE 2-13	Principe de fonctionnement de l'algorithme génétique	54
FIGURE 2-14	Conception Architecturale HiLeS	54
FIGURE 2-15	Fonction de qualité classique	55
FIGURE 2-16	Fonction de perte de qualité de G. Taguchi	56
FIGURE 2-17	Exemple de suppression de tâches inactives	57
FIGURE 2-18	Correspondance entre la norme EIA-632 et notre méthodologie	59
FIGURE 3-1	Construction d'une application avec la programmation par aspects	62
FIGURE 3-2	Tissage conception / conduite	66
FIGURE 3-3	Structure de la base de données	67
FIGURE 3-4	Structure d'échange de documents HiLeS - GESOS	68
FIGURE 3-5	Mode de description des modèles HiLeS sur le langage XML	69
FIGURE 3-6	Description des modèles dans GESOS avec XML	70
FIGURE 3-7	Passage des spécifications jusqu'au prototypage virtuel	72
FIGURE 3-8	Étapes du partitionnement avec la plateforme HiLeS	73
FIGURE 3-9	Description Fonctionnelle HiLeS	74
FIGURE 3-10	L'agrégation dans HiLeS	75
FIGURE 3-11	Agrégation dans HiLeS à différents niveaux de conception	75
FIGURE 3-12	Obtention de la matrice de regroupement de fonctions	76
FIGURE 3-13	Décomposition organique du système	78
FIGURE 3-14	Processus de projection	79
FIGURE 3-15	Représentation architecturale modulaire du système	82
FIGURE 3-16	Passage des modules aux tâches	84
FIGURE 3-17	Tâches de la démarche de conduite	85
FIGURE 3-18	Organisation hiérarchique des Tâches avec la méthode WBS	85
FIGURE 3-19	Exemple d'un graphe de projet avec GANTT associé	87
FIGURE 3-20	Alternatives de réalisation du projet	89
FIGURE 4-1	Diagramme de contexte du projet robot de fabrication de BioPuces	96
FIGURE 4-2	Diagramme de Cas d'utilisation	97
FIGURE 4-3	Diagramme d'activités du fonctionnement du robot BioPuces	99

FIGURE 4-4	Représentation d'un diagramme de Classes du Robot BioPuces	100
FIGURE 4-5	Diagramme de séquences du scénario <i>configurer système</i>	100
FIGURE 4-6	Diagramme de séquences <i>contrôler le dépôt</i>	101
FIGURE 4-7	Diagramme de séquences <i>contrôler le dépôt</i> cont	101
FIGURE 4-8	Diagrammes de collaboration entre classes et services du Robot BioPuce	102
FIGURE 4-9	Description du système et son environnement niveau 0 de décomposition fait sur HiLeS	103
FIGURE 4-10	Description selon HiLeS du système au niveau 1, fonctions principales du système	104
FIGURE 4-11	Exemple de modélisation HiLeS : Bloc "contrôler dépôt"	105
FIGURE 4-12	Représentation arborescente du projet BioPuce du niveau 0 à 3	105
FIGURE 4-13	Mise en œuvre du processus d'agrégation dans la Représentation Fonctionnelle	107
FIGURE 4-14	Représentation fonctionnelle agrégée du projet Robot BioPuce	108
FIGURE 4-15	Modélisation du système BioPuce en organes	109
FIGURE 4-16	Résultat de la modélisation organique du système	111
FIGURE 4-17	Exemple du processus de projection	112
FIGURE 4-18	Ordonnancement de Modules Structuro-Fonctionnelle	113
FIGURE 4-19	Phases pour la définition des Tâches	116
FIGURE 4-20	Phases pour la définition des Tâches	117
FIGURE 4-21	Graphe du robot de fabrication de BioPuces	122
FIGURE 4-22	Diagramme de GANTT pour le Robot de BioPuces	123
FIGURE 4-23	Génération de scénarios à partir des alternatives des tâches	124
FIGURE 4-24	Données proportionnées par GESOS	124
FIGURE 4-25	Graphe actualisé après la réponse fournisseurs du robot de fabrication de BioPuces	126
FIGURE 4-26	Choix pour la réalisation des scénarios	126
FIGURE 5-1	Proposition de l'architecture de la base de données	132

Liste des tableaux

TABLEAU 3-1	Liste récapitulative de l'information provenant de la plateforme HiLeS	90
TABLEAU 4-1	Description narrative des cas d'utilisation	98
TABLEAU 4-2	Les 4 niveaux de conception HiLeS du robot : vue complète sous forme de tableau	106
TABLEAU 4-3	Tableau récapitulatif de la modélisation organique	110
TABLEAU 4-4	Identification des Modules Structuro-Fonctionnels	113
TABLEAU 4-5	Tableau récapitulatif de l'information provenant de la plateforme HiLeS	114
TABLEAU 4-6	Tableau synthétisé pour l'indentification des Tâches	117
TABLEAU 4-7	Liste complète des Tâches à réaliser pour le projet du robot	118
TABLEAU 4-8	Assignation des participants et durée des tâches	121
TABLEAU 4-9	Assignation des participants et durée des tâches	122
TABLEAU 4-10	Tableau avec l'information provenant de l'appel d'offres	125

Introduction Générale

La possibilité de combiner des technologies de plus en plus diverses et l'exigence d'élaborer des systèmes très performants, sûrs de fonctionnement et fiables, amènent à concevoir des systèmes de plus en plus complexes en des temps raccourcis sans accepter de diminuer la qualité résultante. Cette évolution entraîne un approfondissement et une rénovation des processus de développement *Systeme*, afin d'obtenir une contribution plus riche et mieux organisée de toutes les informations disponibles et de donner une réponse optimale aux exigences définies en termes de contraintes temporelles et économiques, de sécurité et de qualité.

Partant de cette analyse des besoins, nous voulons explorer la voie d'une méthodologie qui permettrait de créer une plateforme de données communes fondée sur une modélisation partagée et de faire interagir plusieurs processus dont : *la conception de produit* et *la conduite de projet*.

Dans la pratique actuelle, ces deux processus sont développés de manière indépendante et chacun dispose d'outils et de méthodes propres. La *Conception Systeme* ne considère pas la conduite de projet qui reste centrée sur la seule gestion des activités. Par contre, elle considère en détails les contraintes et les exigences fonctionnelles pour la création du système. Pour expliciter ces points, ce mémoire fera un bref rappel sur ces deux processus.

Les motivations pratiques de notre travail tiennent aux considérations suivantes :

1. la conduite de projet dépend de la conception du produit en ce que les choix technologiques sont multiples et les décisions qui y sont associées dépendent d'exigences et de performances techniques... Il faut donc chercher une optimisation d'un scénario et d'une planification qui tienne compte des options technologiques.
2. la conception de produit est dépendante des exigences du marché... Pour l'exprimer, nous utilisons dans ce travail la définition d'un objectif "cible" et d'une fonction de perte selon Taguchi [SBY 88] : il faut atteindre la cible "exactement". Faire un produit trop performant va engendrer des dépenses inutiles au fabricant. Faire un produit de moindre qualité va engendrer de dépenses de service après-vente... il faut donc savoir identifier et exprimer les bonnes exigences du marché et demander au concepteur de s'assurer que ces

exigences sont bien appliquées dans la conception par une organisation du suivi de ces exigences et un travail de traçabilité.

Notre travail concerne surtout le point 1 des motivations ci-dessus, même si l'on trouve des éléments du point 2 dans la démarche descendante que nous recommandons pour la conception.

Ce travail de thèse propose une démarche de rapprochement des deux processus de la façon suivante : dans la démarche de *Conception de Produit*, on réalise la décomposition du système en fonctions opérationnelles en partant de ses spécifications jusqu'à générer un modèle physique virtuel, qui simule le comportement réel du système. Dans la *Conduite de Projet* on recherche une décomposition en tâches du même système. **Notre idée est de faire le pont entre ces deux processus, en partant des fonctions définies lors de la conception, de les intégrer dans une architecture organique du système pour en extraire des "modules structuro-fonctionnels" (on parle des building blocs dans l'EIA-632), sur la base desquels on va générer les tâches à effectuer, les organiser et les planifier, définissant ainsi le processus de conduite de projet.**

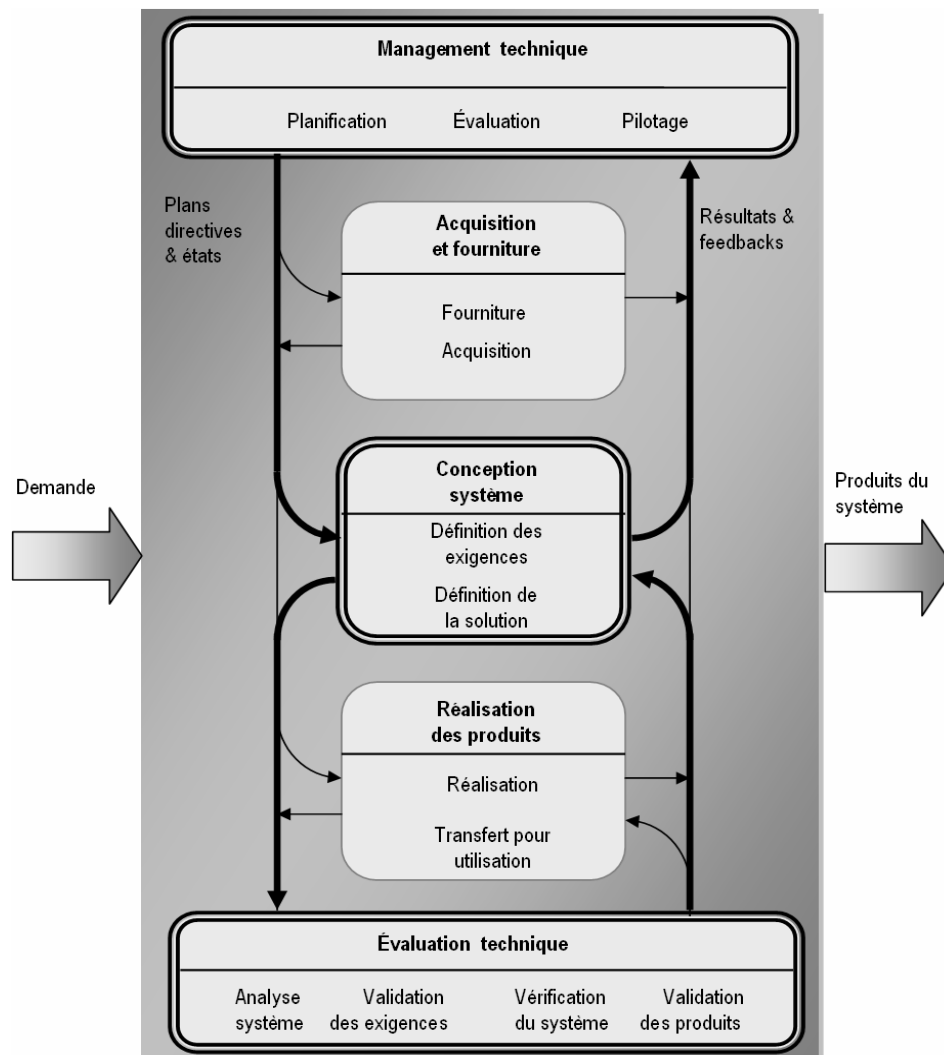


FIGURE 0-1. Les processus de l'EIA-632 et nos domaines d'intérêt

Dans le standard EIA-632, le processus général de développement associe cinq grands processus : Management techniques, acquisition et fourniture, conception système, réalisation de produits et évaluation technique. Cette décomposition est montrée sur la figure 0-1.

Ce processus général de développement est ensuite décliné en 33 “exigences” (tâches nécessaires pour réaliser un bon processus de développement) précisées par la figure 0-2. On peut voir, à la lecture de ce standard, qu’il est déjà recommandé d’établir un pont entre le processus “management” et le processus “conception” comme d’ailleurs entre tous les processus. Si l’on se réfère aux exigences sollicitées, nous considérons plus particulièrement l’exigence 6 (Schedule and Organisation) du processus de management et les exigences 16, 17, 18 et 19 du processus de conception système (system design), pour établir le pont entre les 2 processus considérés dans ce mémoire. L’exigence 6 (Risk Analysis) et les exigences 25, 26, 27, 28 et 29 qui appartient aux conditions de validation et aux conditions du procès (Requirements validation process requirements) on été aussi considérés dans le même projet de recherche mais spécifiés dans un travail effectué par nos collègues du LAAS-CNRS [VeJ 06] [Cha 06].

SUPPLY PROCESS REQUIREMENTS 1—Product Supply ACQUISITION PROCESS REQUIREMENTS 2—Product Acquisition 3—Supplier Performance PLANNING PROCESS REQUIREMENTS 4—Process Implementation Strategy 5—Technical Effort Definition 6—Schedule and Organization 7—Technical Plans 8—Work Directives ASSESSMENT PROCESS REQUIREMENTS 9—Progress Against Plans and Schedules 10—Progress Against Requirements 11—Technical Reviews CONTROL PROCESS REQUIREMENTS 12—Outcomes Management 13—Information Dissemination	REQUIREMENTS DEFINITION PROCESS REQUIREMENTS 14—Acquirer Requirements 15—Other Stakeholder Requirements 16—System Technical Requirements SOLUTION DEFINITION PROCESS REQUIREMENTS 17—Logical Solution Representations 18—Physical Solution Representations 19—Specified Requirements IMPLEMENTATION PROCESS REQUIREMENTS 20—Implementation TRANSITION TO USE PROCESS REQUIREMENTS 21—Transition to Use SYSTEMS ANALYSIS PROCESS REQUIREMENTS 22—Effectiveness Analysis 23—Tradeoff Analysis 24—Risk Analysis	REQUIREMENTS VALIDATION PROCESS REQUIREMENTS 25—Requirement Statements --- Validation --- 26—Acquirer Requirements Validation 27—Other Stakeholder Requirements Validation 28—System Technical Requirements Validation 29—Logical Solution Representations Validation SYSTEM VERIFICATION PROCESS REQUIREMENTS 30—Design Solution Verification 31—End Product Verification 32—Enabling Product Readiness END PRODUCTS VALIDATION PROCESS REQUIREMENTS 33—End Products Validation
--	--	---

FIGURE 0-2. Exigences de la conception système ANSI/EIA-632 ([Jam 98]) et nos domaines d’intérêt

Si ces recommandations de l’EIA-632 sont très structurantes pour la conduite d’un projet, elles ne préconisent aucune méthode ni aucun outil.

A nous donc de proposer ces méthodes et ces outils, en restant dans le cadre de ces grandes recommandations de référence.

Le travail présenté dans ce mémoire résulte d'une collaboration entre deux laboratoires Toulousains, le LESIA de l'INSA et le LAAS du CNRS. En effet, pour mettre en œuvre cette stratégie, nous nous appuyons sur une méthode descendante de conception technique proposée par le LAAS. Elle consiste à partir du cahier des charges et à rechercher une représentation fonctionnelle, en procédant, pas à pas, par des diagrammes UML/SysML¹ successifs.

Cette représentation fonctionnelle d'abord structurelle va progressivement s'enrichir par l'écriture des lois de commande. Cela conduit à une représentation logico-temporelle dite HiLeS, faite de Blocs fonctionnels et structuraux et de réseaux de Petri... **c'est à ce stade de la modélisation système que nous projetons de "lancer un pont" vers la conduite de projet par une procédure spécifique dont les étapes sont** : agrégation de fonctions, définition de modules structuro-fonctionnels, définition de fournitures, définition de tâches, planification... l'intérêt de lancer un pont à ce stade est que la modélisation logico-temporelle peut être préalablement vérifiée par l'outil TINA intégré dans HiLeS.

Le découpage, tel que nous le préconisons, est donc d'abord fonctionnel, ensuite "logiciel et matériel". À partir des spécifications, il aboutit à une modélisation de haut niveau, sous la forme d'une architecture composée d'éléments spécialisés ou généraux, dont on va pouvoir contrôler la qualité de conception architecturale. Il faut être sûr que les spécifications initiales décrivent bien la fonctionnalité globale souhaitée, puis il faut vérifier que les différentes étapes de raffinement et de matérialisation vont préserver cette fonctionnalité du système. Finalement, il faut vérifier que les activités simulées de ce comportement et de cette fonctionnalité satisfont les exigences et les contraintes initiales.

L'autre composante de notre procédure est celle de **générer des scénarios multiples de réalisation à partir des modules structuro-fonctionnels** grâce à des considérations technologiques, des changements de fournisseurs, des variations de moyens technique et humain, etc. Notre ambition terminale sera d'appliquer une méthode de sélection des meilleurs scénarios avec un critère de sélection de type Taguchi que nous avons déjà évoqué plus tôt dans ce document. C'est l'application de la méthode GESOS développée au LESIA.

Pour présenter ce travail, nous allons d'abord considérer nos choix méthodologiques : on en trouvera les principes détaillés au chapitre 2. Ces principes vont ensuite être expérimentés sur un projet précis de système : **un robot de fabrication de biopuces**. Nous bénéficions ici de l'existence d'un projet parallèle conduit par le LAAS pour valoriser un procédé nouveau de fabrication de biopuces. Nous y avons obtenu tous les éléments utiles à notre illustration : ce "produit robotique" est intéressant comme exemple, car il est le résultat de la combinaison de fonctions électroniques et de fonctions mécaniques, informatiques, pneumatiques, hydrauliques, reliées dans un cahier des charges où s'associent le point de vue technique mais aussi les moyens humains et matériels affectés au

¹ SysML est un langage de modélisation graphique généraliste pour spécifier, analyser, concevoir et vérifier des systèmes complexes qui peuvent inclure du matériel, du logiciel, des informations, des personnes, des procédures... En particulier, le langage fournit des représentations graphiques avec une fondation sémantique pour modéliser des exigences système, des comportements, des structures, et l'intégration avec un large éventail d'outils d'analyse et d'ingénierie.

SysML est un sous-ensemble de UML 2.0 auquel on a rajouté des extensions pour satisfaire aux exigences de UML for Systems Engineering.

projet. Cet exemple illustre bien la complexité qu'implique la description et l'optimisation de la conception générale d'un produit, si l'on veut mettre en relation les informations relatives à sa conception et celles associées à l'organisation : l'enjeu est de permettre au chef de projet de connaître au plus tôt les contraintes et de prendre les meilleures décisions pour créer un système performant mais également fiable et compétitif.

À long terme, nous avons comme but, de contribuer à la formalisation et au développement d'une **plateforme commune qui concrétise les recommandations de l'EIA-632**. Nous voyons a priori, cette plateforme comme **une base de modèles et d'informations partagés** créée à partir des besoins des processus et de leur couplage. Sur la base de cette idée nous tenterons de proposer des options pratiques qui vont permettre de créer un pont entre les deux outils HiLeS et GESOS. En effet,

- du côté de la *conception*, on travaillera avec la plateforme **HiLeS**, qui permet d'effectuer une description fonctionnelle logique d'un système selon une démarche descendante en deux étapes :
 - une conception de haut niveau qui est une représentation fonctionnelle du système hors choix des technologies, hors décision de réutilisation (reuse),
 - puis une étude du **prototypage virtuel** pour vérifier et valider la fonctionnalité réelle du système une fois faits les choix technologiques.
- du côté de la *conduite*, le chef de projet disposera de l'information sur les fonctions à réaliser et sur les moyens disponibles pour réaliser le système. A l'aide de l'outil **GESOS**, il pourra effectuer la planification et l'évaluation technico-économique en fonction des tâches à réaliser et des fournisseurs potentiels. Ce travail visera à définir une "poignée" de scénarios les plus pertinents à partir desquels il fera le choix terminal et son optimisation.

Le travail que nous avons effectué a bénéficié ainsi de travaux antérieurs sur les outils HiLeS et GESOS que nous rappellerons dans le chapitre 2. Nos contributions plus personnelles sont décrites dans les chapitres 3 et 4.

Cette problématique est venue tout naturellement à la suite d'un premier travail sur la conception en collaboration avec la société Airbus où, à l'évidence, il était apparu qu'une part des décisions techniques dépendaient des options privilégiées par la conduite de projet. Cependant, cette mise en relation de la conception de produit et de la conduite de projet devra, à terme, pouvoir s'enrichir d'autres processus, comme par exemple :

- une stratégie de réutilisation des composants pour assurer la qualité de conception sans dépenser plus que nécessaire,
- un processus de retour d'expériences afin de pérenniser les connaissances acquises et gagner ainsi du temps de conception,
- des outils de simulation pour pronostiquer à l'avance des risques de conception et faire des évaluations précoces,
- etc.

Dans son ensemble, la méthodologie que nous avançons s'efforce d'être conforme aux recommandations de l'OMG² pour une ingénierie guidée par les modèles :

1. Les méthodes propres de la conception de produit et de la conduite de projet seront constituées de **transformations de modèles multiples enchaînés**. Cette organisation permet d'explicitier l'enrichissement que l'on attend à chaque étape et l'effort de vérification qui doit leur être associé.
2. La méthode de **couplage en "Y" des processus**. C'est ici le cœur de notre apport sur le couplage des processus :
 - Couplage "Y" entre processus de conception fonctionnelle et conception architecturale,
 - Couplage "Y" entre les deux processus précédents et le processus de conduite de projet.

Pour illustrer nos propositions, nous avons pris un exemple "produit-système" choisi en robotique. Ce robot vise la réalisation d'un microsystème de dépôt localisé pour la synthèse de l'ADN in situ sur les biopuces. Il s'agit du projet BioPuce en cours de développement au LAAS dont nous donnons les spécifications au chapitre 1.

Notre mémoire s'articule en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons la problématique à laquelle nous avons fait face : couplage entre le processus de Conception Produit et la Conduite de Projet. Nous détaillons ensuite l'exemple pratique choisi pour valider nos contributions méthodologiques. Nous introduisons enfin l'idée de couplage des outils HiLeS/GESOS en une plateforme de développement.

Dans le second chapitre, nous détaillons la méthodologie que nous proposons. À ce stade, nous effectuons une analyse précise du rôle de l'organisation d'une plateforme et présentons les outils impliqués dans les démarches de conception (analyse fonctionnelle et analyse organique). Nous indiquerons comment sont intégrées ces deux approches pour aboutir à une véritable coordination entre les aspects conceptuels, les tâches et les moyens propres à la conduite, selon une démarche en "Y" : nous proposerons de fusionner le modèle d'architecture organique du système et les fonctions pour déterminer les tâches à réaliser.

Le troisième chapitre est consacré à décrire la façon de résoudre la question du couplage en Y des deux processus de modélisation fonctionnelle et de modélisation organique (on parle aussi de "tissage"). Nous proposons une **méthodologie de partitionnement**, une étape de projection, qui consiste en intégrer l'information aboutie de l'analyse fonctionnelle (fonctions) à celle de

² L'OMG (Object Management Group) est un organisme de normalisation international non lucratif qui a pour mission la standardisation des technologies objets pour une meilleure interopérabilité des solutions logicielles. Il regroupe plus de 1000 membres, entre : éditeurs de logiciels (comme SOFTTEAM, Oracle, Microsoft, ...), constructeurs (SUN, IBM, ...), ou utilisateurs (France Télécom, AT&T, ...).

On doit à l'OMG un certain nombre de standards objets dont les plus connus sont : Corba : bus pour la constitution d'applications d'objets distribués, ODMG : persistance des objets sur bases de données objets, UML : méthode d'analyse et conception objet.

Pour le futur, outre les évolutions des normes existantes, nous pouvons citer l'élaboration actuelle du modèle de programmation MDA : Model Driven Architecture.

l'analyse organique (produits) pour définir une représentation en **modules structuro-fonctionnels**. Ces modules vont, plus tard, devenir des tâches avec différentes variantes de réalisation. Ces tâches donnent une vue de ce qu'il faudra considérer pour la planification du projet.

Le quatrième chapitre est consacré à la mise en œuvre de cette démarche dans l'exemple du robot biopuce.

Enfin, le cinquième chapitre est consacré aux conclusions et perspectives. Nous y décrivons les évolutions nouvelles qu'il faut envisager à long terme pour ce travail de recherche.

Chapitre 1. Présentation de la problématique et définition du Projet

Ce chapitre est consacré, dans les premiers paragraphes, à définir quelques concepts et puis à présenter notre problématique de couplage entre le processus de conception et la conduite de projet

Nous ferons d’abord quelques rappels sur l’ingénierie guidée par les modèles. Nous nous référons en effet, à cette approche recommandée par l’OMG (MDA Model Driven Architecture [Kad 05]) pour la description des processus considérés comme une succession de **transformation de modèles**. Notre méthode se rattache aussi au **couplage en “Y”** entre 2 processus.

Un point important de ce chapitre est consacré à la présentation des spécifications et de l’exemple d’application sur lequel nous avons choisi d’expérimenter nos propositions méthodologiques : il s’agit d’un **projet de robot de fabrication de BioPuces**.

Nous introduisons enfin l’idée d’une **plateforme couplant les outils HiLeS et GESOS définissant les contenus d’une base de données partagée** que nous souhaitons voir techniquement définie et mise en œuvre à plus long terme.

1.1 La mise en correspondance de notre approche sur l’ingénierie de Système et la Norme Standard EIA-632

Selon l’AFIS (Association Française d’Ingénierie Système) [AFIS06], un **système** est décrit comme “un ensemble d’éléments en interaction entre eux et avec l’environnement, intégré pour rendre à son environnement les services correspondants à sa finalité”. Un système présente donc des propriétés d’ensembles résultant des interactions entre ses constituants : si l’on intègre des éléments pour faire un système, c’est bien pour bénéficier des effets de synergie résultant de leurs interactions.

Pour METRATECH (METHodes TRANSferts TECHnologies) [Met 06], un *système* est une entité identifiable, vu comme “un ensemble d’actions attendues pour satisfaire des besoins d’utilisateurs et entre parties prenantes, et un ensemble de composants réalisant les actions élémentaires nécessaires pour répondre à ces fonctions”. Un système désigne donc la combinaison entre deux logiques :

- une vision globale basée sur une approche systémique : visant l’élaboration de différents modèles du système, selon des objectifs d’analyse et d’action, et mettant en évidence des propriétés émergentes ;
- une vision descriptive basée sur une approche analytique et cartésienne : invitant à procéder par décompositions hiérarchiques pour mettre en évidence des propriétés non émergentes.

Pour nous, dans ces considérations générales, trois points de vue sont importants à distinguer :

- un point de vue organique,
- un point de vue fonctionnel,
- un point de vue global système.

Ces points de vue sont parfaitement identifiés dans les recommandations proposées pour le développement de Systèmes. Ces recommandations sont là pour faciliter la coordination entre tous les acteurs. Elles sont des normes générales décrivant les processus de l’Ingénierie Système, qui définissent tous les types d’activité à réaliser pour atteindre un bon résultat produit. La norme standard EIA-632 [Jam 98] nous semble la plus complète dans le champ de notre intérêt (en comparaison à autres comme la Norme IEEE 1220 [IEE 98] et la Norme ISO 15288). Elle prend en compte les processus techniques de définition du système en couvrant la réalisation des produits jusqu’à leur mise en service (transfert vers l’utilisation) ; de plus, elle incorpore les processus contractuels d’acquisition et de fourniture.

Sur la figure 0-1, les processus techniques et processus contractuels qui nous concernent sont encadrés :

- par le **processus de conception**, au moins dans les exigences du cahier des charges et les étapes de solution logique et de solution physique,
- par les **processus de management** selon leur forme traditionnelle avec les trois sous-processus de planification, d’évaluation et de pilotage,
- et par le **processus d’évaluation** des résultats des activités et **processus de vérification** vérifiant que l’activité a été bien faite et le processus de **validation** vérifiant que le résultat répond aux besoins spécifiés, les deux justifiant de la conformité par le processus d’**analyse système** justifiant des choix réalisés tout au long de la définition et donc de l’optimisation du système.

Notre approche, dans les paragraphes qui suivent, souhaite être conforme aux recommandations de l’EIA-632. Toutefois, il faut considérer que cette norme ne donne aucune indication sur les méthodes ni sur les outils. Il faut donc s’en remettre aux recommandations complémentaires de l’OMG (MDA).

Sur cette base, notre parti-pris est :

1. de s'appuyer le plus possible sur la transformation de modèles qui tente d'ouvrir une brèche dans les besoins d'une communication plus aisée entre les différents langages et concepts du développement système ;
2. de répondre à la recommandation d'une vision multi processus interconnectés. Notre principale idée est d'exploiter davantage les **couplages en Y**, de trois processus : 2 processus qui se complètent (à gauche et à droite) et un processus (en bas) bénéficiant de l'intégration de ces deux processus, par une procédure de "tissage", pour créer une modélisation nouvelle plus riche et plus complète.

A noter que ces deux "parti-pris" coexistent dans la description complète d'un processus général de développement.

1.2 Transformation des Modèles et Représentation du couplage des processus

Les Méthodes et les outils de la conception et de la conduite de projet sont divers. Ils résultent, dans la plupart des cas, de procédures internes à l'entreprise définies et mises au point au fur et à mesure des besoins. Ces processus sont devenus des procédures "métier" qui font souvent le succès de l'entreprise.

Toutefois, au fur et à mesure que la complexité et que la pluridisciplinarité des systèmes grandit, ces procédures sont apparemment de plus en plus lourdes et difficiles à mettre en œuvre :

- difficulté à maintenir l'outil globalement,
- difficulté de former les hommes,
- difficulté à intégrer des nouveaux outils,
- difficulté d'organiser la "re-utilisation",
- difficulté d'échanger entre partenaires opérateurs ...

À l'évidence, il faut standardiser méthodes et outils. L'OMG (Object Management Group) a fait deux propositions qui semblent connaître un réel succès :

- UML (Unified Modeling Language), pour la description des logiciels et SysML (Systems Modeling Language), pour la description de Systèmes [Mul 97],
- MDA (Model Driven Architecture), pour organiser la description des processus par des transformations de modèles [Kad 05].

Nous nous sommes efforcés dans ce travail de suivre ces deux recommandations. Ainsi, UML/SysML est utilisé pour la définition d'une procédure qui va du cahier des charges jusqu'à la modélisation HiLeS du Système. L'idée est d'enchaîner les diagrammes pour construire pas à pas ces modèles. Par ailleurs, en faisant cette construction et d'autres, nous nous référons à la

“transformation de modèles” : Un modèle de départ (Model 1, sur la figure 1-1) est transformé par un enrichissement d’informations jusqu’à obtenir un modèle cible (Model 2). Nous y voyons des avantages de clarté, de systématisation, et la perspective à terme de pouvoir réaliser une vérification (V) ou une évaluation (E) pas à pas. La figure 1-1 schématise un tel processus.

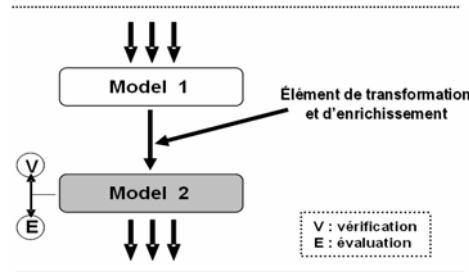


FIGURE 1-1. Représentation thématique de la transformation de modèles

La figure 1-2 intègre cette représentation schématique locale pour la représentation général du couplage entre deux processus dans une représentation en Y. Dans chaque branche du “Y” est décrit un processus fait de transformations successives de modèle. Ici, nous n’avons représenté que les étapes principales du processus : formalisation des exigences, modélisation fonctionnelle, etc., pour la partie représentation fonctionnelle.

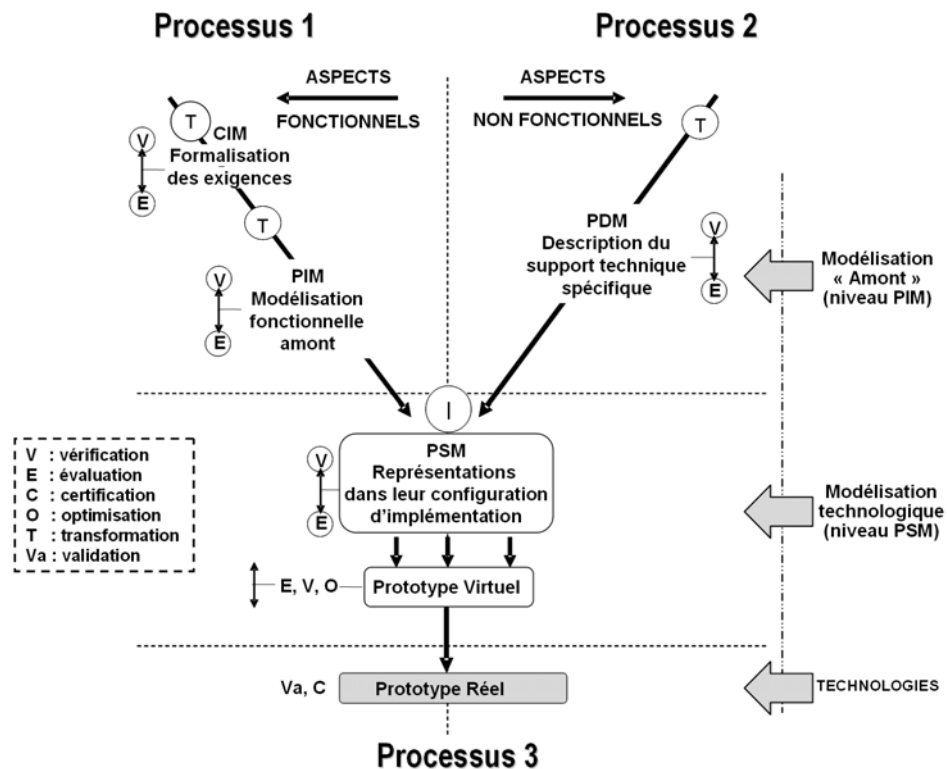


FIGURE 1-2. Transformations de Modèles et processus couplés

L’intérêt de la figure 1-2 est de donner une première représentation intéressante du couplage entre plusieurs processus où le processus de gauche et le processus de droite se combinent pour engager un nouveau processus. On dit que ce nouveau processus résulte du tissage entre les deux processus de modélisation. Il est illustré

ici, dans le cas développement système, par le couplage d'une modélisation fonctionnelle "amont" et d'une représentation non fonctionnelle "organique". Nous verrons plus loin comment nous voyons une autre couplage entre conception produit et conduite de projet, qui est le cœur de notre travail.

1.3 Le Couplage : Conception Produit – Conduite de Projet

Au long des années, on a pu constater que le succès de tout projet au delà des choix technologiques dépend aussi de la manière dont il est conduit. Pour cela, le chef de projet efficace doit adopter un véritable état d'esprit "système", se placer dans une dynamique qualité et décider en fonction de l'ensemble des données disponibles. Dans ce travail multidisciplinaire, nous nous proposons de l'aider et de le guider pour qu'il puisse prendre la meilleure décision parmi toutes les possibilités de solutions viables pour le projet [BEG 04].

Ce travail de recherche vise à réunir les éléments nécessaires pour maîtriser la gestion des hommes, les techniques et les enjeux propres de la Conception Système. Aujourd'hui, on peut encore constater que le développement Système est effectué de manière séparée selon deux démarches : la **Conception Produit** et la **Conduite de Projet**, ce qui, dans la pratique, produit des pertes de performances, de qualité et de temps surtout dans les projets les plus complexes.

L'originalité de notre proposition est basée sur le fait que nous considérons que les processus de la Conception Produit et de Conduite de Projet peuvent être associés dans les étapes de la conception amont et de définition des tâches et sélection sur un modèle partagé dans une plateforme commune qui représente le cœur de notre proposition.

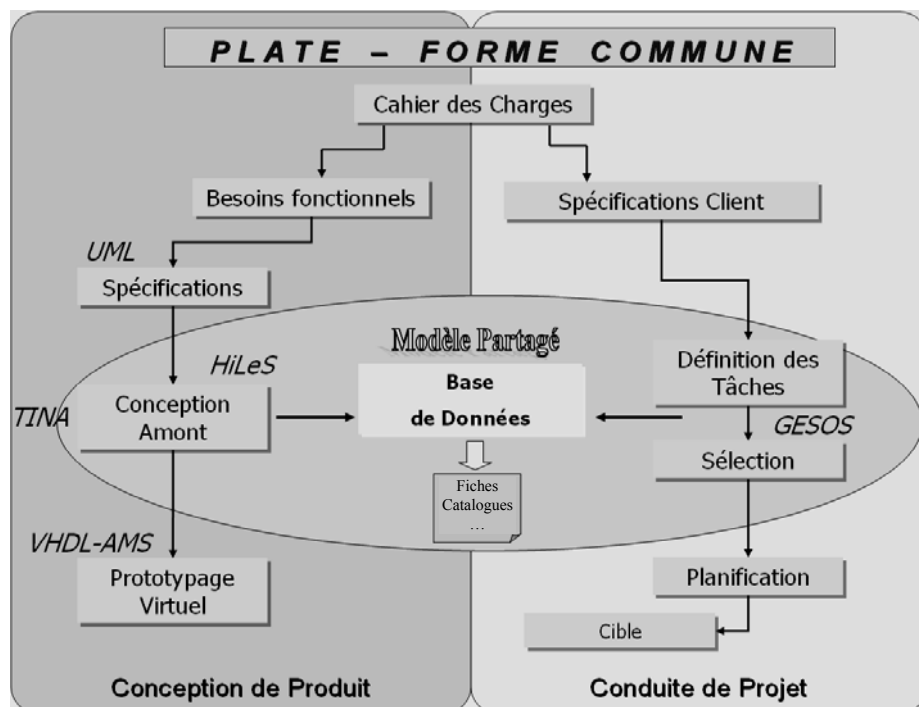


FIGURE 1-3. Représentation du concept de modèle Partagé

Sur la base des considérations générales précédentes, nous nous sommes associés avec plusieurs équipes de recherche pour pouvoir aborder de manière complète et cohérente les méthodes et aussi les outils. Comme le montre la Figure 1-3, nous plaçons, au centre de la démarche, le principe d'une mise en commun des données à partir desquelles on va faire, d'un côté, la sélection d'un prototype virtuel pour la conception et, de l'autre, la planification des tâches. Nous avons appelé cette approche : le "modèle partagé", afin de marquer l'intérêt d'une association cohérente de l'information et d'assurer le suivi des spécifications et des exigences [Bar 05], [Gut 05].

Du côté **conception**, nous choisissons d'utiliser les outils suivants :

- UML pour la traduction et la formalisation progressive des spécifications textuelles vers HiLeS ;
- TINA pour la vérification fonctionnelle des modèles HiLeS ;
- HiLeS pour la description logico-structurale et
- VHDL-AMS pour simuler le comportement physique réel du système.

Du côté **conduite**, nous retrouvons l'outil GESOS pour la sélection des scénarios et pour leur optimisation.

Dans le modèle partagé, nous proposons d'utiliser le standard XML pour la gestion des données et de l'information.

Ce travail vise donc à identifier le « pont » entre conception de produit et conduite de projet. Il suppose que :

- pour la conception de produit, que le concepteur applique une conception descendante en deux étapes : une conception de haut niveau qui est une représentation fonctionnelle système, hors choix des technologies et hors décision de réutilisation, puis le prototypage virtuel (une fois faits les choix technologiques). Dans notre démarche, la conception de produit aboutit donc à la liste de toutes les fonctions à réaliser et de leurs interconnexions fonctionnelles.
- pour la conduite de projet, que le chef de projet dispose des données de la conception produit et d'un outil de planification et d'évaluation technico-économique dont les entrées sont les tâches à réaliser et les fournisseurs potentiels.

Nous proposons de situer le "pont" d'échange, en se servant des fonctions ainsi définies pour engager une procédure de **définition des modules structuro-fonctionnels et des tâches**, grâce à la prise en compte d'une représentation organique du système.

La plateforme de conception telle que nous la concevons (figure 1-3) est constituée d'étapes et d'outils complémentaires interopérables associés sur un objectif précis : faire coopérer conception de produit et conduite de projet sur une base de données commune.

1.3.1 Le processus de la Conception de Produit

Dans un sens très général, la *conception technique de produit* est définie comme une démarche qui va de l'analyse des besoins, à la définition d'une solution innovante pour un produit performant et de qualité, respectant les contraintes et exigences techniques et fonctionnelles [ATBG 05]. Ce processus commence avec la spécification des exigences et il finit par l'élaboration d'un prototypage virtuel représentatif du produit final. La réalisation matérielle du prototypage virtuel engage une phase complémentaire de test, qui part de tests unitaires techniques pour aller jusqu'aux tests de validation et de certification... Cette démarche globale est la plus souvent représentée par un cycle en "V" (cf. figure 1-4).

Ce cycle en "V", représente la mise en œuvre d'une démarche descendante de conception et la nécessité d'une démarche de vérification complémentaire de toutes les étapes successives de conception. Il met en regard conception et vérification. Dans le développement d'un produit, cette représentation en V est multipliée dans toutes les composantes du processus global : toute description descendante, tout assemblage de composants doit associer des étapes de vérification.

Deux autres questions sont, d'une part, la définition des étapes que l'on souhaite décrire de manière conforme aux recommandations de l'OMG/MDA, c'est-à-dire par des transformations successives de modèles (voir paragraphe précédent), d'autre part, la forme à donner au couplage entre plusieurs processus qui est au cœur de notre réflexion. Notre proposition est un couplage en Y où deux processus couplés se lient pour engager un nouveau processus.

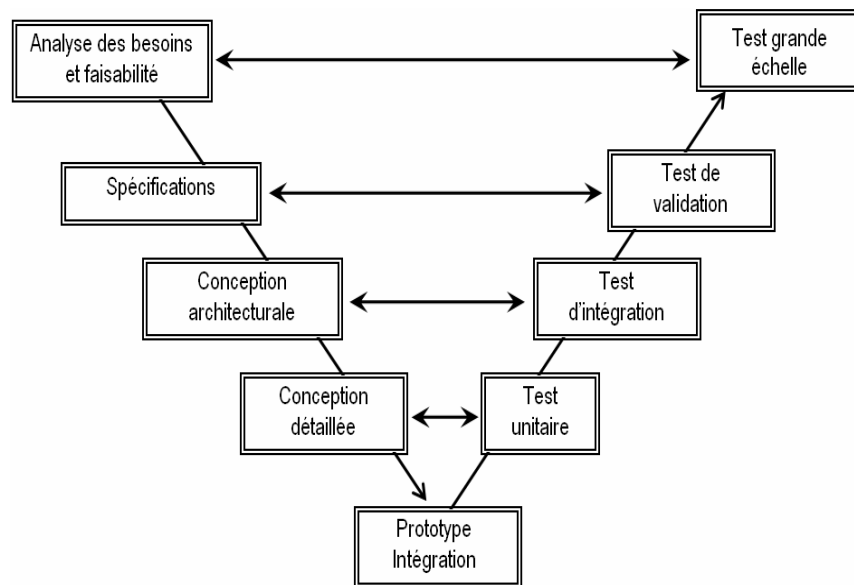


FIGURE 1-4. Cycle en V de la conception-vérification

La représentation des processus en V et des processus en Y ne sont donc pas en compétition (voir figure 1-5) :

- Le processus en V traduit la nécessité de vérification de toutes les étapes d'un processus descendant par une comparaison remontante des résultats d'étapes aux spécifications d'origine.
- Le processus en Y traduit la façon de coupler deux processus complémentaires pour engager une nouvelle étape de la procédure globale...

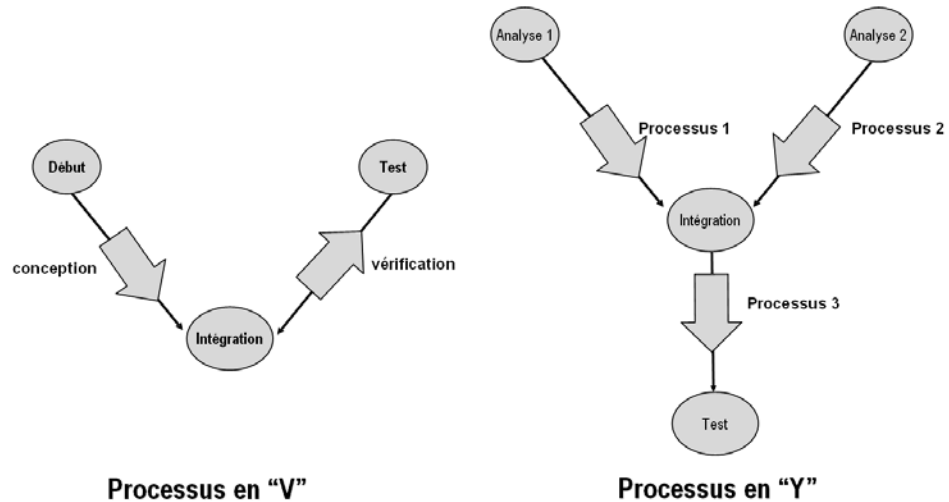


FIGURE 1-5. Complémentarité de deux représentations en “V” et en “Y”

1.3.2 Couplage des processus de conception et de la représentation organique

Dans la démarche de conception de produit que nous allons suivre, on va donc utiliser des représentations en forme de “Y”. Par exemple, **pour définir un produit il faut combiner une analyse fonctionnelle du système et l’analyse structurale organique de ce produit.**

La figure 1-6 illustre cette forme de couplage de processus : l’un, à droite, décrit la structure interne du système, en organes (***Vision Organique***) et l’autre, à gauche, décrit les fonctions et l’architecture (***Vision Fonctionnelle***). Cette description comporte un ensemble d’étapes. Ces étapes, dans chaque processus en “Y” [GBDE 06], sont supposées réalisées les unes après les autres, avec un retour systématique sur les spécifications pour réaliser les vérifications voulues par le cycle en V.

1) Coté fonctionnel (branche gauche) :

- *cahier des charges* : Le cahier des charges est un document qui définit exhaustivement les spécifications de base du produit à réaliser. Ce document permet d’identifier les besoins et les exigences à accomplir. Lors d’un appel d’offre, c’est sur le cahier des charges que les entreprises se basent pour estimer le coût et les délais de réalisation du produit.
- *extraction des exigences fonctionnelles* : elle précise les fonctionnalités que le projet doit remplir,
- *conception amont* : elle précise une décomposition hiérarchique des fonctions qui vont être nécessaires pour remplir les exigences fonctionnelles,

Les résultats de la conception amont sont :

- une description de l'architecture fonctionnelle,
 - une description de l'architecture de commande associée,
 - une évaluation du degré de conformité,
 - une évaluation générale du produit,
 - une réécriture formelle des spécifications.
- architecture fonctionnelle : elle est construite sur la base d'une analyse fonctionnelle du système. Elle définit l'organigramme arborescent hiérarchique fonctionnel du système. L'analyse fonctionnelle identifie les fonctions associées aux besoins spécifiés. Elle laisse ouverts les choix des solutions technologiques et permet ainsi la recherche d'une meilleure adéquation entre les concepts et le besoin exprimé. Cela encourage la créativité en ne limitant pas les recherches aux seules solutions existantes.

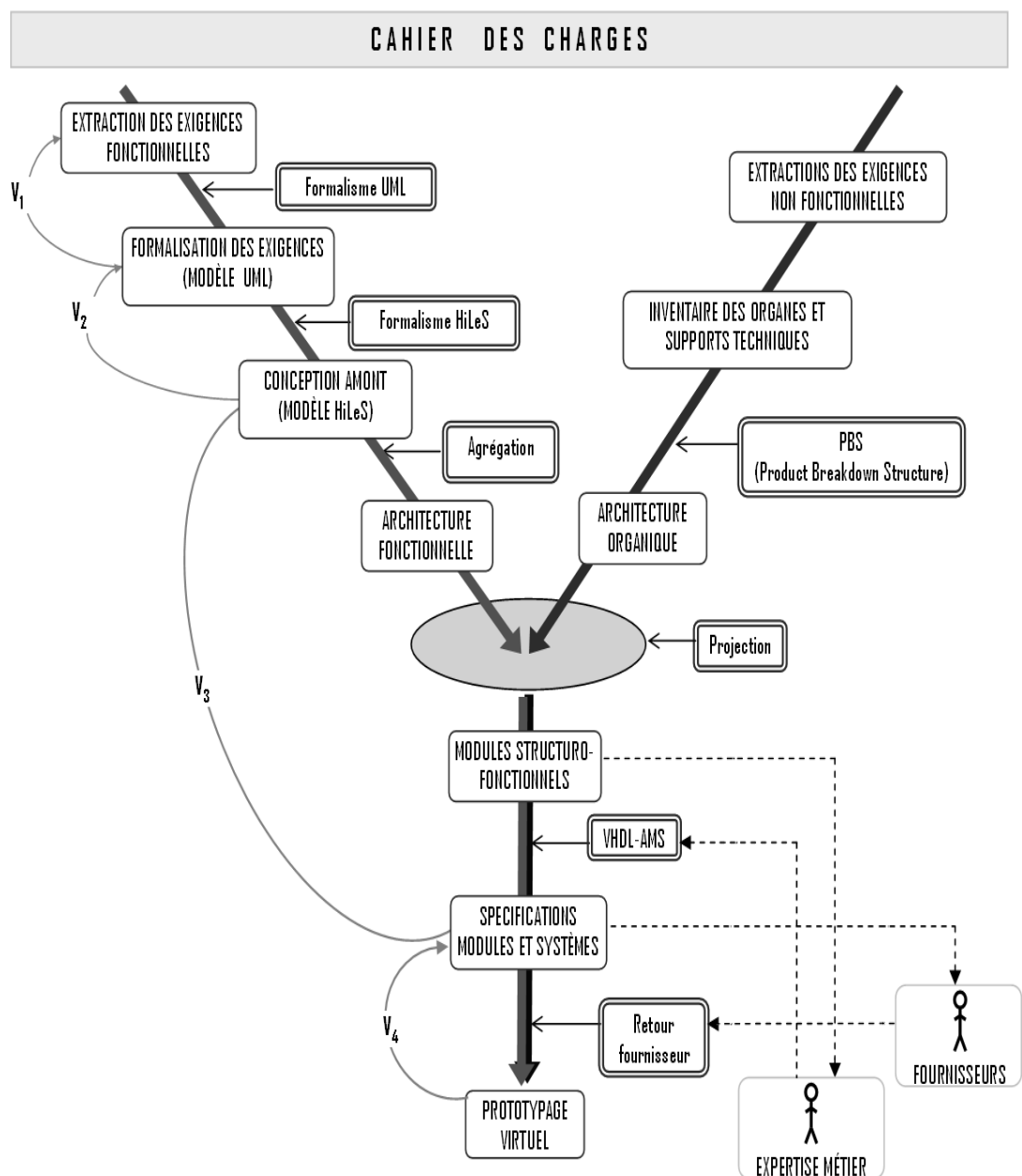


FIGURE 1-6. Détails d'un couplage en "Y" couplant la description organique et le Processus de conception

2) Coté organique (branche droite) :

- extraction des exigences structurales : elle précise tous les aspects qui vont être abordés pour répondre aux spécifications des structures et des connexions entre ces structures,
- inventaire des organes et supports techniques : dans cette étape est réalisée une étude des besoins en constituants (composants) physiques qui sont requis pour réaliser le produit,
- architecture organique : elle détaille dans un organigramme arborescent hiérarchique l'architecture physique du système.

3) Coté prototypage (branche centrale) :

La fusion des données fonctionnelles et organiques, par une procédure de partitionnement, conduit :

- aux modules structuro-fonctionnels, permettant de visualiser les premières solutions sous forme de blocs (ou modules) qui intègrent les fonctionnalités et les organes physiques du système (ce sont les building blocs de l'EIA-632),
- au prototypage virtuel, qui propose, à partir des données fournisseurs, une modélisation simulable qui soit compatible pour être portée, selon nos propositions d'outillage, sur le simulateur VHDL-AMS³.

1.3.3 Le processus de Conduite de Projet

La conduite de projet fixe le processus de planification et de contrôle du bon déroulement du projet. Elle fixe des objectifs à tous les acteurs du projet et apporte à la direction de projet les informations relatives à la bonne exécution de ces objectifs. Elle doit, à tous instants, être en mesure de modifier la programmation initiale du projet en respectant les objectifs de délais, coûts et performances (cible).

La conduite de projet doit proposer une façon, la plus efficace possible, d'organiser le travail pour arriver aux résultats exigés par le client. Elle assure les décisions opérationnelles et intervient dans la préparation des décisions stratégiques. Pour cela, nous proposons qu'elle s'appuie sur des démarches de couplage des processus (voir EIA-632, section 1.1) lui assurant le recueil, dans une base de données partagée, de toutes les données utiles et le traitement de ces données à des fins informatives et décisionnelles.

Dans notre démarche, le couplage conception-conduite, introduit un deuxième processus en "Y" qui comprend en amont la conception produit et la description organique que l'on couple au processus de planification, processus parallèle à celui du prototypage virtuel, comme indiqué sur la figure 1-7.

Ce couplage devient un processus de tissage, il comprend :

³ Langage final du prototype virtuel

Nous limitons donc l'ambition de ce travail à l'application des seuls critères des coûts et des délais. À chaque étape, il peut être décidé d'arrêter le projet si le concepteur estime que ces objectifs ne pourront pas être tenus. Pour terminer, nous introduisons quelques termes écrits à la compréhension de notre domaine. Ainsi, nous proposons de traiter dans notre démarche les étapes suivantes :

- **Partitionnement technique** : il s'agit de définir les modules structuro-fonctionnels qui seront le point de départ d'une définition des tâches.
- **Définition de Tâches** : cette phase va s'appuyer sur le partitionnement en modules structuro-fonctionnels et doit définir toutes les activités à réaliser pour le projet, en s'assurant que les choix et leur mise en œuvre est pertinente et qu'elle entre bien dans la stratégie de l'entreprise. Cette phase, doit s'appuyer sur la méthode standard WBS⁴ (structure de décomposition du travail, ou Work Breakdown structure en anglais), qui permet de préciser toutes les activités utiles de façon descendante, en relation avec les conditions organisationnelles du déroulement du projet.
- **Obtention du Graphe de projet** : le graphe de projet (ou Project Network diagram, en anglais) est un schéma graphique qui précise les relations d'ordre entre les activités du projet, toujours orienté de la gauche vers la droite, pour refléter la chronologie du projet.
Il va aider à :
 - à définir la notion d'activité dans la gestion du temps de projet,
 - classer l'information du projet selon la catégorie appropriée d'activité,
 - classer les outils et les techniques utilisés dans une activité,
 - évaluer l'efficacité des sorties d'activité.
- **Génération de scénarios** : il s'agit d'entrer dans la conception détaillée du produit, en considérant toutes les possibilités de réalisation : choix techniques, choix des fournisseurs, choix optionnels, etc. Bien sûr, il faut s'assurer pour chacun d'entre eux que la proposition est conforme aux attentes des utilisateurs.
- **Sélection des scénarios** : l'étape de sélection est l'étape du choix des meilleurs scénarios parmi tous les possibles. Le LESIA [Roc 04] a développé plusieurs algorithmes pour effectuer ces sélections (outil GESOS).

Dans notre approche, le critère de sélection est basé sur la proposition de Taguchi de définir **une fonction de perte** qui fixe précisément la cible à atteindre.

- **Planification des scénarios** : La planification fixe à chaque partenaire du projet la tâche à effectuer, les délais pour la réaliser et les moyens qui peuvent y être associés. Cette étape doit aussi permettre d'effectuer un comparatif entre ce qui a été prévu et ce qui est réel. La réussite d'un bon suivi de projet tient en la disponibilité d'informations fiables au niveau du chef de projet.

⁴ La WBS est une méthode commode pour diviser un projet en tâches ou activités plus petites. Elle réduit la probabilité de quelque chose se tombe par une rupture et subdivise le projet en tâches où chacune sont définies, estimées et décomposées.

À la suite des éléments précédents, chaque partenaire de l'équipe de projet peut mesurer l'effort global qu'il convient de réaliser pour maîtriser et coordonner toutes les composantes du cycle de vie d'un produit : conception, prototypage, intégration, validation, etc. Ces étapes précédentes donnent les indications précises sur la plateforme commune qui s'attacherait à rassembler toutes les informations et tous les outils pour suivre le déroulement du projet. Nous en proposons ici l'idée en nous appuyant sur le couplage étroit entre la conception de produit et la conduite de projet, sans oublier l'intérêt d'y associer la réutilisation, tant au niveau technique par la création d'une base de données experte, qu'au niveau pilotage par l'élaboration de critères basés sur l'évaluation des risques.

1.4 L'exemple Choisi : Conception et Réalisation d'un Système Automatisé de Dépôt Localisé pour la Fonctionnalisation des Puces à ADN

En complément de la présentation de la problématique et des axes choisis pour la résoudre, ce paragraphe va détailler le support expérimental que nous avons trouvé pour tester et valider nos propositions.

Ce support expérimental traite de la **conception d'un système qui utilise une machine de dépôt de gouttes par des micro-éjecteurs pour la synthèse de l'ADN sur des Biopuces**. Pour cela, le système se base sur un procédé de conception automatique de puces à ADN.

Pour la modélisation fonctionnelle de ce projet, nous avons appliqué avec les équipes du LAAS-CNRS la démarche que nous avons préconisée, basée sur la méthodologie UML, pour représenter les diverses étapes de développement du projet. Cette modélisation a été couplée à des choix technologiques pour arriver aux étapes où un pont est possible avec la conduite de projet. Avant d'entrer dans le détail de ce travail de recherche, nous allons tout d'abord résumer en quoi consiste ce projet de "Robot BioPuces" et comment nous y avons participé.

1.4.1 Présentation de l'Équipe Projet. Robot de Fabrication de BioPuces

L'équipe projet est conduite par Anne-Marie Gué du LAAS-CNRS assisté par J. B. Pourciel. Il associe :

Jean Verries (LAAS, groupe MIS)	en charge de la mise en œuvre du robot,
Fabrice Mathieu (LAAS, Service II).....	en charge de réaliser l'électronique des éjecteurs,
Maxime Dumonteuil (LAAS, groupe MIS) ..	en charge d'approvisionner les fournitures des éjecteurs, de leur caractérisation et de vérifier la fonctionnalité de la matrice des éjecteurs

L'objectif de cette équipe projet, dans la période janvier à décembre 2006, est de concevoir un robot opérationnel appliquant les principes de développement au LAAS et ayant donné lieu au dépôt d'un Brevet N°0206016 [BBG 04].

Compte tenu de notre axe de recherche, **nous étions chargé de proposer et de suivre la planification du projet**. Nous avons aussi participé à toutes les réunions

d'avancement des travaux et collaboré à toutes les étapes de modélisation d'assemblage [VeJ 06].

Nous nous sommes donc placé exactement au carrefour de la conception de produit et de la conduite de projet, ce qui nous a permis de rassembler les informations techniques qui vont suivre.

Il faut préciser, par rapport aux planifications initiales, que le projet a pris de retard pour des soucis de disponibilité des technologies en salle blanche. Pour rendre notre démarche compréhensible, nous avons donc fait quelques écarts à la réalité en regard de la qualité de l'illustration. Moyennant quelques changements de planification, ce projet biopuce devrait aboutir finalement avant fin 2006.

1.5. Rappel sur L'ADN

L'ADN, sigle de **acide désoxyribonucléique**, est une longue molécule que l'on retrouve dans tous les organismes vivants. L'ADN est présent dans le noyau des cellules, dans les cellules procaryotes, dans les mitochondries ainsi que dans les chloroplastes. C'est la molécule de l'HÉRÉDITÉ. Elle contient toutes les informations nécessaires à la vie de tout organisme: humain, animal, bactérie, virus, ... Elle est à la base de processus biologiques importants aboutissant à la production des protéines. D'un point de vue chimique, l'ADN est un acide faible.

Sa structure moléculaire consiste en une sorte d'échelle constituée de quatre sortes de barreaux ; elle est représentée par une double chaîne de nucléotides de forme hélicoïdale. Les quatre nucléotides sont : *adénine* (A), *guanine* (G), *cytosine* (C) et *thymine* (T).

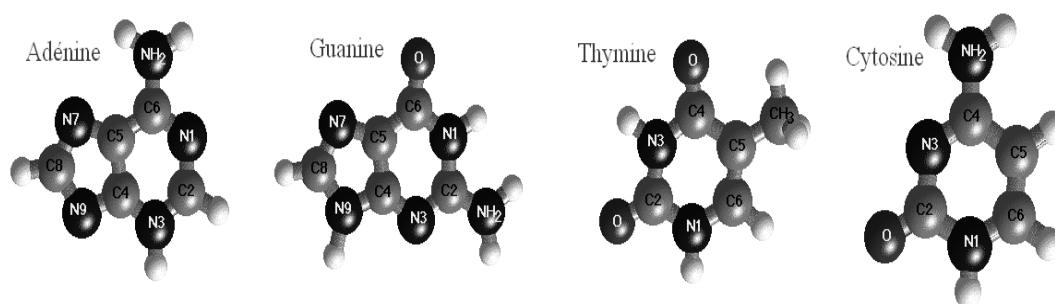


FIGURE 1-8. Molécules de l'ADN

1.5.1 Rappel sur les bases azotées de l'ADN

L'ADN possède une structure en forme de **double hélice** (découverte en 1953 par James Dewey Watson, Francis Crick et coll. et en partie grâce aux travaux de Rosalind Franklin).

Un polymère de bases désoxyribonucléiques est constitué de répétitions de nucléotides formés d'un groupe phosphate lié à un sucre, le désoxyribose, et à une

base azotée A, T, C ou G. Le squelette est formé de la répétition sucre - phosphate, ce qui change est la base

Les deux brins antiparallèles d'ADN sont toujours étroitement reliés entre eux par des liaisons hydrogène (également appelées **ponts hydrogène** ou encore simplement **liaisons H** ou **ponts H**) formées entre les bases complémentaires A-T et G-C. Ces deux brins d'ADN sont dits complémentaires car les purines (Adénine et Guanine) d'un brin font toujours face à des pyrimidines de l'autre brin (Thymine et Cytosine). Les nucléotides sont complémentaires entre eux. Ainsi, l'adénine est complémentaire à la thymine et la guanine est complémentaire à la cytosine. Deux liaisons hydrogènes retiennent ensemble la paire A-T et trois retiennent la paire G-C.

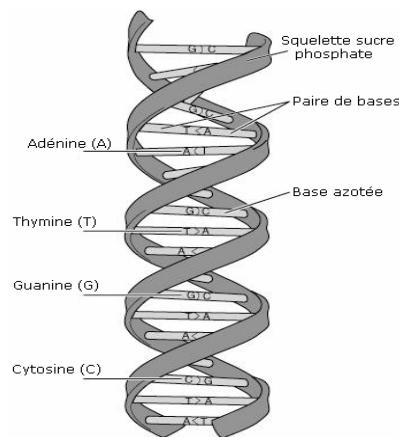


FIGURE 1-9. Structure en forme de double hélice de l'ADN

Avant qu'une cellule se divise, son ADN est répliqué (reproduit.) Puisque les deux brins d'une molécule d'ADN ont des paires basses complémentaires, l'ordre de nucléotide de chaque brin fournit automatiquement l'information requise pour produire son associé. Si les deux brins d'une molécule d'ADN sont séparés, chacun peut être employé comme modèle ou calibre pour produire un brin complémentaire. Chaque calibre et son nouveau complément forment ensemble alors une nouvelle double spirale d'ADN, identique à l'original.

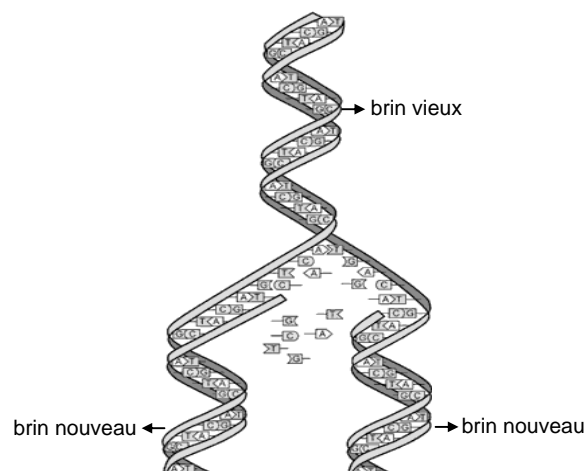


FIGURE 1-10. Réplication de l'ADN

La polymérase d'ADN d'enzymes se déplace alors le long du brin exposé d'ADN, joignant les nucléotides nouvellement arrivés dans un nouveau brin d'ADN qui est complémentaire au calibre de la réplique se compose de trois étapes, déclenchements, répliques et arrêts. La réplique artificielle d'ADN est effectuée par la réaction en chaîne de polymérase.

1.5.2 La Puce à ADN (BioPuce)

La Puce à ADN (communément appelé **BioPuce**) est un outil d'analyse génétique. Elle est née du mariage entre la microélectronique, la biochimie, la chimie combinatoire, la biologie moléculaire, l'informatique et plus spécifiquement de l'analyse d'images. La puce à ADN permet d'analyser simultanément plusieurs milliers d'informations génétiques différentes et aussi d'analyser toutes les altérations génétiques et biologiques, d'un cancer par exemple. Grâce à elle, il est possible en parallèle d'identifier et même de doser, un nombre considérable de séquences d'ADN contenues dans un échantillon biologique (sang, biopsie, eau, aliments, etc.). En particulier, les puces à ADN seront très utilisées en génétique pour accélérer la recherche de certains gènes ou repérer des agents pathogènes. Une puce à ADN se présente comment une petite plaque (BioPuce) sur laquelle des points microscopiques à la ligne, alignés en rang, portent les compléments des matériels génétiques que l'on veut identifier. S'ils sont présents, ils se lient et les marqueurs fluorescents places sur les sondes biologiques deviennent fluorescents. Les points fluorescents forment un motif qui caractérise l'échantillon testé.

La puce à ADN est composée de matrices de points matérialisés par des micro-surfaces appelées unités d'hybridation (UH) sont réalisées sur un support plan ou structuré, où sont fixées des molécules de reconnaissance spécifiques (ADN, protéines...) qui permettent de détecter des séquences, caractéristiques de cibles que l'on souhaite mettre en évidence (figure 1-11). La densité des points de mesures peut atteindre plus de 10000 par cm^2 .

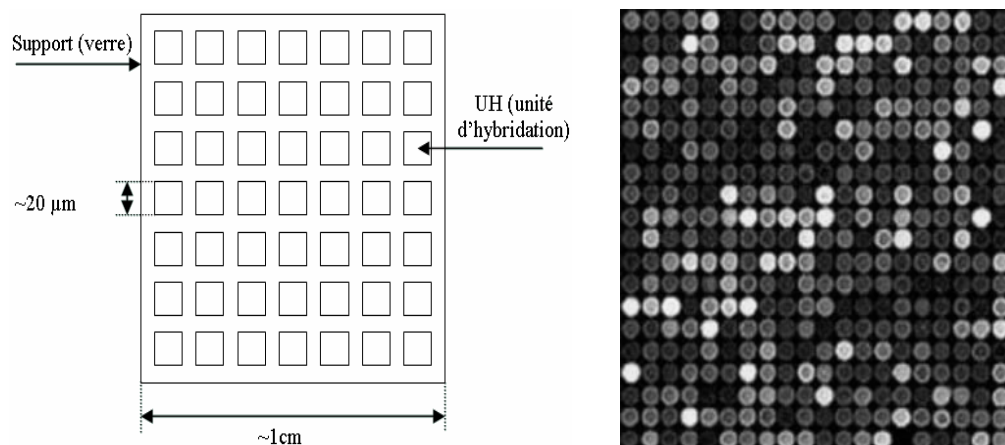


FIGURE 1-11. Schéma de une Puce à ADN

Le mécanisme de reconnaissance utilisé dans les puces à ADN est l'hybridation, c'est-à-dire l'appariement de deux brins d'ADN (figure 1-10). Le brin fixé sur la puce, de séquence connue, est appelé sonde. Le brin à caractériser constitue la cible. Si la cible est complémentaire de la sonde, la réaction d'hybridation va avoir lieu, et on va la détecter grâce à des marqueurs (fluorescence, colorants, isotopes radioactifs) qui vont mettre en évidence le signal issu de la réaction.

La puce à ADN permet en principe d'identifier de manière précise tout micro-organisme en le reconnaissant à travers son empreinte génétique. De surcroît, la puce à ADN devrait permettre de détecter des concentrations plus faibles que celle détectées par les techniques actuelles.

Aujourd'hui, l'identification de chaque micro-organisme recherché nécessite une analyse spécifique. Demain, une seule BioPuce pourra identifier, en une seule fois, plusieurs dizaines de micro-organismes. Les économies d'échelle deviennent alors très importantes. Les premières évaluations montrent que, une fois sur le marché, l'analyse par puce à ADN pourrait coûter 10 fois moins cher.

Contrairement aux méthodes traditionnelles d'identification qui étudient les caractères morphologiques et physiologiques des micro-organismes, l'identification moléculaire repose sur le principe de la reconnaissance d'une ou plusieurs séquences nucléiques contenues dans les molécules d'ADN ou d'ARN présentes dans tout organisme vivant.

La découverte du génome a suscité d'énormes espoirs dans le traitement des maladies d'origine génétiques pouvant résulter de défauts ou d'altérations des séquences ou d'agressions moléculaires externes modifiant les mécanismes d'hybridation et d'échange cellulaire.

Par exemple, face à des brins d'ADN synthétique témoin d'une maladie, les brins extraits de l'ADN du patient vont hybrider et ainsi indiquer que le malade est porteur ou non de l'affection recherchée. Un problème important est alors d'"offrir" aux brins d'ADN du patient la possibilité d'hybrider avec de nombreux brins d'ADN synthétiques représentant les différents gènes correspondant à une pathologie, sous leurs différentes formes : **c'est le rôle des BioPuces**, dont les champs d'application vont être très vastes :

1. Diagnostic médical,
2. La santé : en matière de diagnostic biologique, de recherche de mutations génétiques et de développement de nouveaux médicaments,
3. L'environnement : pour mieux contrôler la qualité de l'eau potable,
4. L'agroalimentaire : pour identifier la composition des aliments, etc.

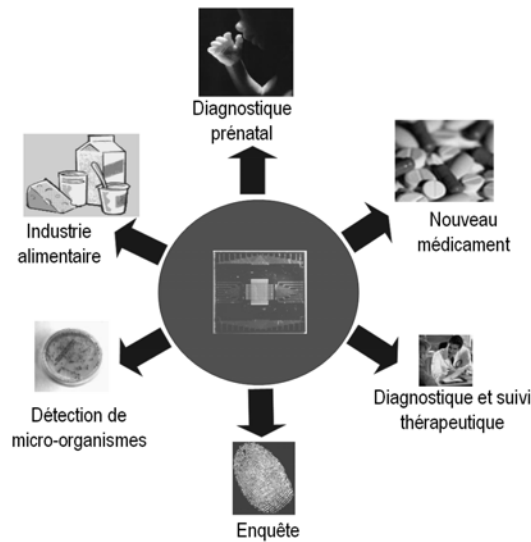


FIGURE 1-12. Domaines d'application de la BioPuce

Notre travail sera validé sur la conception d'un robot de synthèse et de dépôt de l'ADN sur des Puces, dont nous allons rappeler l'architecture et le fonctionnement.

1.5.3 Les Composants du Système Technique

1.5.3.1 Les Micro Éjecteurs

Le robot de fabrication de BioPuces est construit autour d'une innovation : les micro-éjecteurs, qui utilisent 4 matrices d'éjection, actionnant chacune un des quatre nucléotides constituant de l'ADN (thymine, cytosine, guanine et adénine). Chaque matrice comporte autant d'éjecteurs individuels que d'unités d'hybridation à fonctionnaliser (figure 1-13).

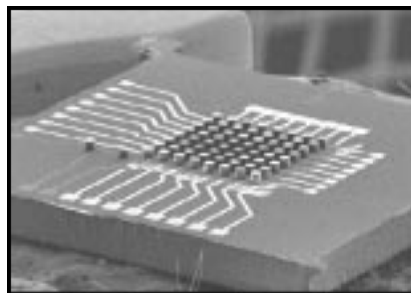


FIGURE 1-13. Micro Éjecteurs Matriciels

La figure 1-14, montre comment sont actionnés individuellement chaque éjecteur de la matrice pour déposer la solution contenant la base azotée souhaitée sur le plot choisi (étape 1). L'utilisation successive des quatre têtes d'éjecteurs, remplies chacune d'un type de nucléotide, permet d'obtenir le premier niveau de bases azotées (étape 2 à 4). Une étape de nettoyage permet ensuite d'enlever le groupement protecteur P et permet d'éviter une réaction en chaîne des nucléotides entre eux. La puce à ADN est finalement obtenue en répétant les étapes 2 à 5 autant de fois qu'il est nécessaire pour obtenir les sondes des séquences désirées.

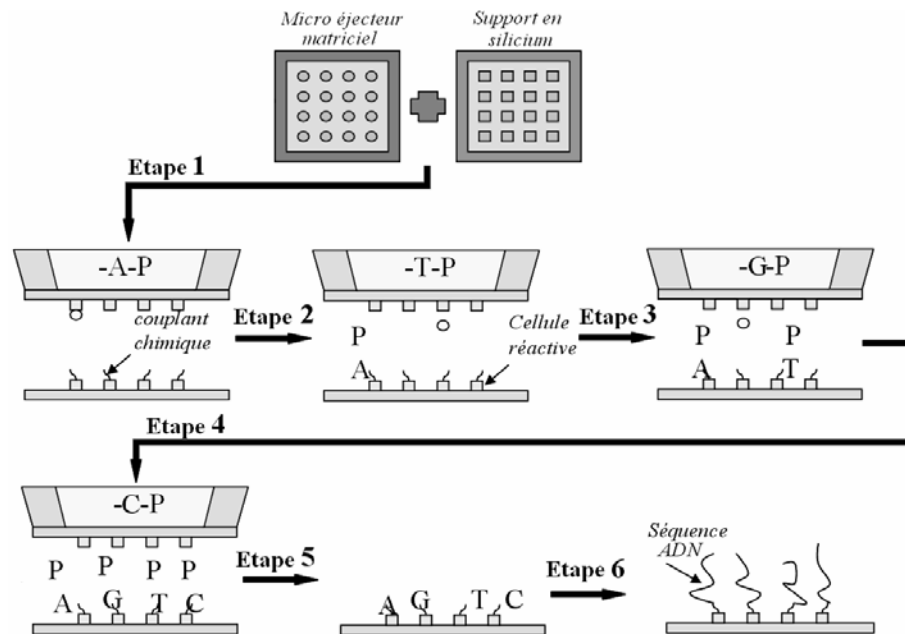


FIGURE 1-14. Séquence de dépôt

On voit bien que grâce à cette méthode on s'affranchit des problèmes de flexibilité et de coût liés à l'utilisation de masques dans le procédé concurrent comment "AFFIMETRIX". En effet, la réalisation de n'importe quelle séquence de nucléotides est possible (Figure 1-15).

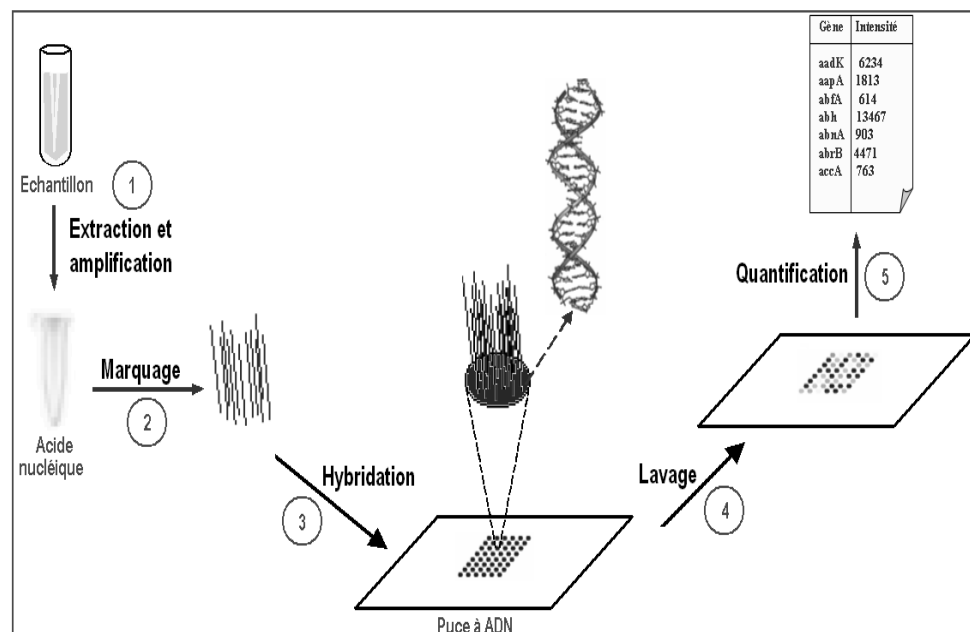


FIGURE 1-15. Séquence pour l'analyse de la Puce à ADN

Cette méthode de synthèse nécessite que les quatre têtes d'éjection soient tour à tour positionnées avec une grande précision au-dessus de la puce à fonctionnaliser : c'est le rôle de la robotique de développer cet environnement.

1.5.3.2 Le Système de Positionnement

Ce robot permet de gérer les déplacements des puces, nécessaires au processus de fonctionnalisation des biopuces. Il s'agit de positionner les puits recevant le dépôt sur la puce, par rapport aux matrices d'éjecteurs. Les matrices d'éjecteurs sont fixes et ce sont les puces qui se déplacent pendant le processus de dépôt [Pia 04]. La figure 1-16 présente les contraintes de positionnement.

Le travail à effectuer sur ce système de positionnement représente encore un effort supplémentaire de quelques mois. Cependant les éléments technologiques sont en place et le travail devrait très rapidement porter sus fruits. Pour ce faire, un banc de caractérisation fluide est en cours de réalisation.

1.5.4 Description Générale du Robot

Le robot de fabrication de BioPuces a fait l'objet d'importants travaux antérieurs, à plusieurs niveaux. La technologie des micro-éjecteurs matriciels a été l'objet des travaux de David Jugieu [Jug 05] puis de M. Dumonteil. A ces jours, la technologie est pratiquement disponible, et sera intégrée sur le robot dans quelques mois à venir.

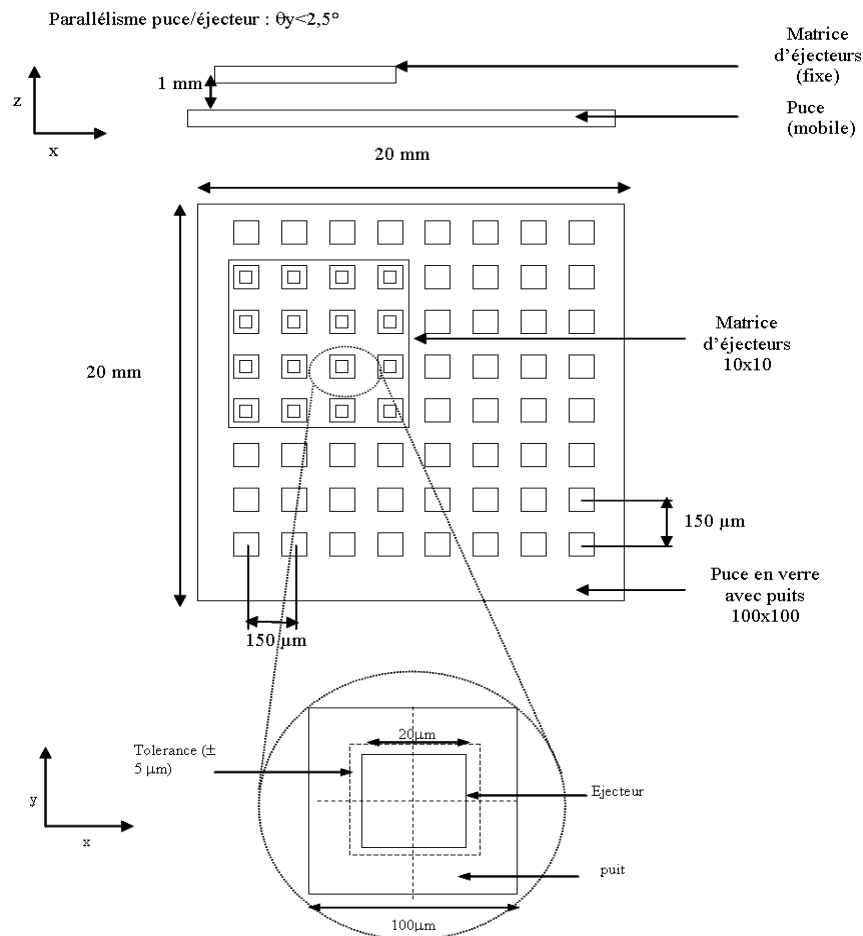


FIGURE 1-16. Positionnement des matrices d'éjection et de la Puce

L 'environnement nécessaire à l'utilisation de ces matrices a fait quant à lui l'objet des stages de L. Piazza puis de A. Brunneval. Et la vérification et l'analyse fonctionnelle a été effectuée par J. Verries et Najla Chamseddine [VeJ 06] [Cha 06].

Actuellement, le robot comprend :

- Une plate-forme Newport sur laquelle est fixée l'ensemble des pièces mécaniques.
- Le dispositif de positionnement, comprenant un banc de positionnement 3 axes (2 translations horizontales X et Y, 1 rotation autour d'un axe vertical Z).
- Axe X : M-ILS 250 CC, Axe Y : M-ILS 50 CC et Axe Teta : M-URM 80CC. L'ensemble est de la marque Newport.
- Le support des matrices d'éjecteurs. Ce support est monté sur la plate-forme mobile liée au banc de positionnement.
- Le support mécanique de la puce. Il est fixe, est relié sur la plate-forme. Du robot. Une vis micrométrique permet cependant d'ajuster sa position verticale.

Par rapport aux support des matrices :

- un miroir lié au support de la puce, orienté dans l'axe de déplacement X du robot, permettant de visualiser la puce par le dessous grâce au dispositif de visualisation.
- un contrôleur des déplacements Newport ESP 300, Trois axes, chacun étant relié a chaque axe du banc de positionnement. Le contrôleur sert d'interface électronique entre le banc et la partie commande du système.
- un dispositif de visualisation, fixe, constitué d'un microscope optique, d'une source de lumière, une caméra, et un écran LCD.
- les matrices d'éjecteurs, montées sur le support PCB.
- le support PCB sur lequel est réalisé l'électronique de commande des matrices, fixé au support mécanique.
- un dispositif d'alimentation en fluides constitué de réservoirs, de tuyaux souples d'alimentation jusqu'au support matrices. Puis des tuyaux de raccord de petit diamètre jusqu'au matrices.
- un PC, pentium III 999 MHz, avec un système d'exploitation Windows XP. Le PC est équipé d'une carte d'acquisition PICOLO permettant de récupérer le signal vidéo de la caméra.

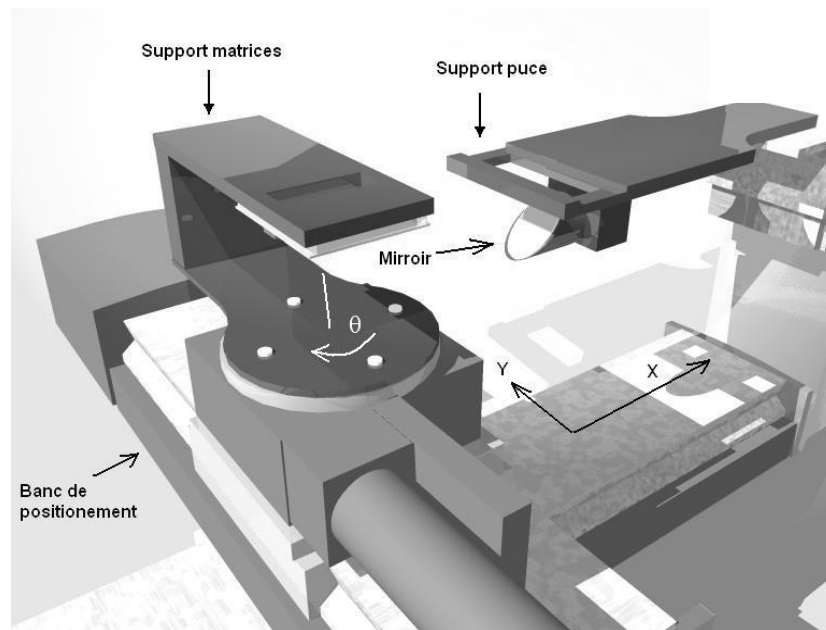


FIGURE 1-17. Simulation 3D du dispositif du robot

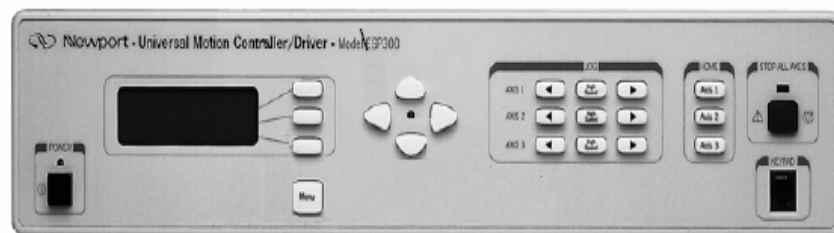


FIGURE 1-18. Contrôleur du banc de positionnement Newport



FIGURE 1-19. Matériel mis en oeuvre

La partie Logicielle a été programmée sur l'API LabWindows / CVI. Elle comporte une interface utilisateur utilisant clavier et souris.

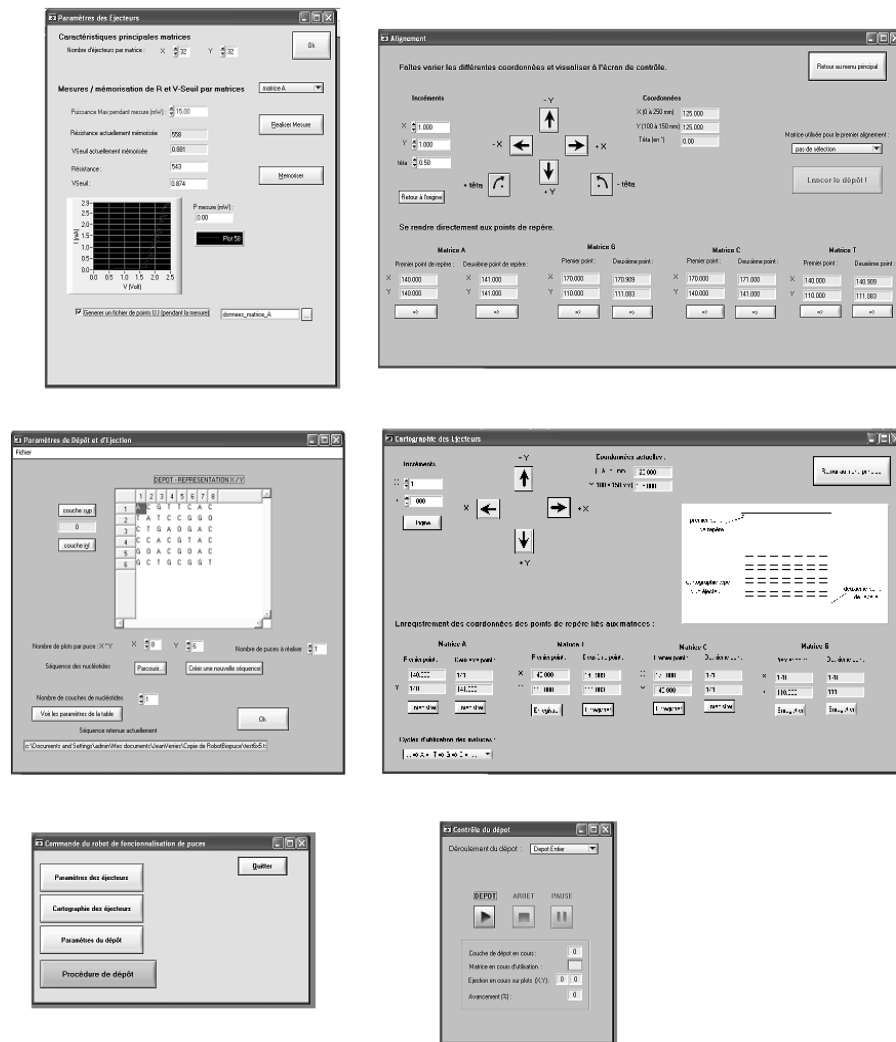


FIGURE 1-20. Interface utilisateur du logiciel de commande

À ce stade nous avons fait une description résumée du fonctionnement et le principe de base sur notre exemple du système automatisé de dépôt localisé pour la fabrication des Puces à ADN. Dans le chapitre 4 nous allons nous appuyer sur ce fonctionnement et principe pour développer la méthode que nous proposons autour le couplage conception/conduite en commençant pour l'extraction des exigences fonctionnelles et non fonctionnelles pris du cahier des charges de ce système.

1.6 Ce que l'on va faire : la stratégie d'une plateforme commune "HiLeS/GESOS" avec la Base de Données partagée

Ce paragraphe donne l'approche et les outils sur lesquels nous allons nous appuyer afin de coupler les processus de conception de produit et de conduite de projet au niveau respectivement des étapes de conception fonctionnelle et de planification des tâches du projet. Ce travail de couplage dont nous proposons le développement détaillé part d'hypothèses simples. Il suppose que :

- dans la conception de produit, le concepteur applique une conception descendante en deux grandes étapes (voir la norme EIA-632 dans l'introduction générale): une conception de haut niveau (amont, puis aval) qui définit une représentation fonctionnelle du système sans hypothèse sur le choix des technologies, hors décision de reuse. On dispose à cette étape de la liste de toutes les fonctions à réaliser et leurs interconnexions fonctionnelles. Une fois faits les véritables choix technologiques, on peut aborder le travail de prototypage virtuel.
- dans la conduite de projet, le chef de projet dispose d'un outil de planification et d'évaluation technico-économique dont les entrées sont les tâches à réaliser et les fournisseurs potentiels. Nous y ajoutons l'idée d'une génération des scénarios alternatifs pour sélectionner une poignée de scénarios les plus pertinents à partir desquels il fera le choix terminal et son optimisation.

Avec la description fonctionnelle, nous sommes dans la position de pouvoir élaborer les entrées d'une proposition de "planning" organisant la réalisation des tâches d'un projet. Dans cette opération, HiLeS servira comme base de départ pour l'outil GESOS, dont on devra compléter l'information pour qu'il puisse effectuer la sélection et l'optimisation des meilleures planifications envisageables.

La description du système proposée par HiLeS est hiérarchisée en plusieurs niveaux d'abstraction permettant de visualiser le système globalement et d'approcher plus finement ses différents constituants. HiLeS propose, en effet, de décrire le système graphiquement sous formes de blocs interconnectés et temporisés. Cette description découle des spécifications textuelles complètes et détaillées dont on a extrait les fonctions et les fonctionnements temporels du système. L'outil HiLeS permet, en outre, d'associer à chaque fonction une "fiche" dans laquelle se trouvent toutes les informations utiles à tous les partenaires du projet. Cette fiche, complétée par d'autres, assure la traçabilité de conception qui permet de reconstituer l'évolution d'un produit depuis le cahier des charges.

Notre idée à plus long terme est la création d'une Base de Données structurée, qui collectera l'information de toutes les fiches et de leurs liaisons, comme on peut le voir sur la figure 1-21. On aura les informations classifiées et interconnectées de telle sorte que l'on puisse organiser au mieux le projet, établir les meilleures estimations de coût, faire les meilleures estimations de la durée des tâches et de suivre sa évolution. Ces fiches seront ensuite liées aux fiches des modules structuro-fonctionnels résultant de l'étape de partitionnement liées et aux tâches qui nous voulons définir. Ces fiches pourront aussi servir à rassembler les informations liées à la capitalisation des connaissances, en faisant en sorte que la connaissance acquise entre dans la base de données centrale pour que chacun puisse profiter du travail de tous.

Grâce à cette base de données, le chef de projet aura accès à toute l'information utile (spécifications, objectifs à accomplir, structure générale du déroulement, nature de la production, éléments financiers, etc.) et pourra prendre des décisions plus efficaces et mieux adaptées aux besoins du client.

Cette notion de “fiche” doit intégrer à la fois la vue technique du concepteur et la vue organisationnelle et financière du chef de projet, nous voulons ainsi nourrir l’interface entre conception et conduite de projet. Cette base de données sera, en pratique, constituée de plusieurs fiches documentaires, proposant des informations à des niveaux d’abstraction différents, élaborées à des étapes différentes du projet :

- fiches documentaires "expertes" associées aux fonctions « haut niveau » de la conception, indiquant seulement des technologies possibles, des échelles de grandeur, etc., renseignées grâce à l’expertise des concepteurs,
- fiches "fournisseurs" associées aux fournitures : caractéristiques, alternatives,...
- fiches "reuse" associées à des travaux antérieurs capitalisés,
- fiches "développement" lorsque le projet utilise de nouveaux acquis réalisés en cours de projet (innovation recherche).

Ces fiches sont construites sur un format unique afin de favoriser les échanges entre les acteurs d’un projet (concepteurs, fournisseurs, chef de projet...) et gérer dans le standard XML [Dua 06].

La figure 1-21 illustre le rôle de ces différentes fiches et montre comment elles interviennent à divers niveaux des processus de conception et de gestion de projet.

Les points forts de notre proposition de travail compte les aspects suivants :

- définir les fiches : hiérarchie, modes d’accès, contenus différenciés, standards, support informatique envisagé. Ces fiches seront progressivement enrichies, dans le futur, par les concepteurs et les chefs de projet. Elles seront finalement capitalisées et stockées dans la base de connaissances en vue d’un possible réutilisation ultérieure. Elles sont la base de ce que nous avons appelé le “modèle partagé”, sur lequel les deux acteurs précédemment cités peuvent s’appuyer pour travailler conjointement de façon cohérente et efficace.
- recomposer (partitionnement) des fonctions en tâches par composition /intégration des fonctions et fusion de la description organique du système. Cette étape doit être simple et supportée par l’outil HiLeS ; on devra ensuite procéder à la définition de tâches, à la construction des alternatives possibles et à la sélection des meilleurs des ces alternatives.
- construire les spécifications fournisseurs, à partir des modules structuro-fonctionnels et organiques et de la définition des tâches, on définira un modèle de fiche sous lequel on souhaite que l’info nous soit retournée (modèle fixé par les caractéristiques de la base de données), afin de standardiser les entrées.
- définir les règles pour la création automatique de scénarios alternatifs. Préciser à quel niveau de détails il faut rentrer pour faire l’interface avec GESOS.
- sélectionner les meilleurs scénarios avec l’outil GESOS existant et étudier les évolutions que devrait connaître cet outil de première génération.

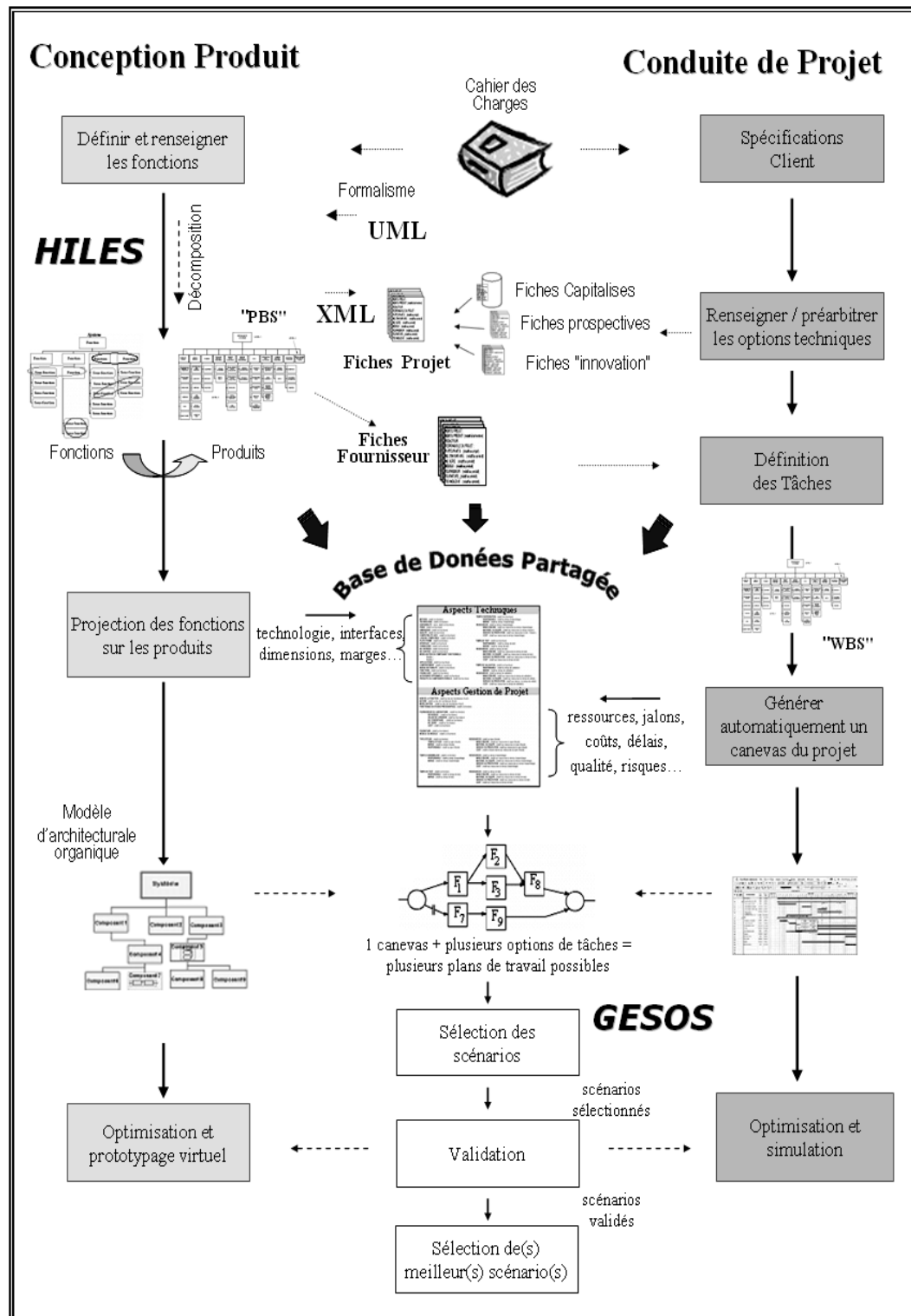


FIGURE 1-21. Plateforme commune HiLeS-GESOS

1.7 Conclusions du Chapitre

Nous avons présenté dans ce chapitre les motivations du couplage : conception et planification. Il y a des intérêts pratiques sur l'efficacité des processus et des

intérêts méthodologiques. Dans ce mémoire, nous avons lié nos approches méthodologiques aux recommandations de l'OMG sur la standardisation UML et la transformation de modèles.

Nous avons introduit dans cette démarche le rôle des représentations des processus en "V" et en "Y" qui sont utiles à la compréhension de nos propositions du chapitre 2.

Nous avons ensuite présenté l'exemple sur lequel nous avons choisi d'illustrer notre approche : il s'agit du projet de "Robot de fabrication de BioPuces" réalisé au LAAS-CNRS.

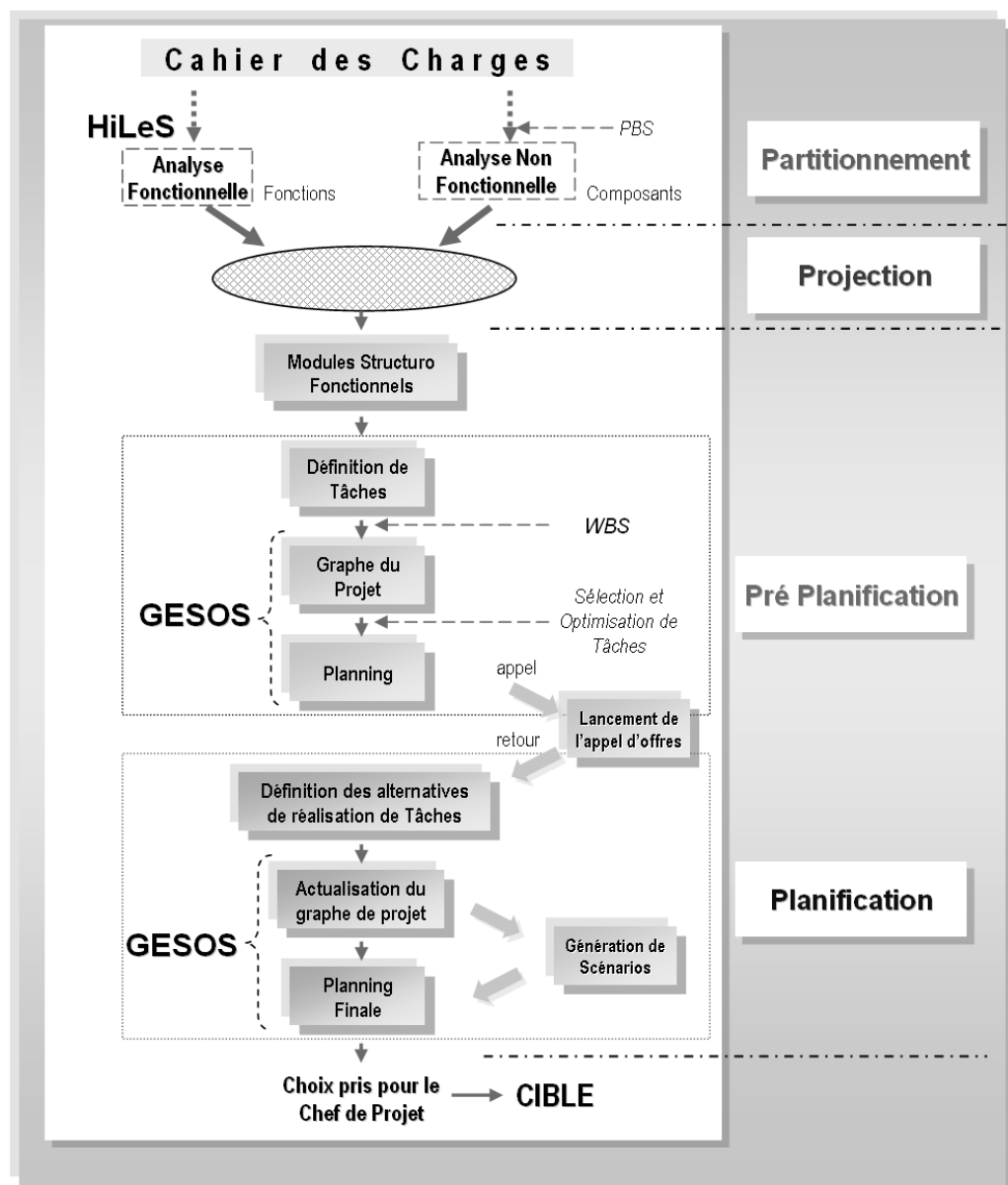


FIGURE 1-22. Diagramme général des étapes de la méthodologie

Pour terminer, nous avons introduit l'idée de construire progressivement une plateforme avec tous les outils et toutes les informations utiles :

- Les outils seront, dans notre travail, moins importants que la démarche définissant l'échange entre le processus de conception et la planification. Les choix que nous avons faits sont de fait dans un souci de conformité aux standards (UML/SysML) et quelque fois pour de raisons de proximité (HiLeS).
- L'information n'est pas véritablement traitée sinon par évocation des fiches associées aux étapes de conception et de conduite de projet. Nous avons toutefois noté que ces options devront être compatibles avec les idées de réutilisation de la connaissance et des acquis que nous n'avons pas approfondi.

Sur le projet précis conception/conduite, nous avons ensuite introduit les étapes principales de notre méthodologie résumée sur la Figure 1-22 : sur la base d'une description fonctionnelle HiLeS, **le partitionnement**, vise le découpage du système en modules fonctionnels et modules organiques (composants physiques) ; **la projection** est une procédure d'association entre la représentation de modules fonctionnels du système et la représentation organique du système pour obtenir une seule représentation avec des modules structuro-fonctionnels ; **la pré planification**, concerne la réalisation d'un premier plan d'activités à soumettre aux fournisseurs ; **la planification**, concerne la mise à jour de la pré planification, après avoir reçu et analysé les retours des fournisseurs.

Dans la pré planification comme dans la planification des améliorations ou alternatives de réalisation des activités devront être considérées pour initier la sélection des choix terminaux avec l'outil de base GESOS.

Chacune de ces étapes seront détaillée dans les prochains chapitres qui composent ce document.

Chapitre 2. Méthodes et Outils: Conception de Produit / Conduite de Projet

Ce chapitre est consacré à la présentation plus détaillée des outils que nous préconisons d'utiliser et à leur mise en œuvre selon la méthodologie que nous proposons : elle a été précédemment visualisée sur la Figure 1.22 selon une représentation d'ensemble en "Y". Cette méthodologie propose l'intégration de deux processus :

- Le processus de gauche est un processus de conception qui part du cahier des charges pour aller jusqu'à une représentation fonctionnelle "amont" où les technologies ne sont pas encore définies.
- Le processus de droite est un processus de description structurale et organique.

Ce deux processus sont couplés pour définir les modules structuro-fonctionnels et introduire les technologies indispensables au processus de prototypage vu en figure 1.6.

Décrire cette méthodologie c'est :

- d'abord présenter ce qui nous avons fait en collaboration avec le LAAS dans la mise au point de l'outil HiLeS, dans la formalisation UML/SysML des exigences.
- interfacer le tout avec l'outil GESOS chargé de sélectionner les meilleurs scénarios.

Nous avons, au terme du chapitre 1, indiqué les points forts de ce travail : fiches partagées, définition de tâches, procédure de spécifications aux fournisseurs, génération des scénarios et sélection.

Comme le montre la Figure 1-22, le passage par les fournisseurs impose dans les étapes que nous préconisons, une étape de pré planification puis une étape de planification.

La présentation simple que nous avons adoptée est de procéder par la présentation des outils, de leur fonction et leurs rôles en nous référant à l'approche générale qui nous avons résumée sur la Figure 1.22, en commençant par introduire le formalisme HiLeS.

2.1 L'outil HiLeS

HiLeS est un outil de spécifications de haut niveau, il offre un langage d'aide à la conception amont des systèmes [HEP 03]. Cet outil est destiné à formaliser le cahier des charges textuel d'un système via le langage UML (cf Section 2.2) par une représentation graphique et simulable. Il a été conçu par les équipes MIS/ISI du LAAS/CNRS comme une extension de la norme CCITT Z.100 [Ham05].

L'outil HiLeS que nous présentons ici est le résultat de deux versions précédentes :

- la première s'agit d'une version théorique [Jim 00] de HiLeS, qui effectue la description fonctionnelle de systèmes par constituants de base qui composent le formalisme de cet outil. Avec eux, le concepteur peut réaliser les descriptions de haut-niveau des systèmes modélisés avec des structures hiérarchiques et avec une représentation formelle de ces états de fonctionnement sous la forme de réseaux de Petri.
- la deuxième version [Ham05], HiLeS Designer, inclut tous les éléments de la première version visualisés dans une interface graphique plus la considération d'une architecture fonctionnelle (vue fonctionnelle du système) dans laquelle sont bien différenciées les séquences de contrôle-commande et les fonctions exécutées à chaque état et l'intégration de modules externes (ré-utilisation). Il propose en outre un raffinement des spécifications et les phases de vérifications [Ham03].

À la version actuelle de l'outil HiLeS, a été ajouté la possibilité d'une représentation architecturale organique (Hiles Architect), sur laquelle est effectuée la modélisation «en amont» des composants physiques de systèmes (vue structurelle du système).

HiLeS contient donc tous les éléments indispensables pour effectuer la modélisation des systèmes sous les deux angles : selon le comportement du système par une *vue fonctionnelle*, et selon sa structure interne par une *vue organique*. Nous verrons en détails, dans le chapitre 3, comment dans notre approche se couplent l'un et l'autre.

2.1.1 Le formalisme HiLeS

On rappelle brièvement ici le formalisme tel qu'il a été décrit dans [Ham05], et approfondi dans le rapport de Hernán Duarte [Dua 06].

HiLeS donne sa description sur un ensemble de **blocs** (structuraux et fonctionnels) et sur des canaux de communication (Figure 2-1).

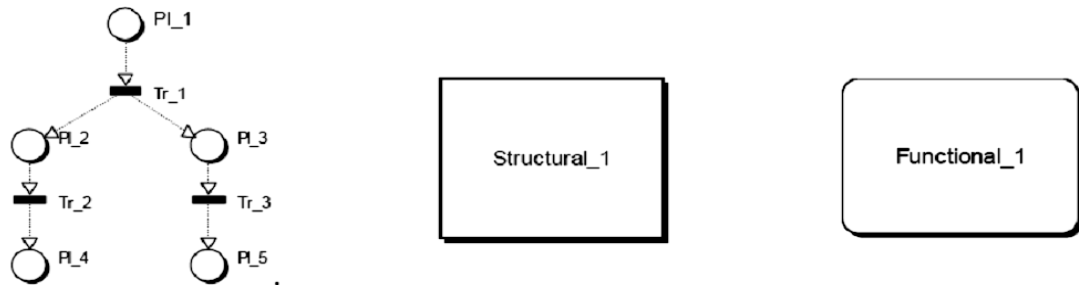


FIGURE 2-1. Les éléments de base du formalisme HiLeS et son modèle de commande par réseaux de Petri

- Les blocs structuraux permettent une décomposition structurale et hiérarchique du système (bloc rectangulaire),
- Les blocs fonctionnels permettent de décrire le comportement du système sous la forme de systèmes d'équations algébriques, logiques ou différentielles (bloc rectangulaire aux angles arrondis).

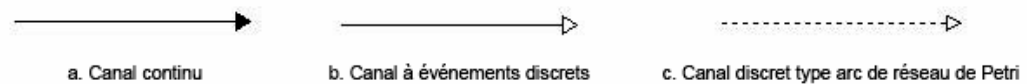


FIGURE 2-2. Les signaux sur HiLeS

Les **signaux** dans HiLeS permettent de modéliser les communications entre les différents blocs fonctionnels et structuraux. Étant donnée qu'HiLeS est utilisable pour toutes les solutions technologiques, ces communications auront une signification différente selon la nature des blocs et leur contenu. Par exemple, un signal de communication continu pourra représenter une variable d'état pour la modélisation de processus continus associés aux blocs (par exemple, une variable exprimant une vitesse, une position...). Un signal peut aussi représenter une variable logique utilisable dans un algorithme de commande, etc.

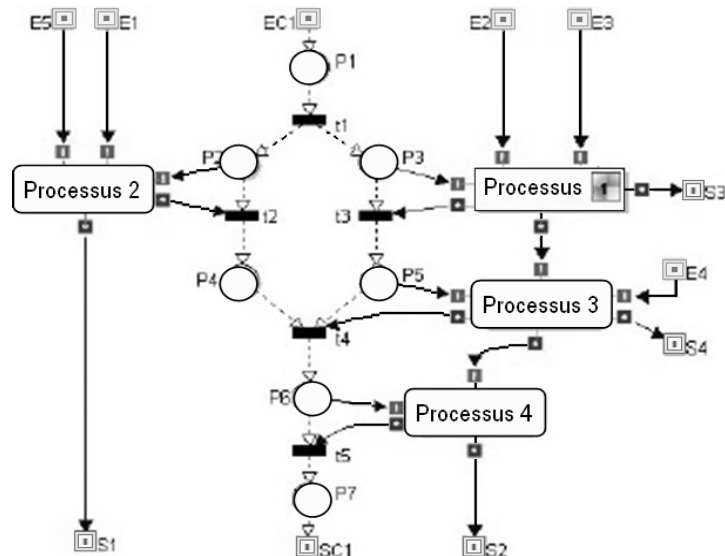


FIGURE 2-3. Exemple de Modélisation Fonctionnelle HiLeS

Les *entrées* sont représentées sur la gauche et en haut des blocs alors que les *sorties* sont représentées à la droite et en bas des blocs. Les signaux de commande sont eux représentés à coté des blocs (Figure 2-3).

2.1.1.1 Modélisation fonctionnelle HiLeS

HiLeS propose une représentation hiérarchique du système en plusieurs niveaux d'abstraction, permettant de visualiser le système globalement et d'approcher plus finement sa structure à travers ses différents constituants.

La décomposition en niveaux hiérarchique de la conception HiLeS permet par exemple, dans le **Niveau 0**, d'accéder à une description de l'environnement du système et à la fonctionnalité principale du système ; sous le **Niveau 1**, on a les fonctions principales du système, représentés par blocs structuraux et blocs fonctionnels ; le **Niveau 2** décrit les fonctions complémentaires non spécifiées dans le cahier des charges mais nécessaires pour réaliser la fonction principale, représentées aussi par des blocs structuraux et blocs fonctionnels ; le **Niveau 3** donne plus le détail des fonctions élémentaires [Mau 05], et des réseaux de Petri introduits pour la gestion temporelle des événements, comme montre la figure 2-4.

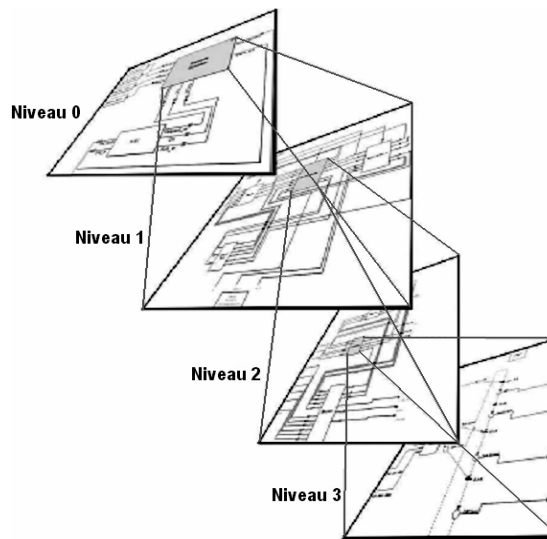


FIGURE 2-4. La décomposition fonctionnelle par niveaux dans HiLeS

2.1.1.2 Modélisation organique HiLeS : HiLeS Architect

Par l'analyse du système selon sa structure interne, dans HiLeS, nous avons pensé à la possibilité de modéliser le système par une procédure descendante en organes, qui peut être aussi détaillée que l'on veut, jusqu'à aboutir aux constituants les plus élémentaires. Notre proposition est que la décomposition en organes sur l'outil HiLeS devra être effectuée de manière très similaire à celle de la décomposition fonctionnelle. Par exemple, dans le **Niveau 0**, sera effectuée une description générale du système, représentée par un seul bloc qui représente le système en sa totalité ; dans le **Niveau 1**, le système doit être décrit par ses

premiers constituants, ou sous-systèmes, par des blocs ; le **Niveau 2** décrira les éléments qui forment les sous-systèmes, représentés aussi par des blocs, etc., le **Niveau n** exposera plus en détail les constituants élémentaires du système.

2.1.1.3 Les autres outils associés à HiLeS

En partant du cahier des charges, et en appliquant, selon l'OMG, une démarche de formalisation des spécifications du système via le langage UML/SysML, on veut aboutir à un modèle (exemplaire) formel HiLeS. Grâce à cette démarche, nous disposons :

- d'une représentation fonctionnelle hiérarchique définissant l'architecture du système,
- d'une représentation temporelle exprimant la logique de fonctionnement.

Ce niveau de représentation est suffisant pour mettre en place le pont vers la conduite de projet ; nous verrons cela dans la section 3.3 consacrée au partitionnement.

Restons, quelques instants encore, sur la représentation HiLeS pour voir plus précisément le processus parallèle au nôtre, dirigé vers le prototypage virtuel. Il comporte :

- la vérification du modèle proposé grâce à l'outil TINA,
- la transition vers le prototypage virtuel via la transformation HiLeS/VHDL-AMS.

L'ensemble des outils et leurs interconnexions sont représentés sur la figure 2-5. Présentés ainsi, nous avons la base d'une plateforme d'outils réalisant le couplage conception/conduite.

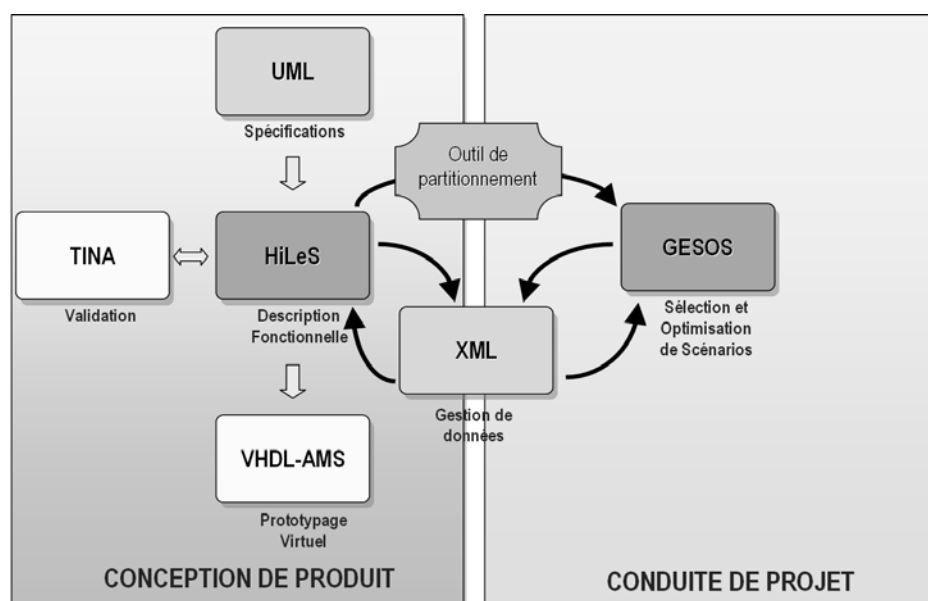


FIGURE 2-5. Domaines de compétence des différents outils

Nous effectuons une description détaillée de ces outils dans les paragraphes qui suivent.

2.2. La formalisation des exigences guidée par la notation UML/SysML

Pendant ces années de recherche en collaboration avec plusieurs équipes de travail, le groupe MIS du LAAS a choisi de s'appuyer sur UML/SysML pour traduire les spécifications textuelles du cahier des charges du système vers une modélisation logique dans un environnement HiLeS. UML (Unified Modeling Language) est un langage de conception de logiciel informatique qui est devenu un standard ces dernières années. Il est un formalisme qui permet la spécification, la visualisation, la construction et la documentation formelle des systèmes. Pour ce faire, il se base sur des diagrammes pour produire une structure de base du code.

Il propose des descriptions associées à des objets graphiques pour faciliter la conception. Pour cela, plusieurs industriels se sont associés afin d'adapter la méthodologie UML à la conception système et créer SysML.

Nous avons aussi choisi UML, parce qu'il est une notation unique et standard, connue par tous et exploitable pour la plupart de niveaux de développement (analyse préliminaire jusqu'au code) et qu'il est utilisé même en dehors du domaine de l'informatique, comme dans l'organisation d'entreprise, l'ingénierie de systèmes, etc. Nous verrons ensuite sa mise en œuvre.

La notation UML est issue des travaux de Booch, Rumbaugh et Jacobson [Mul 97], auteurs des méthodes de développement à objets parmi les plus utilisées (les méthodes Booch, OMT et OOSE). UML est le successeur commun de ces trois méthodes, dont elle reprend la plupart des concepts et notations, dans un souci d'unification. Le manque d'uniformisation, les difficultés à communiquer entre outils constituaient en effet un frein au déploiement des méthodes de développement à objets. Il était donc souhaitable de créer un langage commun convenant à la modélisation des systèmes informatiques, mais également suffisamment générique pour prendre en compte des problèmes d'autres domaines. Contrairement à ces prédécesseurs, UML impose un langage (en cours de normalisation par l'OMG), mais laisse libre le choix du processus de développement associé.

Pour suivre cette idée, les ingénieurs en systèmes adoptent, de plus en plus, le langage de modélisation logiciel UML et le langage de modélisation système SysML (Systems Modeling Language) pour spécifier et structurer le système. Cela a de nombreux avantages, entre autres, la vérifiabilité et la faisabilité de transmettre les informations système aux ingénieurs de toutes disciplines et, particulièrement, de faire communiquer les spécifications de matériel et ceux du logiciel.

Ce paragraphe décrit comment UML/SysML peut être utilisé pour travailler sur les exigences et spécifier l'architecture système. Les principaux supports de UML/SysML sont des diagrammes : cas d'utilisation, diagrammes de séquence, diagrammes d'activité, diagrammes état/transition, diagrammes de structure...

Notre idée et celle des équipes du LAAS est d'utiliser ce standard pour une formalisation, des exigences par étapes, pour aboutir à une modélisation logico-temporelle, dans le formalisme HiLeS.

La figure 2-6 présente les étapes principales que nous préconisons pour parvenir à cet objectif. Chaque étape correspond à un apport de connaissance supplémentaire (transformation de modèle) qui doit aboutir à l'utilisation d'un nouveau diagramme UML, offrant une nouvelle vue plus riche du système.

La modélisation sur HiLeS va finalement inclure deux visions :

- une vue statique correspondant à une décomposition fonctionnelle hiérarchique,
- une vue dynamique permettant d'identifier le modèle de commande et les communications entre les unités fonctionnelles.

Vue statique

Une voie permettant de **définir les unités fonctionnelles du système** est de représenter les activités du système, identifiées lors l'étude des cas d'utilisation, dans un diagramme d'activités non partitionné, puis de les regrouper.

Cette opération UML/SysML permet d'identifier les unités fonctionnelles du système et de faire ressortir des architectures possibles. Un diagramme de classe permet alors de représenter clairement la décomposition du système et de faciliter l'étude de la dynamique du système.

Vue dynamique

Partant du diagramme de classe, l'élaboration d'un diagramme de collaboration faisant apparaître les échanges de messages entre classe permet d'identifier les relations principales entre blocs fonctionnels. Par la suite, les informations contenues dans la description des diagrammes des Cas d'Utilisation permet d'établir les diagrammes de séquences correspondants qui introduisent la notion de délai d'exécution des tâches, puis de préciser quel est la nature des signaux à inclure entre fonctions (continues, discrètes...).

Comme cela a été décrit dans le paragraphe 2.1.1, HiLeS présente ces résultats d'analyse dans une représentation en blocs et en réseaux de Petri. Les réseaux de Petri permettent de faire apparaître les performances liées à la dynamique du système. Ces performances peuvent être comparées aux contraintes présentes dans le cahier des charges fonctionnel, ou identifiées puis affinées, lors de l'études des cas d'utilisation. Il s'agit de contraintes temporelles, de précedence, d'ordonnancement, de synchronisation, etc.

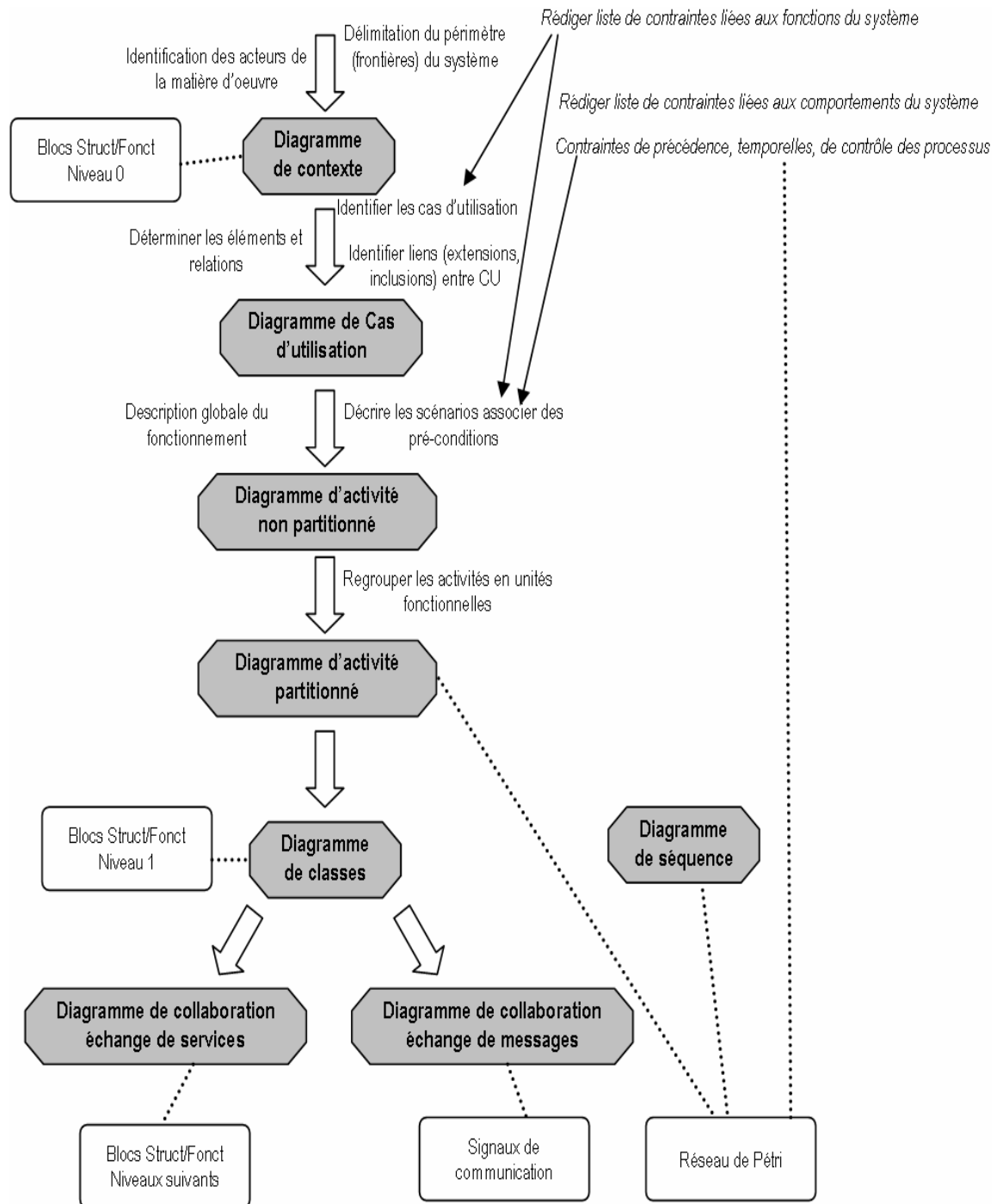


FIGURE 2-6. Application du formalisme UML pour l'analyse du cahier des charges

Nous allons maintenant appliquer ce principe, et détailler avec la modélisation objet suivie par UML notre démarche pour l'étape de formalisation des spécifications.

2.2.1. Les diagrammes d'UML

Un diagramme donne à l'utilisateur un moyen de visualiser et de manipuler des éléments de modélisation.

Les diagrammes peuvent montrer tout ou partie des caractéristiques des éléments de modélisation, selon le niveau de détail utile dans le contexte d'un diagramme donné.

Voici les différents diagrammes d'UML qui nous avons considéré.

Diagrammes de Contexte

Nous débutons dans ce travail de formalisation avec le diagramme de contexte, qui donne une première représentation utile du système : il permet d'identifier les acteurs et leurs interactions avec le système et l'environnement. Cette interaction peut être de nature continue ou discrète. Il conviendra également d'associer au système, décrit comme une "boîte noire", l'expression de sa fonction globale.

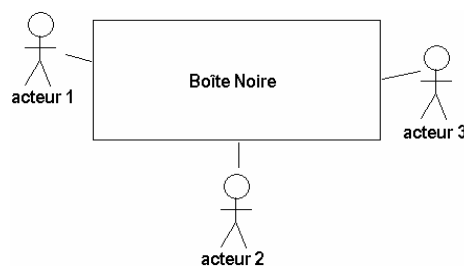


FIGURE 2-7. Représentation d'un diagramme de contexte

Dans notre cas, une première relation entre UML et HiLeS peut être identifiée très tôt dans le processus, dès l'élaboration du diagramme de contexte. En effet, la solution du niveau 0 sur HiLeS est de faire apparaître la fonction globale du système et ses interactions avec le monde extérieur (acteurs), ce qui le rend très proche du diagramme de contexte dans UML. La modélisation de l'interaction existant entre le système et son environnement fait donc apparaître un premier bloc structurel représentant la fonction générale du système tel que montre la figure 2-7.

Diagramme de Cas d'utilisation

Les cas d'utilisation définissent les fonctions que le système doit accomplir pour remplir sa mission.

Nous rappelons qu'un diagramme de cas d'utilisation est composé de six éléments: les *systèmes*, les *acteurs*, les *cas d'utilisation*, les *associations*, les *dépendances* et les *généralisations*.

- Système : cet élément fixe les limites du système en relation avec les acteurs qui l'utilisent (en dehors du système) et les fonctions qu'il doit fournir (à l'intérieur du système).
- Acteur : un acteur est un rôle joué par une personne, un système ou un élément qui intervient dans le fonctionnement normal du système.

- Cas d'utilisation : identifie les fonctions clé du système. Sans cette fonction, le système ne satisfait pas les besoins des utilisateurs/acteurs. Chaque cas d'utilisation représente une fonction que le système doit être capable d'accomplir.
- Association : identifie une interaction entre les acteurs et les cas d'utilisation. Chaque association devient un dialogue qui doit être expliqué dans une description narrative. Chaque description fournit un ensemble de scénarios qui jouent le rôle de tests lors d'évaluation, d'analyse, de la conception et d'implémentation du cas d'utilisation.
- Dépendance : identifie une relation de communication entre deux cas d'utilisation.
- Généralisation : définit une relation entre deux acteurs ou deux cas d'utilisation lorsqu'un des cas hérite d'autre et modifie ses propriétés en ajoutant de nouvelles.

En suivant, le diagramme des Cas d'utilisation est la technique la plus effective et à la fois la plus simple pour modéliser le fonctionnement du système du point de vue de l'utilisateur [Pen 02]. Les Cas d'utilisation sont utilisés pour modéliser comment un système fonctionne ou comment les utilisateurs souhaitent qu'il fonctionne. Ce n'est pas seulement un rapprochement à l'orientation "objets", c'est aussi une façon de modéliser des processus. Le modèle de cas d'utilisation décrit les acteurs et des cas d'utilisation (voir Figure 2-8).

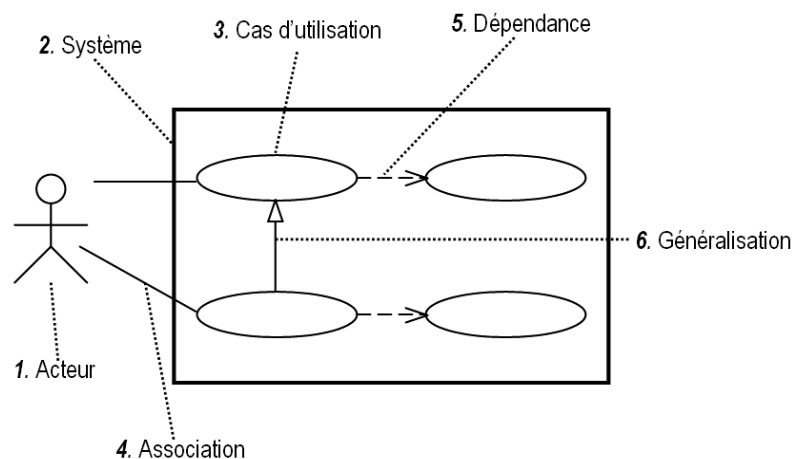


FIGURE 2-8. Diagramme des cas d'utilisation

Le **modèle de cas d'utilisation** est constitué d'une série de diagrammes et de textes qui décrivent la façon dont les utilisateurs sont amenés à interagir avec le système. Pour cela, le modèle de cas d'utilisation est composé par des diagrammes de cas d'utilisation, la description narrative et les scénarios (utilisant un organigramme ou *diagramme d'activité*, décrits ces derniers dans le paragraphe 2.2.4). Le modèle de cas d'utilisation est centré sur les facteurs critiques de succès du système, en termes de fonctionnalités ou de caractéristiques avec lesquelles les utilisateurs doivent interagir. La Figure 2-9 montre les ressources du modèle de cas d'utilisation.

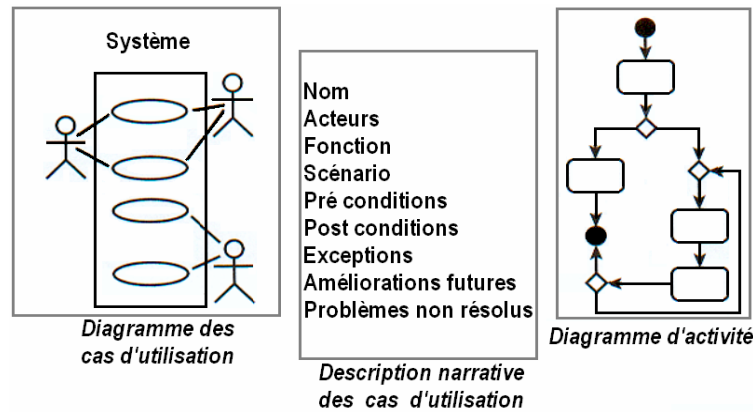


FIGURE 2-9. Les ressources du modèle de cas d'utilisation

En définissant les cas d'utilisation de cette façon, nous considérons le système comme un ensemble de besoins plutôt que comme une solution. Nous ne décrivons pas comment le système doit fonctionner, mais ce qu'il doit être capable d'accomplir. Les cas d'utilisation décrivent uniquement les fonctions visibles et significatives pour les acteurs utilisant le système. En gardant cela à l'esprit, nous devons à ce niveau être capables de visualiser la *décomposition fonctionnelle* en partant de la représentation des cas d'utilisation. Car une décomposition qui suit la forme des cas d'utilisation conduit à une approche fonctionnelle classique [Mul 97].

Dans l'approche objet, un cas d'utilisation est réalisé au moyen d'une collaboration entre objets. Les scénarios, instances du cas d'utilisation, sont représentés par des diagrammes d'interaction (diagrammes de collaboration et diagrammes de séquence) [Mul 97]. La figure suivante illustre le choix de décomposition après l'étude des cas d'utilisation.

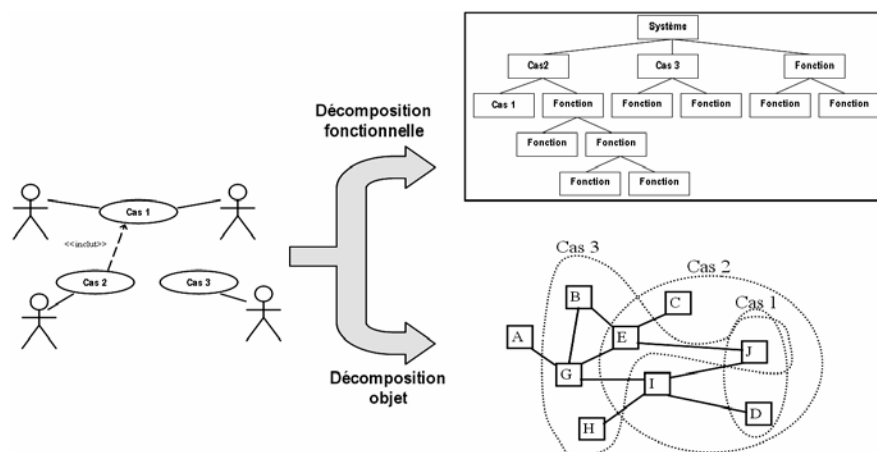


FIGURE 2-10. Représentation du virage vers l'objet après une étude de cas d'utilisation

Sur cette idée du virage vers l'objet et la décomposition fonctionnelle, nous avons centré notre intérêt sur la décomposition fonctionnelle. Nous allons dans le paragraphe 2.3 faire un bilan sur UML et montrer de quelle façon nous allons transformer les résultats d'UML pour la construction hiérarchique sur le formalisme HiLeS. En tant, nous continuons sur l'analyse effectuée avec UML.

Diagrammes d'Activités

On les utilise pour visualiser, spécifier, construire et documenter la dynamique d'un ensemble d'objets ou simplement pour modéliser le flux de contrôle d'une opération. Les diagrammes d'activités sont fondamentalement un Diagramme de Flux qui montrent le flux de contrôle entre les activités.

Les diagrammes d'activité offrent un outil graphique pour modéliser le processus d'un Cas d'Utilisation. Ils peuvent être utilisés comme un ajout à une description textuelle du cas d'utilisation, ou pour énumérer les pas du cas d'utilisation. Une description textuelle, un code, ou d'autres diagrammes d'activité peuvent détailler plus l'activité.

Diagramme de Classes

Le Diagramme de Classes est un diagramme éventuel pour la représentation système car les classes modélisent les objets constituant le système. Un diagramme de classes présente les classes du système avec ses relations structurelles et d'héritage. La définition de classe inclut des définitions pour les attributs et les opérations.

Le diagramme de classes peut être divisé en parties : application, et données, qui montrent les classes qui interviennent avec l'interface utilisateur, la logique de l'application, et le stockage des données respectivement. Une fois que les objets sont trouvés, ils peuvent être regroupés par type dans un Diagramme de Classes. C'est le diagramme de classe qui montre la structure statique du système.

Diagrammes de séquences

Le diagramme de séquence est un diagramme très efficace pour modéliser une interaction entre des objets dans un système. Un diagramme de séquence est associé à chaque cas d'utilisation, il contient les détails de mise en œuvre du scénario, y compris les objets et les classes qui sont utilisées pour mettre en œuvre le scénario, et les messages entre les objets.

Dans ce diagramme, on commence à observer le comportement du système à partir des événements produits par les acteurs. On interagit ici avec des instances, non avec des classes, ensuite on montre les diagrammes de séquences de quelques processus spécifiques du système.

Diagrammes de collaboration

Ces diagrammes, comme leur nom l'indique, montrent les collaborations entre les classes pour exécuter les cas d'utilisation. Ils sont aussi considérés dans cette phase à travers les modèles dynamiques en UML.

Il est important de remarquer que dans ces diagrammes, on considère seulement des classes qui sont dans le domaine du problème (concepts du monde

réel) et on ne considère pas encore de classes qui définissent des détails et des solutions dans le système du hardware/software, comme classes pour interfaces d'utilisateur, bases de données, communications, accord, etc.

2.2.2 La modélisation amont dans le formalisme HiLeS

Dans la notation UML que nous venons de présenter, nous détaillons comment avec ce formalisme il a été possible de représenter un projet par des diagrammes qui représentent différentes vues de ce projet et comment ces diagrammes vont ensemble conduire à l'architecture fonctionnelle du système.

Pour la démarche de conception descendante, on part du diagramme de contexte qui va nous permettre d'effectuer directement la transition au premier niveau (niveau 0) de la démarche de conception HiLeS. Ensuite le *modèle* de cas d'utilisation (constitués d'une série de cas d'utilisation, des textes qui décrivent la façon dont les utilisateurs doivent interagir avec le système et des scénarios, qui donnent une façon d'organiser le travail, pour cela sont utilisés les diagrammes d'activités), permet d'effectuer la conception hiérarchique des niveaux 1 et 2 sur HiLeS. Finalement les diagrammes de séquences appuyés par les diagrammes de collaboration et d'état permettent d'effectuer de manière progressive la conception hiérarchique des niveaux 3, 4... sur la modélisation HiLeS.

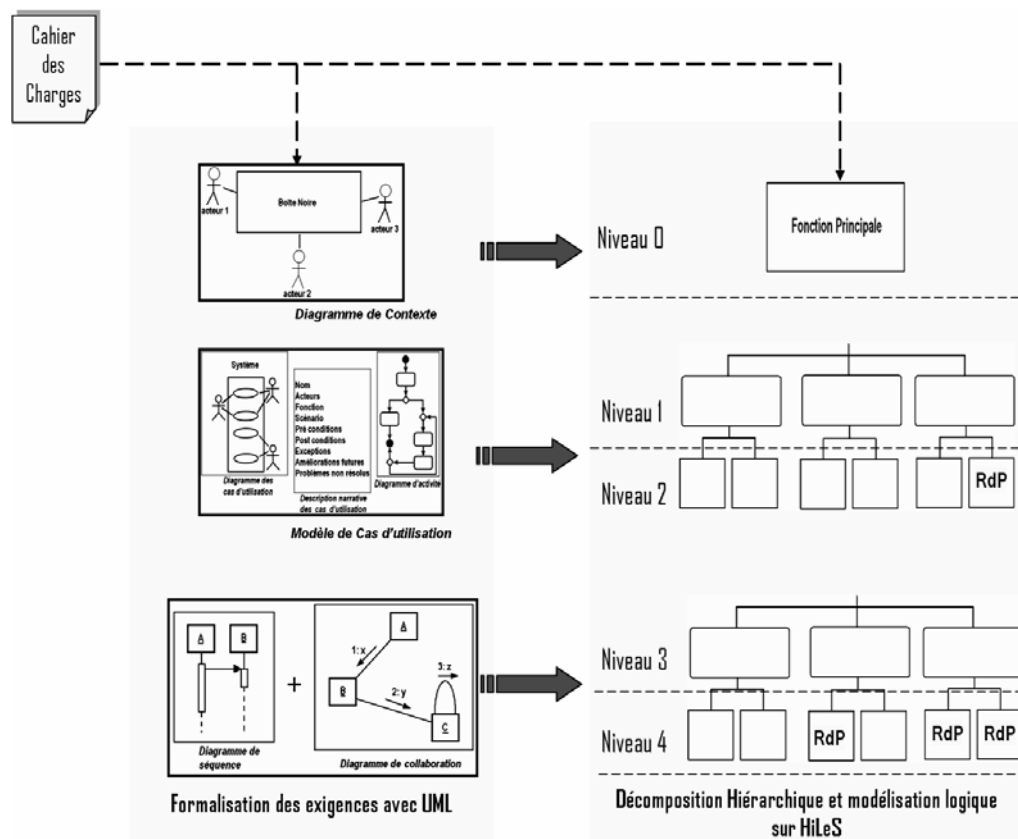


FIGURE 2-11. Correspondance entre les formalismes UML et HiLeS

Cette démarche nous a permis de visualiser la principale différence entre les cas d'utilisation et la décomposition fonctionnelle : leurs objectifs. La

décomposition fonctionnelle décrit le processus, alors que le cas d'utilisation s'intéresse au but du processus. Ce point de vue est essentiel si l'on veut éviter d'aller directement à des solutions sans savoir pourquoi. Cela permet de rester ouvert à des solutions diverses et à des technologies innovantes.

Cette procédure est montrée dans la Figure 2-11 que nous avons proposée avec Jean Verries [VeJ 06]. Elle est très proche des étapes que nous avons préconisées sur la Figure 2-6.

2.3 Le rôle de L'outil TINA via HiLeS

Les réseaux de Petri constituent un outil très bien adapté à la modélisation et l'analyse de systèmes complexes présentant de la concurrence et de la synchronisation. Les réseaux de Petri ont été introduits dans les années 70 afin de décrire et vérifier le comportement global des systèmes complexes au cours du temps.

De nombreux outils d'analyse permettant la vérification de systèmes continus et discrets par la vérification de systèmes à l'aide des réseaux de Petri en temps discret sont disponibles. Dans notre cas, on préconise d'utiliser l'outil TINA (Time petri Net Analyzer) qui définit une boîte à outils pour l'analyse des réseaux de Petri et des réseaux Temporels. Il a été conçu dans le groupe OLC du LAAS/CNRS [Ber 83].

TINA est employé comme un simulateur externe de validation en arrière plan, pour faire la vérification structurelle des réseaux de Pétri du système, à partir de HiLeS Designer. A la fin de la vérification, HiLeS Designer récupère les résultats et les interprète afin de fournir au concepteur les premiers éléments de vérification du projet.

Dans notre application au Robot, J. Verries et Najla Chamseddine [VeJ 06] [Cha 06] ont fait les premières vérifications de la qualité de modélisation. Ces vérifications ont été faites en se basant sur une liste de contraintes qui doivent être respectées en permanence.

Ainsi, nous avons spécifié des contraintes cohérentes décrites en langage naturel avec l'intérêt d'effectuer la vérification de la fonctionnalité du modèle établie du système de robot pour la fabrication de biopuces. Cet aspect a été illustré par la définition d'une liste de contraintes qui vont permettre de qualifier la fonctionnalité du système.

Dans le cadre de ce projet, nous avons examiné deux types de contraintes : *fonctionnelles et temporelles*, identifiées dans les exigences fonctionnelles du cahier des charges. Elles ont été signalées avec un code de référence qui va permettre les retrouver très facilement et très vite.

À titre d'exemple, dans le chapitre 4, paragraphe 4.2.4, nous avons considéré pour notre projet d'application une liste de contraintes fonctionnelles et

temporelles qui doivent être accomplis afin de vérifier et valider le bon fonctionnement de ce système..

Une fois établies ces listes de contraintes, le travail suivant a consisté à définir les propriétés spécifiques que devaient satisfaire ces contraintes liées au comportement du projet d'application. Pour ce travail, les auteurs sont partis du modèle Hiles du robot déjà réalisé dans le cadre du stage de M. Jean Verries [VeJ 06]. Ce modèle Hiles initial était complet mais avait été développé sans souci de vérification [Cha 06].

Ainsi, en procédant de manière graduelle dans la modélisation, ils sont partis d'un modèle simplifié traduisant le fonctionnement de base du système pour lui ajouter au fur et à mesure des fonctionnalités plus fines.

2.4 Le couplage au Simulateur VHDL-AMS

VHDL (Very High Speed Integrated Circuits Hardware Description Language) est un langage puissant de description des circuits d'électronique numérique. Avec VHDL, il est possible de simuler et de synthétiser des circuits numériques de différentes technologies. Toutes entités déjà créées sont archivables dans une librairie pour être modifiées ou réutilisées plus tard. L'avantage majeur en matière de productivité est lorsqu'une librairie comporte beaucoup de composants simples prêts à être intégrés à des systèmes plus complexes.

La première standardisation de ce langage a été proposée en 1987. En 1993, une version améliorée a été standardisée. Elle devait permettre d'intégrer la modélisation de systèmes analogiques mais beaucoup de travail devait encore être réalisé pour y parvenir. Un groupe de travail spécifique a donc été formé pour développer une extension du langage qui pourrait permettre la description et la simulation de systèmes mixtes analogiques numériques. Cette version étendue a pour nom VHDL-AMS (AMS : Analog and Mixed Signal) et a été standardisée récemment sous la référence IEEE - VHDL 1076.1.

VHDL-AMS, permettant la modélisation et la simulation de circuits et de systèmes analogiques et mixtes, laisse entrevoir un bouleversement important. L'approche comportementale de VHDL-AMS offre la souplesse de modélisation qui manque à l'outil SPICE (outil employé aussi pour la modélisation et la simulation de circuits et de systèmes analogiques et mixtes). Cet atout incontestable, allié à la possibilité de simuler des systèmes mixtes, devrait rapidement faire de VHDL-AMS la référence dans le domaine de la simulation pluridisciplinaire (Prototypage Virtuel).

La traduction automatique des modèles HiLeS en Modèles VHDL-AMS fait parti d'un processus parallèle à celui de la conduite de projet qui nous concerne plus directement. Par contre, il est indispensable aux fournisseurs pour concevoir et proposer des solutions aux modules structuro-fonctionnels qui nous servent à définir les tâches et leur planification.

2.5 De HiLeS à GESOS : les outils de couplage conception/planification

L'exercice de partage d'information et l'interopérabilité entre les outils HiLeS et GESOS va être possible dans la plate-forme commune décrite sur la conception de produit et la conduite du projet crée (paragraphe 1.3). Dans ce contexte les données qui seront utilisées par GESOS doivent provenir de HiLeS, sous un même format standardisé, afin de permettre la réalisation d'une description formelle du produit, et de représenter les relations temporelles entre les tâches du projet et en particulier leurs séquences et l'allocation des ressources. Afin d'aboutir à cette représentation, nous allons maintenant décrire GESOS.

GESOS est un outil informatique, développé dans l'équipe SEC (Systèmes Embarqués Critiques) du Laboratoire d'Études des Systèmes Informatiques et Automatiques (LESIA) de Toulouse. Il se place dans le cadre du développement des méthodologies et d'outils d'optimisation pour l'évaluation en conduite de projet.

De façon générale, l'étude effectuée avec GESOS se situe donc dans un contexte de gestion des risques partagés entre la conduite de projet et la conception de systèmes. Initialement, il s'agit d'identifier les risques susceptibles de survenir pour mieux les anticiper (rupture de stock, faillite fournisseur, formation insuffisante de la main d'œuvre, etc.). Ainsi, à chaque étape, sont générées différentes alternatives, correspondant à des solutions envisageables compte tenu du risque considéré, que le chef de projet et le concepteur pourront choisir en cas de besoin (voir Figure 2-12).

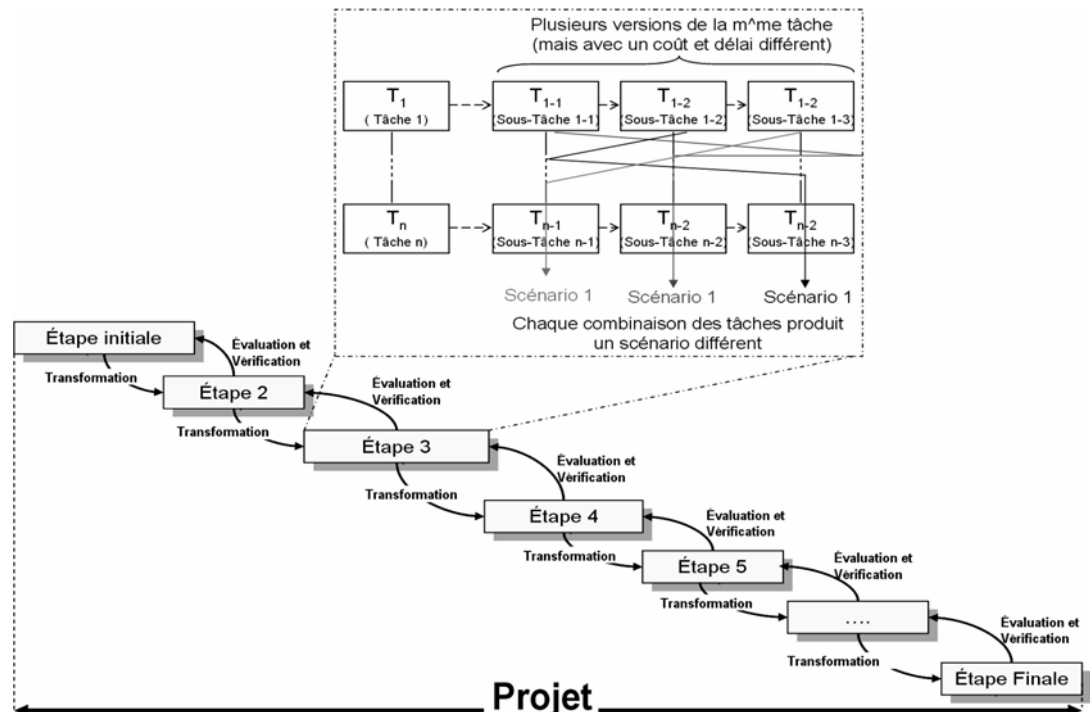


FIGURE 2-12. Alternatives de réalisation du projet à partir de ses différentes étapes

Le choix d'une alternative au moment où survient un incident sera guidé par la cohérence de celui-ci avec les choix antérieurs et postérieurs. L'élaboration d'un nouveau scénario ou d'une nouvelle organisation, pour mener le projet, résultera

de la définition d'un enchaînement d'alternatives cohérentes. Parmi l'ensemble des scénarios possibles, il s'agira d'en sélectionner un, ou quelques uns, qui permettront d'atteindre les objectifs en s'en écartant le moins possible en cas d'aléa sur le déroulement du processus de conception et de la conduite de projet. Pour cela, GESOS utilise un algorithme évolutionnaire (voir les différentes étapes sur la figure 2-12). Cette technique permet l'optimisation des performances des scénarios selon de plusieurs critères d'intérêt comme le coût et le délai. Cette technique est analysée plus en détails dans [Roc 04].

Le choix d'utiliser des algorithmes évolutionnaires s'est appuyé sur trois points : d'abord, ils sont bien adaptés aux paramètres multiples car ils considèrent un ensemble de combinaisons simultanément, ce qui permet d'offrir au décideur une gamme de solution à chaque étape. Ainsi, à chaque étape du calcul, est présentée une sélection des solutions possibles et pas une solution simple. En second lieu, ils emploient un critère très simple d'évaluation en assignant une note à chacun individus selon ses performances. Ceci évite l'utilisation d'outils mathématiques plus complexes comme le gradient ou la dérivée, qui ne sont pas facilement utilisables ou pas très adaptés dans un problème semblable. Troisièmement, employer une approche évolutionnaire est également intéressant en considérant la possibilité de traiter des types hétérogènes de représentations [Zam 04].

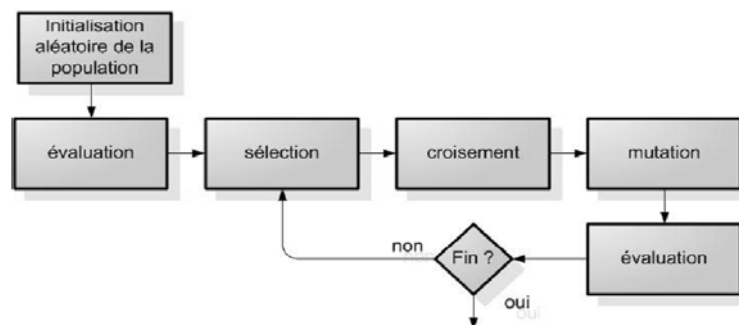


FIGURE 2-13. Principe de fonctionnement de l'algorithme génétique

Basé sur ce principe, GESOS permettra au chef de projet de choisir très rapidement une nouvelle solution lors de l'occurrence d'un événement imprévu. Dans un premier temps, une première estimation grossière est effectuée puis des ajustements réguliers tout au long du processus de gestion de projet vont permettre de d'adapter peu à peu la solution proposée aux événements réels pour faire tendre le projet vers les objectifs fixés (Figure 2-13).

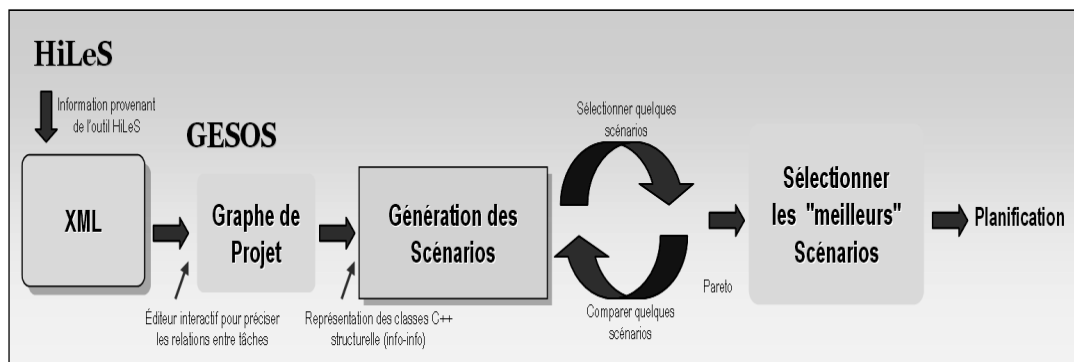


FIGURE 2-14. Conception Architecturale HiLeS

Il sera alors, pour permettre une utilisation souple de ce logiciel, mis en place des outils d'aide à la décision. On s'emploiera, entre autres, à fournir un ensemble de scénarios possibles dont le nombre pourra être préfixé par l'utilisateur. Ces scénarios devront être chacun proches de l'optimum mais suffisamment différents les uns des autres pour qu'ils puissent lui proposer de « véritables » alternatives d'organisation du projet.

Ainsi, GESOS interviendra comme un outil de comparaison de scénarios, avec la possibilité de fixer certaines alternatives pour faciliter le choix parmi les scénarios proposés ou évaluer l'impact de tel ou tel événement sur le scénario retenu. Pour cela, GESOS s'appuie sur la fonction de perte de Taguchi, présentée ci-après.

2.5.1 L'approche Taguchi dans la conduite de Projet

Afin d'évaluer dans quelle mesure les cibles sont atteintes, GESOS emploie l'approche de Taguchi [War 89]. Elle repose sur une idée fondamentale : la qualité peut être mesurée par l'écart à une valeur à atteindre fixée.

La célèbre "Quality Loss Function" (fonction de perte de qualité) de Genichi Taguchi assigne une valeur économique aux pertes dont souffre la compagnie par le mécontentement des clients quand la qualité du produit est inférieure à certains paramètres établis. Cette fonction est fréquemment utilisée pour évaluer le coût associé à la qualité. Grâce à la "Quality Loss Function", une entreprise peut trouver une réponse à des questions comme :

- Il est nécessaire de continuer à investir en améliorer la qualité ?
- Le coût de l'investissement en qualité est supérieur ou inférieur au coût par mécontentement des clients ?

À travers cette méthode, le fabricant peut focaliser ses efforts dans les facteurs qui ont un impact plus fort sur la qualité du produit pour diminuer les coûts et maximiser la satisfaction du client.

Traditionnellement, la qualité est regardée comme une fonction échelon (figure 2-15) où est indiqué si un produit est bon ou mauvais. L'axe vertical représentant le degré de mécontentement que le client a par rapport à la qualité du produit. Cette vue suppose que un produit est uniformément bon entre les bornes.

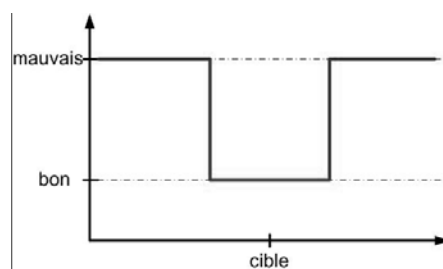


FIGURE 2-15. Fonction de qualité classique

Par ailleurs, Taguchi suggère une méthode basée sur une courbe quadratique (Figure 2-15) pour représenter le mécontentement d'un client par rapport au produit. La courbe est centrée sur la valeur à atteindre, qui fournit le meilleur produit aux yeux du client. Il s'agit là de spécifications de conception client-conduite plutôt que des spécifications d'ingénieur. Il y a une certaine perte financière encourue à la tolérance supérieure du consommateur [Yac 04]. Ceci a pu être une charge de garantie à l'organisation ou à des dépenses de réparation par exemple.

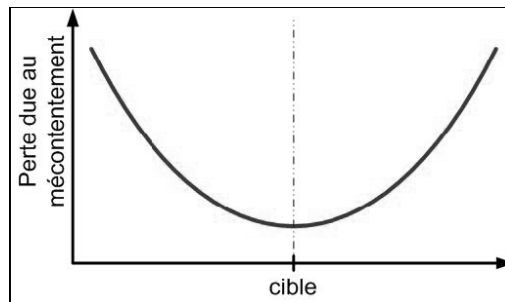


FIGURE 2-16. Fonction de perte de qualité de G. Taguchi

Cette approche synthétique très attrayante nous invite à considérer, en termes de coût, chaque conséquence des spécifications du produit. En effet, à l'origine, la fonction de perte de Taguchi établit une mesure financière du mécontentement de l'utilisateur en ce qui concerne un produit pendant qu'elle dévie d'une valeur cible à atteindre.

Dans notre contexte, le chef de projet doit définir une cible considérant des objectifs techniques aussi bien que financiers. Il ainsi doit mener simultanément un développement de produit et un procédé de gestion de projet.

La valeur des paramètres de chaque optimisation sera la valeur de la fonction de perte associée à l'objectif qui permet de travailler sur un problème de minimisation dans lequel il faut déterminer des individus avec la fonction minimum de perte.

$$L = K(O - T)^2 \quad (\text{Équation 2.1})$$

Avec L comme la valeur de la fonction de perte, T la valeur cible à atteindre, O la valeur objective, et K le paramètre d'utilisateur, lequel permet d'adapter chaque fonction de perte au type d'objectif.

Ceci nous permet de ramener notre travail à un problème de minimisation au sein duquel chaque scénario possède un vecteur de performance P (équation 2.2) de c composantes et un nombre de critères pris en comptes lors de l'évaluation.

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_1 (O_1 - C_1)^2 \\ K_2 (O_2 - C_2)^2 \\ \vdots \\ K_c (O_c - C_c)^2 \end{pmatrix} \quad (\text{Équation 2.2})$$

Avec P_i valeur de la fonction de perte du critère i , C_i celle de la cible du critère i , O_i celle obtenue lors de la simulation du scénario et K_i un paramètre utilisateur qui permet d'associer chaque fonction de perte à un déficit en faisant correspondre la valeur obtenue avec une perte financière.

L'objectif de GESOS sera alors de déterminer les scénarios dont les vecteurs de performance ont des valeurs les plus petites possibles, ce qui revient à minimiser les coûts associés à chaque critère et ainsi déterminer le scénario le plus économique pour l'entreprise.

Actuellement dans ce logiciel seul les critères de durée et de coût du scénario sont pris en compte de la manière suivante :

- Détermination des tâches actives et suppression des inactives (comme l'exemple de la Figure 2-17),

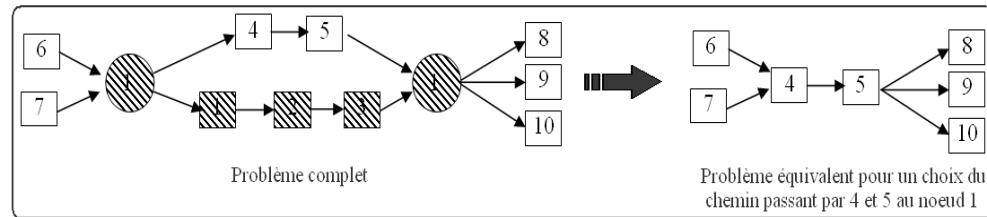


FIGURE 2-17. Exemple de suppression de tâches inactives

- Calcul du cout associé (somme des coûts de chaque étape),
- Calcul de la durée du projet par la méthode PERT,
- Détermination des écarts relatifs au coût Ec et à la durée Ed (équation 2.3).

$$Ec = 1 - \left| \frac{c - b}{b} \right| \quad \text{et} \quad Ed = 1 - \left| \frac{d - d_d}{d_d} \right| \quad (\text{Équation 2.3})$$

avec :

- c , cout estimé du projet
- b , budget disponible
- d , durée estimée du projet
- d_d , durée désirée du projet

- On se ramène ensuite à un critère quadratique de type fonction de perte de Taguchi en déterminant la performance (*fitness*) F de la fonction suivante :

$$F = (Ec \times Ed)^2 \quad (\text{Équation 2.4})$$

L'équation 2.4, décrit la fonction qui permet une estimation grossière des performances de chaque scénario. Cette méthode d'évaluation est peu satisfaisante car elle ne reflète pas l'aspect multicritère du problème, en conséquence dans les études récentes effectuées sur GESOS, a été implémentée une véritable méthode d'évaluation multicritère, afin d'associer à chaque objectif une fonction de perte spécifique et ainsi pouvoir adapter l'évaluation, et donc la sélection à chaque problème. Le but de ces études est d'utiliser des méthodes comme "non dominated sorting genetic algorithm", "niched Pareto algorithm" ou "strength Pareto evolutionary algorithm" qui reposent sur la détermination du front de Pareto [Roc 04] [Che 06].

2.6 Conclusions du chapitre

Nous avons présenté dans ce deuxième chapitre une première partie de la méthodologie préconisée pour le couplage des deux processus conception/conduite. Cette partie est plus spécifiquement liée à la conception. Cela a permis de donner quelques précisions sur les éléments constitutifs de la plateforme HiLeS pour conduire la conception amont du système.

Nous avons commencé par la description de l'usage du langage UML/SysML pour accéder à la description fonctionnelle à l'aide des diagrammes propres de ce formalisme. Nous préconisons ainsi la façon de comment sera effectuée la modélisation HiLeS en blocs et réseaux de Petri, cette partie nous l'avons appliquée à la description du Robot BioPuce pour définir une architecture fonctionnelle, hiérarchisée, déployée en plusieurs niveaux d'abstraction dans le chapitre 4.

La modélisation HiLeS débouche sur la génération d'un modèle complet équivalent écrit en VHDL-AMS. Ce processus est hors de notre champ de travail mais nous l'avons considéré pour avoir une vision totale de la démarche de conception jusqu'au prototypage virtuel.

Nous avons inclus dans ce chapitre les premiers résultats obtenus sur la modélisation de l'exemple du Robot BioPuce. Nous mettons aussi en évidence que notre proposition sur la part conception donne des résultats cohérents.

Dans une deuxième partie du chapitre, nous avons introduit l'outil GESOS. Il permet la sélection et l'optimisation des scénarios multiples en s'appuyant sur la fonction de perte de Taguchi, qui caractérise la cible de la conduite de projet.

Afin de conclure ce chapitre, nous présentons la Figure 2-18, qui précise la relation interprocessus que nous voulons établir. Elle met en regard la norme standard EIA-632 avec le processus que nous voulons implémenter. Au travers de cette figure, on peut faire plusieurs constatations :

La première étape du processus de référence de la norme EIA-632 correspond à notre proposition de combinaisons de plusieurs processus en Y. Dans la norme, on part des considérations techniques du système, ce qui correspond au Yc présenté

en couleur noire, où nous considérons les spécifications et les exigences du client rassembles sur le cahier des charges à partir du quoi on construit un processus technique de conception allant jusqu'au prototypage virtuel.

Dans ce processus, pour aboutir au prototypage virtuel, on fusionne la description fonctionnelle et la description organique.

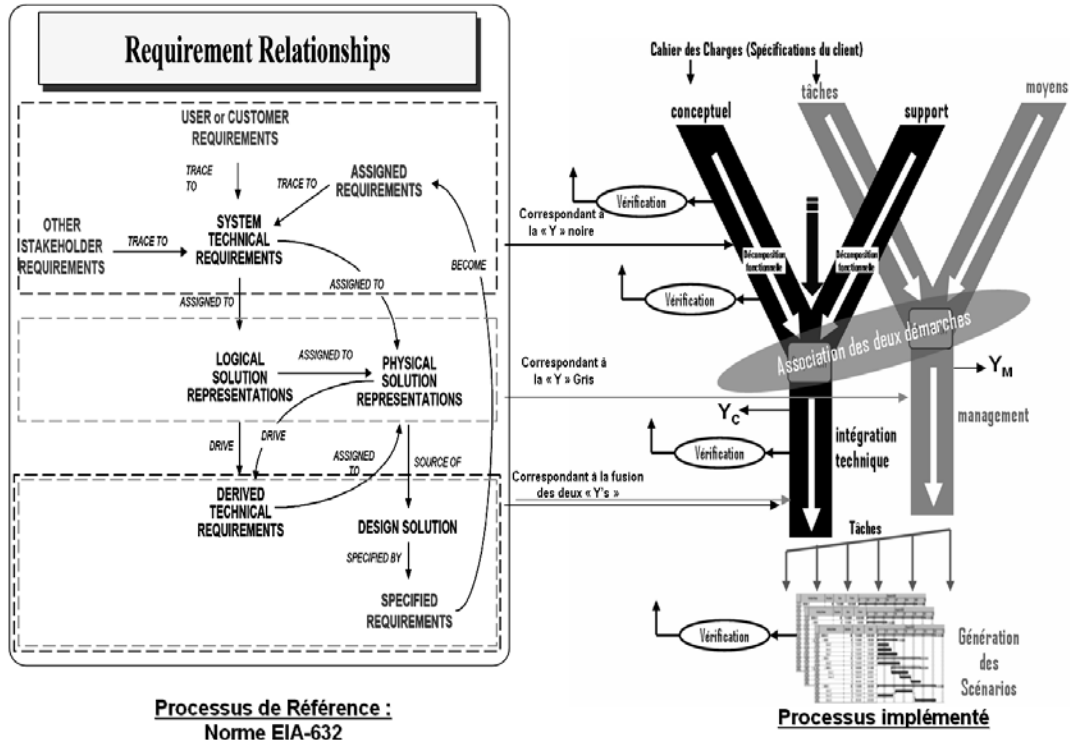


FIGURE 2-18. Correspondance entre la norme EIA-632 et notre méthodologie

Notre proposition est de coupler, un stade de la fusion de ces deux descriptions, pour ce processus de conception est celui de la conduite de projet. Ce deuxième processus, en toute rigueur, doit fusionner une description des activités avec une description moyenne comme le montre le Y_M grisé. En fait, le chapitre 3 suivant va montrer le couplage entre les deux Y, uniquement entre modules techniques (modules structuro-fonctionnels) et activités (tâches). La part centrale est laissée sans développement : elle ne considère que des questions simples du personnel disponibles, de coût et de délais.

Chapitre 3. Méthodologie de partitionnement par tissage : Fonctionnel / Organique

L'élaboration du modèle fonctionnel que nous avons vu au chapitre précédent, à partir du cahier des charges, est préalable à la mise en œuvre de la procédure de partitionnement.

On peut souhaiter que, pour faciliter cette élaboration, la rédaction même du cahier des charges permette de s'appuyer sur des normes : terminologie, plan de rédaction, guide de mise en page, etc. C'est sûrement une voie souhaitable d'efforts, et d'ailleurs quelques propositions dans ce sens existent dans la littérature [Bou 06], [Den 06] et [MHL 06]. En pratique, la rédaction du cahier des charges relève de la maîtrise d'œuvre qui est plus explicite dans l'analyse et la formalisation des besoins du marché que dans l'expression technique de ces besoins.

Dans ce document, les principales spécifications de notre application sont accessibles sous forme de documents textuels (section 2.1), d'où la démarche de conception doit extraire les éléments techniques qui lui sont utiles : variables, fonctions, performances, contraintes...et leur organisation. Cette démarche peut être structurée et s'aider d'outils que nous avons présentés dans le chapitre 2 (UML/SysML). Il faut préciser, que :

- Les spécifications peuvent nécessiter quelques ajustements pour préciser encore les objectifs et les exigences.
- Les spécifications peuvent imposer certains choix technologiques, mais elles laissent aux concepteurs une grande latitude où doivent s'exercer leur expertise et la réutilisation des acquis antérieurs.

Le schéma de la figure 2-18 avait donné une première vue spécifique de ce qu'il convient de faire dans une opération de formalisation des exigences pour une représentation fonctionnelle du Système. Nous allons développer cela dans le paragraphe 3.1. Nous y définirons toutes les composantes intervenant dans le couplage Conception/Conduite et nous passerons en revue chaque élément du "tissage" à considérer, pour donner finalement une piste méthodologique.

3.1 Les éléments du tissage : Conception / Conduite

Notre proposition sur l'opération de tissage donne un résultat similaire au principe de tissage effectué dans la programmation par aspects (AOP, *Aspect-Oriented Programming*) qui introduit une nouvelle dimension pour découper les applications en modules, afin de les réutiliser et faciliter la maintenance et l'évolution du logiciel [RNS 04].

Nous rappelons que l'AOP a été introduite en 1997 avec un grand succès sur la technologie objet, cette procédure introduit une nouvelle dimension pour découper les applications en modules, de sorte à offrir de nouvelles opportunités de réutilisation et faciliter la maintenance et l'évolution du logiciel. La modularité proposée par l'AOP permet d'isoler les définitions des propriétés transverses. Comme le montre la Figure 3-1, **chacune de ces propriétés est définie totalement et exclusivement, dans un unique module**, appelé *aspect*. Ensuite cette approche doit être accompagnée d'un processus d'intégration des différents composants générés pour les différents aspects. Ce processus est identifié comme *tissage* (en anglais *weaving*) [Mar 03].

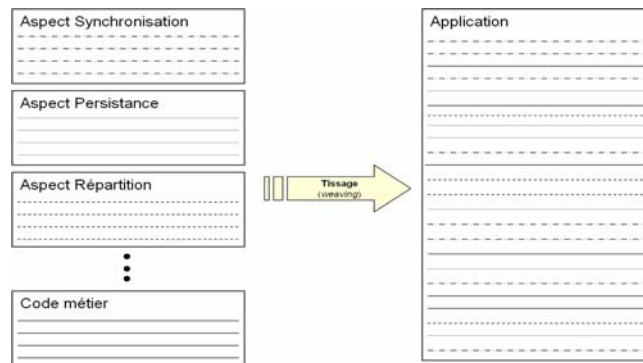


FIGURE 3-1. Construction d'une application avec la programmation par aspects

Pour effectuer le processus de tissage dans l'AOP, les modèles doivent être explicites et suffisamment précis pour être interprétés ou transformés. Ainsi, quand on doit dériver un nouveau produit, qu'il soit simple évolution d'un produit existant ou nouvelle variante, on peut se contenter de "rejouer ou adapter" automatiquement la plus grande partie du processus de conception, en changeant simplement quelques détails selon les exigences.

Ainsi, nous visualisons que la différence entre le tissage de l'AOP et le nôtre consiste en la façon d'effectuer ce tissage. Maintenant nous allons décrire un exemple de la façon dont est effectué le tissage.

Nous nous référons aussi au processus de tissage suivi pour la *Model Driven Architecture* (MDA), architecture dirigée par les modèles⁵) apparue après plusieurs

⁵ Le mot **modèle** synthétise les deux sens symétriques et opposés de la notion de ressemblance, d'imitation, de représentation. En effet, il est utilisé

- pour un objet dont on cherche à donner une représentation, qu'on cherche à imiter (exemple : le « modèle » du peintre, le « modèle » que constitue le maître pour le disciple).

pour un concept ou objet qui est la représentation d'une autre (le « modèle réduit », le « modèle » du scientifique).

années d'existence de standards de modélisation et de méta-modélisation comme UML (*Unified Modeling Language*) ou le MOF (*Meta Object Facility*).

Dans le cas de la MDA, on se réfère à un processus de développement logiciel itératif et incrémental, centré sur l'architecture, piloté par les transformations de modèles et la réutilisation des processus métier, canevas métiers et composants techniques [Kad 05]. La MDA propose un découpage des modèles selon deux préoccupations majeures :

- l'expression des fonctionnalités d'un système, les PIMs (*Platform Independent Model*) ;
- l'expression des spécificités technologiques d'une mise en oeuvre de ces fonctionnalités, les PSMs (*Platform Specific Model*).

Ainsi, associée aux standards technologiques, la MDA permet de mettre en oeuvre un même modèle de fonctionnalités à l'aide de solutions technologiques variées. Elle permet aussi l'intégration d'applications en mettant leurs modèles respectifs en relation. Il devient alors possible de supporter l'intégration (tissage), l'interopérabilité et l'évolution des applicatifs au fur et à mesure de l'évolution des besoins, et de l'apparition et la disparition des solutions technologiques.

L'opération de tissage effectué par la MDA est très similaire à la nôtre, car nous proposons un découpage de l'information (dans la conception et la conduite) par étapes, donnant comme résultat plusieurs modules (modules fonctionnels et modules organiques), et à chaque étape on ajoute des outils (agrégation et projection) et des standards (PBS, WBS...). A la fin les différentes informations doivent être intégrées pour obtenir un modèle plus complet (modules structuro-fonctionnels) afin de disposer d'un support entier, adapté à un domaine et respectant la séparation de l'information pour la définition de modèles.

L'AOP comme la MDA sont deux démarches qui définissent un processus de tissage orienté vers la programmation. Dans notre cas, on considère l'aspect logiciel autant que l'aspect matériel (composants physiques) pour avoir une démarche système plus complète. Suivant cette idée, nous allons décrire notre processus de tissage.

Le couplage des deux processus Conception/Conduite, tel que nous le voyons, met en interaction la Figure 1-7 :

1. la représentation Y_C de la conception technique,
2. la représentation Y_M du processus de management.

Les étapes sont celles décrites dans la Figure 3-2:

- a. Du partitionnement dirigé plutôt de Y_C vers Y_M , dont l'objectif est de définir des éléments physiques (modules structuro-fonctionnels), qui serviront de base à la définition des tâches techniques à réaliser dans le projet, puis au lancement d'un appel d'offres auprès des fournisseurs. Le niveau de départ dans Y_C est celui de la conception amont proposée par HiLeS... le niveau d'entrée dans Y_M est le niveau de pré planification...

Les éléments d'entrée dans cette étape vont être : les fonctions définies dans le modélisation fonctionnelle (modèles HiLeS) et les organes de la modélisation organique. L'association de ces deux éléments donne comme résultat des modules structuro-fonctionnels.

- b. La pré planification qui va faire une première double évaluation interne technique et économique des propositions en modules structuro-fonctionnels en s'appuyant sur l'expérience acquise et l'expertise de l'entreprise... pour réaliser cette évaluation, nous allons sauvegarder les connaissances acquises (**connaissance capitalisée**) obtenues à partir de des modules structuro-fonctionnels. Cela va permettre :
- d'anticiper les choix technologiques susceptibles d'être proposés par les fournisseurs,
 - d'anticiper les tâches complémentaires d'interfaçage venant compléter les tâches se référant aux modules strictement fonctionnels et strictement consacré à la réalisation des modules (test, évaluations...),
 - d'anticiper les coûts et les moyens nécessaires à la mise en œuvre de cette pré planification.

La pré planification s'achève par **la rédaction des cahiers des charges techniques prêts à être adressés aux fournisseurs, pour chacun des modules à réaliser.**

Dans cette étape, nous aurons comme entrée une liste de modules structuro-fonctionnels où chacun sera traduit comme une tâche à réaliser et les éléments de la représentation virtuelle du produit du pré prototypage virtuel. A la sortie, on aura une liste d'alternatives de réalisation de tâches avec des informations estimées.

- c. Les appels d'offre

- On attend du retour de ces appels d'offres :
 - des propositions techniques, avec toutes ses variantes pour chaque module, accompagnée par les modèles physiques nécessaires aux simulations du prototypage virtuel,
 - des offres de délais et de coûts.

Ces retours vont, d'une part, aller vers le travail de conception (processus Y_C) pour avancer plus précisément vers le prototypage virtuel, d'autre part aller vers l'approfondissement de la planification (processus Y_M).

Le retour des fournisseurs (offre technologique) apporte, en principe, toutes les solutions technologiques (optimisation des performances sur prototypage virtuel) et des considérations économiques où entre en jeu la procédure GESOS, via les scénarios alternatifs que nous proposons (choix techniques et organisationnelles).

Pour cette étape, à l'entrée, on aura des alternatives de réalisation de tâches obtenues dans l'étape de pré planification. Comme résultat nous obtiendrons

des documents avec les spécifications techniques des fournisseurs (offres technologiques).

d. La planification qui comportera deux étapes :

- L'étape de génération de tous les scénarios alternatifs. Ces scénarios, pour l'essentiel, sont contenus dans les propositions en retour des fournisseurs. Les fournisseurs eux-mêmes sont sources de solutions alternatives. Mais, on va aussi prendre en compte les différents choix technologiques et les différents scénarios associés à l'offre. Toutes ces variantes construisent les scénarios alternatifs dans GESOS.
- L'étape de sélection des meilleurs de ces scénarios par GESOS selon des critères "ad hoc" correspondant aux volontés exprimés dans le cahier des charges.

A l'entrée de cette étape de planification, on aura besoin des alternatives de réalisation de tâches avec des informations actualisées selon les spécifications proposées par les fournisseurs et les éléments pour effectuer l'organisation et les assignations de ressources (matériels et humaines). Finalement, comme résultat, on aura le ou les scénarios plus intéressants selon le point de vue du chef de projet.

Enfin, de manière similaire au tissage de la programmation par aspects et de la Model Driven Architecture, les processus de conception et de conduite que nous proposons d'associer, donneront à la sortie de chaque étape décrite des éléments qui vont être intégrés (opérations de tissage) pour obtenir un produit plus complet. Cette opération peut être alors vue comme un ensemble de transformations : chaque fois que l'on intègre l'information, le processus donnera une sortie transformée.

La figure 3-2 rassemble ces opérations de tissage. On rappellera encore que les deux processus ont besoin d'informations externes (modèle partagé) venant en amont des deux processus par :

1. la modélisation organique qui met à disposition de la conception fonctionnelle, les informations liées aux structures mécaniques notamment,
2. les données et les exigences de coût et de délais, qui seront confrontée aux exigences de performances, de qualité et de fiabilité,...

On peut voir, en considérant la grande complexité des échanges entre processus, que nous ne pouvons pas traiter tout le problème complet. Par exemple, le retour fournisseurs est, à lui seul, est un énorme problème. Nous supposons donc ici que, sur la base de la modélisation fonctionnelle et de la définition des modules structuro-fonctionnels, on sait alerter les fournisseurs (appels d'offre) et que ceux-ci répondent conformément à nos souhaits :

- propositions techniques, avec leur variantes,...
- modèles associés compatibles avec les exigences du prototypage virtuel.

Cette simplification laisse ouvert les quatre points suivants :

- partitionnement
- planification
- génération des scénarios
- sélection des scénarios

que nous allons traiter dans l'ordre. Mais avant, nous allons revenir sur les exigences d'une modélisation partagée : Fiches et Base de Données.

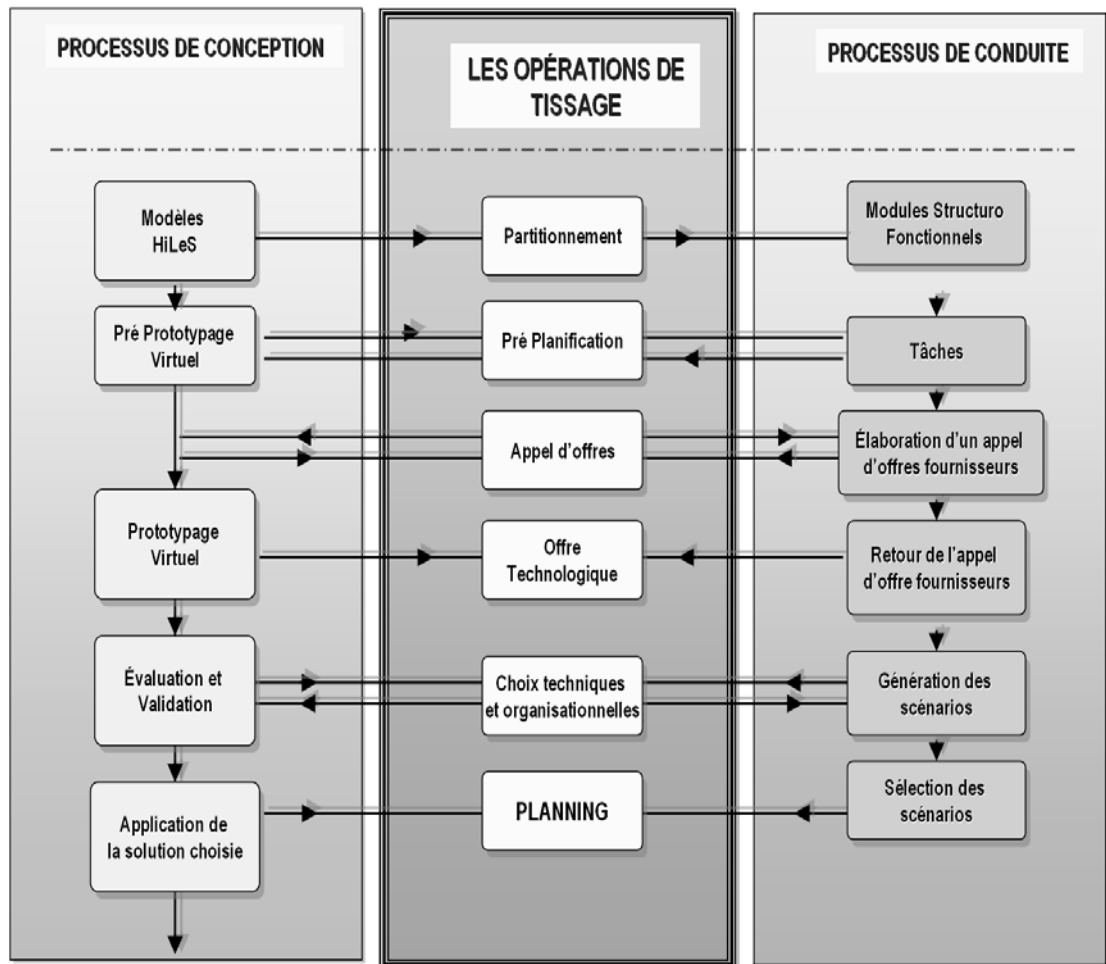


FIGURE 3-2. Tissage conception / conduite

3.2 Fiches et Base de Données

Parmi les considérations techniques requises pour l'implémentation de ces méthodes de conception et de conduite, nous devons tenir compte des méthodes existantes pour la gestion des informations dans les projets. On se trouve face à la nécessité d'échanger des informations, des modèles et d'intégrer des éléments provenant d'autres partenaires.

On voit sur la Figure 3-2, que le processus de tissage est le cœur de ces échanges : il se fonde sur le partitionnement en modules structuro-fonctionnels... Cela suggère de placer, à ce niveau, une entrée privilégiée pour la base de données

partagée conception/conduite qui doit nourrir le développement système, ce qui fixe, dans une certaine mesure, la structure globale de la base de données telle que celle proposé sur la Figure 3-3 où l'on retrouve toutes les composantes d'information utiles aux décisions combinées entre les deux processus.

La structure hiérarchique de cette base de données invite aussi à s'orienter vers la base XML. Pour nous aider à résoudre les questions d'échanges de données, une étude a été confiée à la société ANYWARE, qui a conduit au choix de la base EXIST.

Le passage de la Conception Système à la Conduite de Projet basé sur nos idées de tissage et de partage d'informations va donc s'appuyer sur des documents (fiches) gérés en langage XML⁶. Ce langage est idéal pour l'écriture des bases des données de façon structurée dans un fichier texte, en partant des modules structuro-fonctionnels décrits sur HiLeS vers la description des scénarios effectuée sur GESOS (Figure 3.3).

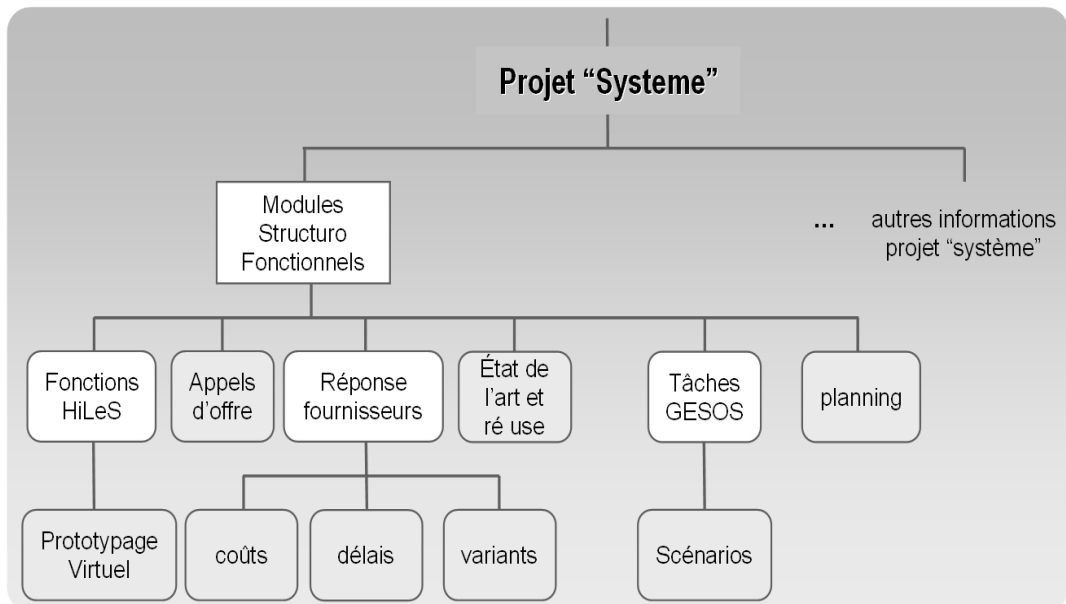


FIGURE 3-3. Structure de la base de données

Il faut, bien sûr, échanger tous les éléments d'informations techniques directement liées à la réalisation du produit final (Y_C), mais également tout ce qui concerne l'information associée à la logistique (Y_M) du projet (direction, gestion, coûts et délais, coordination, assurance de la qualité, etc.).

Le schéma de la Figure 3-4 donne une vue schématique de notre proposition pour les échanges entre HiLeS et GESOS. Il est clair que la mise en place de la base de données doit nous permettre d'effectuer des procédures automatiques en facilitant l'obtention et la manipulation des documents quelque soit l'étape de conception du système. Les documents créés vont être manipulés en deux sens :

⁶ eXtensible Markup Language, langage de balisage extensible.

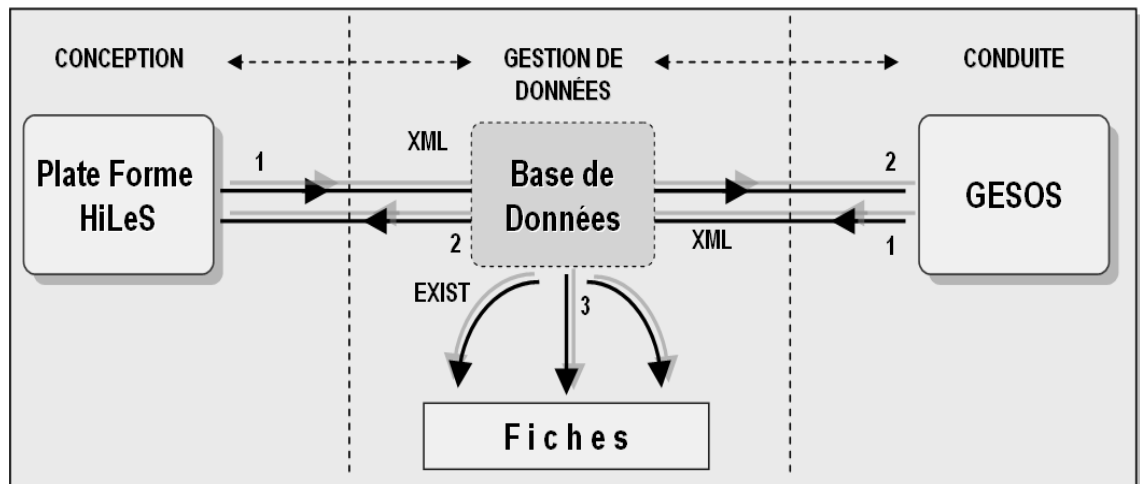


FIGURE 3-4. Structure d'échange de documents HiLeS - GESOS

- *des collectes (1)*: pour garder et rassembler l'information, quelque soit le moyen de stockage : disquettes, disque dure, clé USB..., choisi pour supporter la base de données.
- *des requêtes (2)*: pour chercher des informations spécifiques dans la base de données. Cela comprend deux options de travail :
 - la recherche d'un modèle déjà connu (bien identifié),
 - effectuer une requête (avec des étiquettes clés) pour trouver un modèle déjà stocké mais qui n'est pas connu.

Dans ce schéma, XML offre ainsi une solution pour représenter des objets et leurs associations sous forme textuelle. Il assure ainsi les échanges de modèles entre HiLeS et GESOS, ces modèles sont alors stockés sur une base de données et, selon les besoins de l'utilisateur, pourront être visualisés dans un format spécifique (3). XML permet de définir la structure des documents, ce qui permet d'une part de pouvoir définir séparément la présentation d'un document, d'autre part d'être capable de récupérer les données présentes dans le document pour les utiliser. Hernán Duarte a proposé dans [Dua 06], de compléter des règles de composition des documents créés avec la plateforme HiLeS. Aujourd'hui, il a incorporé ce nouveau développement à HiLeS où il a créé des règles de transformation propres comme premier pas incontournable dans l'intégration de la conception système et la conduite du projet.

Basé sur cette idée de création des règles de transformation propres, le modèle transformé est un **document de conception**, on trouve les résultats basés sur le langage standardisé XML, qui est commun à tous les partenaires du projet. Cette opération est décrite dans le rapport [Dua 06].

Dans le cadre du travail à réaliser pour l'avenir, nous sommes intéressés donc à la création d'une base de données s'appuyant sur la structure de ces règles de transformation du modèle partagé.

Nous allons maintenant détailler comment sont organisées les opérations d'échanges entre la base de données, la plateforme HiLeS et GESOS.

La base sur laquelle HiLeS a été construit, permet de faire la description fonctionnelle et organique de systèmes, en blocs et réseaux de Petri pour la description fonctionnelle et en blocs pour la description organique.

Ces deux descriptions sont composées par certains modèles (niveaux de conception HiLeS). Elles vont être appuyées par un **document** (fiche) qui décrit la composition de chaque modèle, appuyé sur des règles de transformation et réalisé avec la syntaxe du langage XML.

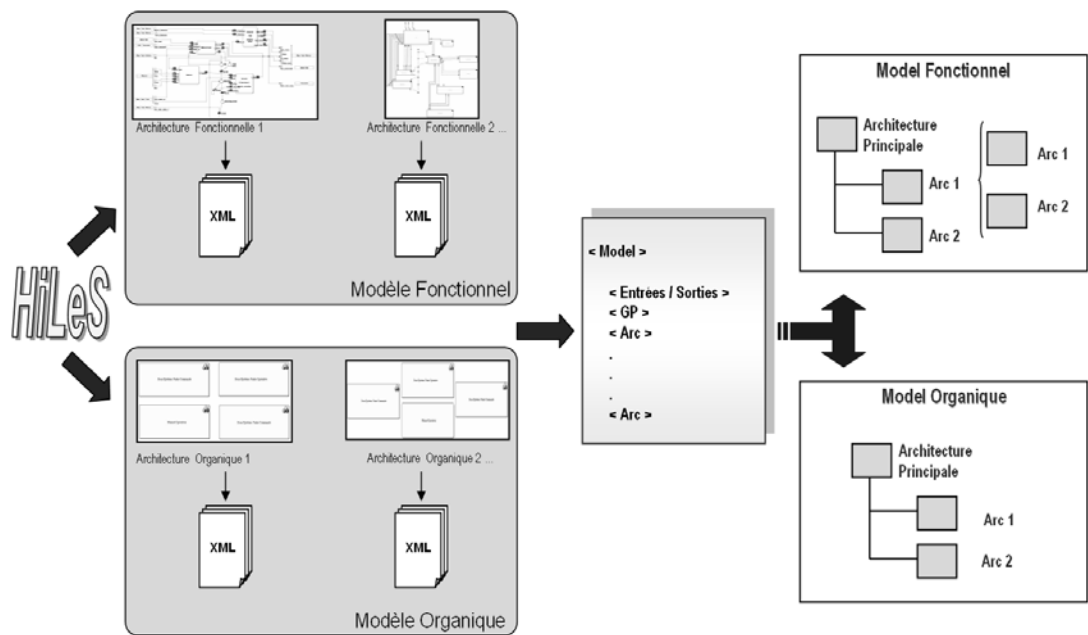


FIGURE 3-5. Mode de description des modèles HiLeS sur le langage XML

Selon la vision de chaque concepteur du projet, la description en HiLeS est effectuée sur la base d'un format que l'on a identifié comme **Modèle**, il représente la structure standard composée par l'ensemble des modèles fonctionnels et des modèles organiques (voir la Figure 3-5) composés par des entrées, des sorties, des données génériques (place, transition, RdP) et par diverses vues qui portent le nom d'**architectures**, identifiées avec une étiquette unique. L'étiquette de chaque architecture possède la description faite pour un modèle. Ainsi, une étiquette qui décrit une architecture est composée par :

- des attributs pour distinguer une architecture d'une à autre dans un même modèle,
- trois étiquettes pour la description architecturale du modèle : une pour les blocs utilisés dans la modélisation, l'autre pour garder les éléments du réseau de contrôle, et l'autre pour garder les connexions du modèle.

L'état d'avancement de structuration de la plateforme HiLeS et l'incorporation de notre méthodologie sur le tissage permettront de réaliser l'ensemble de la procédure de tissage, grâce à l'interfaçage des données et des documents. Tous ces

échanges vont être effectués dans un format XML, en utilisant des étiquettes, qui seront lues par HiLeS, et plus tard par GESOS. Une étude plus précise sur les étiquettes, les règles de transformation XML et le format des modèles dans HiLeS a été approfondie dans le rapport de Hernán Duarte [Dua 06].

Jusqu'à présent, nous avons décrit le format des documents et modèles sur lequel HiLeS est capable de travailler. Cependant, pour l'outil GESOS, nous ne disposons pas pour l'instant d'un format qui permette aussi la manipulation de ses entrées et ses sorties. La solution que nous proposons pour faire les échanges, est que, dans GESOS, il faudra définir les graphes sous la forme de modèles qui contiendront des sources capables d'explorer leurs données au format XML. Cette hypothèse est tout à fait raisonnable étant donné l'état dans lequel HiLeS permet de décrire ces modèles. Ainsi GESOS devra avoir une vue qui permettra de définir ses documents en XML. Cette vue sera exprimée avec une articulation entre plusieurs documents où chacun de ces documents disposera des modèles différents.

Sur la base de la solution que nous proposons, GESOS comportera ses données et ses structures de données sous un format aussi identifié comme Modèle ; il va représenter la structure standard composé par l'ensemble de modèles de *graphes*. La description de cette approche (Figure 3-6), illustre les recommandations proposées, ainsi nous voyons dans GESOS la possibilité de définir plusieurs versions de *modèles de graphe*, constitués d'un modèle de données implémenté par des tâches, des choix, des "and" et "or"... et par diverses vues qui portent le nom d'alternatives.

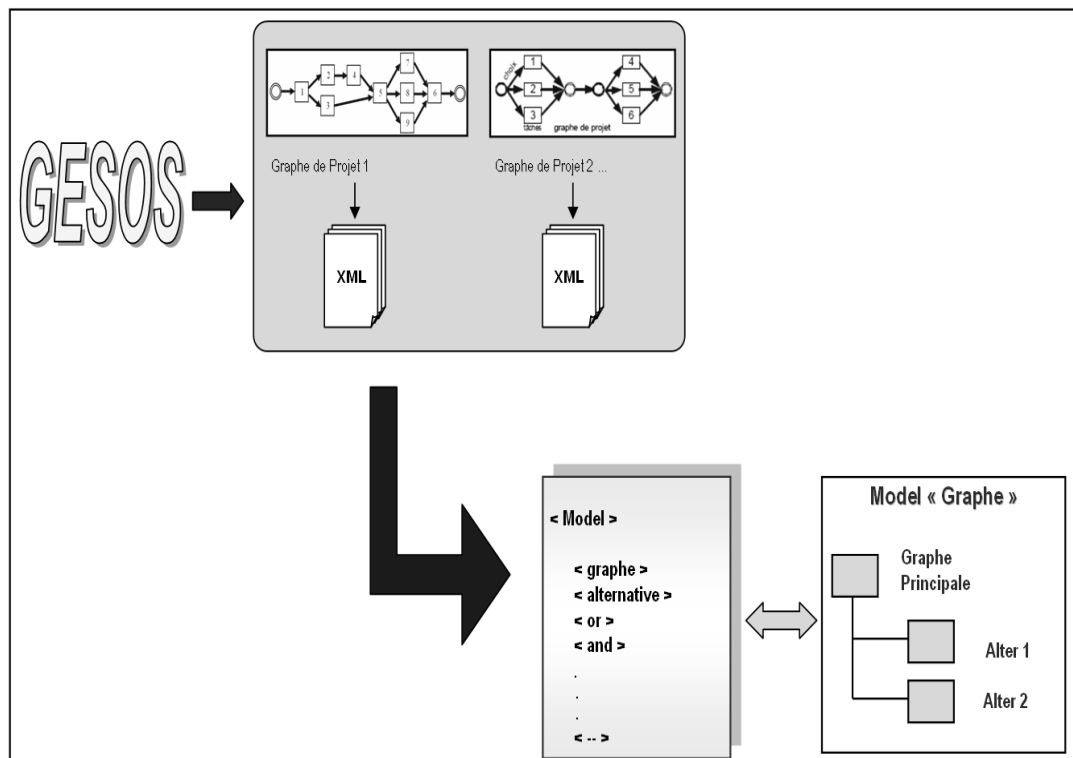


FIGURE 3-6. Description des modèles dans GESOS avec XML

Notre contribution dans le partage d'information et d'interopérabilité entre la plate-forme HiLeS et GESOS vers le document de conception écrit en XML consiste à démontrer que le partage d'information est possible non seulement entre les deux outils mentionnés, mais aussi entre plusieurs outils et/ou utilisateurs dans la plate-forme partagée de conception de produit - conduit du projet créée.

Enfin, comme nous l'avons déjà dit, notre proposition de tissage implique ces échanges, et bien sûr, elle nous a permis de définir une partie de la structure de la base de données, permettant au concepteur de retrouver l'information requise, au fur et à mesure des spécifications qu'il dispose.

Ainsi, pour chaque modèle décrit dans HiLeS et dans GESOS, nous devons définir un document correspondant, qui nous identifie dans la base de données avec le terme de « fiche ».

Les fiches vont clarifier l'articulation avec les domaines Fonction-Structuro-Composant avec des fonctions d'une part des structures et des composants d'autre part. Dans une logique d'optimisation, ces fiches doivent être construites de manière à permettre la réutilisation de l'information.

3.3 La Démarche de Partitionnement

Rappelons d'abord que le prototypage virtuel est lancé à la fin du processus de conception pour anticiper la réalité du système : le prototype virtuel doit être une représentation précise de ce que sera le produit final. Il simule les fonctionnalités du système final et il doit aussi respecter les contraintes de qualité et de fiabilité du système, car il doit permettre une réalisation "sans faute" une fois terminées les étapes de conception du produit.

Les intérêts du prototypage sont encore plus divers :

- mettre en évidence des incompréhensions entre le concepteur et l'utilisateur,
- détecter des oublis de spécifications,
- identifier des services difficiles à utiliser,
- découvrir les contradictions,

La Figure 3-7 détaille les étapes d'engagement de ce processus, à partir de la description fonctionnelle et de la décomposition organique. On voit comment la procédure d'ensemble se lie aux recommandations de l'EIA-632 [Jam 98]. Sur la figure de gauche, on a mis seulement les exigences (requirements) qui sont traitées dans notre processus de conception (rappelons dans la norme, il y en a 33 au total). L'exigence 16 dans le processus REQUIREMENTS DEFINITION, correspond à la définition des exigences. Et les exigences 17 et 18 sont dans SOLUTION DEFINITION, qui correspond à la décomposition fonctionnelle (logical solution representation) et au modèle physique du système (prototype virtuel).

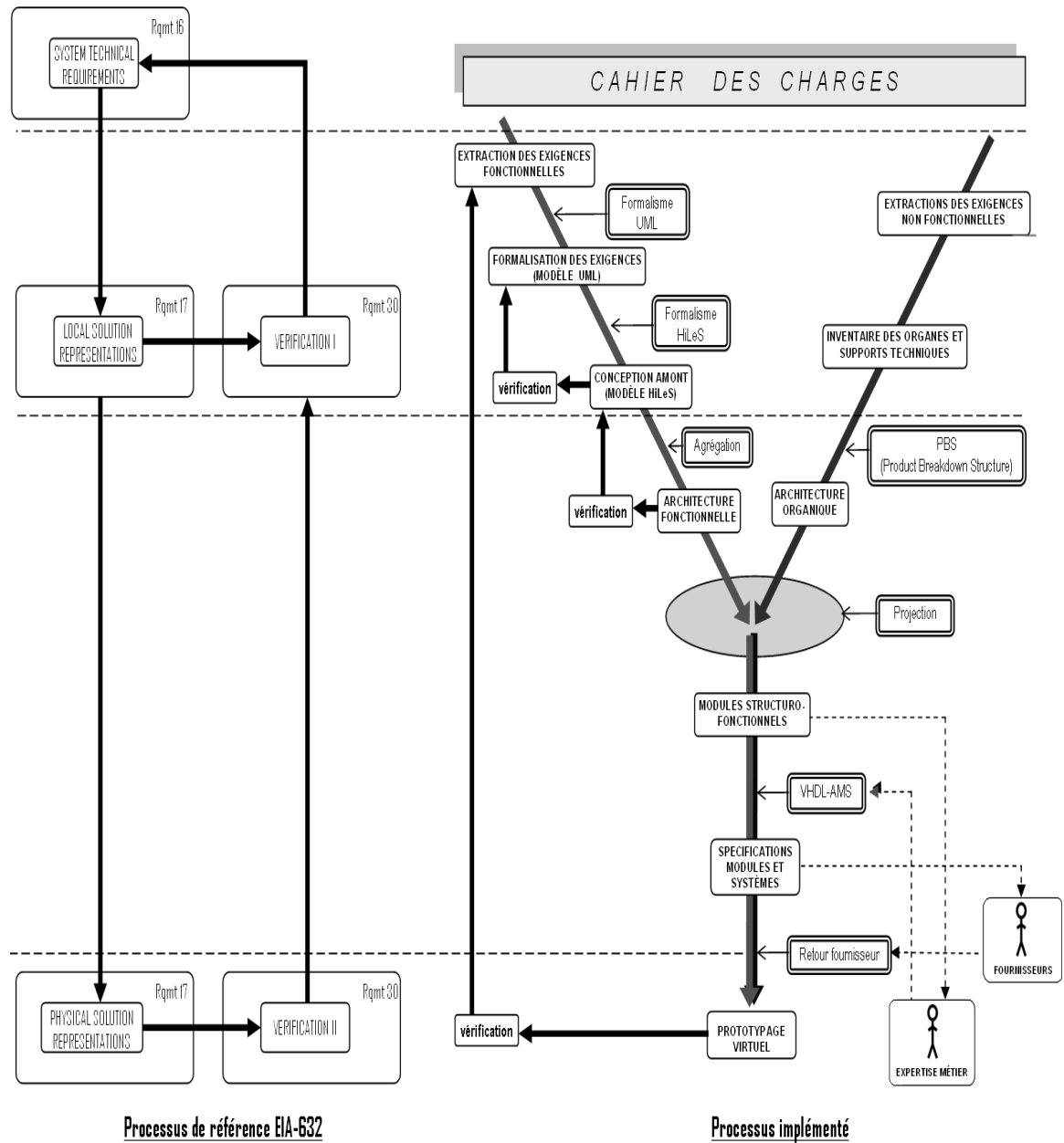


FIGURE 3-7. Passage des spécifications jusqu'au prototype virtuel

L'aboutissement du processus de prototypage virtuel ne relève pas directement de notre travail. Mais il devient une partie très importante à signaler dans la méthodologie que nous proposons. Dans l'exemple robot biopuce que nous traitons au chapitre 4, le processus de prototypage virtuel est de la responsabilité du LAAS-CNRS.

Pour la partie conduite de projet qui nous concerne, les deux processus fonctionnel et organique sont la base de départ pour aboutir à la définition des modules structuro-fonctionnels puis des tâches.

L'obtention de ces modules structuro-fonctionnels est basée dans notre démarche, sur une démarche de partitionnement.

Le partitionnement est une étape complexe qui doit conduire la représentation Système en une association de blocs structuro-fonctionnels, pouvant constituer la base de décomposition à partir de laquelle on va pouvoir dialoguer avec les fournisseurs.

La Figure 3-8 décrit la démarche de notre méthodologie, elle montre les étapes que l'on se propose de suivre pour faire le partitionnement sur la plateforme HiLeS.

Cette figure montre que trois outils doivent être intégrés à cette plateforme :

- outil de décomposition fonctionnelle, qui permet d'accéder à toutes les fonctions du système
- l'outil d'agrégation de fonctions, qui permet de rapprocher et fusionner des fonctions
- l'outil de décomposition organique, qui décrit la structure physique du système dans laquelle doivent s'intégrer les fonctions précédentes.

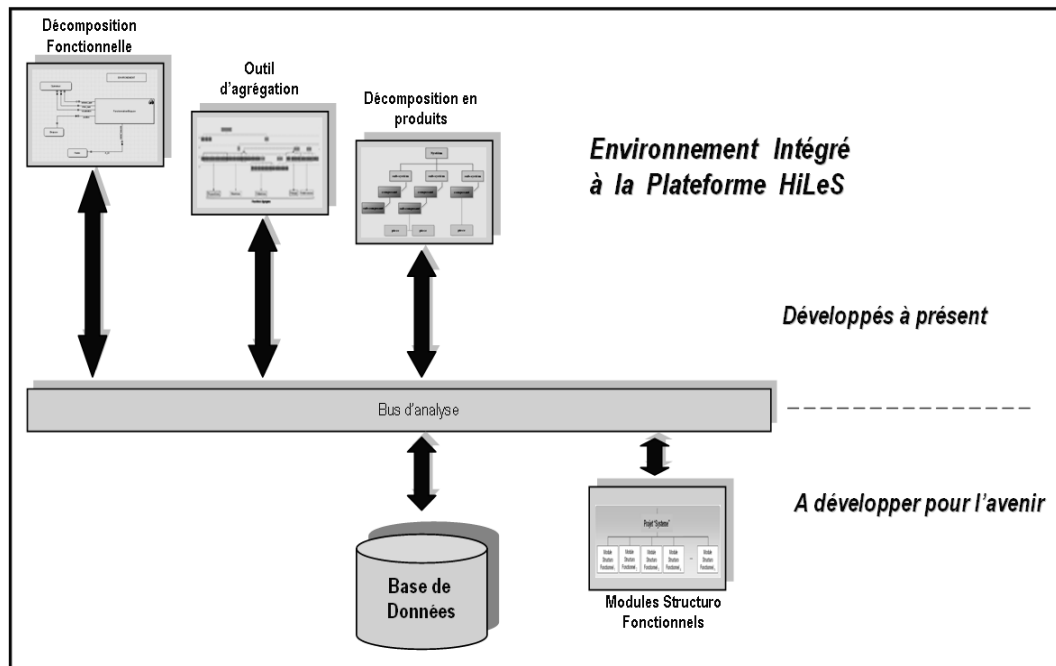


FIGURE 3-8. Étapes du partitionnement avec la plateforme HiLeS

3.3.1 Décomposition Fonctionnelle et l'Agrégation de fonctions

La plateforme HiLeS propose une représentation fonctionnelle du système. Cette plateforme doit être équipée **d'un outil d'agrégation fonctionnelle** pour aider à synthétiser les blocs fonctionnels du système et faciliter la définition de blocs fonctionnels structuraux : HiLeS décompose chaque fonction en sous ensembles de fonctions ce qui fait apparaître des blocs qui sont connectés entre eux et commandés au moyen d'un réseau de commande qui va permettre de séquencer l'exécution de chaque fonction.

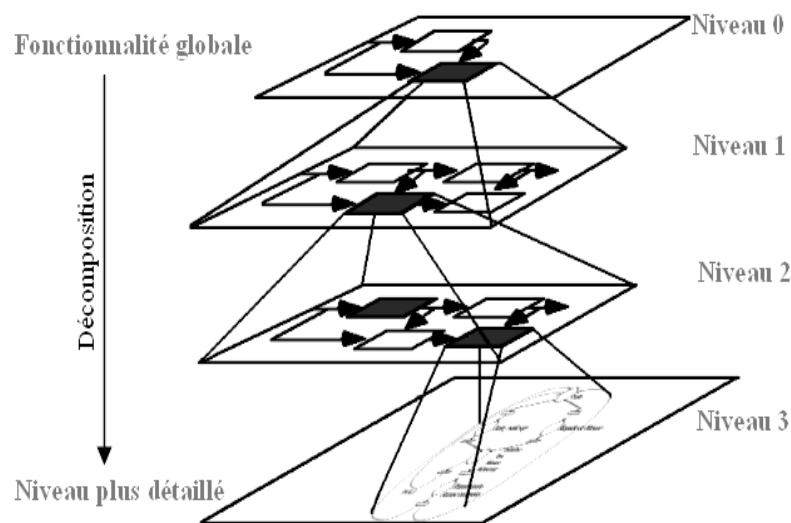


FIGURE 3-9. Description Fonctionnelle HiLeS

La description fonctionnelle HiLeS peut être très détaillée jusqu'aux fonctions les plus élémentaires (voir Figure 3-9). **Si l'on projette un partitionnement en modules structuro-fonctionnels, dans chaque module, on va trouver plusieurs fonctions associées par des critères basés sur les exigences non fonctionnelles** : fournisseur identique, technologie identique, disponibilité de connecteurs... Il faut donc, pour faciliter ce partitionnement, que l'on dispose d'un outil, interne à HiLeS, qui permette d'associer des fonctions en des blocs multifonctionnels. Ce processus nous l'avons appelé "**agrégation**".

L'idée directrice est de pouvoir utiliser des "**règles**" qui satisfassent la fonctionnalité du projet. Sur cette base le concepteur aura à vérifier que les règles associent bien des propriétés compatibles des fonctions définies dans la décomposition HiLeS. Ainsi, au fur et à mesure que de nouveaux et divers projets basés sur la plateforme commune seront développés, il y aura des nouvelles règles qui pourront être implémentées.

Notre travail a exporté, pour le moment, deux règles simples reliées au comportement fonctionnel et à la structure physique du système. Ces règles sont :

Règle 1 : Considérer la proximité technologique, c'est-à-dire, les fonctions qui ont la même nature, même origine, même métier... (ou une combinaison entre eux, selon soit le cas) peuvent être agrégées,

Règle 2 : Considérer la proximité géographique dans l'organisation architecturale et organique, pour préconiser la "projection" des fonctions vers un même module.

Sur la figure 3-10, l'agrégation est visualisée par le groupement des fonctions, dans un même niveau de la représentation arborescence fonctionnelle (même niveau d'abstraction).

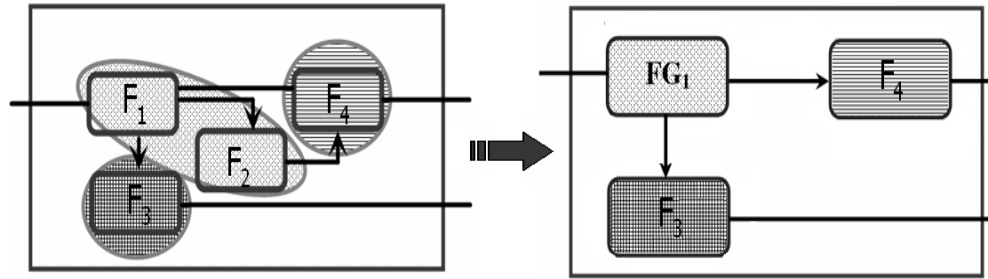


FIGURE 3-10. L'agrégation dans HiLeS

Il est possible aussi d'agréger des fonctions qui appartiennent au même métier... mais qui ont été modélisées dans un niveau de représentation fonctionnelle différent comme le montre la figure 3-11. On n'est pas encore arrivé à ce besoin d'agrégation, mais la proposition a été déjà envisagée et réalisée. Mais nous sommes en cours de réflexion sur sa validité : Il faut respecter des règles choisies dans la démarche de décomposition descendante et ne pas les détruire dans l'étape suivante d'agrégation.

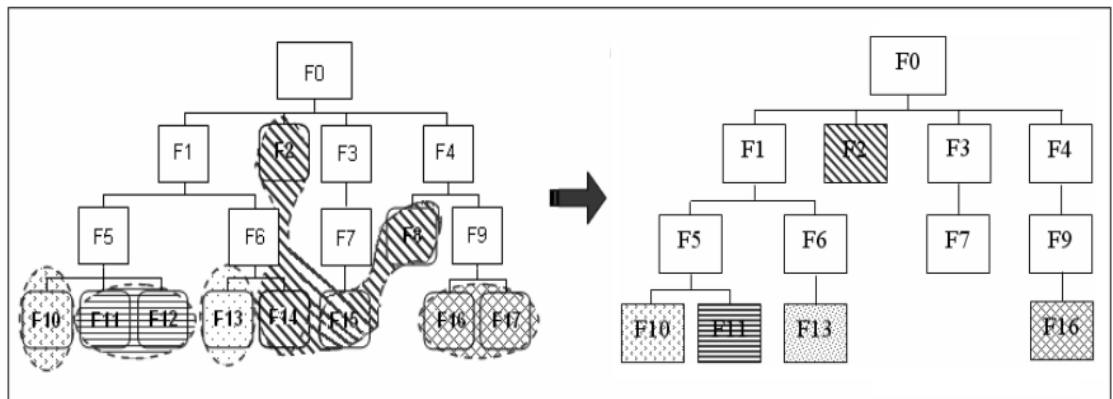


FIGURE 3-11. Agrégation dans HiLeS à différents niveaux de conception

Le résultat du processus d'agrégation conduit à une matrice de regroupement de fonctions pour chaque niveau, elle indique clairement quelles fonctions ont été groupées (en sous-systèmes, carré pointillé en couleur clair) ainsi comme ses interfaces (petits points en couleur noir) comme l'indique la figure 3-12.

La modélisation HiLeS et maintenant l'outil d'agrégation ne définissent qu'une partie de la description fonctionnelle. Pour aboutir aux modules, il faut compléter d'une description physique que l'on appelle décomposition structurelle ou organique.

3.3.2 De la décomposition organique aux modules structuro-fonctionnels

Notre but ici, était de créer un outil permettant de définir les composants physiques du système pour être combinés aux fonctions déduites de l'architecture fonctionnelle. Nous avons appelé cette procédure le "*partitionnement*".

Cette fusion entre modèle fonctionnel et modèle physique organique et structurel, suppose une connaissance "métier" experte, formalisée et complétée des options spécifiques définies par le cahier des charges.

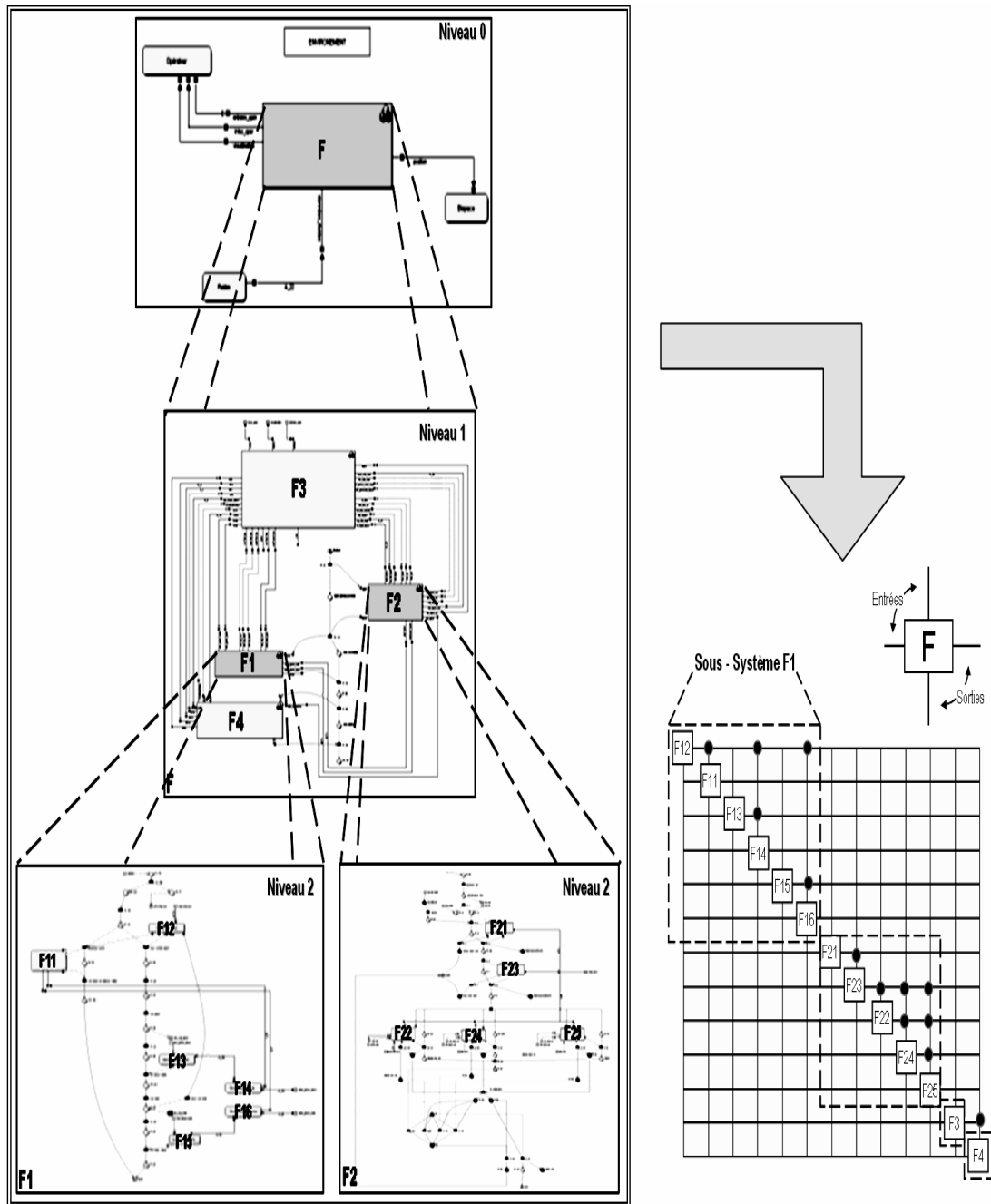


FIGURE 3-12. Obtention de la matrice de regroupement de fonctions

Doivent être décrites dans ce modèle structurel organique :

- les éléments et organes constitutifs du système,
- les éléments actifs supportant l'énergie et l'information (architecture informatique),
- les exigences d'assemblage et de conditionnement.

Les considérations non fonctionnelles sont amenées en confrontation avec les exigences fonctionnelles pour aboutir à une représentation globale du Système. Mais le premier objectif de cette fusion de modèle est, dans notre démarche, la définition des fournitures (partitionnement) et des tâches pour aboutir à une véritable coordination entre conception et conduite de projet.

Selon nous, le modèle organique doit apporter une vision physique du Système, permettant de localiser physiquement les fonctions. Sur cette base, **nous proposons une procédure de partitionnement simple réalisant l'affectation de chaque fonction HiLeS sur son support physique, l'opération définissant finalement une fourniture et de fait, une tâche.**

À ce stade, les choix technologiques sont encore imparfaits, ce qui oblige (cf. Figure 3.1) de travailler en deux étapes avant et après les consultations des fournisseurs. C'est le cas du partitionnement : matériel-logiciel, qui nécessite pour être justifié une simulation spécifique aux niveaux de la modélisation "amont", mais plus encore au niveau du modèle probatoire de prototypage virtuel (étape de co-vérification matériel-logiciel).

3.3.3 Modélisation Organique

Ce paragraphe propose une démarche et un outil pour représenter l'architecture de systèmes dans sa forme physique et matérielle, en sous-produits, ou organes, terme que nous allons adopter dans ce document.

Nous proposons que la décomposition organique soit effectuée de façon descendante sur la désintégration itérative du système en composants matériels du système. Pour cela, **on part des connaissances métier** du système pour réaliser sa décomposition en sous-systèmes, puis en composants... jusqu'à trouver tous les organes (organes matériel et modules logiciel), de description de l'ensemble du système. Elle se présente de manière graphique comme on peut le voir sur la figure 3-13. **Pour réaliser cette description, un outil spécifique a été intégré sur HiLeS (HiLeS architect) de sorte que la plateforme dispose des deux représentations : fonctionnelle et organique.**

Cette procédure peut être rapprochée de la méthode PBS (Product Breakdown Structure), qui propose une arborescence des différents éléments du système [Mei 98]. La décomposition des composants est effectuée par niveaux, où, pour tout composant de niveau "n", doivent apparaître les organes qui le constituent à un niveau "n+1".

Cette procédure est effectuée de forme manuelle comme la partie fonctionnelle, disponible sur l'outil HiLeS.

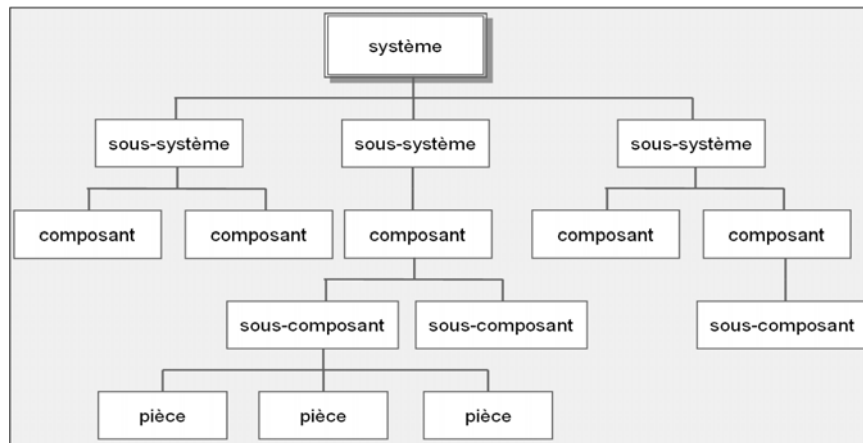


FIGURE 3-13. Décomposition organique du système

Pour le processus de partitionnement fonctionnel et organique, nous pouvons conclure :

- La première étape du partitionnement s’organise sur la plateforme HiLeS, en partant des besoins et des spécifications exprimées dans le cahier des charges, pour aboutir à une représentation arborescente de fonctions et de sous fonctions. Nous pouvons, en fonction des besoins, mettre en œuvre des opérations d'agrégation des fonctions avec un outil (HiLeS Agreg) disponible sur HiLeS permettant de définir différentes architectures logiques équivalentes.
- De façon complémentaire, nous pouvons disposer d’une (entre plusieurs possibles) décomposition arborescente “physique” du produit. Cette décomposition s’appuie sur une connaissance métier des produits. C’est aussi une modélisation structurale du Système, qui apporte une vision physique de celui-ci, permettant de localiser géographiquement et de matérialiser les produits. Un outil, HiLeS Architect, est intégré sur HiLeS.

Nous proposons donc de considérer le partitionnement comme le résultat d’une affectation de la fonction sur son support physique, le tout définissant des composants (modules structuro-fonctionnels), puis des fournitures et de fait, des tâches.

À ce premier stade, les choix technologiques seront encore imparfaits. C’est le cas du partitionnement : matériel-logiciel, qui nécessite pour être justifié des simulations spécifiques aux niveaux de la modélisation “amont”, mais plus encore au niveau d’un modèle probatoire de prototypage virtuel (étape de co-vérification matériel-logiciel). Ces choix s’appuieront tout au long des étapes de tissage avec l’appui des retours fournisseurs.

3.4 Le Processus de Projection

Les paragraphes précédents ont détaillé les méthodes et outils préparatoires au partitionnement : nous avons identifié toutes les fonctions qui entrent dans la

réalisation du système, complémentirement nous disposons de l'information que donne la décomposition physique du système.

Dans cette section, nous allons détailler comment à partir de ces deux décompositions fonctionnel/organique, on peut mettre en œuvre le processus de tissage, pour aboutir aux modules structuro-fonctionnels. Pour cela, nous ferons une analyse détaillée de cette procédure inspirée des travaux effectués par J. P. Meinadier [Mei 98].

La projection opère de la manière suivante : **on réalise une mise en correspondance entre chaque élément du support physique (architecture organique) et chaque fonction déduite de l'architecture fonctionnelle du système** (voir Figure 3-14).

Cette mise en correspondance est effectuée naturellement dans les systèmes relativement simples et relativement répétitifs, on a déjà une architecture matérielle en tête. Ce qu'il reste à faire, c'est de vérifier que l'opération effectuée correspond bien aux besoins spécifiés.

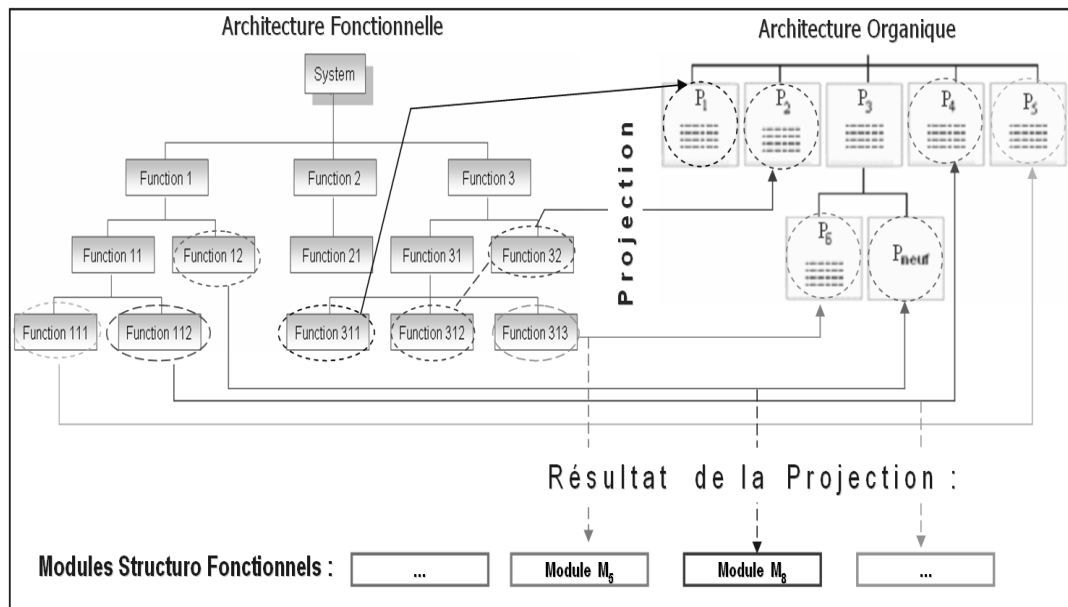


FIGURE 3-14. Processus de projection

Dans les cas où on a des systèmes plus complexes, le processus de projection consiste, à chaque pas de la modélisation organique :

- à regrouper de manière cohérente, en fonction d'exigences et de critères non fonctionnels, les fonctions de l'architecture fonctionnelle correspondante au niveau de granularité recherché, en fonction du niveau de la modélisation organique (éventuellement en s'aidant de l'arborescence fonctionnelle) ;
- à déterminer les constituants de l'arborescence organique au pas courant de décomposition (où plutôt à compléter l'arborescence organique, celle-ci étant généralement définie préalablement dans ses grandes lignes) ;

- à projeter les fonctions de l'architecture fonctionnelle ainsi agrégées sur les éléments de l'arbre obtenus de la modélisation organique ;
- à définir les interfaces générées par les projections. Deux fonctions, en relation dans l'architecture fonctionnelle projetées sur des constituants différents, génèrent une fonction interface qui doit être allouée à l'un ou/et l'autre des constituants, ou à un nouveau constituant.

Nous avons étudié ce processus de projection et proposons d'appuyer le même procédé que celui de l'agrégation, qui consiste à respecter des “*règles*” qui satisfassent *selon son comportement* : le fonctionnement du système et *selon sons structure interne* : la structure physique du système. Nous considérons que ces règles peuvent évoluer pour l'avenir et être complétées par d'autres règles.

Pour notre part, nous faisons, une proposition basée sur deux règles, qui sont :

Règle 1 : La projection fait des fonctions vers les composants doit être effectué en considérant les constituants (organes) susceptibles de supporter l'architecture fonctionnelle tout en garantissant les contraintes que leur ont été associées. Autrement dit, préconiser le comportement sans se oublier de la qualité et la fiabilité.

Règle 2 : La projection des fonctions vers les composants est effectuée à tous les niveaux du système de la représentation organique.

Nous avons proposé ces deux règles comme base d'une première expérience pratique. La discussion sur une version de règles plus précises reste ouverte pour de futurs travaux sur ce thème de la projection.

Avec la projection, on aboutit à identifier la liste de modules structuro-fonctionnels du système, où chaque module est décrit :

- dans ses fonctionnalités et interfaces par HiLeS,
- dans ses dimensions et formes,
- dans sa dénomination globale.

Ce processus une fois généralisé permet :

- d'établir la liste complète des modules du système et de définir les interfaces que leur sont attribuées,
- et, par voie de correspondance, de définir quelles sont les tâches techniques à réaliser et de proposer les spécifications des produits correspondants aux fournisseurs qui vont les approvisionner.

Pour nous, les intérêts d'obtenir une description complète des ces modules structuro-fonctionnels sont nombreux :

- étudier la compatibilité des produits et fonctions du système ou des sous systèmes par rapport aux exigences techniques du cahier des charges,
- vérifier la conformité aux exigences de performances,
- identifier des blocs qui pourront être réutilisés dans futurs projets,

- vérifier que les solutions retenues sont conformes aux spécifications techniques à tous les niveaux du système,
- permettre des analyses précoces sur la sûreté de fonctionnement (avec ses interfaces),
- estimer les coûts et le planning des opérations,
- réaliser des bases de test pour qualifier certaines fournitures,
- débiter les approvisionnements en vue de la production,
- fixer les critères de réception : ces critères doivent être cohérents avec exigences techniques et les besoins techniques.

Les résultats pratiques du processus de partitionnement peuvent être standardisé par une **Représentation Architecturale Modulaire du Système**. Elle est construite selon l'objectif de hiérarchie de chaque module. Comme le système a été décomposé de manière descendante en fonctions d'abord et puis en composants, **on peut à ce niveau construire l'architecture physique de façon ascendante toujours en considérant l'instant (précédences et séquençement des fonctions) de l'intégration des éléments dans le système.**

À ce stade, les contraintes fonctionnelles, en principe déjà prises en compte dans chaque module, sont tracées afin de vérifier qu'on n'a rien oublié et on peut y ajouter les contraintes organiques et physiques comme : mécanismes de sécurité, de fiabilité, d'adaptabilité, etc.

Cette phase est appuyée par la création des fiches qui décrivent les spécifications des interfaces et qui contiennent l'information des spécifications techniques de chaque module Structuro-Fonctionnel qui seront aussi utiles pour effectuer les appels d'offre aux fournisseurs. La figure 3-15 montre cette opération.

3.5 Pré Planification et Pré Tâches

Les paragraphes précédents ont décrit la procédure suivie pour l'obtention des modules structuro-fonctionnels. Dans cette section, nous allons détailler comment à partir de ces modules, il est possible de dégager les tâches à réaliser qui définiront toutes les étapes du projet. Cette définition de tâches doit donc se faire en étroite collaboration entre tous les intervenants du projet pour garantir une bonne coordination.

Dans la pratique industrielle, la conduite des processus de conception vers la définition de modules structuro-fonctionnels vise en double objectif :

- proposer une architecture "physique" du Système,
- définir des "composants du Système" qui pourront être proposés pour la réalisation des fournitures internes et externes. On retrouve ce concept dans la norme EIA-632 sont appelés : Building-blocs.

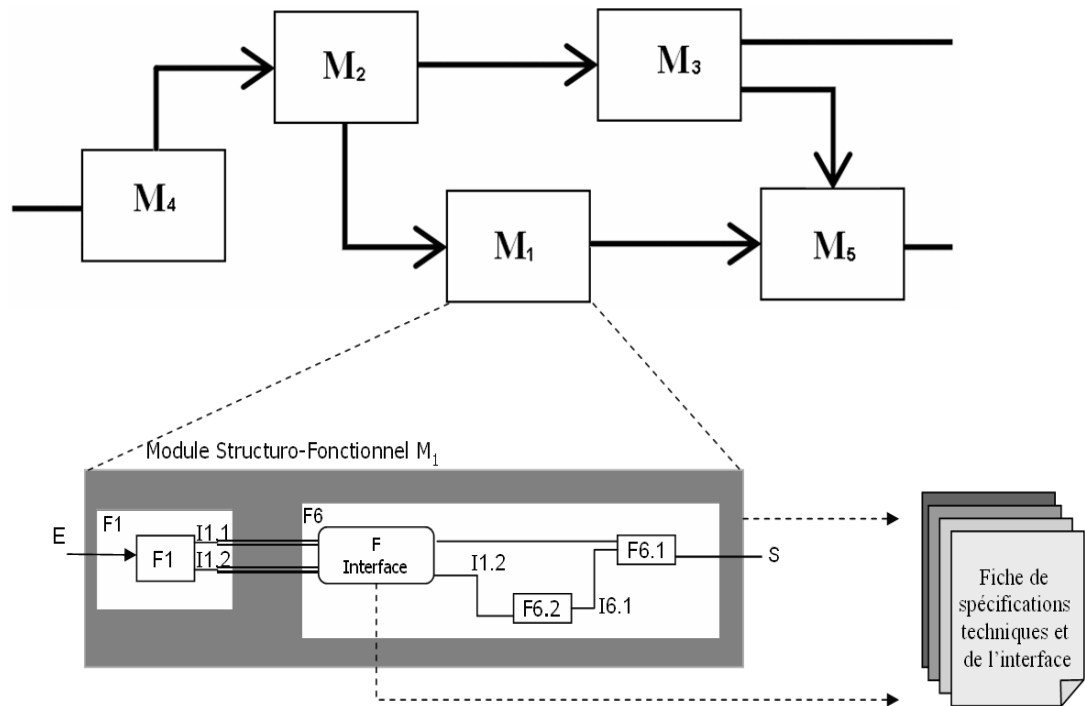


FIGURE 3-15. Représentation architecturale modulaire du système

Pour le responsable de la planification, la définition des modèles structuro-fonctionnels, définit en même temps les tâches probables du plan de travail :

- Les tâches doivent d’abord être positionnées temporellement les unes par rapport aux autres. Pour ce faire, les considérations techniques seront très importantes mais le travail d’ordonnancement doit pouvoir “jouer à fond” pour accélérer le processus global de développement tout en respectant les rendez-vous techniques.
- Ces tâches doivent être complétées de tâches indispensables à la planification pour faire le suivi de l’avancement des travaux, ou pour répondre à des exigences parallèles d’autres processus : fiabilité, qualité, sûreté de fonctionnement, etc.
- Les tâches peuvent être décomposées en sous-tâches, permettant d’effectuer une analyse du travail à effectuer plus détaillée.

Ce travail de définition des tâches conduit naturellement à une étape de pré planification pour disposer d’un premier canevas du travail à effectuer avec des informations estimées mais contenant toutes les phases au delà de la définition de tâches : obtention du graphe de projet, réalisation du premier pré planning, la planification par actualisation de la pré planification un fois que a été disponible l’appel d’offres. Cela permet d’identifier des alternatives de réalisation des tâches. Ce paragraphe aboutit à la sélection des scénarios selon les types de contraintes que GESOS est capable de traiter.

Au delà de la consultation des fournisseurs, l’étape de **Pré Planification** est faite pour réaliser un premier ordonnancement des tâches probables. Sur cette

base, on peut faire une première extraction des besoins en composants et déterminer un plan d'approvisionnement prévisionnel. Cela nous permet d'intégrer l'ensemble des contraintes et objectifs fixés au début de projet. Cette pré planification peut être résumée par les phases suivantes :

- Définition des tâches (ou découpage hiérarchique du projet en tâches),
- Évaluation experte des durées, précédences, ressources et contraintes aux tâches et assignation des tâches aux participants du projet.

Ce n'est qu'après les retours fournisseurs, que l'on pourra procéder à la planification :

- de la génération et sélection des scénarios, et la réalisation du graphe du projet,
- jusqu'à la planification finale.

3.5.1 Tâches et Modélisation WBS

Nous venons de voir comment se construisent les tâches permettant de mettre en place un premier canevas de travail. Nous précisons ici d'avantage ce qu'est sa modélisation :

Selon [Esq 99], une **tâche** i est une entité élémentaire de travail localisée dans le temps par une **date de début** t_i ou de **fin** c_i , dont la réalisation nécessite une durée $p_i = c_i - t_i$, et qui consomme des moyens k avec une **intensité** a_{ik} .

Une tâche est généralement constituée de cinq éléments:

1. un ensemble de conditions à maintenir sous la forme d'une conjonction de valeurs des attributs, ou relations du domaine permettent de décrire l'environnement considéré à un moment donné),
2. un ensemble d'effets représentés par une conjonction d'évènements (un événement exprime une transition sur la valeur d'un attribut du domaine),
3. un ensemble de propositions d'utilisation de ressources,
4. un ensemble de sous-tâches,
5. un ensemble de contraintes temporelles et d'instanciation entre les diverses variables de la tâche.

Chaque tâche définie doit respecter un fonctionnement, des interfaces et une configuration technique. En plus, toute tâche doit être reliée au reste du projet par ses entrées (préparées par les tâches amont) et par ses sorties (qui serviront d'entrée pour les tâches aval). En conséquence, on ne rentre dans une tâche que si toutes les conditions nécessaires à sa réalisation sont réunies et on n'en sort que si tous les objectifs sont atteints et vérifiés.

Chaque tâche est caractérisée par des *matières premières* qui lui sont nécessaires : ce sont les objets entrants ou préalables (un document, une spécification, une machine mise à disposition, une norme, un opérateur formé et opérationnel, un jeu d'essai...) et elle fournit un ou plusieurs produits résultats, ce sont les objets sortants ou *livrables* (un logiciel, une plaquette publicitaire, un support de cours de formation, une fiche technique, ...). Les objets entrants

peuvent être déjà à disposition ou bien sont les objets sortants d'une autre tâche destinée à les produire. Les objets sortants peuvent être réemployés par une autre tâche.

L'étape de définition de tâches représente le cœur de notre méthodologie : c'est à la définition des modules structuro-fonctionnels que sont précisés les éléments que composent le système en liaison avec le fonctionnement que celui-ci aura.

Considérons donc le passage du modèle « de la conception de produit » vers les tâches « de la conduite de projet » (cf. Figure 3-17). Pour cela, nous sommes convaincus que le premier niveau de description pour les tâches peut être dérivé de la description des modules obtenus durant l'étape de projection. Cette opération effectuée sur la base de considérations techniques va prendre en compte des objectifs non techniques relatifs à la gestion de projet : coûts, délais, contraintes d'approvisionnements, qualité, certifications, risques, etc.

La figure 3-16 montre ce procédé, elle indique clairement la correspondance directe entre des blocs et des tâches. Dans notre démarche, nous allons prendre en compte que, pour chaque module structuro-fonctionnel obtenu, nous devons obtenir une Tâche, à la fin de cette étape on précise une liste de Tâches à effectuer pour aboutir à la réalisation du projet.

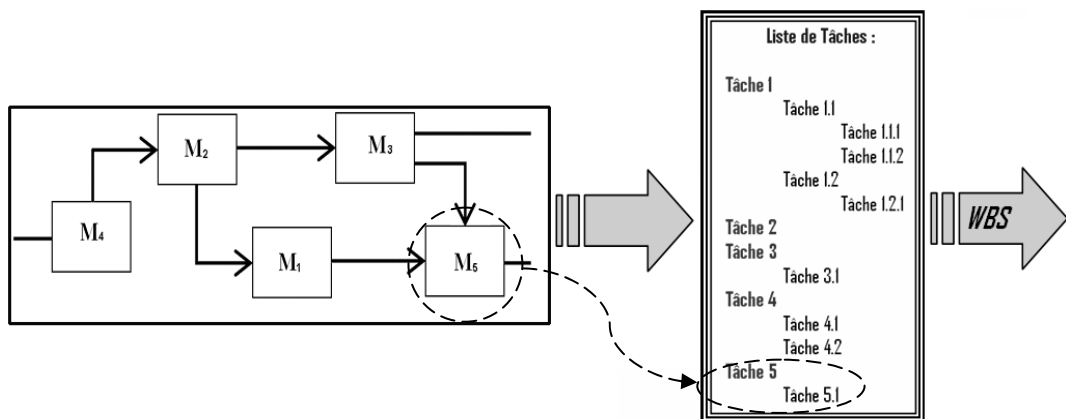


FIGURE 3-16. Passage des modules aux tâches

Pour enrichir encore plus cette première transition nous proposons d'utiliser la méthode standardisée "WBS" (décomposition des tâches du projet ; Work Breakdown Structure, en anglais), qui dresse l'inventaire et l'ordre hiérarchique de réalisation des tâches, ou activités, nécessaires à la réalisation des divers composants. Donc, elle doit permettre de répartir les activités entre les acteurs du projet et faciliter les fonctions de contrôle de projet : estimation des durées, des coûts, des ressources. Pour cela, le WBS, propose une décomposition purement statique : **il ne tient pas compte du temps, et par conséquent ne s'attache pas à l'ordonnancement des activités.** Il permet une présentation analytique: on doit décomposer jusqu'à obtenir des activités qui soient bien définies et facile à gérer c'est à dire **dont les entrées et résultats sont parfaitement identifiés** et dont la responsabilité sera confiée à une ou des personnes précise(s).

Le plus important dans notre cas est que la démarche suivie dans la décomposition WBS, donne la possibilité de visualiser, en un seul schéma **les tâches dérivées de la conception** obtenues directement des modules structuro-fonctionnels et ajouter **les tâches propres de la conduite** (comme Tester, Assembler, Installer...), qui, ne sont pas évidentes ou faciles à visualiser à ce niveau. Un exemple de ce mécanisme est illustré de façon synthétique par les Tâches de la figure 3-17 suivante :

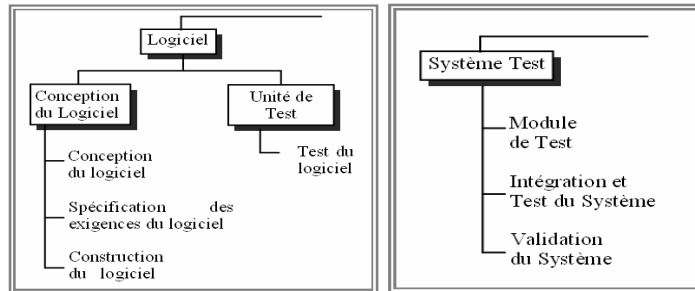


FIGURE 3-17. Tâches de la démarche de conduite

Ainsi, avec le WBS, nous allons organiser les tâches de façon cohérente à partir des modules structuro-fonctionnels du système. Pour cette raison, les niveaux du WBS doivent correspondre aux niveaux obtenus dans la représentation architecturale modulaire du système. Nous proposons cette méthode car le WBS est la seule approche qui permette :

- d'organiser le projet : définir les responsabilités,
- d'estimer et suivre les coûts : budget prévisionnel et "à date",
- d'estimer et suivre les délais du projet : planning.

Suite à l'organisation des tâches, nous procédons à une étude d'approvisionnement, qui a pour but d'assurer que les objectifs du projet souhaité sont réalisables avec les technologies retenues ou existantes et les ressources disponibles (humaines, techniques, financières). Il s'agit d'une période critique qui fixe la démarche de travail et la technologie car ces éléments ont une implication importante dans le coût. Ils forment la part essentielle du travail à réaliser pour l'élaboration du planning.

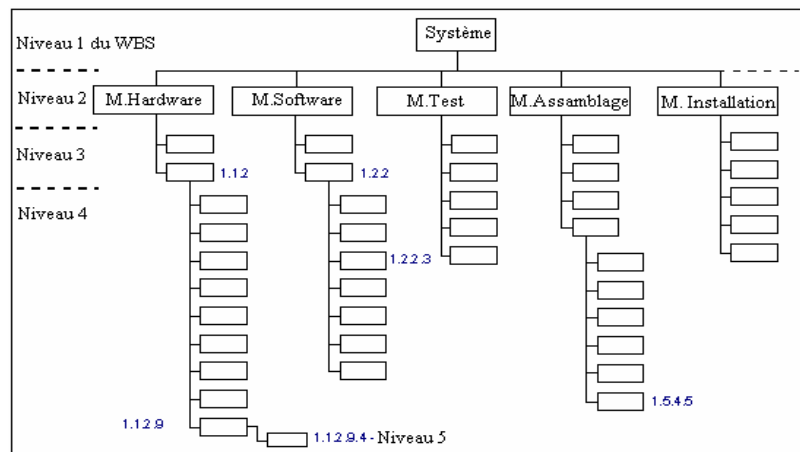


FIGURE 3-18. Organisation hiérarchique des Tâches avec la méthode WBS

La solution au problème posé est loin d'être unique. Par exemple, la diversité des techniques offre toute une série de solutions situées entre une solution purement matérielle et une solution purement logicielle. Des contraintes de performance, de coûts, de délais, et des critères de qualité conduisent à réduire l'éventail des possibilités.

À compter du problème à résoudre, le concepteur doit se poser diverses questions qui vont le conduire progressivement à limiter les alternatives des tâches à effectuer. Dans cette partie, il doit se poser la question de savoir s'il est préférable d'utiliser des composants existants ou de concevoir des circuits spécifiques : les caractéristiques comme les performances attendues et les coûts interviennent dans la décision de choix.

Ensuite il faut proposer un premier modèle d'organisation au concepteur, en sachant que celui-ci ne représente qu'une parmi plusieurs façons de réaliser le système. Cela conduit au *graphe de projet*.

L'objectif de cette phase est de finaliser l'expression des besoins, pour cela, il faut :

- étudier toutes les solutions envisageables parmi celles existantes et déterminer de nouvelles solutions à approfondir. La réutilisation occupe ainsi une grande place durant cette phase du projet.
- estimer les performances, les risques, les points critiques et les contraintes (de coûts, délais, organisation, conception, production exploitation et retrait de service) pour chaque solution potentielle.
- préciser les marges par rapport aux objectifs.
- approfondir les études de sûreté de fonctionnement au niveau système.

À ce stade, il faut considérer que les tâches sont encore imprécises notamment dans leur contenu technologique. Beaucoup de variantes que l'on souhaite considérer dans notre démarche sont encore possibles. Ces variantes vont pouvoir être explorées avec l'aide des fournisseurs. En réponse aux spécifications qui leur sont adressées, ils vont faire des propositions dont on exigera qu'elles soient documentées comme suit :

- technologie de la fourniture,
- variantes pouvant conduire à des scénarios multiples,
- modèles de fournitures compatibles avec le développement d'un prototypage virtuel de systèmes.

3.5.2 Réalisation du Graphe du Projet

Les contraintes liées aux aspects de la gestion de projet traitées sur GESOS sont basées sur deux critères : le coût et la durée. Pour l'analyse des alternatives de réalisation du projet, GESOS peut considérer aussi le *nombre de ressources*, le *nombre de tâches* et le *nombre d'alternatives* de chaque tâche. Ainsi, dans cet outil

sont étudiées les relations temporelles entre les tâches (durée des tâches) et plus précisément les relations de priorité entre elles. La représentation de cette analyse est effectuée sous la forme d'un *graphe*.

Le graphe du projet montre les relations d'ordre entre toutes les activités d'un projet qui lui sont reliées par des contraintes de précédence, il est toujours orienté de gauche à droite, pour refléter la chronologie du projet. Ainsi, un graphe représente le réseau logique du projet qui reprend les hypothèses de priorité des tâches.

Ce graphe est élaboré à partir du problème posé et des contraintes fixées. Ainsi, il faut se poser diverses questions qui vont conduire progressivement à limiter la ou les techniques les plus appropriées pour la solution du projet. Une solution pour une application donnée est souvent l'association de plusieurs techniques. A ce stade, il faut se poser la question de savoir s'il est préférable d'utiliser des composants existants ou de concevoir un produit spécifique.

La proposition que l'équipe du LESIA fait sur le graphe est très proche du formalisme suggéré par Beck [Bec 99] qui travaille sur la planification d'alternatives ou activités, dans lequel les tâches à réaliser sont représentées par des carrés numérotés et les relations de précédence par des flèches, comme illustré sur l'image de la Figure 3-19. Dans cette figure la tâche 1 doit être réalisée avant la 2 qui elle même doit être réalisée avant la 3. La 3 devant être réalisée après les tâches 1 et 2. Enfin, la tâche 4, elle, n'a pas de contraintes de précédence. [Rac 06].

L'aboutissement de ce graphe de projet va nous permettre la spécification technique des besoins préliminaire et l'obtention d'un premier plan identifie comme étape de pré planification, il est illustré avec un diagramme de GANTT.

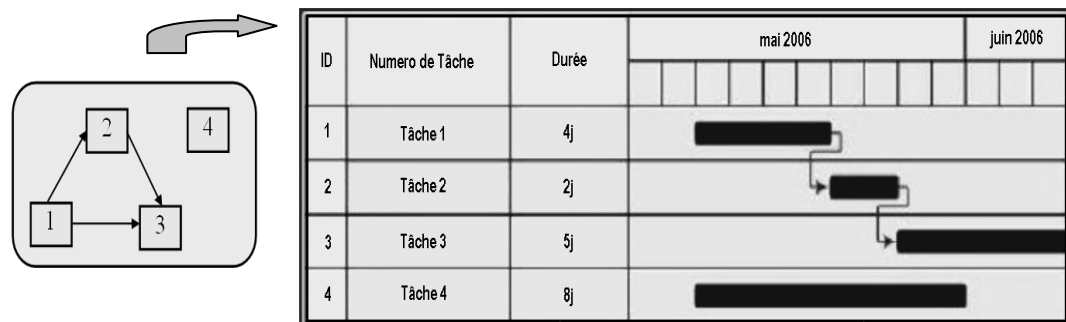


FIGURE 3-19. Exemple d'un graphe de projet avec GANTT associé

3.5.3 Génération et Sélection de Scénarios avec l'outil GESOS

Dans la conduite de projet, on a besoin de sources d'information très diverse : comme la planification des projets, l'évaluation et la répartition des ressources humaines et matérielles, l'estimation des coûts. Sont aussi indispensables la définition des activités de contrôle durant le développement de chaque projet, à savoir l'évaluation de l'état d'avancement, l'observation des déviations para

rapport au planning, une mesure de la qualité des développements, etc. A ce stade, nous sommes dans une étape de réflexion, afin de trouver un logiciel qui puisse nous permettre de faire ce travail, car jusqu'à maintenant on réalise cette démarche de façon manuelle. Une fois que ce logiciel sera acquis, nous aurons la possibilité d'anticiper et donner une estimation du travail à effectuer.

Avec la disponibilité des premières informations, l'outil GESOS va nous aider à sélectionner et optimiser les activités préparatoires et à étudier toutes ces alternatives et ses divers constituants.

Dans le cadre de notre modèle partagé, le chef de projet prend en compte les tâches décrites dans le paragraphe 3.5.1, qui, à ce moment, sont identifiées comme activités préparatoires, dérivées de la description des modules structuro-fonctionnels obtenus en l'étape de tissage. Pendant cette opération, il se base sur des considérations techniques et des objectifs non techniques relatifs à la gestion de projet comme les coûts, les délais et les contraintes d'approvisionnements, la qualité, la fiabilité et les risques. Puis, avec GESOS, il génère et sélectionne le(s) scénario(s) des activités qui vont conduire à la réalisation du projet.

Les scénarios sont construits à partir des alternatives⁷ attachées à chaque tâche. Ils correspondent à des solutions globales respectant à la fois les spécifications techniques et les besoins stratégiques du projet. Bien sûr, le nombre de scénarios augmente si les contraintes et spécifications sont relâchées.

Nous proposons d'obtenir les scénarios différents d'une représentation générique du projet employant un graphique reliant le projet charge et rassemblant les multiples options pour les réaliser : chaque projet a, en effet, plusieurs options de réalisation et chaque option exige des ressources spécifiques comme l'illustre la Figure 3-20.

L'étape de génération de scénarios est effectuée en deux temps :

- avec les alternatives proposées avant de lancer l'appel d'offres,
- avec les alternatives proposées lors du retour fournisseurs.

Par ce procédé, l'utilisateur fixe les critères de sélection spécifiés directement à GESOS, il établit les objectifs à vérifier et ensuite GESOS utilise ces ressources pour proposer des modèles des alternatives, identifiées comme *scénarios*, qui peuvent être classifiés selon des critères basés sur des aspects non fonctionnels. Pour mesurer la précision de la cible atteinte, et analyser à quel point les différentes contraintes et critères sont respectés, dans GESOS on a employé l'approche Taguchi, décrite dans le chapitre 2, section 2.4.1.

Ensuite, GESOS construit sa propre représentation du projet avant de déterminer le(s) scénario(s) optimum(s). Durant l'optimisation, GESOS utilise une base de données interne lors de la sélection d'un groupe de scénarios. À la suite de cette étape d'optimisation, les solutions peuvent être comparables avec

⁷ Ici, nous identifions une alternative comme une variante (version similaire) de la tâche qui présente les mêmes éléments mais avec des valeurs différentes.

l'information issue sur HiLeS afin de permettre au chef de projet de simuler respectivement le produit et le plan de travail.

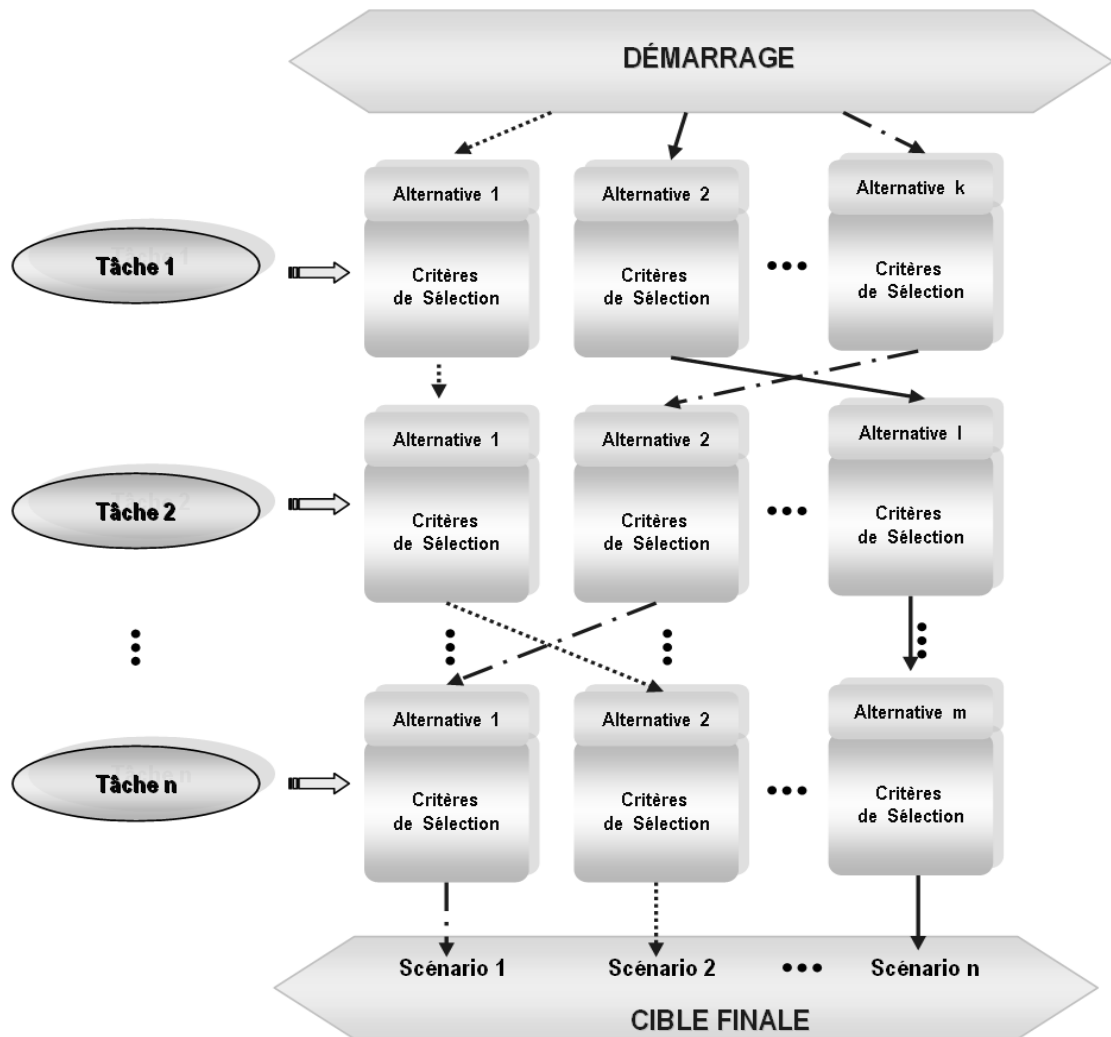


FIGURE 3-20. Alternatives de réalisation du projet

3.5.4 Appel d'offres

L'appel d'offres est effectué afin de se lancer à la recherche *des fournisseurs potentiels* qui développeront des solutions propres à nos besoins.

Dans cette étape, on doit préparer et envoyer les éléments nécessaires aux fournisseurs (spécifications fournisseurs) extraits de la fusion conception/conduite. Le Tableau 3-1 illustre ce que nous venons de dire. Les fournisseurs devront faire le retour avec les modèles utiles et les différentes possibilités de réalisation de la fourniture.

Cette étape permet d'examiner d'autres solutions susceptibles d'être, à la fin, retenues. Elle peut aussi élargir l'horizon des approches habituelles et fournir par l'innovation, un avantage concurrentiel au chef du projet.

Information de sortie de HiLeS					
Nom du Projet	Nom Module Structuro Fonctionnel	Nature du Module	Fonctions Internes	Produits reliés au module	Description du Module
Robot de fabrication de Biopuces	Module Logiciel	Logiciel	init_IHM, FRecupereDonnées, InitialiserSystemeFluidique, AttendreCdeDebutDepotAuto, AttendreCdeDebutDepotMan, CommandeManuelleEjection, GenerCdeFinDepot, FlesIDepot	Interface graphique, Algorithmes de commande	Ce Module est composé pour une interface graphique et les algorithmes de commande
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametrageDonnées	Matériel	FEntreeDonnées, VisualiserEtatSysteme, FVerifierConnexions, AccepterEntreesUtilisateur, CommanderDepotAutomatique, ControllerDepotManuel	Clavier, Sons, Interface graphique	Ce Module est relié aux paramètres de l'interface
Robot de fabrication de Biopuces	Module Visualisation	Matériel	FVisualiserImages	Microscope, Camera, écran	Module qui permet la visualisation
Robot de fabrication de Biopuces	Module AffichageInf	Matériel	AfficherInformation	Ecran	Module pour faire la visualisation
Robot de fabrication de Biopuces	Module InitiaProcessus	Matériel et Logiciel	InitialiserPos	Banc de Positionnement, Source d'alimentation, Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Ejection	Matériel et Logiciel	InitialiserEject, Ejecter	Mécanisme d'éjecteurs, Support Matrice d'éjecteurs, Microscope, Camera et Ecran, Logiciel, Electronique de commande des éjecteurs	Ce Module est relié aux paramètres pour effectuer l'éjection de l'ADN
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametrageFluidique	Matériel et Logiciel	InitialiserFluid	Recevoir de fluides, Conduits de fluides, Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElementsFluidique	Matériel	ContenirFluides, ApprovisionnerFluides, ReapprovisionnerFluides	Recevoir de fluides, Conduits de fluides	
Robot de fabrication de Biopuces	Module CommandeGenerale	Matériel	FSauvegarderDonnées, FStockerGeom, FChargerDonnées, FChoixInf	Support mécanique, Banc de Positionnement, Mécanisme d'éjecteurs, Eléments de Visualisation, Source d'alimentation, Recevoir de fluides, Conduits de fluides, Ecran, Clavier, Sons, Logiciel	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametrageEjection	Matériel et Logiciel	InitialiserEjecteurs	Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElectroniqueEjecteurs	Matériel	AdresseEjecteur	Electronique des éjecteurs, Matrices d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElementsEjecteurs	Matériel	AdresserMatrices	Matrices d'éjecteurs, Support Matrice d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Depot	Infrastructure	DepotAutoOuManuel, RealiserEjection	Mécanisme d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module AlignementMechanique	Matériel	AlignerPuceMatrice	Microscope, Camera et écran	
Robot de fabrication de Biopuces	Module BancPositionnement	Infrastructure	FdeplacerPuce, PositionnerSousEjecteurs	Banc de Positionnement	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Mode Selection	Matériel et Logiciel	FselectionManuelle, FselectionAutomatique	Unité centrale de PC, Logiciel	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ControlInterface	Matériel	FControlerAxe	Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Capteurs	Matériel	FMesurerAxe	Capteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Deplacement	Infrastructure	FDeplacerAxe	Support mécanique, Guides de mouvement, Moteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module SupportPuce	Matériel	BloquerPuce	Support Puce	

TABEAU 3-1. Liste récapitulative de l'information provenant de la plateforme HiLeS

À ce stade de la description de la démarche, nous avons exploité les premiers résultats de notre méthodologie de partage d'information entre la conception et la conduite de projet, et aboutir à l'étape de pré planification.

Dans la suite peut être réalisée l'étape de **Planification**, qui assure le calcul de besoins en composants et détermine un plan d'approvisionnement et un plan de charge de travail. Pour cela, on se sert de l'actualisation des données obtenues avec l'appel d'offres pour revoir et préciser toutes les étapes comprises dans la pré planification : l'organisation des tâches, la génération et la sélection des scénarios et la réalisation du graphe de projet.

3.6 Conclusions du Chapitre

Ce troisième chapitre complète le chapitre 2 sur les méthodes et les outils. Il détaille les échanges qu'il faut mettre en place pour coupler conception de produit et conduite de projet, soutenue par une procédure solide qui accomplit les exigences classées du standard EIA-632 sur différentes catégories : fonctionnelles, de performances et d'interface.

Ces échanges sont divers de même que les outils spécifiques qui vont les supporter :

- Nous définissons d'abord une étape de **partitionnement en modules structuro-fonctionnels** par projection des fonctions sur des composants organiques du système, s'appuyant sur des outils d'agrégation de fonctions.
- Nous définissons ensuite une étape de pré planification où à partir de ces modules structuro-fonctionnels et de l'expérience (expertise) de l'équipe de projet on construit un pré projet de planning qui va servir à préparer l'appel d'offres fournisseur.
- Nous rassemblons **les avis des fournisseurs pour préciser le pré planning** et identifier les différentes possibilités technologiques
- Nous construisons l'interface avec GESOS par **l'établissement d'un graphe de transfert.**
- Nous appliquons la **procédure de sélection.**

Cela a supposé de concevoir et développer des outils suivants :

- l'outil de partitionnement par projection,
- l'outil d'agrégation sur HiLeS,
- la procédure d'établissement des tâches (WBS),
- la procédure de définition du graphe de transfert.

Évidemment, tout cela doit s'appuyer sur une base de données commune à l'ensemble d'outils. En l'état de nos réflexions, c'est le langage XML qui est le plus adapté à nos besoins.

La procédure décrite dans ce chapitre nous a permis de mesurer les avantages suivants :

- assurer le passage cohérent d'une phase à une autre, ce qui permet de maîtriser et de contrôler le déroulement du projet,
- assurer que rien n'est oublié au cours de la réalisation du système,
- vérifier que la définition des composants est correctement effectuée et que les fonctions attendues du système correspondent bien au besoin exprimé (suivi technique),
- mettre en place des tâches préventives ou correctives si des écarts sont décelés par rapport aux spécifications.

Finalement, il faut préciser que **cette méthodologie ne considère pas la production en série**, car pour cela il faudrait examiner d'autres aspects comme par exemple l'automatisation des processus, l'acquisition de machines spéciales, etc., ce que nous ne considérons pas ici.

Chapitre 4. Application de la modélisation du Robot de Fabrication de BioPuces

4.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude de cas réalisée pour illustrer la méthode proposée. Cette étude s'applique à un système de Robot de fabrication de BioPuces destiné à effectuer un procédé automatisé de dépôt d'ADN sur une biopuce (détaillé dans le paragraphe 1.4, du chapitre 1). Dans cette partie, nous présentons les résultats obtenus par l'application de la méthodologie proposée dans ce mémoire, notamment des opérations de partitionnement et de tissage décrites au chapitre 3.

Il faut préciser ici que nous avons déjà présenté les premiers résultats de cette méthodologie sur la modélisation fonctionnelle obtenus en collaboration avec Jean Verries [VeJ 06] (paragraphe 4.2), *dans le cadre de la formalisation des spécifications*. Sur ces résultats a été appliquée une méthode de vérification définie J. Verries et Najla Chamseddine [Cha 06] pendant leur travail de stage : un certain nombre de propriétés en logique temporelle linéaire ont été vérifiées pour démontrer la qualité de la modélisation du système de robot effectué sur HiLeS.

Nous considérons donc dans l'exposé de ce chapitre que tous les éléments théoriques nécessaires ont déjà été présentés dans les chapitres précédents pour pouvoir considérer en priorité la seule démarche applicative et discuter de son efficacité.

4.2 Extraction des Exigences

Dans ce paragraphe, nous allons décrire la démarche que nous avons suivie pour extraire les exigences du système de Robot de fabrication de BioPuces.

Nous précisons que notre représentation n'est qu'une description résumée, pour donner une idée générale des besoins exprimés dans le cahier des charges.

4.2.1 Cahier des Charges du Robot de Fabrication de BioPuces

L'objectif pratique du projet est donc la réalisation d'un système robotisé de fonctionnalisation des BioPuces.

Les caractéristiques désirées du système sont :

- Une grande flexibilité quant au choix des séquences à synthétiser. L'opérateur doit pouvoir choisir, créer, manipuler facilement les séquences à synthétiser. Une séquence devrait pouvoir contenir environ 20 bases.
- Une forte densité d'unités d'hybridation (nombre d'unités d'hybridation rapportée à la surface occupée sur le support).
- Un coût total de l'équipement raisonnable.
- Un nombre suffisant d'unités d'hybridations sur le support pour rendre ce système compétitif et compatible avec les applications potentielles. Une puce comportant 30x30 spots soit une matrice d'environ un millier de séquences serait par exemple satisfaisante.
- Un temps d'exécution d'une fonctionnalisation le plus réduit possible, dans la perspective d'une production en série et à faible coût de biopuces.

4.2.2 La technologie centrale : les Micro éjecteurs matriciels

La solution retenue pour effectuer les dépôts des nucléotides est l'utilisation de matrices d'éjecteurs. Celles qui sont disponibles actuellement ont des dimensions de 8 x 8 (matrice de 64 éjecteurs), et ont une densité d'un millier d'éjecteurs / cm². Les séquences à obtenir devraient avoir une longueur de 20 bases environs, soit, avec la technique de synthèse employée, une succession de 20 dépôts de fluides.

La technique de synthèse in-situ implique que l'on puisse déposer en n'importe quel point (unité d'hybridation) un volume prédéfini du fluide nécessaire pour le dépôt. La solution technique retenue est d'affecter une matrice à chaque fluide à utiliser, et de réaliser automatiquement le positionnement relatif entre la puce (pour l'unité d'hybridation considérée) et la matrice d'éjecteurs (pour l'éjecteur considéré) avant de réaliser l'éjection.

4.2.3 Les fonctions attendues du système

L'opérateur doit pouvoir :

- Créer, modifier, sauvegarder et restaurer des séquences matricielles de dépôt grâce à une interface utilisateur.
- Contrôler le travail réalisé par le système à l'aide d'un dispositif de visualisation.
- Contrôler le processus de dépôt, c'est-à-dire pouvoir intervenir sur le processus pour visualiser le travail ou l'interrompre si nécessaire.
- Réaliser facilement le positionnement et la récupération de la puce.
- Interagir avec le système par une interface conviviale, être tenu au courant de l'état du système pendant son fonctionnement, et notamment en cas d'erreur.

Un premier objectif de ce travail a été d'étudier comment formaliser ce cahier des charges en spécifications systèmes exprimées dans un modèle HiLeS (paragraphe 4.3 de ce chapitre) ; il a été mené en coordination avec Jean Verries. Mais avant de réaliser cela, nous avons abordé les points méthodologiques relatifs à cette activité.

À ce stade nous avons réussi à extraire les spécifications pris du cahier des charges et les considérations sur le projet de fabrication de BioPuces. Afin de compléter cette étape d'extraction, nous allons ensuite décrire les listes de contraintes qu'il faut respecter de ce projet, et qui devront être validées et vérifiées dans le travail de stage de Jean Verries [VeJ 06].

4.2.4 Liste de contraintes fonctionnelles et temporelles

Dans le chapitre 2, paragraphe 2.3, nous avons détaillé le rôle de l'outil TINA, qui va nous permettre de vérifier et valider le bon fonctionnement du système en étude.

À titre d'exemple, les contraintes fonctionnelles qui ont été considérées pour le système de Robot de fabrication de BioPuces sont les suivantes :

Contraintes de sécurité :

- C_1 : le fonctionnement doit garantir la sécurité de l'utilisateur et du système lui-même
- C_2 : l'utilisateur doit pouvoir arrêter le processus à tout moment
- C_3 : un mauvais fonctionnement du système doit pouvoir être signalé à l'utilisateur

Contraintes d'environnement fonctionnel :

- C_4 : l'utilisateur doit pouvoir visualiser le travail réalisé pour le robot sur la biopuce
- C_5 : l'utilisateur doit pouvoir lancer une procédure de nettoyage
- C_6 : la procédure de dépôt doit être automatisée
- C_7 : le système doit pouvoir revenir dans un état initial quelque soient les événements en cours d'utilisation

Contraintes d'ordonnancement ou séquençement de tâches:

- C_8 : le paramétrage du dépôt doit avoir été réalisé avant de lancer la procédure de dépôt

Et la liste suivante est la classification des contraintes du projet en fonction du temps, elles seront également identifiées avec un code :

- CT_1 : La procédure de dépôt des fluides ne doit dépasser 10 μ s
- CT_2 : Le nettoyage doit s'effectuer dans un période maximum de 50ms

Dans cette phase de modélisation et de vérification, les contraintes du robot décrites précédemment - en particulier celles exprimant des points reliant le fonctionnement du système (C₄ à C₇) - ont été constamment vérifiées pour essayer d'obtenir une modélisation en concordance avec le déroulement attendu du dépôt automatique d'ADN.

Dans le cas de ce projet, *l'arrêt d'urgence et le lancement automatique du dépôt* ont été les deux points essentiels traités durant la phase de modélisation. Le lecteur trouvera le détail de cette démarche dans le document de stage de Najla Chamseddine [Cha 06].

4.3 Modélisation avec UML : Formalisation des spécifications

Une fois effectuée l'extraction des exigences fonctionnelles et non fonctionnelles du système de Robot de fabrication de BioPuces, l'étape suivante consiste à formaliser les spécifications du projet, dans ce cas, nous avons procédé avec l'aide de la notation UML.

Voici cette démarche.

Application du diagramme de contexte

Dans notre projet, nous identifions comme bloc structurel la fonction globale « Fonctionnaliser Puce » qui a pour but de réaliser sur une puce un dépôt matriciel haute densité de séquences quelconques, définies par l'utilisateur.

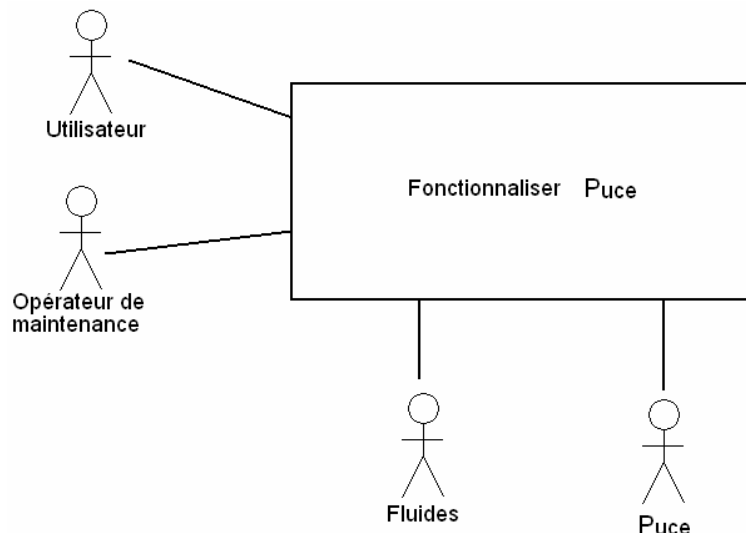


FIGURE 4-1. Diagramme de contexte du projet robot de fabrication de BioPuces

Nous identifions ainsi les acteurs qui sont :

- Utilisateur : Personne qui utilisera les fonctionnalités du système pour réaliser des biopuces.

- Opérateur de maintenance : Personne qui réalisera les procédures nécessaires au maintien du système dans un état opérationnel.
- Fluides : Solutions liquides nécessaires au dépôt et fluides de nettoyage.
- Puce : Support du dépôt, manipulé par l'utilisateur.

Application du diagramme de cas d'utilisation

Dans l'application au robot de fabrication des BioPuces, nous avons établi comme diagramme des cas d'utilisation le schéma de la figure 4-2. Il fait référence aussi aux demandes consignées dans le cahier des charges, avec lesquelles il y a une relation. Chaque cas d'utilisation est nommé à l'aide d'un syntagme verbal exprimant le but à accomplir, par exemple *configurer système*, *contrôler dépôt*, ou *visualiser zone de travail*. Bien que chacun de ces cas implique un processus annexe, l'accent est mis sur le but et non sur le processus.

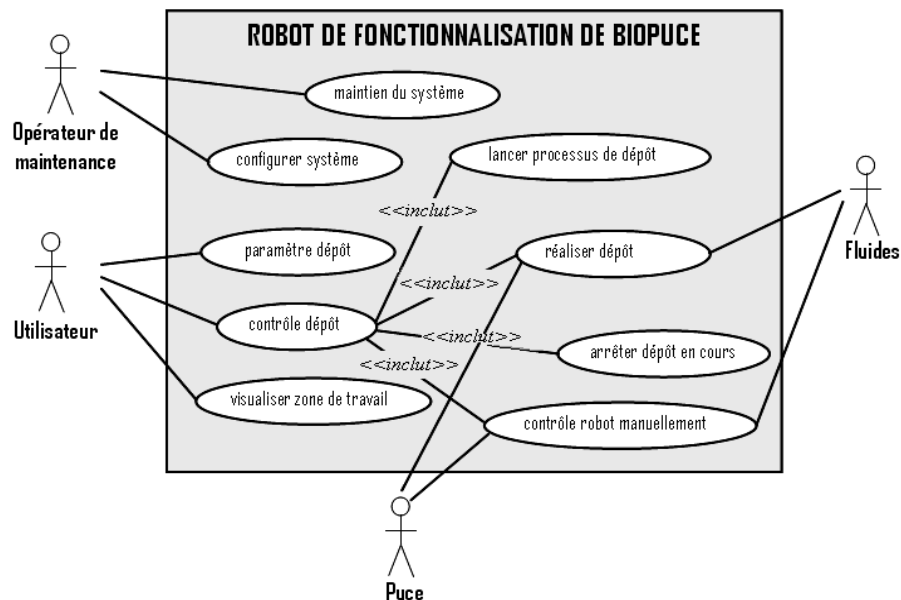


FIGURE 4-2. Diagramme de Cas d'utilisation

Dans le souci de rester synthétique, nous allons simplement faire la description narrative de quelques cas d'utilisation dans le Tableau 4-1, qui illustrent notre propos.

Cas d'utilisation :	Initialiser le système
Acteur :	Utilisateur
Fonction :	Cette partie a pour but la mise sous tension (AC) du système qui produit en parallèle la mise en sécurité des actionneurs mécaniques et fluidiques
Scénario :	1. L'utilisateur met sous tension le système 2. Tous les actionneurs du système sont mis en sécurité
Pré conditions :	Des contraintes fonctionnelles : C ₁ et C ₂ (de la section 4.2.4)

Cas d'utilisation :	Paramétrer dépôt
Acteur :	Utilisateur
Fonction :	Cette partie s'appuie sur la définition des séquences ADN à créer sur la biopuce, et effectue les réglages nécessaires pour le dépôt.
Scénario :	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'utilisateur doit indiquer et enregistrer le nombre de puces à réaliser 2. L'utilisateur doit préciser et enregistrer le nombre de couches de nucléotides 3. L'utilisateur doit créer et enregistrer la séquence de dépôt (sur forme de matrice) 4. L'utilisateur doit indiquer les coordonnées des éjecteurs pour réaliser l'éjection
Pré conditions :	<i>De contraintes fonctionnelles : C₅, C₇ et C₈</i>

Cas d'utilisation :	Lancer processus de dépôt
Acteur :	Le système
Fonction :	Procédure qui effectue le dépôt
Scénario :	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'utilisateur lance un ordre de positionnement en repos 2. Le système approvisionne la zone de travail 3. Le système bloque la puce / zone de travail 4. Le système réalise le dépôt 5. Le système permet la visualisation du dépôt 6. L'utilisateur visualise le dépôt 7. Le système réalise le nettoyage 8. Le système débloque la puce 9. Le système désapprovisionne la zone de travail
Pré conditions :	<i>De contraintes fonctionnelles : C₁, C₂ et C₃</i> <i>Des cas d'utilisation : Contrôler processus, Arrêter en urgence</i>

TABLEAU 4-1. Description narrative des cas d'utilisation

Application des diagrammes d'Activités

La figure 4-3 montre un exemple de diagramme d'activités du processus global effectué sur le robot de BioPuces. Selon cette figure, le fonctionnement du robot biopuce a été divisé en dix phases, mais pour nous faciliter la démarche à suivre, nous les avons regroupées en trois étapes.

Voici la description de chaque étape.

La première étape est composée par *l'adressage de la matrice*, ensuite *l'adressage aux éjecteurs*, et finalement le *déplacement de la puce*. Ici, il faut suivre les sous phases suivantes :

- Déplacer le robot d'approvisionnement vers le stock de puce
- Saisir une puce avec le robot
- Déplacer le robot d'approvisionnement vers le robot en zone de travail
- Déposer la puce sur le robot de travail
- Bloquer la puce et positionner le robot en sécurité

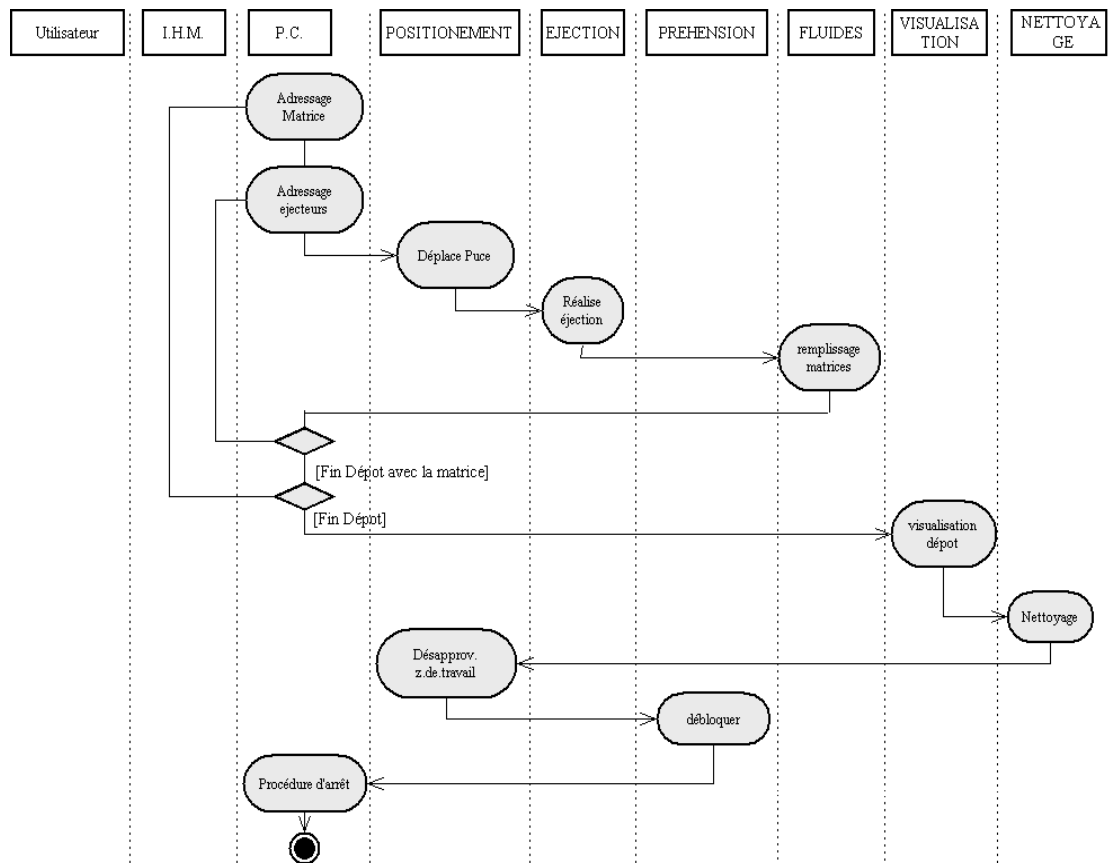


FIGURE 4-3. Diagramme d'activités du fonctionnement du robot BioPuces

La deuxième étape débute avec le cycle de dépôt et finalise avec le nettoyage :

- Adresser la matrice d'éjecteurs souhaitée (A, T, C, G ou P),
- Positionner le robot le travail sous les éjecteurs en position d'origine
- Envoyer les coordonnées de la première position d'éjection
- Positionner le robot aux coordonnées envoyées
- Remplir les réservoirs des matrices d'éjecteurs
- Adresser les éjecteurs à actionner
- Actionner les éjecteurs
- Vérifier le dépôt
- Fin dépôt avec la matrice sélectionnée
- Nettoyer le dépôt

Cette deuxième étape est effectuée n fois selon le numéro de dépôts à réaliser.

Finalement est effectué l'étape de désapprovisionnement de la zone de travail, la puce est débloquée et le travail arrêté.

Application des diagrammes de Classes

Selon les spécifications et les exigences extraites du cahier de charges, nous avons réussi à représenter les classes qu'il faut considérer pour le projet de robot BioPuce, la figure 4-4 illustre le diagramme de classes.

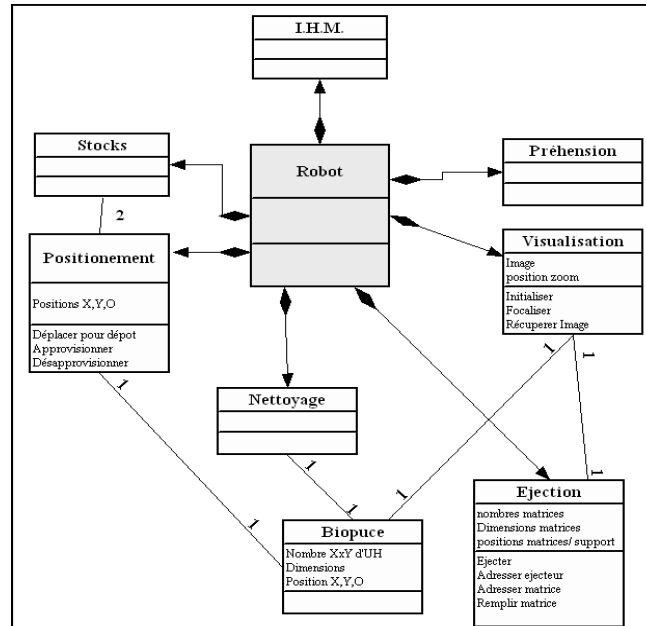


FIGURE 4-4. Représentation d'un diagramme de Classes du Robot BioPuces

Application des diagrammes de séquences

Le diagramme de séquences de la figure 4-5 montre la procédure effectuée sur le dispositif de commande du robot de biopuce, nécessaire au maintien du système en condition opérationnelle (défaillance, prise en compte d'une modification du matériel...). Ici le système demande confirmation à l'utilisateur avant reconfiguration. Le système doit avoir été initialisé.

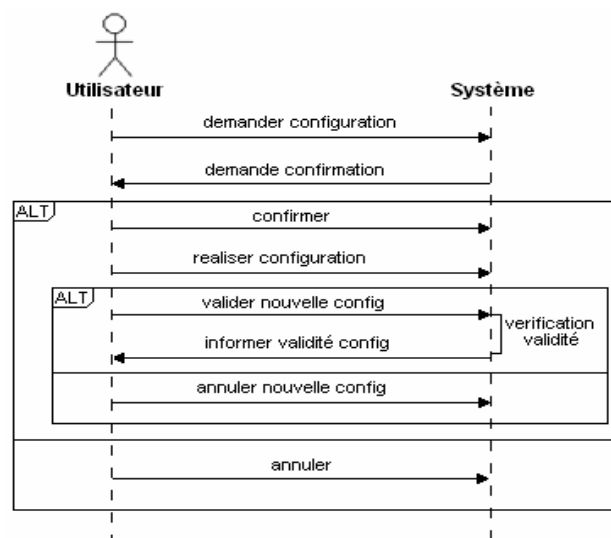


FIGURE 4-5. Diagramme de séquences du scénario *configurer système*

Un autre exemple de diagramme de séquences est illustré dans la Figure 4-6, qui décrit le processus **Contrôler le dépôt**. La procédure est liée à la réalisation du dépôt par le robot et comprend le contrôle “direct” du dépôt : lancement, arrêt momentané ou définitif du dépôt et le contrôle du mode d’exécution du dépôt : automatique ou manuel.

Avant le lancement du dépôt, une séquence doit avoir été sélectionnée. L’arrêt du dépôt ne peut être effectué qu’en cours de dépôt. Le système doit avoir été initialisé.

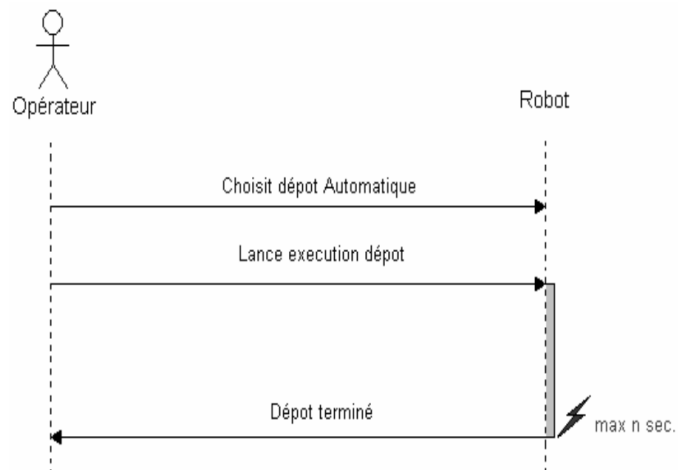


FIGURE 4-6. Diagramme de séquences *contrôler le dépôt*

La procédure de dépôt se fait par une succession de positionnements relatifs entre éjecteurs et biopuce, et d’éjections à une coordonnée fixée. L’utilisateur peut interrompre le dépôt pour l’arrêter définitivement ou le reprendre.

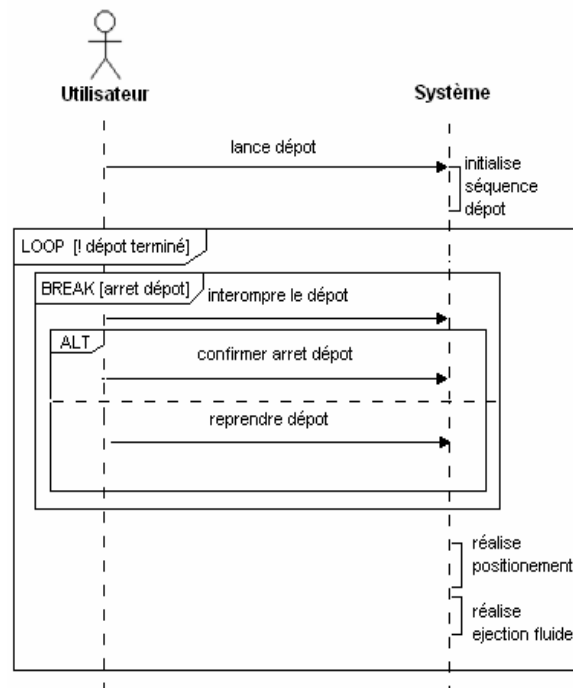


FIGURE 4-7. Diagramme de séquences *contrôler le dépôt* cont.

Application des diagrammes de collaboration

Le dernier diagramme que nous avons considéré pour notre démarche de formalisation des spécifications a été le diagramme de collaboration.

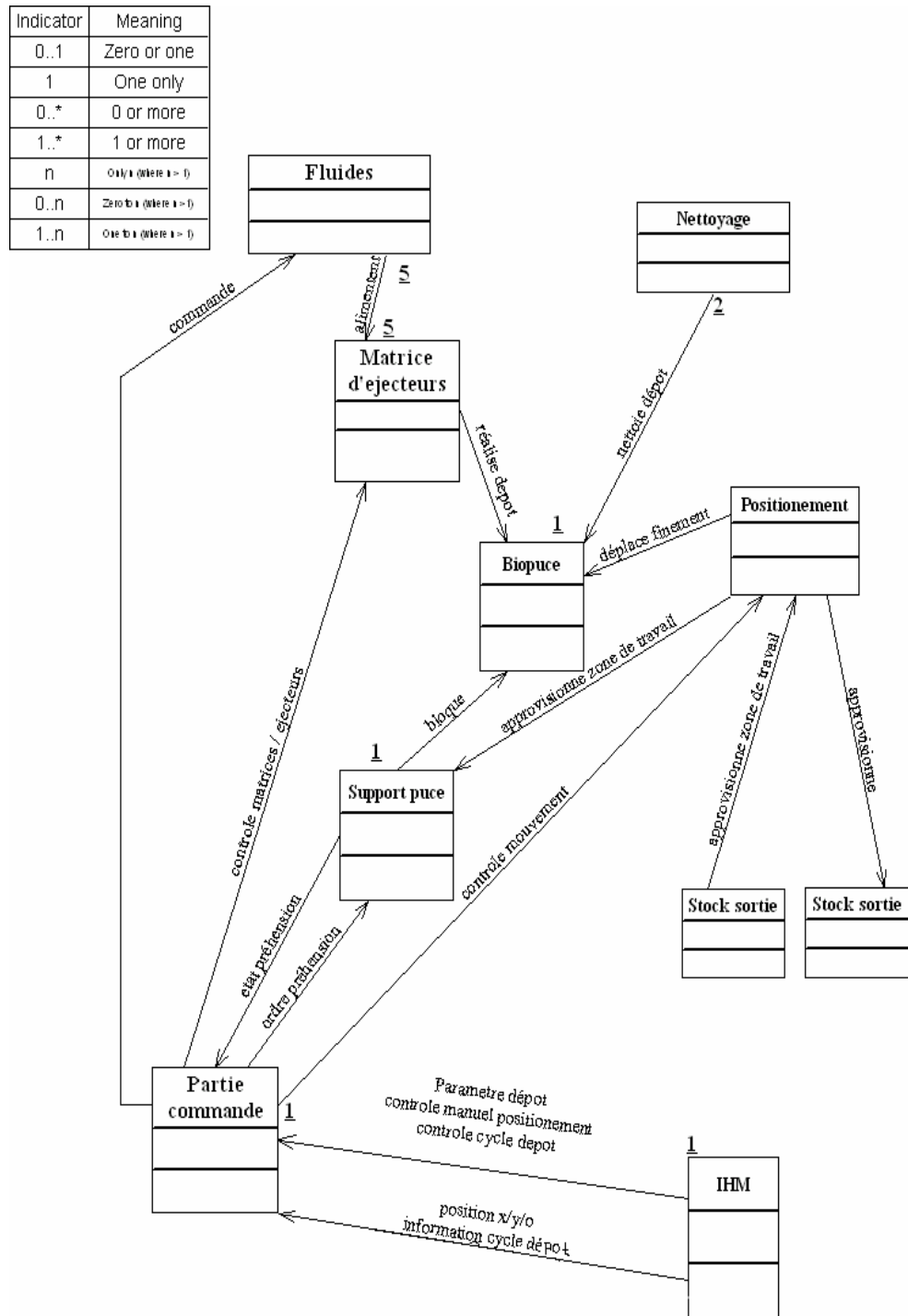


FIGURE 4-8. Diagrammes de collaboration entre classes et services du Robot BioPuce

La figure 4-8 détaille les collaborations entre les classes et les services du “Robot BioPuce” pris aussi du cahier des charges.

4.4 La Démarche de Conception effectuée sur le Robot de Fabrication de BioPuces

4.4.1 Modélisation Fonctionnelle

Le travail pratique de conception commence avec la formalisation des spécifications faite sur UML/SySML, en conformité avec le cahier des charges. L'objectif ici est de spécifier toutes les fonctions et contraintes que devra avoir le système pour répondre à sa mission. Ce travail a été décrit dans le paragraphe précédent.

Le **diagramme de contexte** identifie la fonction globale du système et les articulations avec l'environnement. Nous définissons la fonction globale « **FonctionnaliserPuce** » qui réalise sur la Puce une succession de dépôts matriciels à haute densité définissant en chaque point de la matrice des séquences d'ADN programmées par l'utilisateur. Ce diagramme permet aussi d'identifier les acteurs et leur relations avec le système (paragraphe 4.3) :

- l'utilisateur
- l'opérateur
- les fluides
- la puce

Ce diagramme de contexte est aussi une représentation du bloc **niveau 0** de description HiLeS (la Figure 4-9 décrit ce niveau 0 de décomposition du robot de fabrication de BioPuces fait sur HiLeS.) On retrouve aussi l'environnement du système et les interconnexions existantes entre les acteurs, les entrées et les sorties du système.

Le diagramme précédent va être enrichi dans différents autres diagrammes du formalisme UML décrits dans le paragraphe 4.3, afin de préciser les fonctions constitutives de la fonction globale :

- Par les **diagrammes des Cas d'utilisations** (liés aux acteurs du système) et les **diagrammes de séquences** on définit *les procédures de réalisation de chaque cas décrit*, qui, plus tard, vont définir les propriétés en logique temporelle linéaire :

Par exemple, dans le cas Maintient du système où l'acteur est l'opérateur, on va dériver les pré conditions :

- le système doit être dans une situation sécurisée avant l'intervention manuelle de l'opérateur.
- Le système doit avoir une fonction d'initialisation.

- Par les **diagrammes de classes**, on accède à la composition des éléments physiques de l'environnement du système à concevoir et aux relations entre ces éléments. Ainsi le diagramme de classes construit l'architecture du système et définit une hiérarchie des fonctions du système.
- Par les **diagrammes d'activités et de séquences**, on décrit la *dynamique globale du système*. Nous cherchons donc à synthétiser les diagrammes de séquence obtenus pour faire apparaître l'ordonnancement et la dynamique globale du système.

Les fonctions principales du système vont apparaître dans le niveau 1 de la modélisation HiLeS, tel que montre la Figure 4-10.

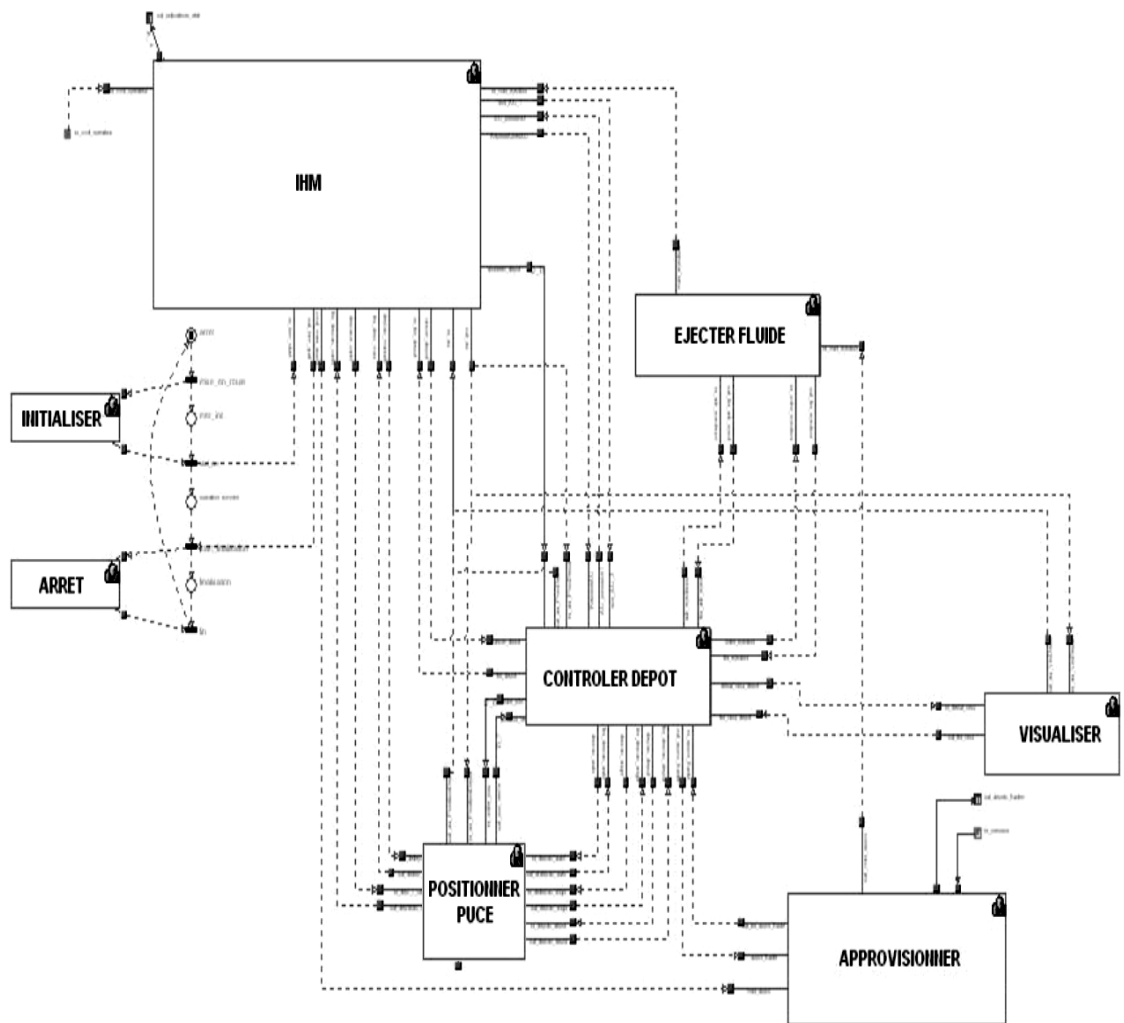


FIGURE 4-10. Description selon HiLeS du système au niveau 1, fonctions principales du système

En travaillant encore sur le partitionnement des activités, on arrive au niveau de décomposition 2 de la représentation du système avant l'introduction des réseaux de Petri. Malgré la procédure effectuée avec les diagrammes UML, la construction des réseaux de Petri reste encore sous la "responsabilité" du concepteur : les réseaux de Petri associés aux blocs fonctionnels décrivent le

comportement, l'exécution des instructions de contrôle et de commande et l'évolution des activités de la structure hiérarchique du système.

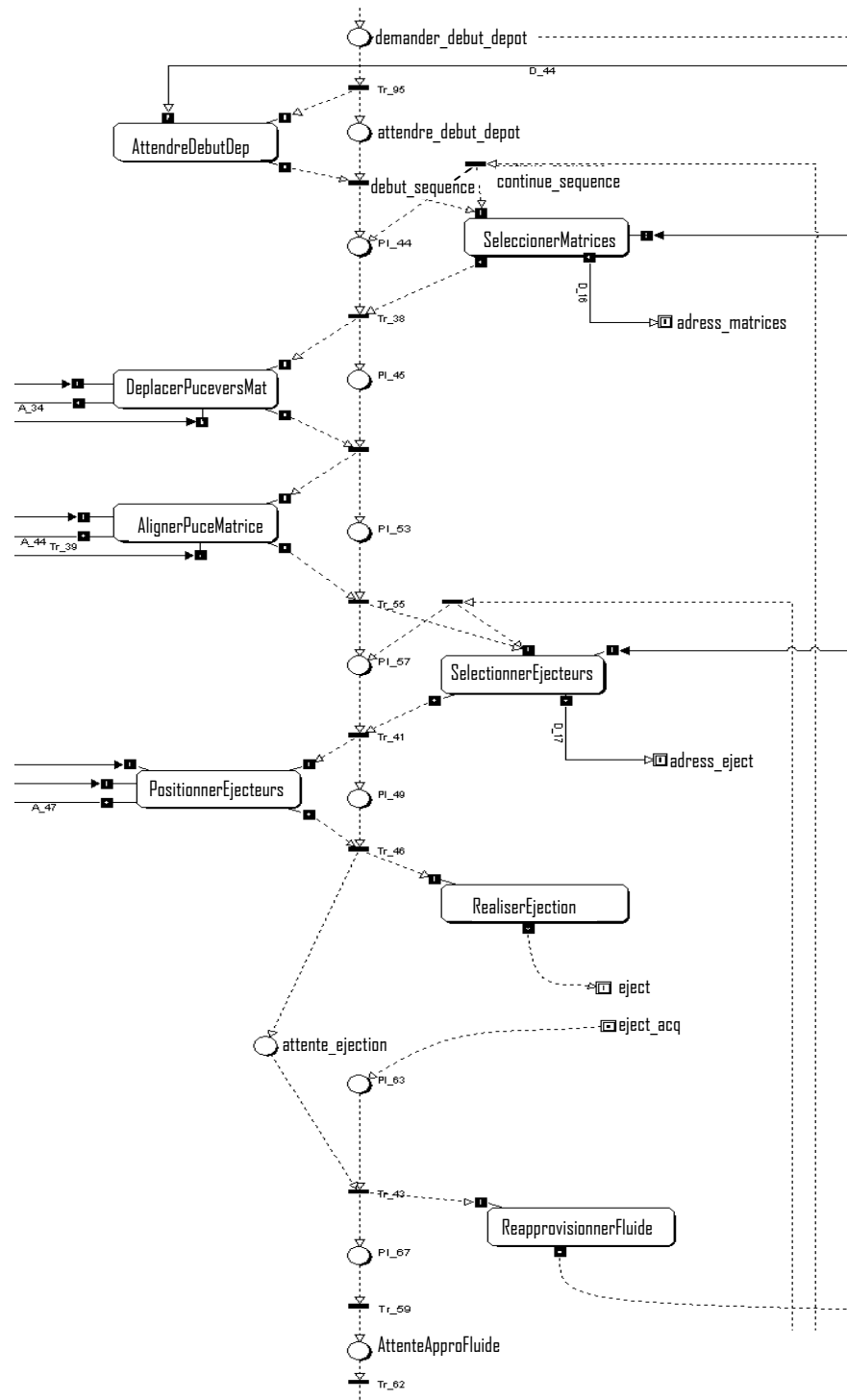


FIGURE 4-11. Exemple de modélisation HiLeS : Bloc "contrôler dépôt"

La modélisation fonctionnelle sur le projet de BioPuce conduit à la définition d'une structure hiérarchique basée sur des blocs structuraux et fonctionnels de HiLeS ainsi que sur des réseaux de Petri.

A cause de sa complexité, elle ne peut être donnée complète. Nous l'illustrons par l'exemple de la Figure 4-11.

L'architecture globale, pour être comprise, est simplifiée sous la forme d'une représentation arborescence statique de tout le système (Figure 4-12).

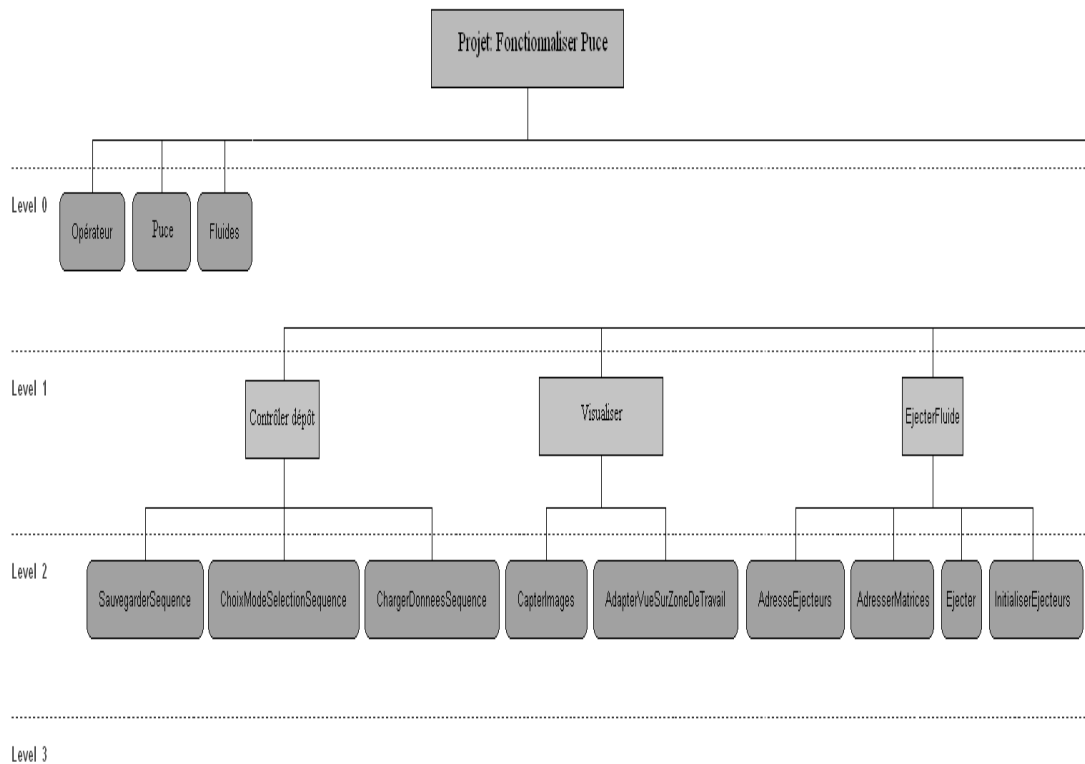


FIGURE 4-12. Représentation arborescente du projet BioPuce du niveau 0 à 3

Le résultat final du travail de représentation du Robot BioPuce est plus facile à manipuler dans le Tableau 4-2, qui fait apparaître les fonctions du système sous forme de listes par niveau hiérarchique de description.

4.4.1.1 L'agrégation de Fonctions

Cette opération est utile pour réduire la complexité et donner plus de cohérence à la représentation. Pour sa mise en œuvre, nous avons considéré les deux critères suivants :

- la proximité technologique entre fonctions,
- la concordance par rapport à l'architecture organique des fonctions.

Niveau 0 :	Niveau 1 :	Niveau 2 :	Niveau 3 :
Opérateur			
Fluides			
Puce			
Fonctionnaliser Puce	IHM	init_IHM	
		Recuperer Mode Cfg Systeme	
		Recuperer Ordre De Reprise	
		Recuperer Mode Selection	
		Recuperer Mode De Fonctionnement	
		Entrer Geometrie Matrices	
		Entrer Sequence	
		Entrer Geometrie Ejecteurs	
		Visualiser Zone De Travail	
		Visualiser Etat Systeme	
		Afficher Information	
		Accepter Entrees Utilisateur	
		Controler Depot Manuel	Ctrl Man Pos/X
			Ctrl Man Pos/Y
			Ctrl Man Pos/O
			Ctrl Man Adr Eject
			Ctrl Man Adr Matrice
			Ctrl Man Ejection
			Ctrl Resolution
	Arrêt	Arreter Depot	Interrompre Depot En Cours
			Arreter Depot En Cours
			Lancer Depot
		Visualiser Le Depot	
	Visualiser	Adapter Vue Sur Zone De Travail	
		Capter Images	
	Initialiser	Vérifier Connexion Pos	
		Vérifier Connexion Eject	
		Initialiser Pos	
		initialiser Eject	
		Initialiser Fluid	
	Approvisionner	Sauvegarder Geom Ejecteurs	
		Sauvegarder Geom Matrice	
		Stocker Geom Ejecteurs	
		Stocker Geom Matrices	
		Charger Ancienne Config	
		Choix Config Systeme	
	Ejecter Fluide	Initialiser Ejecteurs	
		Ejecter	
		Adresse Ejecteur	
		Adresser Matrices	
	Controler Depot	Depot Auto Ou Manuel	
		Attendre Cde Debut Depot Auto	
		Attendre Cde Debut Depot Man	
		Aligner Puce Matrice	
		Deplacer Puce Vers Matrice	
		Deplacer Puce Manuellement	
		Deplacer Puce Vers Origine	
		Positionner Sous Ejecteurs	
		Commande Manuelle Ejection	
		Choix Mode Selection Sequence	
		Charger Donnees Sequence	
		Sauvegarder Sequence	
		Selectionner Manuellement Matrice	
		Selectionner Manuellement Ejecteurs	
		Selectionner Matrice	
		Selectionner Ejecteurs	
		Gerer Cde Fin Depot	
		Realiser Ejection	
		Reapprovisionner Fluide	
		Tester Fin De Depot Matrice	
		Tester Fin Depot	
	Positionner Puce	Controler Axe X	
		Controler Axe Y	
		Controler Axe O	
		Mesurer Axe X	
		Mesurer Axe Y	
		Mesurer Axe O	
		Deplacer Axe X	
		Deplacer Axe Y	
		Deplacer Axe O	
		Bloquer Puce	

TABEAU 4-2. Les 4 niveaux de conception HiLeS du robot : vue complète sous forme de tableau

La Figure 4-13 illustre l'opération d'agrégation que nous avons appliqué sur l'exemple de Robot de fabrication de BioPuces. Nous avons pris dans le Tableau 4-2 les fonctions : Récupérer le mode de configuration du système «RecupererModeCfgSysteme», Récupérer l'ordre de reprise «RecupererOrdreDeReprise», Récupérer le mode de sélection «RecupererModeSelection» et Récupérer le mode de fonctionnement «RecupererModeDeFonctionnement». Toutes ces fonctions sont de même nature, c'est-à-dire elles relèvent toutes du domaine informatique et peuvent être commandées par un seul programme informatique. Nous avons envisagé la possibilité de les agréger dans un seul bloc fonctionnel que nous avons identifié par le nom de «FRecupererDonnées».

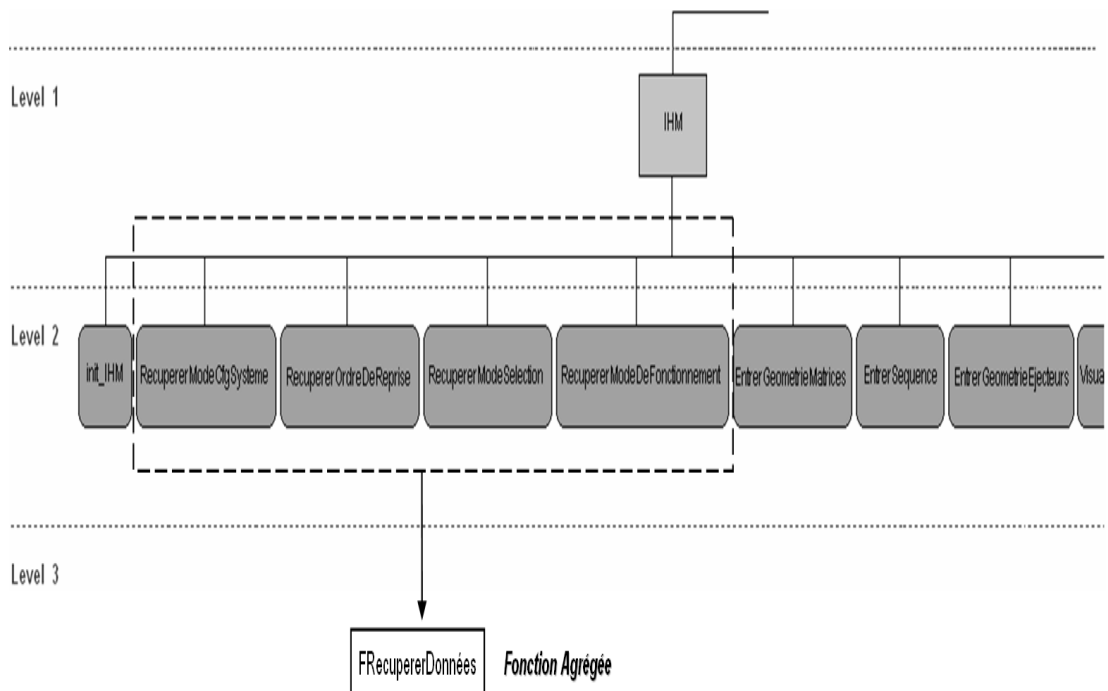


FIGURE 4-13. Mise en œuvre du processus d'agrégation dans la Représentation Fonctionnelle

La Représentation Fonctionnelle agrégée

HiLeS contient l'outil qui permet de réaliser l'opération d'agrégation de blocs fonctionnels dans un même niveau de description et dans différents niveaux de description. Nous pouvons faire le choix des blocs à agréger et assigner un nom nouveau au bloc formé.

L'agrégation de fonctions donne donc lieu à une *Représentation Fonctionnelle Agrégée* du système. Le résultat de l'agrégation de fonctions que nous avons choisi est illustré sur la Figure 4-14.

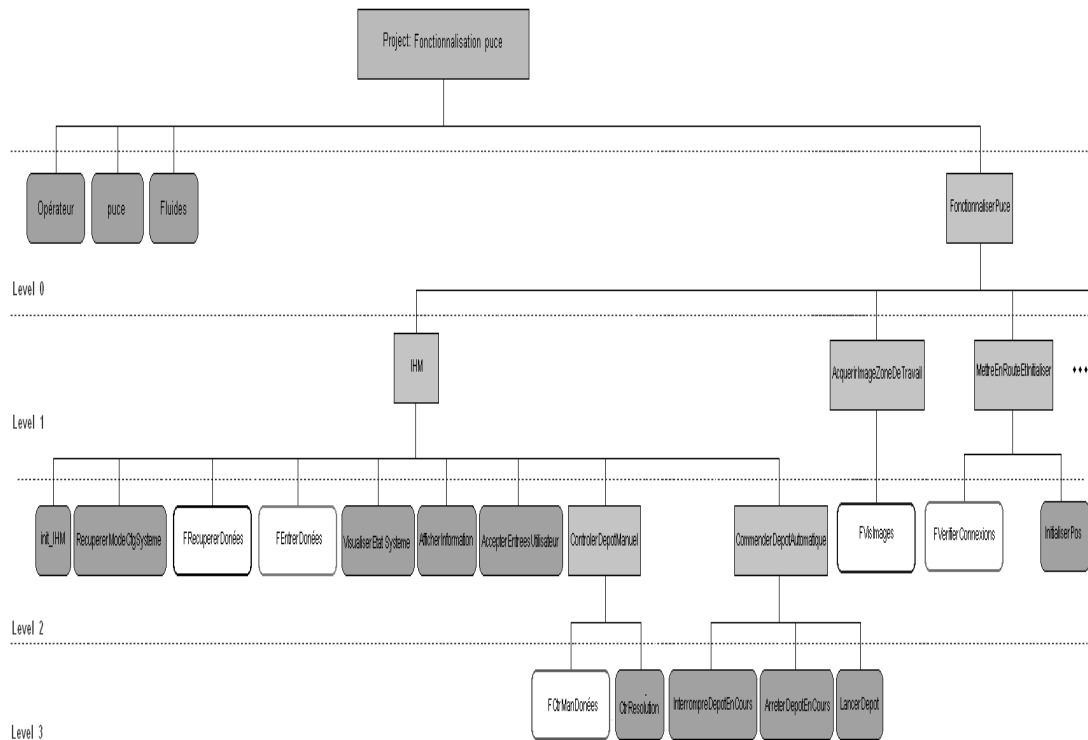


FIGURE 4-14. Représentation fonctionnelle agrégée du projet Robot BioPuce

L'opération d'agrégation permet une encapsulation entre différents niveaux hiérarchiques. Cependant cette procédure ne garantit pas le respect des étapes antérieures de vérification réalisées par l'outil TINA.

HiLeS permet avec son outil d'agrégation la création de documents (*fiche agrégée*) pour chaque module obtenu. Ces documents sont créés avec un format structuré avec le souci du travail coopératif qui permet le partage de l'information et la traçabilité des fonctions pour établir des liens entre toutes les étapes de conception. Cet aspect va être abordé, en détails, dans le paragraphe suivant.

4.4.2 Modélisation Organique du Système

Dans la représentation agrégée de la Figure 4-14, nous avons décrit l'architecture fonctionnelle sans besoins de préconiser ni les technologies, ni le positionnement de ces fonctions dans le système physique :

Pour l'introduction des technologies, c'est au concepteur de poursuivre parallèlement son travail jusqu'au prototype virtuel.

Pour le positionnement c'est aux gens de métier de répondre selon leur façon de voir le système dans sa réalité physique.

Les choix technologiques et l'architecture physique du système sont indispensables à l'opération de partitionnement en modules puis en tâches.

Nous préconisons ici une modélisation en organes du système, c'est-à-dire une description physique des organes. Il se trouve que cette démarche de description organique peut s'appuyer sur l'outil HiLeS transformé pour cela en un outil HiLeS spécifique (HiLeS architect).

La procédure est donc réalisée avec cet outil spécifique intégré dans la plateforme HiLeS. Elle suit la même approche que celle de la modélisation fonctionnelle. Cette étape aboutit à une composition architecturale fixant les composants du système orienté par des choix techniques et par une définition matérielle du système.

Selon le formalisme et la méthode proposée, nous avons abouti à une représentation totale du système sous HiLeS comme cela est représenté sur la Figure 4-15.

Nous présentons dans la Figure 4-15 les niveaux de description qui font apparaître le système BioPuce du point de vue de sa structure interne. Dans un premier temps, nous avons identifié les parties générales qui décrivent ce système. Nous avons distingué quatre sous systèmes qui composent le système BioPuce : *un bloc définissant la partie opérative, un autre bloc définissant la partie de commande, un bloc pour décrire l'interface entre la partie opérative et la de commande et enfin, un bloc pour la création des documents générales liées au système*, comme par exemple manuel technique d'installation, manuel de maintenance, etc. Ces considérations nous ont permis de décrire le Niveau 0 de la **modélisation organique**.

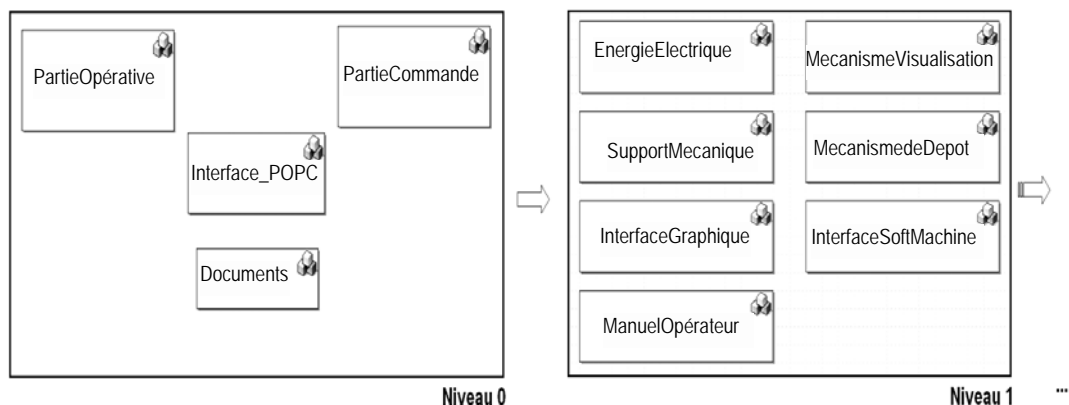


FIGURE 4-15. Modélisation du système BioPuce en organes

Le niveau 1 fait apparaître les premiers composants qui découlent de l'analyse de chaque sous système identifié dans la phase précédente. Nous précisons par exemple, les éléments « Énergie Électrique », « Support mécanique », « Mécanisme de visualisation »... sont des produits qui appartiennent au bloc « Partie Opérative ». Cette correspondance est guidée par les spécifications et les contraintes imposées dans le cahier des charges.

La décomposition en composants doit se faire sur autant de niveaux que nécessaires afin d'obtenir tous les produits élémentaires. Ce découpage a été guidé par l'expertise de l'homme et par une bibliothèque de fournitures.

Ainsi, le résultat de la modélisation organique du système est représenté sous la forme d'un organigramme arborescent de tous les grands constituants qui forment le système du robot, cette « Représentation Organique du Système » (schéma de la Figure 4-16) est vue comme une *distribution d'organes*.

Cette représentation est obtenue automatiquement dans HiLeS. Chaque bloc est accompagné de la création manuelle de documents (*fiche composant*) écrits en langage XML et structurés de telle manière que la préconisation et les échanges soient toujours possibles.

Niveau 0 :	Niveau 1 :	Niveau 2 :	Niveau 3 :	Niveau 4 :
Robot Biopuce	Partie Opérative	Support Mécanique 1	Support Puce 1.1	Capteur Puce 1.1.1 Mécanisme de Préhension Puce 1.1.2
			Support Matrice d'éjecteurs 1.2	
		Banc de positionnement en « X, Y et θ » (pour la puce) / Module de déplacement de la Puce 2	Guides de mouvement 2.1 Capteurs 2.2 Moteurs 2.3 Électronique de positionnement 2.4 Logiciel pour l'interface électronique de positionnement de la puce 2.5	
		Mécanisme d'éjecteurs 3	Matrices d'éjecteurs 3.1 Électronique des éjecteurs (électronique d'adressage) 3.2	Microéjecteurs matriciels 3.1.1 Source de courant 3.2.1 Source d'alimentation 3.2.2 Microcontrôleur (μC) 3.2.3
		Éléments de visualisation 4	Microscope 4.1 Camera 4.2 Écran 4.3	
		Source d'alimentation 5		
		Recevoir de fluides 6		
		Conduits de fluides 7		
	Partie Commande 8	Écran 8		
		Clavier 9		
		Souris 10		
		Ordinateur 11	Disque dur 11.1 Carte mère 11.2 Carte_I/O 11.3 Microprocesseur 11.4 Système d'exploitation 11.5	LINUX / WINDOWS 11.5.1
		Logiciel 12	Interface Graphique 12.1 Algorithmes de commande 12.2	
	Interface de la PO_PC	Électronique de commande des éjecteurs 13 Électronique de l'interface 14	Microcontrôleur pour l'interface 14.1 Câble de Communication 14.2	Source d'alimentation du MC 14.1.1 Électronique du MC 14.1.2 Logiciel du MC 14.1.3
	Documents	Manuel Support 15 Manuel de Procédures de Fonctionnement 16		

TABLEAU 4-3. Tableau récapitulatif de la modélisation organique

Nous avons retranscrit les résultats de la représentation organique sur le tableau 4-3, qui donne une vue globale de la décomposition faite du système en organes. Nous avons ajouté un identificateur à chaque organe du tableau (les numéros du 1 jusqu'au 16) afin de les identifier, pour plus tard, effectuer l'étape de projection des fonctions sur les organes.

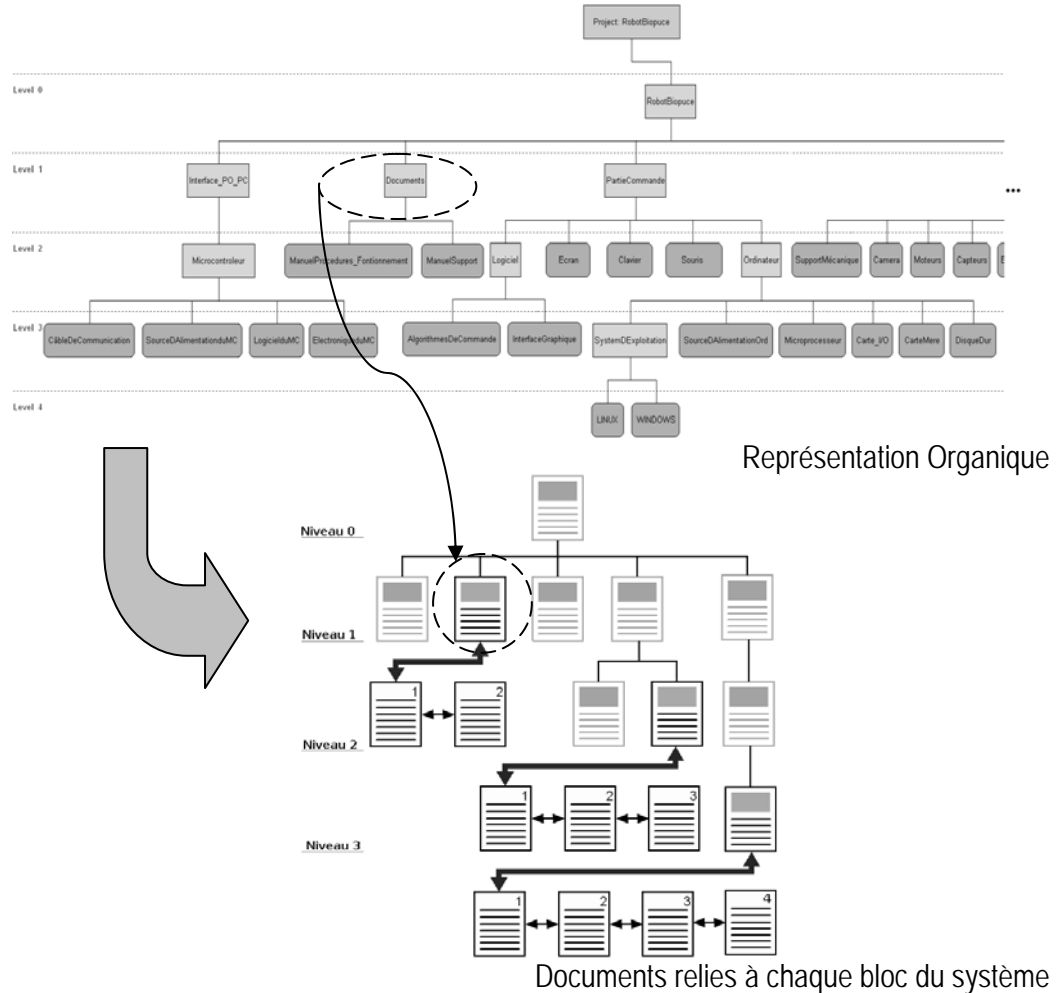


FIGURE 4-16. Résultat de la modélisation organique du système

4.4.3 Processus de Tissage effectué sur le Robot BioPuce

Nous pouvons résumer et visualiser l'ensemble de la démarche de partitionnement par le processus de tissage effectué entre deux représentations : la représentation architecturale fonctionnelle agrégée et la représentation architecturale organique, que l'on va *associer* de manière cohérente, en fonction d'exigences et de critères non fonctionnels. L'objectif est l'obtention d'un ensemble intégré, qui représente une ou plusieurs solutions envisageables pour la réalisation du robot de fabrication de BioPuces.

Le résultat de cette association telle que nous l'avons identifié, est une représentation en Modules structuro-fonctionnels, elle inclue les interfaces générées par chaque association, et garantit la satisfaction des exigences de performance, fonctionnelles, techniques, etc.

La Figure 4-17 illustre le processus de projection effectué sur notre exemple du robot : en haut, on peut voir la représentation architecturale fonctionnelle agrégée, où chaque fonction a été projetée sur la représentation architecturale organique (en bas), on voit que le résultat de chaque projection donne lieu à la création d'un **Module Structuro-Fonctionnel** qui associe les fonctionnalités et les interfaces considérées dans HiLeS et les composants qui représentent ces fonctionnalités.

À titre d'exemple, nous considérons le bloc fonctionnel «**Visualiser Images**» de la représentation architecturale fonctionnelle (Figure 4-14). Cette fonction a pour but de montrer les images produites par le dépôt des gouttes d'ADN de volume nanométrique sur des surfaces pré structurées (puces). En accord avec l'objectif d'accomplir cette fonction, le concepteur (qui a déjà une vision des éléments qui composent le robot biopuce), décide quel est le composant de la représentation architecturale organique qui permette de l'accueillir. En conséquence, il projette cette fonction vers les composants «**Microscope, Camera, Écran** » et obtient, comme résultat, un module structuro-fonctionnel, avec l'identifiant «**Module Visualisation** ».

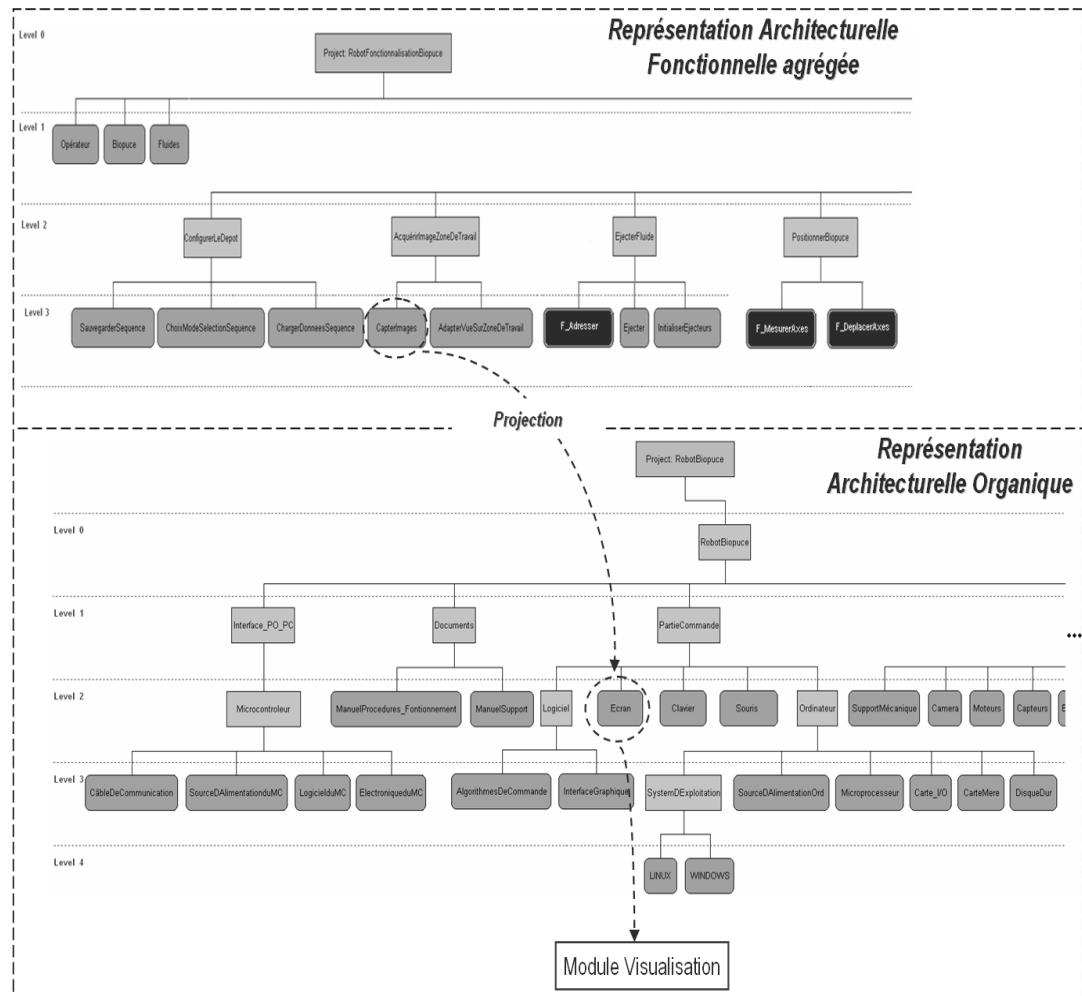


FIGURE 4-17. Exemple du processus de projection

En suivant la même démarche, le concepteur va utiliser la plateforme HiLeS pour effectuer le processus complet de projection, afin de faire apparaître tous les modules structuro-fonctionnels.

Pour faciliter la lecture des résultats de la projection, nous avons rassemblé ceux-ci sur une liste, qui permet la visualisation complète de l'information. Le Tableau 4-4 donne les résultats de cette analyse : il donne le nom de chaque Module structuro-fonctionnel et les fonctions qui lui sont associées identifiées avec un terme particulier lié au robot BioPuce.

Pour conclure cette étape de tissage, il nous reste à ordonner de façon homogène les modules structuro-fonctionnels en vue d'une structuration physique cohérente et bien organisée du système, et continuer à satisfaire toutes **contraintes de performance, fonctionnelles et techniques**.

Fonction (s)	Projetés le(s) Composant(s)	Nom du Module
init_IHM, InitialiserSystemeFluidique, CommandeManuelleEjection, FtestDepot, GererCdeFinDepot	12	Module Logiciel
FRecupererDonnées, AttendreCdeDebutDepotAuto, AttendreCdeDebutDepotMan		
FEntrerDonnées, VisualiserEtatSysteme, AccepterEntreesUtilisateur, ControlerDepot Manuel, CommanderDepotAutomatique, FVerifierConnexions	9, 10, 12.1	Module ParametrageDonnées
FVisualiserImages	4, 8	Module Visualisation
AfficherInformation	8	Module AffichageInf
InitialiserPos	2, 5, 12, 14	Module InitiaPorcessus
InitialiserEject, Ejecter	3, 1.2, 4, 12, 13	Module Ejection
InitialiserFluid	6, 7, 12, 14	Module ParametrageFluidique
ContenirFluide, ApprovisionnerFluide, ReapprovisionnerFluide	6, 7	Module ElementsFluidique
FSauvegarderDonnées, FStockerGeom, FChargerDonnées, FChoixInf	08	Module CommandeGenerale
InitialiserEjecteurs	12, 14	Module ParametrageEjection
AdresseEjecteur	3.2	Module ElectroniqueEjecteurs
AdresserMatrices	3.1, 1.2	Module ElementsEjecteurs
DepotAutoOuManuel, RealiserEjection	3	Module Depot
AlignerPuceMatrice	4	Module AligementMecanique
FdeplacerPuce, PositionnerSousEjecteurs	2	Module BanquePositionnement
FselectionManuelle, FSelectionAutomatique	11, 12	Module Mode Selection
FControlerAxe	14	Module ControlInterface
FMesurerAxe	2.2	Module Capteurs
FDeplacerAxe	1, 2.1, 2.3	Module Deplacement
BloquerPuce	1.1	Module SupportPuce

TABLEAU 4-4. Identification des Modules Structuro-Fonctionnels

Pour poursuivre, nous nous sommes proposés d'ordonner, entre autres, cinq modules structuro-fonctionnels pris du tableau 4-4 : le *Module Paramétrage Données*, le *Module Dépôt*, le *Module Déplacement*, le *Module Logiciel* et le *Module Visualisation*. L'analyse logique effectuée pendant le processus de modélisation fonctionnelle et de modélisation organique, nous indique que le premier module à ordonner doit être le Module Logiciel. Ensuite, devront être traités les modules *Paramétrage Données* et *Déplacement*. Ces deux modules doivent être coordonnés par un module de *visualisation* et finalement il faut effectuer l'éjection avec le module correspondant. Cette procédure a été effectuée ordonnant les modules selon sa hiérarchie, elle décrit le circuit logique qui permettra la validation. La Figure 4-18 donne le résultat de ce processus.

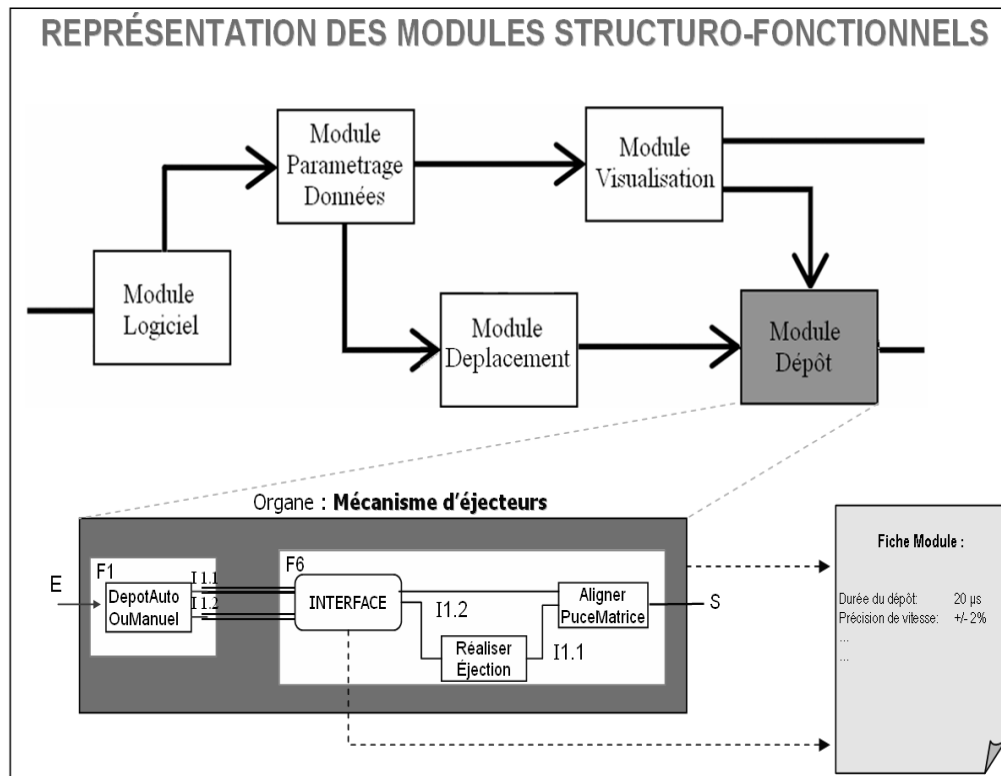


FIGURE 4-18. Ordonnancement de Modules Structuro-Fonctionnelle

Cette représentation va être repérée dans la plate forme HiLeS par un document (*fiche module*). Il intégrera les spécifications techniques définies dans chaque fonction et les interfaces qui lui sont été attribuées pour construire *l'appel d'offres* aux fournisseurs.

4.4.4 Les sorties attendues de la plateforme HiLeS

Sachant que, pour le moment, on n'a pas encore disponible la base de données (présentée dans le chapitre 1), qui nous permettrait d'écrire la fiche module, nous avons procédé de manière manuelle, pour définir, dans un tableau tous les éléments indispensables au lancement de l'étape suivante : *la pré planification*. Le Tableau 4-5 montre une partie de cette information.

Dans cette étape de conception, HiLeS servira comme base de départ pour effectuer la génération et sélection de scénarios avec l'outil GESOS. Ainsi avec l'information disponible (tableau 4-5 complet), on aura connaissance des informations suivantes :

1. **Coordonnés de la personne responsable du projet**, comme : Nom et Prénom, Fonction, Entreprise, Adresse, Code Postal, Ville, e-mail, Tél. et Fax
2. **Informations Générales sur le Module Structuro-Fonctionnel**, entre autres : Description Générale du module, Nature du module (matériel, outillage spécifique, logiciel, infrastructure⁸...).

⁸ L'infrastructure est un ensemble d'éléments structuraux interconnectés qui fournissent le cadre pour supporter la totalité de la structure.

3. **Besoins du Module** : Fonctions internes essentielles et Fonctions complémentaires.
4. **Considérations internes du Module**, reliés aux **Aspects techniques** : puissance, performance, niveau d'automatisation, durée de vie, adaptabilité ... et aux **aspects opérationnels** : fiabilité, sécurité, compatibilité (interfaces, données qui influencent le montage, assemblage d'intégration...)...

Information de sortie de HiLeS					
Nom du Projet	Nom Module Structuro Fonctionnel	Nature du Module	Fonctions Internes	Produits reliés au module	Description du Module
Robot de fabrication de Biopuces	Module Logiciel	Logiciel	init_IHM, FRecupereDonnées, InitialiserSystemeFluidique, AttendreCodeDebutDepotAuto, AttendreCodeDebutDepotMan, CommandeManuelleEjection, GenerCodeFinDepot, FTestDepot	Interface graphique, Algorithmes de commande	Ce Module est composé pour une interface graphique et les algorithmes de commande
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametreDonnées	Matériel	FEntreeDonnées, VisualiserEtatSysteme, FVerifierConnexions, AccepterEntreesUtilisateur, CommanderDepotAutomatique, ControlerDepot Manuel,	Clavier, Sons, Interface graphique	Ce Module est relié aux paramètres de l'interface
Robot de fabrication de Biopuces	Module Visualisation	Matériel	FVisualiserImages	Microscope, Camera, écran	Module qui permet la visualisation
Robot de fabrication de Biopuces	Module AffichageInf	Matériel	AfficherInformation	Écran	Module pour faire la visualisation
Robot de fabrication de Biopuces	Module InitiaProcessus	Matériel et Logiciel	InitialiserPos	Banc de Positionnement, Source d'alimentation, Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Ejection	Matériel et Logiciel	InitialiserEject, Ejecter	Mécanisme d'éjecteurs, Support Machine d'éjecteurs, Microscope, Camera et Écran, Logiciel, Electronique de commande des éjecteurs	Ce Module est relié aux paramètres pour effectuer l'éjection de l'ADN
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametreFluidique	Matériel et Logiciel	InitialiserFluid	Recevoir de fluides, Conduits de fluides, Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElementsFluidique	Matériel	ContenirFluide, ApprovisionnerFluide, ReapprovisionnerFluide	Recevoir de fluides, Conduits de fluides	
Robot de fabrication de Biopuces	Module CommandeGenerale	Matériel	FSauvegarderDonnées, FStockerGeom, FChargerDonnées, FChoisir	Support mécanique, Banc de Positionnement, Mécanisme d'éjecteurs, Éléments de Visualisation, Source d'alimentation, Recevoir de fluides, Conduits de fluides, Écran, Clavier, Sons, Logiciel	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ParametreEjection	Matériel et Logiciel	InitialiserEjecteurs	Logiciel, Electronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElectroniqueEjecteurs	Matériel	AdresseEjecteur	Électronique des éjecteurs, Matrices d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ElementsEjecteurs	Matériel	AdresserMachines	Machines d'éjecteurs, Support Machine d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Depot	Infrastructure	DepotAutoOuManuel, RealiserEjection	Mécanisme d'éjecteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module AlignementMechanique	Matériel	AlignerPuceMachine	Microscope, Camera et écran	
Robot de fabrication de Biopuces	Module BanquePositionnement	Infrastructure	FdeplacerPuce, PositionnerSousEjecteurs	Banc de Positionnement	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Mode Selection	Matériel et Logiciel	FselectionManuelle, FselectionAutomatique	Unité centrale de PC, Logiciel	
Robot de fabrication de Biopuces	Module ControlInterface	Matériel	FControlerAxe	Électronique de l'interface	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Capteurs	Matériel	FMesurerAxe	Capteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module Deplacement	Infrastructure	FDeplacerAxe	Support mécanique, Guides de mouvement, Moteurs	
Robot de fabrication de Biopuces	Module SupportPuce	Matériel	Bloquer Puce	Support Puce	

TABEAU 4-5. Tableau récapitulatif de l'information provenant de la plateforme HiLeS

Pour conclure, le travail de tissage réalisé au moment a abouti au premier couplage en "Y" entre les processus de conception fonctionnelle et conception organique, effectué sur la description détaillée du robot de fabrication de biopuces. Cette étape nous a permis d'obtenir une liste de modules structuro-fonctionnels, qui définissent chacune des fonctions qui entrent dans la réalisation du système et les éléments de sa composition physique.

Dans les paragraphes suivants, nous allons détailler comment, à partir de ces modules, nous avons obtenu les tâches et leurs différentes variantes de réalisation.

Ce travail correspond à la démarche de tissage effectuée à la conduite et au deuxième couplage en “Y” entre le résultat du processus de conception et le processus de conduite.

4.5 La Démarche de Conduite effectuée sur le Robot de Fabrication de BioPuces

La conduite d’un projet repose sur un découpage chronologique (phases) du projet en précisant :

- Ce qui doit être fait (tâches)
- Par qui cela doit être fait (ressources)
- Comment les résultats (livrables) doivent être présentés
- Comment les valider (jalons)

La technique que nous proposons dans cette partie, débute avec l’identification des modules structuro-fonctionnels du système, qui va conduire à la définition des tâches. Nous allons détailler cette procédure.

4.5.1 Définition des Tâches

L’étape de partitionnement effectuée sur le système, nous a permis de définir une architecture Modulaire Structuro-Fonctionnelle. Suite à cette étape, nous allons effectuer une étude (*analyse en aval*) sur le contenu de chaque module pour définir quelle tâche doit être effectuée pour le concevoir. Cette étape est fondamentale, car elle nous conduit à la définition des *tâches élémentaires*. Nous illustrons cette opération dans le cas du Robot BioPuce.

Prenons comme exemple le Tableau 4-4, où nous avons identifié le module appelé “**Module Logiciel**” (phase 1, figure 4-19) obtenu par la projection des fonctions : *initialiser IHM, Fonction Récupérer Données, Initialiser le Système Fluidique, Attendre Contrôle de Début de Dépôt Automatique, Attendre Contrôle de Début Dépôt Manuel, Commande Manuel Éjection, Gérer Contrôle de Fin de Dépôt, Fonction test Dépôt*, du Tableau 4-3, et l’organe appelé “**Logiciel**” (phase 2, figure 4-19) du Tableau 4-4. De ce module et de l’analyse du travail à effectuer dans le système, il sort la Tâche : “**Mise en œuvre du robot : Mécanique et IHM**” qui a été décrite dans le tableau 4-5 (phase 3, figure 4-19), où nous avons besoin des éléments suivants : une interface graphique, des algorithmes de commande, ainsi que des accessoires pour son élaboration suivants : *ordinateur, souris, clavier, logiciels, un informaticien...* éléments qui constituent des fournitures et définissent la main d’œuvre.

Selon cette procédure, nous avons défini l’ensemble des tâches liées au reste de l’architecture Modulaire Structuro-Fonctionnelle. Le Tableau 4-6 donne une liste de ces tâches que l’on a défini de façon manuelle.

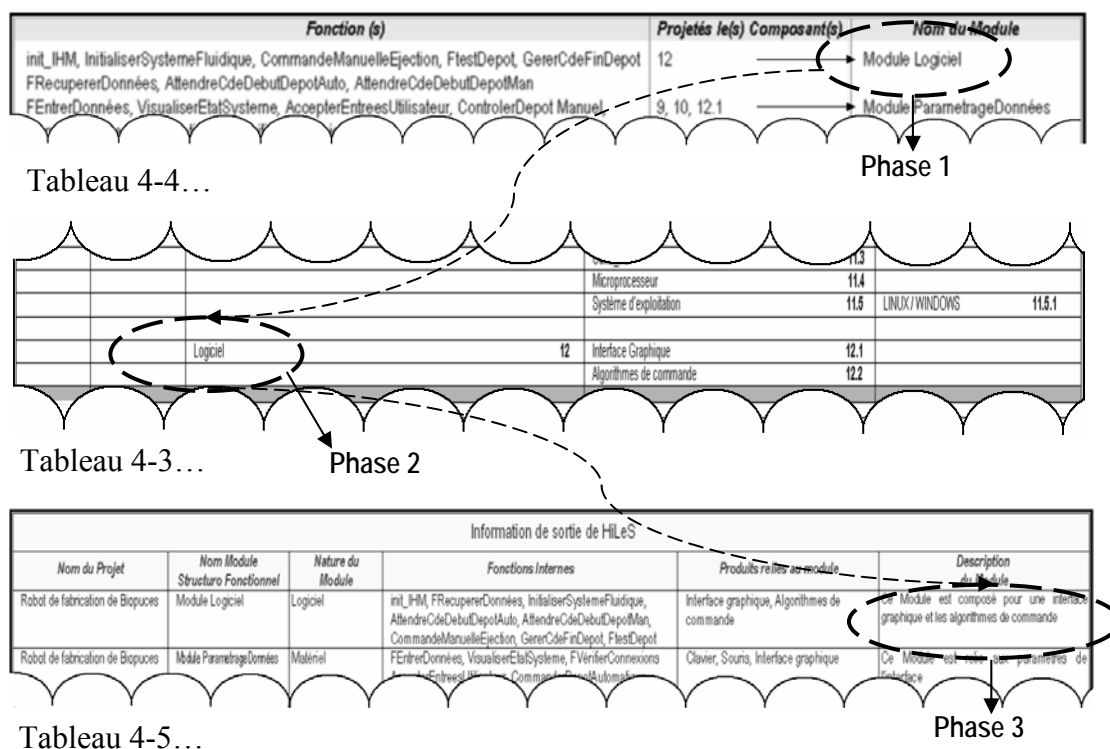


FIGURE 4-19. Phases pour la définition des Tâches

Ces tâches ont été ensuite *hiérarchisées*, c'est-à-dire positionnées dans l'ordre temporel logique de réalisation ou de fabrication. Pour effectuer cette étape nous nous sommes appuyés sur la méthode **WBS (Work Breakdown Structure)**, décrit dans le paragraphe 3.5.1, afin de structurer de façon hiérarchique toutes ses tâches du Robot BioPuce, de les diviser en sous-activités et de établir une liste des résultats attendus du travail (livrables) les plus importants du projet.

Passage des Modules aux Tâches		
Nom du Module Structuro Fonctionnel	Nom de la Tâche relie au Module Structuro Fonctionnel	Spécifications / Description de la Tâche
Module Logiciel	Élaborer l'interface Homme / Machine (interface graphique sur la PC)	Tâche nécessaire pour effectuer l'interface graphique sur la PC
Module ParametrageDonnées	Réaliser logiciel pour l'adressage des matrices et des éjecteurs	Tâche qui permet d'effectuer le paramétrage de données pour l'adressage des matrices et des éjecteurs
Module Visualisation	Approvisionner éléments de visualisation	Tâche nécessaire pour approvisionner les éléments qui permettront la visualisation de l'information
Module AffichageInf	Approvisionner éléments de visualisation, Elaborer l'interface Homme / Machine	Tâche qui permet la visualisation de l'information
Module InitiaProcessus	Concevoir le système physique de positionnement (X, Y, θ), Elaborer l'interface électronique de positionnement de la puce en X, Y, θ , Elaborer l'interface pour l'alignement de la puce et matrice d'éjecteurs	-----
Module Ejection	Réaliser l'électronique des éjecteurs	-----
Module ParametrageFluide	Réaliser l'électronique des éjecteurs	-----
Module ElementsFluide	Validation précoce (Vérifier la fonctionnalité de la matrice	-----
Module CommandeGenerale	Mise en œuvre du robot : Mécanique, <u>IIHM</u>	-----
Module ParametrageEjection	Caractérisation des éjecteurs	-----
Module ElectroniqueEjecteurs	Approvisionner les fournitures des éjecteurs	-----
Module ElementsEjecteurs	Monter la Tête mécanique	-----
Module Depot	Vérifier, trier et caractériser les éjecteurs	-----
Module AlignementMécanique	Elaborer l'interface pour l'alignement de la puce et matrice d'éjecteurs	-----
Module BancPositionnement	Concevoir le système physique de positionnement (X, Y, θ)	-----
Module Mode Selection	Elaborer l'interface Homme / Machine (interface graphique sur la PC)	-----
Module ControlInterface	Elaborer l'interface électronique de positionnement de la puce en X, Y, θ	-----
Module Capteurs	Contrôler la position sur X, Y, θ	-----
Module Deplacement	Effectuer un système pour déplacer la puce sur X, Y, θ	-----
Module SupportPuce	Concevoir le système physique de positionnement (X, Y, θ)	-----

TABLEAU 4-6. Tableau synthétisé pour l'indentification des Tâches

Le résultat de la procédure WBS donne un organigramme hiérarchique contenant les tâches à effectuer du Robot BioPuce, comprenant d'un côté les tâches que nous avons définies sur l'aspect technique (Tâche : Mise en œuvre du robot...) obtenues directement de chaque module structuro-fonctionnel, et de l'autre côté les tâches correspondants aux aspects propres de la conduite, qu'il faut considérer comme *Test, Assemblage et Installation du Système*, que ne sont pas obtenues directement des modules. La Figure 4-20 illustre cette démarche.

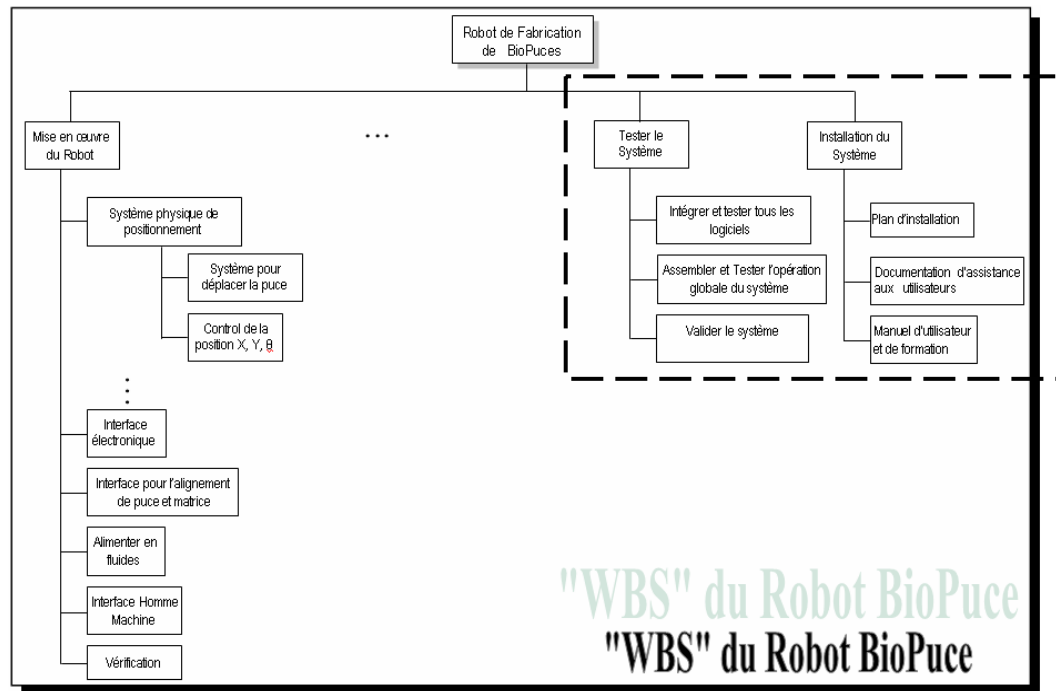


FIGURE 4-20. Phases pour la définition des Tâches

Avec cette méthode, nous avons abouti au Tableau 4-7, qui contient les tâches et sous-tâches les plus importantes à réaliser.

Une fois effectué cet ordonnancement des tâches, on procède :

- à l'estimation de la tâche : quelle en sera la charge, le délai, le coût,
- à la planification de la tâche : quand débute-t-elle, quand se termine-t-elle, les précédences entre tâches
- à l'allocation des ressources : par qui est-elle réalisée, avec quels moyens.

L'estimation peut se faire, de manière complémentaire :

- en charge : combien de temps faut-il pour mener à bien cette tâche
- en délai : si les ressources étaient quasi-infinies mais utilisées de manière conventionnelle et usuelle, combien de temps s'écoulerait-il « raisonnablement » entre le début et la fin de la tâche (dans notre exemple, même si l'on disposait

Tâche 0 = Mise en œuvre du robot : Mécanique, IHM	
Sous tâche 0.1 = Concevoir le système physique de positionnement (X, Y, θ)	
	Sous-sous tâche 1.1.1 = Effectuer un système pour déplacer la puce sur X, Y, θ
	Sous-sous tâche 1.1.2 = Contrôler la position sur X, Y, θ
Sous tâche 0.2 = Élaborer l'interface électronique de positionnement de la puce en X, Y, θ	
	Sous-sous tâche 1.2.1 = Réaliser un logiciel pour effectuer le positionnement en X, Y, θ
	Sous-sous tâche 1.2.2 = Effectuer le test du logiciel
Sous tâche 0.3 = Élaborer l'interface pour l'alignement de la puce et matrice d'éjecteurs	
	Sous-sous tâche 1.3.1 = Fournir le dispositif qui permettra contrôler l'alignement
	Sous-sous tâche 1.3.2 = Élaborer logiciel pour effectuer l'alignement
	Sous-sous tâche 1.3.3 = Tester le logiciel
Sous tâche 0.4 = Alimenter en fluides	
	Sous-sous tâche 1.4.1 = Fournir l'ensemble pour alimenter le système en fluides
	Sous-sous tâche 1.4.2 = Tester l'alimentation en fluides
Sous tâche 0.5 = Élaborer l'Interface Homme / Machine (Interface graphique sur la PC)	
	Sous-sous tâche 1.5.1 = Visualisation des opérations préparatoires
	Sous-sous tâche 1.5.2 = Réaliser logiciel pour l'adressage des matrices et des éjecteurs
	Sous-sous tâche 1.5.3 = Tester le logiciel
	Sous-sous tâche 1.5.4 = Effectuer l'interface de dépôt
	Sous-sous tâche 1.5.5 = Tester l'interface
	Sous-sous tâche 1.5.6 = Tester en commande manuelle
Sous tâche 0.6 = Vérifier la bonne fonctionnalité	
	Sous-sous tâche 1.6.1 = Vérifier la fonctionnalité statique
	Sous-sous tâche 1.6.2 = Vérifier la fonctionnalité dynamique
Tâche 1 = Réaliser l'électronique des éjecteurs	
Sous tâche 1.1 = Transfert de la situation électronique en l'état	
Sous tâche 1.2 = Nouvelle génération de l'électronique	
Sous tâche 1.3 = Montage sur la Tête et interconnexion	
Sous tâche 1.4 = Multiplexage multi tête	
Tâche 2 = Approvisionner les fournitures des éjecteurs (Techno éjecteur)	
	Sous tâche 2.1 = Mise en œuvre du procédé
	Sous tâche 2.2 = Vérifier, trier et caractériser les éjecteurs (matrice d'éjecteurs)
	Sous tâche 2.3 = Caractérisation électrique et thermique
	Sous tâche 2.4 = Fournir les composants
Tâche 3 = Validation précoce (Vérifier la fonctionnalité de la matrice) « pour la caractérisation »	
	Sous tâche 3.1 = Définir le support d'évaluation "précoce" (Remonter la manip ou utiliser le robot en l'état d'avancement)
	Sous tâche 3.2 = Valider la Bio (INSA)
	Sous tâche 3.3 = Valider la fluide
Tâche 4 = Caractérisation des éjecteurs (avec le robot)	
	Sous tâche 4.1 = Travailler sur les conditions de vaporisation
	Sous tâche 4.2 = Travailler sur la condition d'éjection
	Sous tâche 4.3 = Approvisionner la fourniture du Substrat / Puce
	Sous tâche 4.4 = Mise au point du procédé
Tâche 5 = Validation de la BioPuce	
	Sous tâche 5.1 = Fabriquer les BioPuces
	Sous tâche 5.2 = Tester les BioPuces
Tâche 6 = Monter la Tête mécanique	
	Sous tâche 6.1 = Conception
	Sous tâche 6.2 = Réalisation de la Tête mécanique
	Sous tâche 6.3 = Montage sur le robot
Tâche 7 = Intégrer et Tester le Système (Validation de la BioPuce)	
	Sous tâche 7.1 = Intégrer et Tester tous les logiciels dans sur un seul projet
	Sous tâche 7.2 = Effectuer test d'opération global du système
	Sous tâche 7.3 = Valider le système

TABLEAU 4-7. Liste complète des Tâches à réaliser pour le projet du robot

À titre d'exemple, nous partons du Tableau 4-7, qui décrit les 8 Tâches principales à effectuer pour le robot de fabrication de BioPuces, pour définir l'information suivante :

Durées des Tâches :

- La Tâche 0 doit être réalisée en 5 mois.
- La Tâche 1 doit être réalisée en 4 mois.
- La Tâche 2 sera réalisée en deux temps de 2 ½ mois et 3 mois respectivement, afin de distribuer dans le premier temps les premières fournitures.
- La Tâche 3 a une durée de 2 mois.
- La Tâche 4 doit être réalisée en 4 mois.
- La Tâche 5 sera effectuée en 1 mois.
- La Tâche 6 et 7 ont une durée de 2 mois.

Précédences entre Tâches :

- La Tâche 0 est initiale (février de 2006). Elle est indispensable au test de la Tâche 7.
- La Tâche 2 est la plus urgente, elle conditionne la Tâche 6.
- La Tâche 1 débute un mois après de la Tâche 2 et deux mois après la Tâche 0.
- La Tâche 3 initie deux mois après la Tâche 1.
- La Tâche 6 doit arriver derrière la Tâche 2.
- La Tâche 5 ne peut démarrer que après la Tâche 6.
- La Tâche 7 est terminale, elle doit être effectuée à la fin de juillet 2006.

Ressources et Participants :

Prenant comme base l'information illustré dans le tableau 4-7, nous avons identifié les participants (main d'œuvre) du projet et leur disponibilité :

<i>Participant</i>	<i>Disponibilité</i>	<i>Groupe ou Département</i>
1 manager (ma)	6 mois	Anne-Marie Gué - LAAS groupe MIS
1 électronicien/informaticien (ei)	6 mois	Jean Verries - LAAS groupe MIS
1 électronicien (e)	6 mois	Fabrice Mathieu - LAAS groupe Service II
1 technologue (t)	6 mois	Maxime Dumonteuil - LAAS groupe MIS
*1 mécanique extérieur (ST1)	1 mois	INSA
**1 mécanique extérieur (ST2)	2 mois	Sale Blanche, LAAS

Sont également identifiées les ressources matérielles, dans ce cas, pour ce projet, on a besoin de 3 ordinateurs, une pour l'électronicien/informatique, un autre pour l'électronicien et le dernier pour le technologue.

Contraintes Fixées :

- a. Le projet débute le 1^{er} février de 2006 et se termine le 31 Juillet 2006, néanmoins il existe la possibilité que cette durée soit décalée un mois de plus, finalisant le travail à la fin d'août.
- b. Le calendrier de travail a été considéré de 30 jours le mois avec une journée de travail de 8 heures.
- c. Il existe la possibilité d'avoir un sous-traitant (participant remplacé) en mécanique et en validation de la BioPuce (pour la Tâche 5), qui aura une disponibilité avec un délai de 3 semaines.
- d. On a la possibilité qu'un participant soit immobilisé du fait que l'on dispose déjà d'un autre pour faire le travail, alors si on a une ressource humaine sans travailler par une semaine « au maximum » on doit la payer mais si elle reste sans travail pour plus de ce temps on ne le paye pas.
- e. Le coût des ressources humaines (participants) est de 1 Homme/an égal à 120.000 Euros ou 1 Homme/mois égal à 10.000 Euros.
- f. Pour le projet on dispose de 3 PC's avec des coûts et des délais de livraison différents.
- g. Le coût du manager doit être inclu dans toutes les tâches.

Une fois fixées les contraintes précédentes, nous avons attribué à chaque participant du projet le travail (tâches) de sa compétence, ainsi que la durée, en reliant l'information du Tableau 4-7 et les ressources de que l'on dispose (voir Tableau 4-8).

L'étape finale de cette phase consiste à *ordonner* les tâches du tableau 4-8 afin de effectuer ensuite la démarche de pré planification...

A ce stade du travail, nous avons effectué cet ordonnancement de tâches de façon manuelle, par des approches centrées sur l'exploitation des contraintes précédemment établies. Allons nous expliquer cette démarche.

Liste de Tâches :

	Durée	ST1	ST2	ei	e	t
Tâche 0 = Mise en œuvre du robot : Mécanique, IHM	5 mois					
Sous tâche 0.1 = Concevoir le système physique de positionnement (X, Y, θ)				X (1 H/m)		
Sous-sous tâche 1.1.1 = Effectuer un système pour déplacer la puce sur X, Y, θ						
Sous-sous tâche 1.1.2 = Contrôler la position sur X, Y, θ						
Sous tâche 0.2 = Élaborer l'interface électronique de positionnement de la puce en X, Y, θ				X (1 H/m)		
Sous-sous tâche 1.2.1 = Réaliser un logiciel pour effectuer le positionnement en X, Y, θ						
Sous-sous tâche 1.2.2 = Effectuer le test du logiciel						
Sous tâche 0.3 = Élaborer l'interface pour l'alignement de la puce et matrice d'éjecteurs				X (1 H/m)		
Sous-sous tâche 1.3.1 = Fournir le dispositif qui permettra contrôler l'alignement						
Sous-sous tâche 1.3.2 = Élaborer logiciel pour effectuer l'alignement						
Sous-sous tâche 1.3.3 = Tester le logiciel						
Sous tâche 0.4 = Alimenter en fluides				X (0.5 H/m)		
Sous-sous tâche 1.4.1 = Fournir l'ensemble pour alimenter le système en fluides						
Sous-sous tâche 1.4.2 = Tester l'alimentation en fluides						
Sous tâche 0.5 = Élaborer l'Interface Homme / Machine (Interface graphique sur la PC)				X (1 H/m)		
Sous-sous tâche 1.5.1 = Visualisation des opérations préparatoires						
Sous-sous tâche 1.5.2 = Réaliser logiciel pour l'adressage des matrices et des éjecteurs						
Sous-sous tâche 1.5.3 = Tester le logiciel						
Sous-sous tâche 1.5.4 = Effectuer l'interface de dépôt						
Sous-sous tâche 1.5.5 = Tester l'interface						
Sous-sous tâche 1.5.6 = Tester en commande manuelle						
Sous tâche 0.6 = Vérifier la bonne fonctionnalité				X (0.5 H/m)		
Sous-sous tâche 1.6.1 = Vérifier la fonctionnalité statique						
Sous-sous tâche 1.6.2 = Vérifier la fonctionnalité dynamique						
Tâche 1 = Réaliser l'électronique des éjecteurs	4 mois					
Sous tâche 1.1 = Transfert de la situation électronique en l'état					X (1 H/m)	
Sous tâche 1.2 = Nouvelle génération de l'électronique					X (1 H/m)	
Sous tâche 1.3 = Montage sur la Tête et interconnexion					X (1 H/m)	
Sous tâche 1.4 = Multiplexage multi tête					X (1 H/m)	
Tâche 2 = Approvisionner les fournitures des éjecteurs (Techno éjecteur)	2½+3 mois					
Sous tâche 2.1 = Mise en œuvre du procédé (salle blanche, responsable Maxime Dumonteil)						X (1 H/m)
Sous tâche 2.2 = Vérifier, trier et caractériser les éjecteurs (matrice d'éjecteurs)						X (1.5 H/m)
Sous tâche 2.3 = Caractérisation électrique et thermique						X (1.5 H/m)
Sous tâche 2.4 = Fournir les composants						X (1.5 H/m)
Tâche 3 = Validation précoce (Vérifier la fonctionnalité de la matrice) « pour la caractérisation »	2 mois					
Sous tâche 3.1 = Définir le support d'évaluation "précoce" (Remonter la manip ou utiliser le robot en l'état d'avancement)				X (0.5 H/m)	X (0.5 H/m)	X (1 H/m)
Sous tâche 3.2 = Valider la Bio (INSA)						
Sous tâche 3.3 = Valider la fluidique					X (0.5 H/m)	X (1 H/m)
Tâche 4 = Caractérisation des éjecteurs (avec le robot)	4 mois					
Sous tâche 4.1 = Travailler sur les conditions de vaporisation						
Sous tâche 4.2 = Travailler sur la condition d'éjection						
Sous tâche 4.3 = Approvisionner la fourniture du Substrat / Puce					X (1 H/m)	X (3 H/m)
Sous tâche 4.4 = Mise au point du procédé						
Tâche 5 = Validation de la BioPuce	1 mois					
Sous tâche 5.1 = Fabriquer les BioPuces		X (0.5 H/m)				
Sous tâche 5.2 = Tester les BioPuces		X (0.5 H/m)				
Tâche 6 = Monter la Tête mécanique	2 mois					
Sous tâche 6.1 = Conception			X (1 H/m)			
Sous tâche 6.2 = Réalisation de la Tête mécanique			X (0.5 H/m)		X (0.5 H/m)	
Sous tâche 6.3 = Montage sur le robot			X (0.5 H/m)		X (0.5 H/m)	X (0.5 H/m)
Tâche 7 = Intégrer et Tester le Système (Validation de la BioPuce)	2 mois					
Sous tâche 7.1 = Intégrer et Tester tous les logiciels dans sur un seul projet						
Sous tâche 7.2 = Effectuer test d'opération global du système				X (0.5 H/m)	X (0.5 H/m)	X (1 H/m)
Sous tâche 7.3 = Valider le système						

* H/m = Homme par mois

TABLEAU 4-8. Assignment des participants et durée des tâches

4.6 La Pré Planification du travail à effectuer pour le Robot BioPuce

La pré planification du projet s'effectue, à partir de la date connue ou estimée de début du projet. Dans cette étape de pré planification, nous avons commencé

pour l'élaboration du Tableau 4-9, qui donne les éléments récapitulatifs pour l'élaboration du graphe du Robot de BioPuces. Ce graphe propose une façon d'ordonner les tâches.

ID de la tâche	Nom de la Tâche	Durée (en mois)	Tâche Précédente	Ressources	Fourniture générale
0	Mise en œuvre du robot : Mécanique, IHM	5	ϕ	ei	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ), Logiciels
1	Réaliser l'électronique des éjecteurs	4	3	e	Produits Électronique des éjecteurs, logiciel
2	Approvisionner les fournitures des éjecteurs	2½ et 3	1	t	Produits Électronique des éjecteurs
3	Validation précoce (Vérifier la fonctionnalité de la matrice)	2	2	ei, e, t	Matrices, robot, logiciel
4	Caractérisation des éjecteurs	4	3	e, t	Substrat, Puce
5	Validation de la BioPuce	1	5, 7, 4	ST-1	BioPuces
6	Monter la Tête mécanique	2	3	ST-2, e, t	Tête mécanique, Robot
7	Intégrer et Tester le Système (Validation de la BioPuce)	2	6	ei, e, t	Logiciel, Système Global

TABLEAU 4-9. Assignment des participants et durée des tâches

La transition effectuée pour l'obtention du graphe est une phase que nous pensons pouvoir être automatisé par des outils et des méthodes spécialisés en l'ordonnancement et l'affectation de ressources. Pour l'instant cette phase a été faite manuellement, ce qui nous a demandé plus de temps et d'effort, que dans le plus part des cas deviennent en problèmes économiques et de temps.

4.6.1 Réalisation du Graphe du Projet

La Figure 4-21 détaille le graphe que nous avons tiré des tâches décrites dans le Tableau 4-6. Nous avons fait l'ordonnancement en tenant compte des contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement, précédences, ...) et des contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises par les tâches. Ici, nous visualisons qu'au début du travail, il faut effectuer la tâche 0 et ensuite la tâche 2, de celle-ci on a la possibilité d'effectuer en parallèle la tâche 4, la tâche 6 ou la tâche 1 suivie de la tâche 3, une fois réalisées ces tâches il faut passer à la tâche 5 et finalement aboutir à la tâche 7.

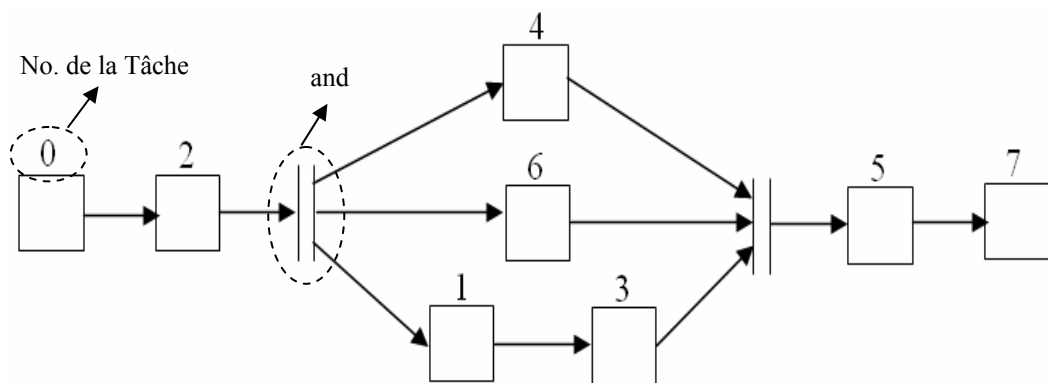


FIGURE 4-21. Graphe du robot de fabrication de BioPuces

Il faut bien préciser que ce graphe correspond à plusieurs possibilités de réalisation du projet, même si toutes respectent la durée et les contraintes précédemment définies. Ainsi, quelque soit le changement minimum, on aura comme résultat un autre graphe tout à fait différent.

Ce qu'il nous reste à faire ensuite, est une analyse concise de chaque tâche, avec l'objectif d'identifier les différentes alternatives de sa réalisation.

4.6.2 Alternatives de réalisation et génération des Scénarios du Projet

Il faut préciser qu'à ce niveau, on n'a pas considéré les fournitures qu'on doit approvisionner pour chaque tâche, car on n'a que des éléments liés uniquement aux tâches, mais cependant suffisants pour effectuer l'étape de pré planification. Ces éléments sont : durées des tâches, les précédences des tâches, les ressources (*humaines* : participants du projet et *matérielles* : 3 PC's) et les contraintes fixées.

Ces éléments nous ont permis d'effectuer une estimation manuelle des coûts et des délais, avec l'objectif de fournir les premières alternatives de réalisation du projet. Cette démarche donne lieu à un diagramme de GANTT général, qui permet visualiser de façon graphique des informations intéressantes comme la durée du projet, les précédences et le plus importante est qu'il permet de préconiser ce qui marche et ne marche pas...

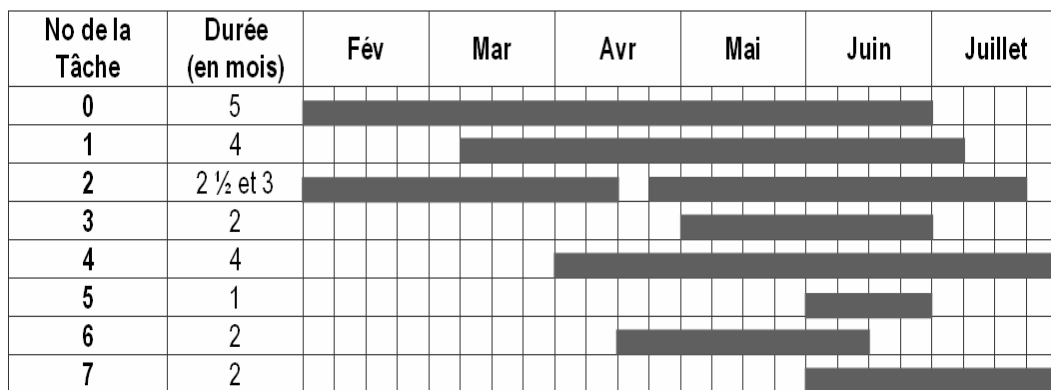


FIGURE 4-22. Diagramme de GANTT pour le Robot de BioPuces

La Figure 4-22 montre une des diverses possibilités d'aboutissement du projet avec les ressources humaines disponibles et les éléments de précedence et durée liés aux tâches. Ainsi, de ce diagramme nous avons tiré les premières alternatives de réalisation du projet de Robot.

L'annexe A détaille ses différents diagrammes de Gantt, la stratégie que nous avons suivie pour sa réalisation est fondée sur la recherche du meilleur compromis entre la durée de la tâche et le coût de celle-ci. Les ressources humaines ont été également considérées de manière que nous nous assurons de la correspondance entre eux.

La mise en œuvre des alternatives de réalisation du projet nous a donné tous les éléments d'entrée pour l'outil GESOS, qui trouve les premiers scénarios du projet. La Figure 4-23 montre ce principe et l'annexe B décrit le résultat que GESOS propose une fois qu'il a effectué la sélection et l'optimisation des scénarios, dans cette étape de pré planification.

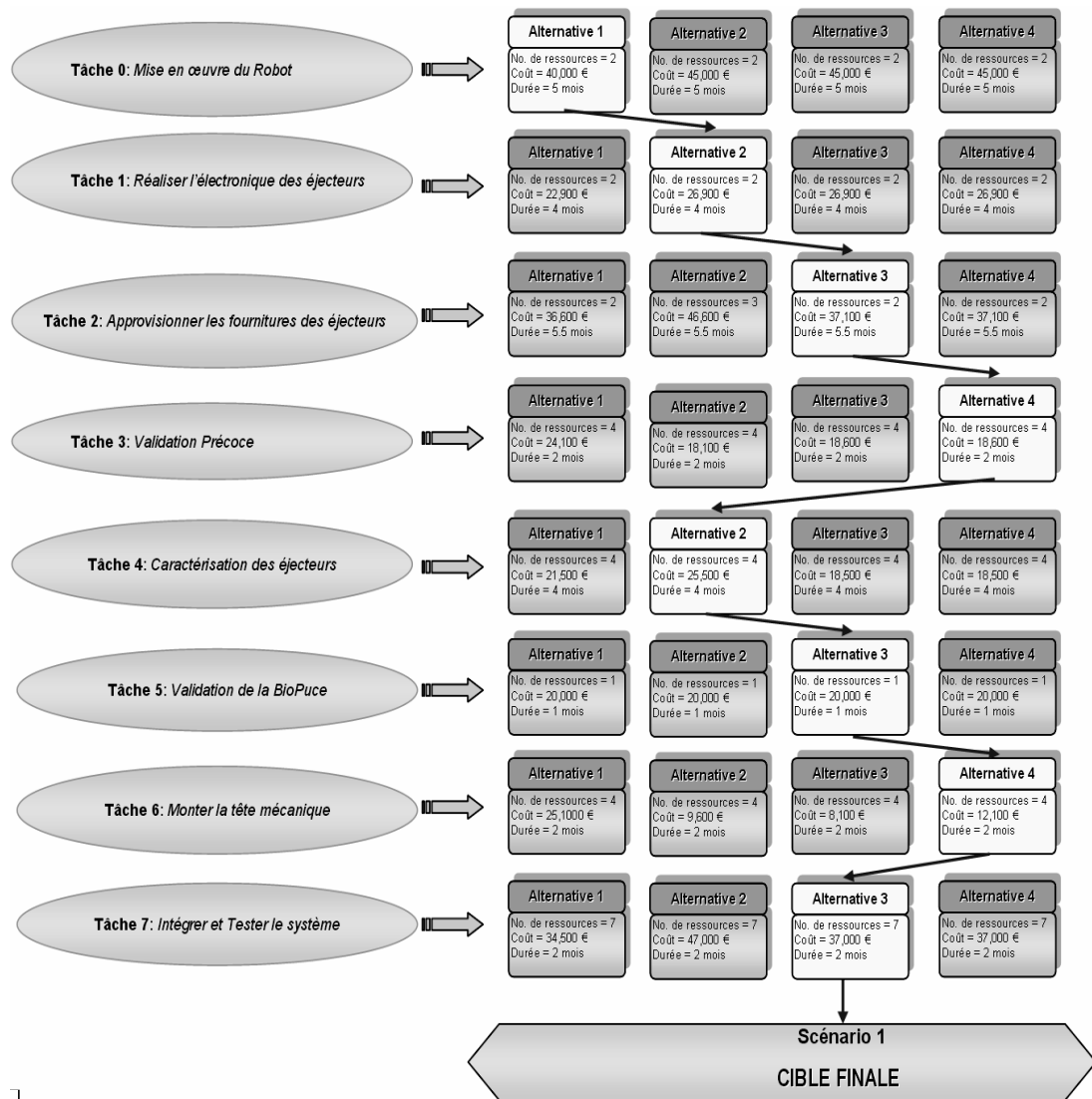


FIGURE 4-23. Génération de scénarios à partir des alternatives des tâches

4.6.3 Les entrées d'une proposition de pré planification

Du travail accompli jusqu'à ce niveau, nous obtenons l'information que nous proposons soit partie du premier document proportionné à GESOS (*fiche projet*), lequel doit être effectué en XML et en format standard compatible avec les données de HiLeS, en vue de laisser l'information prête à la partager.

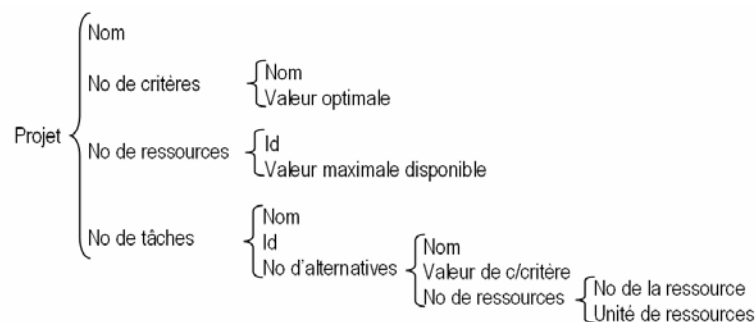


FIGURE 4-24. Données proportionnées par GESOS

Notre idée ici est de détailler le projet dans un document avec tous les éléments disponibles à ce moment. Par exemple le projet va être repéré par le nom: Robot BioPuce, le nombre de critères à considérer : 2 dans ce cas, le coût et la durée, les ressources : 10 ressources (7 reliées à la main d'œuvre et 3 pour des ressources matérielles) et le nombre de tâches : 8 en total, les alternatives de réalisation pour chaque tâche... Le schéma de la Figure 4-24, détaille ce que nous avons considéré comme entrées pour le logiciel GESOS. Ce document va donner une liste qui permettra la vérification de que nous n'avons rien oublié.

À la fin de cette étape, il a été lancé *l'appel d'offres*, pour chercher les *fournisseurs potentiels* qui développent des solutions.

Cette recherche aide à examiner d'autres solutions susceptibles d'être à la fine pointe. Elle peut aussi élargir l'horizon des approches possibles et fournir un avantage concurrentiel au chef du projet.

4.7 L'étape de Planification du Projet : Robot BioPuce

La démarche de planification représente l'étape finale de notre méthodologie, elle est développée avec le résultat des propositions faites pour les fournisseurs. A cause de la complexité et la quantité d'information provenant du retour des fournisseurs, nous simplifions une de ces propositions dans le tableau 4-9, qui montre la *proposition technique et commerciale* que MICROCONTROLE NEWPORT fait par rapport à la fourniture d'un système de positionnement 3 axes X,Y, θ , incluant un support pour plaquette verre 20x20mm, avec maintien par ventouse.

ID Tâche	ID alternative	Fourniture générale	Nom Produit	Référence du Produit	Fournisseur	Coût	Délai de livraison	Spécifications
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet			GROUPE DELTA EQUIPEMENT	15 949€71	5 semaines	
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	Axe de translation (Axe X)		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			Course 300 mm Précision $\pm 5 \mu\text{m}$, entraîné par moteur brushless avec électronique intégrée
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	Axe de translation horizontale (Axe Y)		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			Course 25 mm Précision $\pm 5 \mu\text{m}$, entraîné par moteur brushless avec électronique intégrée
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	Interface mécanique pour le montage de l'axe Y sur l'axe X		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	Axe de rotation (Axe θ)		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			Course $\pm 15^\circ$ Résolution 0,001° Entraîné par moteur brushless avec électronique intégrée
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	Outilage de préhension par le vide avec support plaquette amovible		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	L'ensemble des câbles de raccordement moteur		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			
TO	A11	Système Physique de Positionnement (X, Y, θ) complet	L'alimentation secteur 220 VAC/24VDC		GROUPE DELTA EQUIPEMENT			

TABLEAU 4-10. Tableau avec l'information provenant de l'appel d'offres

Cette information a été extraite du document de L. Piazza [Pia 04] qui, en coordination avec Anne-Marie Gué et Daniel Esteve [PHM 04], avait effectué une étude d'approvisionnement des fournitures du Robot BioPuce.

Le tableau 4-10 a été rempli de façon manuelle avec la finalité de visualiser dans une seule liste toutes les nouvelles propositions sorties de la réponse des fournisseurs.

L'information décrite dans le Tableau 4-10 nous a été suffisante pour effectuer l'étape d'actualisation du graphe de la Figure 4-21, donnant lieu à un graphe plus complexe, mais aussi plus complet, parce que on a l'information véridique et cohérente de ce que existe dans le marché.

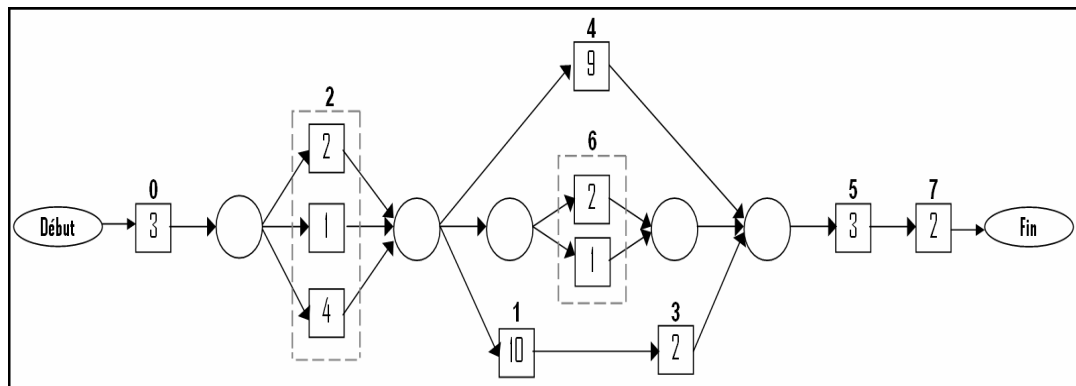


FIGURE 4-25. Graphe actualisé après la réponse fournisseurs du robot de fabrication de BioPuces

4.7.1 Sélection GESOS

Suite à l'actualisation du graphe du projet, nous devons obtenir les nouveaux diagrammes de GANTT, sortis de ce graphe.

Cependant, GESOS n'utilise encore en effet que deux types de contraintes, le coût et le délai, cette ultime étape n'a pas pu être poursuivie complètement encore. Le choix du meilleur outil à utiliser pour effectuer l'ordonnancement de tâches n'a pas encore été validé.

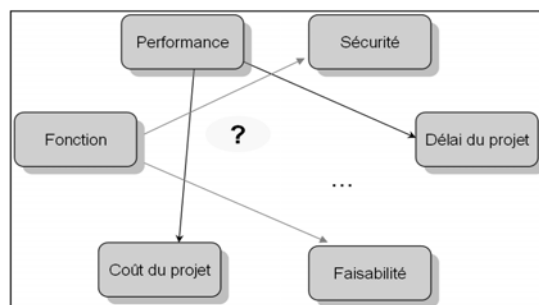


FIGURE 4-26. Choix pour la réalisation des scénarios

La figure 4-26 donne un exemple des principales contraintes que le chef de projet doit considérer au moment de faire le choix pour sélectionner le meilleur scénario du projet. Il est important de les hiérarchiser en début de l'analyse, et d'en déduire les critères de choix pour l'étude des compromis successifs.

Une situation assez habituelle consiste à considérer les critères correspondant aux objectifs principaux des besoins ou des exigences établies dans le cahier des charges. A titre d'exemple, dans un projet spécifique, on pourrait déterminer divers axes : la performance, la sécurité, le coût de projet, le délai de projet, la faisabilité et la qualité. Cette approche conduit à hiérarchiser les quinze compromis élémentaires résultant de la confrontation entre les axes pris de deux en deux et proposée par Jean-Pierre Meinadier dans [Mie98].

4.8 Conclusions du Chapitre

Dans ce chapitre nous avons résumé les étapes de la conception expérimentale du système de robot de fabrication de BioPuces.

Ce chapitre a permis d'illustrer la mise en œuvre de la méthode de partitionnement et tissage qui a été proposé dans le chapitre 3. Il présente d'une part la modélisation du système. D'autre part, il expose les résultats obtenus manuellement en forme de tableaux permettant la visualisation des premières informations pour le développement de la base de données.

Cette expérimentation montre la faisabilité de la mise en œuvre de cette méthode de tissage. Il est possible également d'observer les bénéfices obtenus par l'utilisation d'un système d'exploitation :

- La modélisation des fonctions et des composants du système, permet la description du plan de test.
- Le raffinement du processus pour qu'il devienne tout automatique, permettant de gagner de temps dans la démarche de conception/conduite.

Dans le travail effectué, nous avons effectué l'ordonnancement de tâches de façon manuelle. Il reste encore à mettre au point des outils d'ordonnancement facilitant l'interaction entre des méthodes d'analyse utiles dans un contexte d'aide à la décision (vérification de la cohérence, caractérisation de l'espace des solutions) et des algorithmes efficaces de résolution de façon automatique.

Chapitre 5. Conclusions et Perspectives Générales

L'accroissement de la complexité des Systèmes oblige à approfondir les méthodes et les outils de la conception pour répondre au double objectif de réduire les délais de mise sur le marché des produits (time to market) et de renforcer les performances la qualité et la fiabilité.

La tendance et l'effort tendent aujourd'hui à la standardisation de procédures, comme par exemple :

- l'adoption de standards comme l'EIA-632 qui fixe des recommandations au développement système,
- l'adoption de langages adaptés aux représentations de haut niveau comme UML/SysML recommandé par l'OMG,
- l'adoption des remarques d'une ingénierie dirigée pour les modèles (MDA)
- l'adoption de représentations standardisées comme la représentation en V (conception/vérification) ou en Y pour la combinaison de plusieurs processus

Nous avons rappelé cela dans le chapitre 1 et présenté nos objectifs.

Nous voulons coupler (comme le recommande l'EIA-632) le processus de conception fonctionnelle, le processus de conception organique et le processus de planification, sous la forme d'un Y :

- à gauche, la conception fonctionnelle,
- à droite, la conception organique,
- en bas, la planification.

La partie gauche fonctionnelle a été largement développée au LAAS/CNRS, notre partenaire. Il propose une plateforme HiLeS dans laquelle l'on dispose d'outils pour :

- aller des spécifications du cahier des charges à une représentation fonctionnelle en blocs et réseaux de Petri,
- vérifier cette représentation avec le vérificateur TINA,
- transformer le modèle HiLeS en modèle VHDL-AMS pour aborder les questions de prototypage virtuel qui ne nous concerne pas dans ce mémoire.

Le couplage interprocessus que l'on vient de réaliser a une valeur stratégique :

- permettre au concepteur de prendre la mesure des besoins économiques servant de critères à la planification,
- permettre à la planification de rester proche des impératifs technologiques.

Il a aussi une valeur générale d'explorer un premier chemin de couplage qui intégrera tous les couplages interprocessus recommandés par l'EIA-632. Cela nous fait réfléchir à l'intérêt de ce qui nous avons appelé "Modèle Partagé" comme le partage des informations utiles entre tous les processus.

À côté de ces considérations générales, le chapitre 1 présente notre support expérimental qui est un Robot pour la fabrication de BioPuces et explicite le chemin de résolution de notre problème qui consiste à :

- coupler les processus de modélisation fonctionnelle et organique,
- en déduire un partitionnement en modules structuro-fonctionnels,
- en déduire les tâches du processus de planification après enrichissement des modules par d'autres considérations de tests et d'évaluation,
- en déduire, par contact avec les fournisseurs, tous les scénarios possibles,
- sélectionner ceux dans ces scénarios qui sont les plus intéressants pour le plein aboutissement du projet.

Le chapitre 2 est consacré à la présentation plus précise des processus et à la présentation des outils utiles à la démarche méthodologique liée à notre problématique :

- UML/SysML est choisi pour réaliser la description fonctionnelle jusqu'au formalisme HiLeS en blocs et réseaux de Petri,
- HiLeS, comme plateforme "pivot" avec la vérification de la description fonctionnelle par TINA et avec la représentation VHDL-AMS,
- GESOS, pour :
 - sélectionner des scénarios multiples tenant en compte l'offre des fournisseurs consécutive au travail de partitionnement en modules structuro-fonctionnels,
 - optimiser les meilleurs scénarios en s'appuyant sur les fonctions de perte de Taguchi.

Le chapitre 3 aborde la **question de mise en œuvre de toutes nos propositions méthodologiques**. Il donne les principes et procédures de notre proposition sur le partitionnement avec des nouveaux outils que l'on a développé en collaboration avec l'équipe du LAAS :

- l'outil d'agrégation fonctionnelle qui facilite la définition des modules structuro-fonctionnels
- l'outil de projection pour créer les modules entre description organique et fonctionnelle

Ce chapitre 3 montre aussi:

- a) comment définir des tâches à partir des modules structuro-fonctionnels : on montre comment nous réutilisons les idées de la méthode WBS ...
- b) comment générer les scénarios,
- c) comment sélectionner des scénarios.

Le chapitre 4 est entièrement consacré à l'application de la méthodologie que nous proposons sur l'exemple du robot biopuce.

Grâce à l'exemple que nous avons choisi, l'applicabilité de nos options est démontrée. Le schéma de la figure synthétise l'ensemble de nos recommandations sous la forme d'un processus que l'on souhaite généraliser. Pour cela, il conviendra à présent de multiplier les exemples pour confirmer ces premières conclusions.

En prospective, il y donc à apporter par l'exemple de nouvelles vérifications et de nouveaux aménagements déduits de l'expérience. Il y a des propos à réaliser dans les relations à instaurer avec les fournisseurs : savoir proposer les spécifications par modules structuro-fonctionnels et savoir exiger, en retour, des modélisations et des évaluations qui permettent d'être reprises dans le processus général de prototypage virtuel. Il y a des outils à construire liés à la définition du modèle partagé, de la base de données commune : ce qui nous pouvons dire c'est que cette base de données devrait :

- s'articuler autour des modules structuro-fonctionnels, où l'on va retrouver toutes les fiches venant du fonctionnel et du non-fonctionnel,
- appliquer le langage XML... C'est ce qui a déjà développé Hernan Duarte dans son stage [Dua 06],
- s'enrichir de toutes les questions en débat dans notre réseau régional : TOOLSYS avec la réutilisation des acquis, les IP's... L'important est de se rendre compte que c'est un projet énorme qui suppose la mobilisation de nombreuses compétences où les équipes en midi-pyrénées peuvent jouer un rôle très positif.

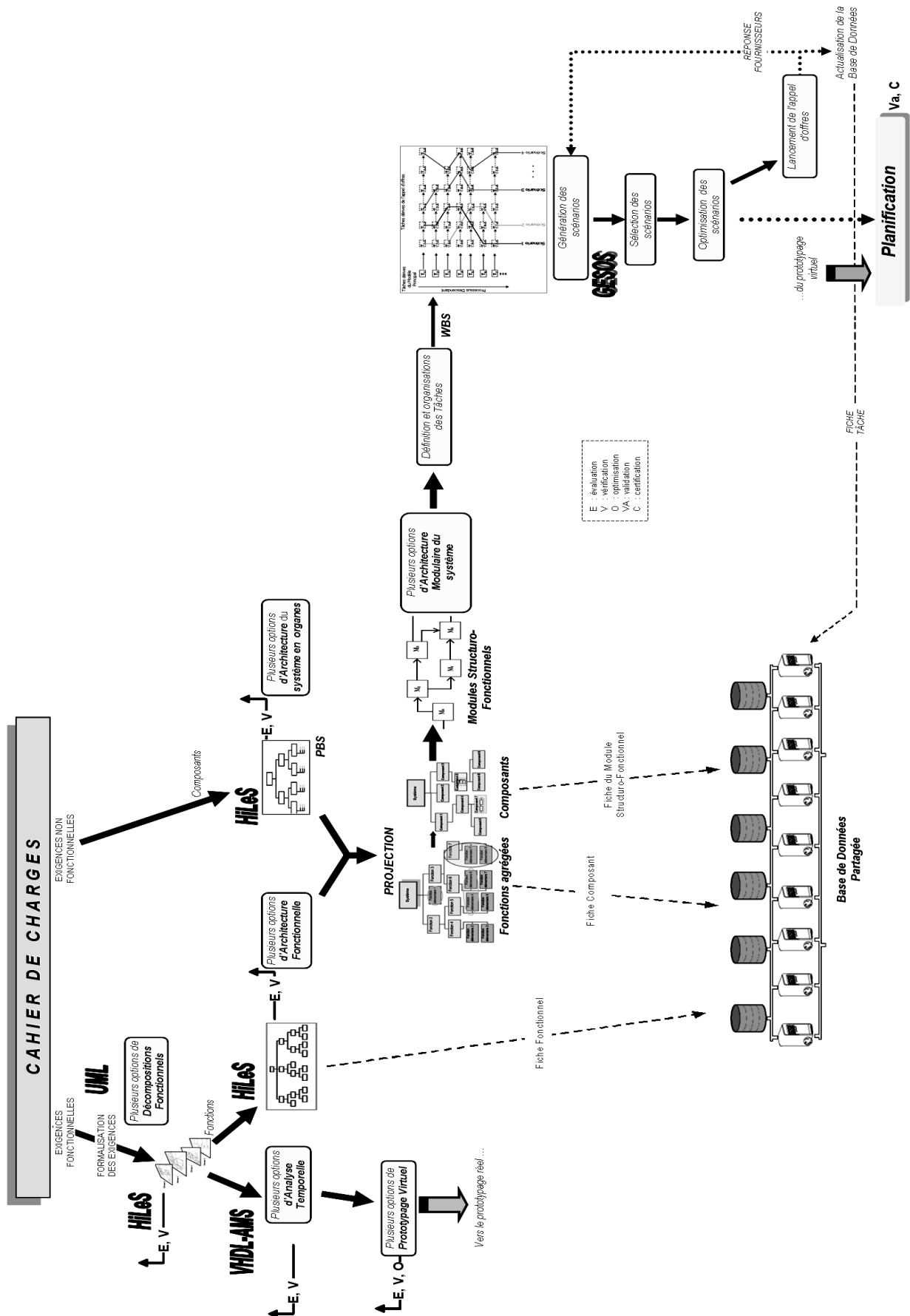


FIGURE 5-1. Synthèse graphique du couplage Conception - Conduite

Le schéma de la Figure 5-2, regroupe tout ce que nous venons de dire sur les questions d'information. Sont illustrés les processus de conception et conduite qui partent tous les deux des mêmes spécifications. Nous avons réussi à établir les échanges qui sont importants entre ces deux démarches, ce qui nous permet de définir une première architecture d'une base de données partagée.

Cette base de données contiendra toute l'information dérivée des échanges entre les processus, elle permettra, pour chaque tâche, la gestion des alternatives où le chef de projet pourra extraire la vue technique du côté conception et la vue projet du côté planification.

Cette base de données est actuellement encore en cours de définition, avant de lancer véritablement sa réalisation.

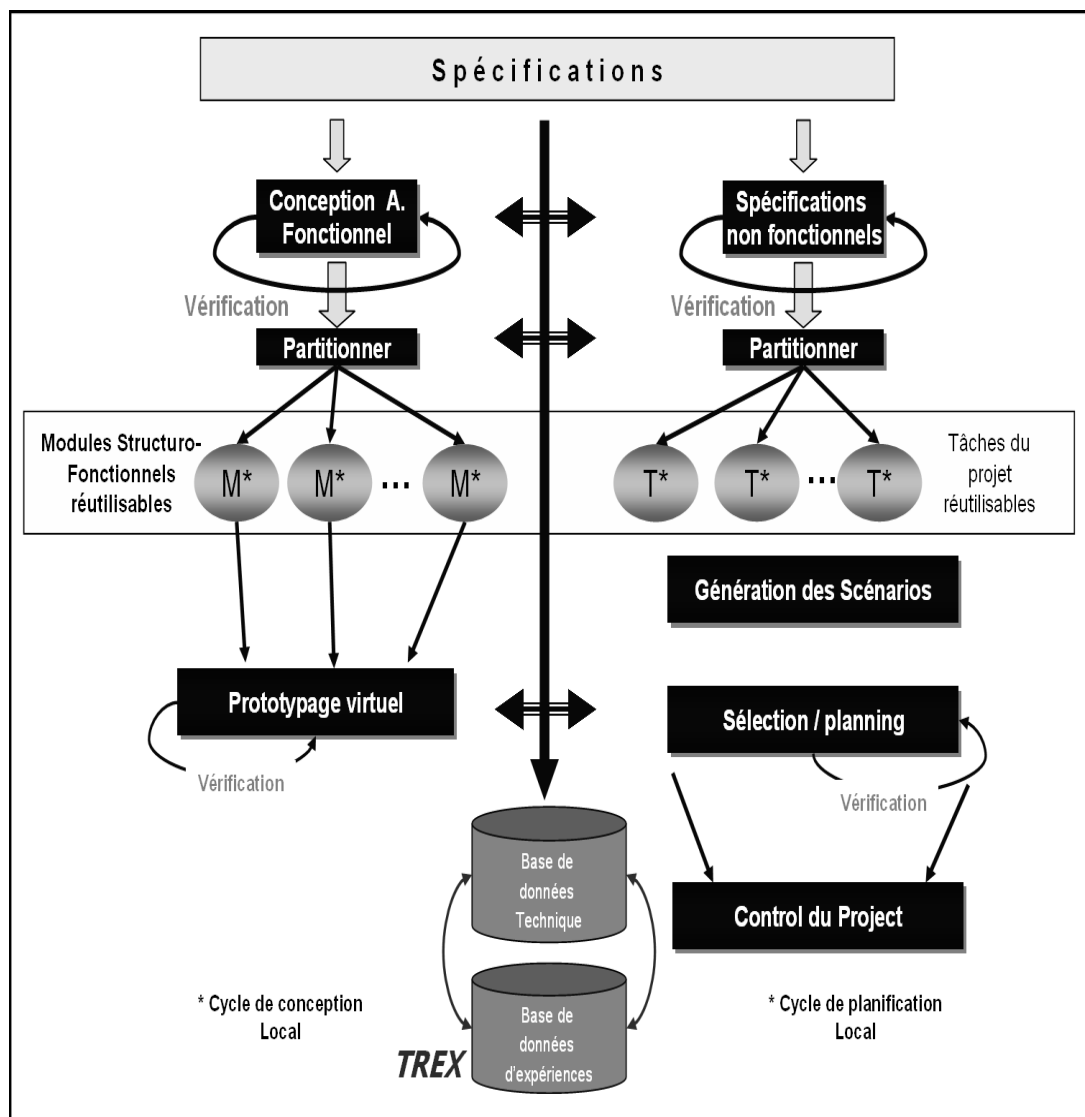


FIGURE 5-2. Proposition de l'architecture de la base de données

L'important à considérer dans notre démarche est l'aspect de réutilisation des acquis et de modules structuro-fonctionnels. Cette notion de réutilisation doit

intégrer le retour d'expériences [Rak 04], en visant à capitaliser les savoirs et les savoir-faire des deux processus simultanément pour les réutiliser lors d'un nouveau projet. Nous avons donc initié, dans cet esprit, une collaboration avec le laboratoire LGP de l'ENIT de Tarbes [CRG 04] pour voir comment nous pourrions mettre en place des méthodes et des outils de retour d'expériences pour les intégrer dans nos échanges inter-processus.

Glossaire

Activité

C'est ce qui, dans le cadre d'une démarche, provoque l'évolution partielle du processus par transformation d'une donnée d'entrée en une donnée de sortie, [FGG 04].

Une démarche nécessite généralement plusieurs activités. Celles-ci ont un caractère fonctionnel (inspiré du modèle SADT) puisque chacune d'elles se caractérisent par l'arrivée d'une matière d'œuvre et sa restitution avec une valeur ajoutée, par l'intermédiaire de méthodes et d'outils.

Par exemple, dans une démarche de projet, on peut relever des activités telles que :

- l'analyse fonctionnelle du besoin ;
- la recherche de solutions ;...

Le passage d'une activité à la suivante nécessite généralement de procéder à une revue de projet, appelée aussi revue critique, [FGG 04].

Analyse Fonctionnelle

Démarche qui consiste à analyser un produit d'une manière systématique en l'examinant aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur afin de porter une attention particulière aux interactions entre ses différents éléments et l'environnement.

Dans cette approche on ne raisonne pas en termes de solutions, mais en termes de finalités. Ceci permet de créer un « modèle » du produit sous la forme d'un Cahier des charges fonctionnel (CdCF).

L'objectif est de savoir « dans quel but » et « comment » un produit fonctionne.

Dans le premier cas « dans quel but », il s'agit de définir les finalités du produit, à savoir les services qu'il rend, en recensant les relations qu'il établit avec son environnement ; on parle alors d'analyse fonctionnelle du besoin ou d'analyse fonctionnelle externe.

Dans le deuxième cas « comment », l'approche est technique puisqu'elle consiste à examiner la manière selon laquelle le produit rend les services attendus en « auscultant » les fonctions assurées par chaque composant. On qualifie cette approche d'analyse fonctionnelle technique ou d'analyse fonctionnelle interne, [FGG 04].

Appel d'offres

Procédure d'achat par laquelle une entreprise, une administration formulent avec précision leur demande auprès d'un certain nombre de fournisseurs éventuels.

L'objectif de l'appel d'offres est de mettre en concurrence différents fournisseurs potentiels connus ou non, pour ce faire, l'entreprise, l'administration caractérise sa demande avec précision afin de pouvoir comparer les offres reçues (spécification du produit, condition d'usage, prix maximal souhaité, conditions de livraison, de règlement, date limite de réception des offres, etc.). Lorsque la demande est complexe, l'appel d'offres est accompagné d'un cahier des charges. En fonction de la nature de l'appel d'offres, de la taille de l'entreprise, l'appel d'offres peut se faire par courrier ou par voie de presse, [FGG 04].

Arborescence (fonction/produit)

Découpage d'un projet selon des niveaux successifs, de telle sorte qu'un élément de niveau n soit rattaché à un élément et un seul de niveau supérieur. Par exemple :

- **Arborescence produit**, qui représente sous les éléments constitutifs du Prototype, et au moins tous les articles de configuration.

Synonyme de Structure de produit (PBS).

- **Arborescence fonction**, qui permet d'identifier toutes les fonctions attendues de l'ouvrage ou d'un produit.

Ne pas confondre avec Organigramme fonctionnel.

On parle également d'arbre de décision, et d'arbre de recherche des défauts (AMDEC), [AFI 04].

Besoin

Sentiment d'insatisfaction ne de la nature au de la vie sociale.

Un besoin économique est un sentiment d'insatisfaction accompagne d'un désir de le faire

disparaître en disposant d'un bien économique offert en quantité limitée par l'activité productive marchande et non marchande,

Les besoins varient en fonction du temps, de l'espace, de l'appartenance sociale: le besoin de lire peut être considéré comme un besoin fondamental dans les pays en voie de développement, Les besoins ont un caractère subjectif et irrationnel, Les classifications des besoins permettent d'analyser l'évolution de la consommation sans que pour autant les frontières entre les différentes typologies soient toujours parfaitement identifiées.

Besoins primaires/besoins secondaires

- Les besoins primaires répondent à des besoins vitaux (la faim, la soif...) ;
- Les besoins secondaires ne se posent pas en termes de survie (transport, voyage...).

Certains auteurs nuancent cette classification en la complétant par des besoins tertiaires ou superflus satisfaits par des gadgets, par exemple,

Besoins individuels/besoins collectifs

- Les besoins **individuels** sont satisfaits par les biens achetés sur un marché; ils dépendent des revenus des agents économiques ; l'ensemble des biens qu'un agent économique peut acheter constitue la demande solvable;
- Les besoins **collectifs** sont satisfaits par la consommation de biens collectifs ou services non marchands, fournis gratuitement ou vendus à un prix inférieur au coût de revient.
- **Les besoins psychologiques ou sociaux**, ressentis en raison de l'appartenance à un groupe social; l'analyse de la valeur a mis en évidence deux fonctions d'un bien, la fonction d'usage (fonction matérielle, concrète) et la fonction d'estime ou fonction symbolique permettant au consommateur de se situer par rapport aux autres en fonction d'un statut social (on achète un Montblanc et non un stylo).
- **Les besoins inférieurs et les besoins supérieurs** mis en évidence dans la pyramide des besoins hiérarchisés créée par A. Maslow en 1954 pour présenter sa théorie des motivations de l'homme au travail: les travailleurs commencent par satisfaire les besoins de rang inférieur, avant de passer à la catégorie des besoins suivants, [FGG 04].

Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF)

Document par lequel le demandeur exprime son besoin en termes de fonctions de service. Pour chacune d'elles, sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux ; chacun de ces niveaux est assorti d'une flexibilité (NF X 50-151).

Ce document constitue particulièrement le résultat d'une analyse fonctionnelle du besoin relative à la création ou à l'amélioration d'un produit, ou d'un processus, dans laquelle le problème a été posé en termes de finalités.

Le but et les implications du CdCF sont nombreux sachant qu'il contribue à clarifier et à formaliser les responsabilités relatives du demandeur et du concepteur réalisateur, [FGG 04].

Client

Entité, ou personne, qui reçoit le produit., [AFI 04].

Conception

Ensemble des tâches permettant d'aboutir aux choix définitifs des solutions satisfaisant les exigences fonctionnelles et les performances attendues.

Cette activité constitue une réponse au Cahier des charges fonctionnel (CdCF) et porte sur :

- l'analyse et le choix définitif du produit répondant aux objectifs selon les besoins du marché ;
- une proposition du plan de développement;
- une évaluation des coûts et des délais de développement.
 - Les techniques de créativité et le travail en groupe pluridisciplinaire facilitent la recherche des idées et des solutions.

L'étude de ces solutions est effectuée par le bureau d'études sous la forme de dessins d'avant-projets; l'informatique constitue une aide précieuse par l'utilisation de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) de plus en plus performants.

Enfin, l'évaluation des solutions permet d'effectuer un choix selon les points de vue coût, faisabilité et risque. Cette phase peut nécessiter un travail de maquettage et d'essais préliminaires.

Il est important de remarquer qu'une relation étroite est nécessaire entre les services chargés de la conception et de l'industrialisation afin de permettre à ces derniers de réfléchir très tôt aux techniques leur incombant. Ceci facilitera une meilleure maîtrise des coûts de production et un passage en fabrication stabilisée plus rapide, assurant ainsi le respect des délais, [FGG 04].

Coût

Somme de charges relatives à un élément défini au sein du réseau comptable (PCG).

Le coût est défini par les trois caractéristiques suivantes:

- le **champ d'application** du calcul: par exemple le coût de la fonction administrative, le coût d'un atelier, le coût d'une marchandise vendue, le coût d'un directeur commercial,
- le **contenu**: les charges retenues en totalité ou en partie pour une période déterminée, par exemple le coût complet d'une marchandise vendue,
- le **moment du calcul**: antérieur (coût préétabli donc prévisionnel) ou postérieur (coût constaté ou coût réel) à la période considérée.

En combinant ces différentes approches, on peut obtenir un très grand nombre de coûts, par exemple le coût complet, par famille de produits.

En raison de la définition même du terme, somme de charges, le coût est spécifique à l'entreprise ; il doit être calculé par celle-ci et n'est connu que par elle pour des raisons de confidentialité.

Il est important d'employer les termes de coût et de prix dans leur acception exacte déterminée depuis 1982 par le Plan comptable général : le prix est l'expression monétaire d'un échange de l'entreprise avec les tiers (prix d'achat, prix de vente), le coût est une somme : de charges (coût de revient et non prix de revient).

Cycle de Vie d'un Produit

Décrit les différentes phases de la vie d'un produit depuis l'émergence de l'idée jusqu'à son retrait de service et se caractérise par une évolution du chiffre d'affaires que l'on compare au processus de création et de vie d'un être vivant.

Dans le domaine industriel, l'expression employée est celle des « phases de la vie d'un produit ». La nouvelle norme XP X50-155 visualise par les schémas suivants les différents processus associés aux différentes phases de la vie d'un produit.

Sur le plan économique, le cycle de vie d'un produit distingue les différentes phases que le produit traverse au cours du temps et que l'on assimile à celles de la vie d'un être vivant : gestation, jeunesse, croissance, maturité, déclin.

Ces phases se caractérisent par une évolution du chiffre d'affaires que l'on représente théoriquement par la courbe suivante :

Dans la pratique, les durées des phases sont très variables selon les produits (avion, gadget, etc.). Elles sont, de plus, difficiles à cerner mais restent toutefois un des indicateurs de la stratégie à mettre en place (exemple : lancement d'un nouveau produit) , [FGG 04].

Découpage

Opération consistant à décomposer l'Ouvrage ou l'Œuvre en éléments plus faciles à estimer ou à maîtriser. Le découpage permet à la fois de préciser ce qu'on va à faire et de mieux apprécier la façon dont on va s'y prendre pour maîtriser sa gestion.

Le niveau de découpage peut se situer à la ligne budgétaire, à la tâche, ou tout autre niveau intermédiaire.

Le découpage doit toujours être :

- arborescent (un niveau inférieur ne peut appartenir à deux niveaux supérieurs) ;
- cohérent avec le code des coûts.

Le découpage doit tenir compte des aspects technique, budgétaire, opérationnel, [AFI 04].

Délai

Temps nécessaire pour réaliser une action ou obtenir le résultat de cette action.

Les délais correspondent au temps de réponse existant entre le début, ou la commande, d'une action et son résultat. La notion de délai existe dans tous les domaines; en particulier, lors d'une industrialisation elle est omniprésente. Il faut en effet connaître les délais pour assurer une bonne gestion, c'est-à-dire des relations claires entre tous les partenaires de l'industrialisation : des fournisseurs jusqu'aux clients.

De nombreux types de délais existent.

Par exemple:

- le délai d'approvisionnement: correspondant: à un ordre d'achat, et représentant le temps compris entre l'émission d'une demande d'achat au responsable des achats et la réception des articles en magasin;
- le délai de fabrication: constituant pour un ordre de fabrication, le temps relevé entre le lancement de l'ordre et la disponibilité des articles en magasin.

On peut citer aussi le délai de commande, le délai de livraison, etc.

Le responsable doit calculer ces différents délais. Pour les maîtriser, il utilise des outils tels que le PERT ou le diagramme de GANTT, [FGG 04].

Durée de vie

Durée pendant laquelle une entité accomplit une fonction requise dans des conditions d'utilisation et de maintenance données, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint (X 60-500).

Cette durée sépare la date de mise en service et la date à laquelle l'entité a cessé définitivement d'assurer la fonction définie dans le cahier des charges fonctionnel. Elle peut s'exprimer à l'aide d'une unité de temps mais aussi par toute autre unité d'usage comme la pièce, le kilomètre, le cycle, [FGG 04].

Environnement

Ensemble de contraintes, d'obstacles mais aussi de chances, tant externes qu'internes, que l'entreprise doit prendre en compte lors de sa création et au cours de son développement.

L'environnement peut être étudié en fonction de différents critères.

- *Par domaine*

- environnement économique, politique, démographique, juridique, fiscal, scientifique, technologique, culturel, social, géographique (local, régional, national, international) ;
- *Par nature*
 - environnement permanent sur lequel l'entreprise ne peut exercer une influence directe, immédiate (environnement juridique, social, etc.),
 - environnement propre à l'entreprise sur lequel l'entreprise, en fonction de sa taille, de son secteur d'activité, peut exercer plus ou moins fortement une certaine influence (les entreprises multinationales ont un poids politique, économique, par exemple) , [FGG 04].

Étape

Ne pas confondre *étape* et événement.

L'étape est le point de liaison entre des activités amont et des activités aval, où le début de chaque activité aval est conditionné par l'achèvement de toutes les activités amont, [AFI 04].

Le nombre de liaisons que contient une *étape* est égal au produit du nombre de ses activités amont par le nombre de ses activités aval. Mathématiquement, c'est l'application d'un ensemble de N_1 événements amont dans un ensemble de N_2 événements aval. Le nombre de liaisons est donné par le produit cartésien :

$N = N_1 \times N_2$ Relations d'ordre.

Exemple: $2 \times 3 = 6$ liaisons.

En Méthode PERT, *l'étape* est représentée par un cercle qui a N_1 liaisons amont et N_2 liaisons aval, soit au total $N_1 + N_2$ liaisons.

Dans les méthodes par liaisons individualisées, *l'étape* n'est pas normalement exprimée. Elle est traduite par les $N_1 \times N_2$ liaisons précédentes. On peut néanmoins faire figurer les étapes jalons sous forme d'activité de durée et de charge nulles, [AFI 04].

Étude de faisabilité

Etude faisant ressortir l'existence ou l'absence de solutions à l'étude sur l'opportunité d'un ouvrage. Elle s'appuie sur l'étude de marché et comprend des études technico-économiques succinctes des techniques envisagées, l'étude d'impact, l'étude de rentabilité, permet de définir l'objectif et de prévoir les moyens.

Ces diverses interventions permettent l'établissement ultérieur du programme, [AFI 04].

Exigence

Besoin ou attente formulés, habituellement implicites, ou imposés, [AFI 04].

Fonction

Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité (NF X 50-150).

Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou de plusieurs compléments; son expression doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser.

Parmi les fonctions d'un produit, apparaissent les fonctions de service qui expriment la participation du produit à la satisfaction des utilisateurs: ce sont, soit des fonctions principales, soit des contraintes. Elles sont à distinguer des fonctions techniques, qui ne sont pas directement perceptibles par l'utilisateur, mais auxquelles le concepteur fait appel, dans une solution donnée du produit, pour que celui-ci remplisse les fonctions de service, [FGG 04].

Fournisseur

Organisme, ou personne, qui procure un produit. Ce terme remplace celui de "sous-contractant" utilisé dans la norme ISO 9001, v.1994, [AFI 04].

Personne qui fournit des biens et/ou des services à un client, [FGG 04].

Les relations de l'entreprise avec ses fournisseurs doivent être étudiées d'un double point de vue :

- **économique** : l'entreprise a un pouvoir de négociation variable ; elle peut être en position de dépendance vis-à-vis d'un fournisseur qui détient un monopole pour un produit ; elle peut au contraire être en position de domination : en tant que donneur d'ordre, elle peut imposer ses conditions aux sous-traitants ;
- **juridique** : les relations entreprise/fournisseurs sont variées en raison de :
 - la nature des biens ou des services proposés : matières premières assurances, emprunts...
 - la nature des contrats conclus : contrat de location ou contrat de crédit-bail de matériel, achat d'un ordinateur, achat d'un logiciel, contrat de sous-traitance, etc.

Maîtrise de la qualité

Partie du management de la qualité axée sur la satisfaction des exigences pour la qualité, [AFI 04].

Modèle

Mode de représentation explicatif permettant de comprendre la réalité en combinant un nombre de limité d'éléments de base reconnaissables.

Un modèle est une image, une représentation simplifiée et abstraite d'une réalité. Son

élaboration est conditionnée par un certain nombre de règles :

- D'abord, il est nécessaire de définir des éléments de base de variété limitée; ils dépendent de normes, de conventions, de lois... Par exemple, lors d'une modélisation cinématique d'un mécanisme, il est nécessaire de connaître les représentations schématiques normalisées des liaisons, ainsi que les représentants mathématiques associés.
- Ensuite, il faut combiner ces éléments de base selon certaines lois qui dépendent de codes, d'opérations à caractère mathématique: c'est la phase de traitement du modèle.
- Enfin, un modèle est relatif à des analyses prédictives, afin d'effectuer des actions sur le réel dans un but défini. Son élaboration repose sur la formulation d'hypothèses dont la validité doit être soigneusement vérifiée; celles-ci dépendent du niveau de performance de l'étude envisagée, mais également de la connaissance plus ou moins précise de la réalité, [FGG 04].

Œuvre

Processus de Réalisation de l'Ouvrage, c'est-à-dire la mise en place des Moyens nécessaires à cette réalisation et leur conduite.

L'œuvre est constituée de l'ensemble des Tâches, regroupées ou non en Lots de travaux, [AFI 04].

Ordonnancement

Ce mot, imité jusqu'aux années soixante à la gestion des fabrications d'atelier, a été étendu à l'établissement des réseaux d'activités. Même dans ce cas, le mot ordonnancement est plutôt employé pour une activité de programmation à court terme, alors que la planification concerne une vision à moyen au long terme.

Ordonnancer une activité, c'est lui donner une Date de début et de fin dans le cadre de la marge dont elle dispose (éventuellement), [AFI 04].

Organigramme

Représentation schématique de l'organisation d'un système, d'un projet d'une société, etc., faisant apparaître les relations entre ses éléments, entre autres : la hiérarchie des responsabilités et les liaisons de contrôles, [AFI 04].

Organigramme des tâches (OT ou WBS)

On dit également *structure de base du travail*, On doit abandonner le terme organigramme technique, car l'*OT* n'est pas seulement technique,

Découpage hiérarchisé et arborescent de l'œuvre en éléments plus faciles à analyser et à

maîtriser, appelés Lots de travaux (LT) ou Tâches,

Il doit répondre aux deux questions :

- Que doit-on faire?
- Comment doit-on s'y prendre?

C'est une partie essentielle de la Gestion de projet, qui permet de construire le programme de réalisation, le planning, le budget, le plan qualité, etc.

La construction de l'*OT* résulte le plus souvent d'un processus itératif, [AFI 04].

Outil

Moyen dont l'opérateur dispose pour que se déroule l'activité considérée, selon la méthode envisagée.

Il est important de noter qu'un outil ne constitue qu'un moyen; son utilisation se justifie à l'intérieur d'une méthode, laquelle ayant un caractère finalise, afin de mener à bien une activité contenue dans une démarche, [FGG 04].

Citons, par exemple, des outils tels que :

- le schéma cinématique minimal permettant de modéliser les mobilités d'un mécanisme;
- le graphe d'interactions utilisé dans la méthode dite examen de l'environnement;
- le tableau de décision permettant d'effectuer un choix à l'issue d'une séance de créativité.

Planification

Prévisions contenant des dates de début et de fin de tâches, ainsi que des informations relatives aux ressources et aux coûts.

Une planification initiale correspond au plan original du projet.

Une planification temporaire correspond à un ensemble de données enregistrées "à date" au cours du projet.

Suivre le planning consiste à comparer la planification initiale et la planification Temporaire, [AFI 04].

Procédure

Manière spécifiée d'accomplir une activité ou un processus, [AFI 04].

Produit

Ce qui est résultat d'activités ou de processus (NF-EN 1325-1), [FGG 04].

Un produit est fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin. Il peut être :

- **un matériel :**
 - mécanisme plus ou moins complexe (automobile, réfrigérateur. . .),
 - ouvrage inerte (pont, bâtiment...),
 - simple matière (huile, azote, liquide, pâte à pain...);
- **un service:** nettoyage, formation, voyage organisé, prêt financier... ;
- **un système:** système automatisé de tri de lettres, réseau câble de télévision, système social...,
- **un processus :**
 - industriel: raffinage, usinage d'une pièce, maintenance d'une machine", ;
 - administratif: demande d'une carte d'identité ou d'un extrait de naissance;
- **une combinaison des produits ci-dessus :**
 - société sidérurgique, groupe financier...

Les produits sont de **type matériel** (artificiel ou naturel), donc directement observables, ou **immatériel**, donc observables seulement par leurs effets.

Processus

Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie.

Un *produit* résulte d'un processus ou d'une activité, [AFI 04].

Projet

Démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalisation à venir, [FGG 04].

Un projet est défini et mis en œuvre pour élaborer la réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle. Il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données.

Il fait appel à une activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et par l'intermédiaire de connaissances, d'outils et de méthodes, aboutit à la définition d'un produit. Les solutions doivent tenir compte non seulement du coût, mais aussi des délais, de la performance technique et de la disponibilité des ressources. Le projet ne se résume pas à un résultat, Il est surtout une démarche d'action dynamique impliquant généralement des acteurs différents et tenant compte des événements imprévus.

Qu'elle soit appliquée à un produit ou à un processus, la stratégie générale de la conduite d'un projet s'effectue de la manière suivante :

1. analyser la situation existante,
2. définir les buts, les objectifs à atteindre,
3. trouver les solutions, décider et réaliser.

Cette démarche fait appel aux outils de l'analyse fonctionnelle du besoin, aux techniques de créativité et de décision.

Prototype

Équipement ou Produit représentatif de celui qui sera obtenu en série, permettant de valider la conception.

Il est réalisé en général avec des technologies différentes de la série, en quelques unités, [AFI 04].

Qualité

Aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences, [AFI 04].

Ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit, ou d'un service, qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins des utilisateurs (NF X 50-120), [FGG 04].

Cette définition écarte toute subjectivité, celle qui préconise une seule qualité: la meilleure, le matériau le plus résistant, le meilleur contrôle. . .

Elle est, en revanche, objective en adaptant le produit à son usage, au meilleur coût, ce qui conduit à l'idée d'efficacité et place la qualité au sein de l'impératif de compétitivité industrielle.

La mission d'un service qualité est orientée selon trois axes:

1. Veiller à ce que les spécifications du produit prennent en compte les besoins du client ;
2. Faire respecter les règles nécessaires à toute obtention d'un produit conforme aux spécifications le définissant;
3. Informer régulièrement les différents services concernés et la direction générale des résultats obtenus, des écarts enregistrés et des risques encourus.

Le premier axe fait apparaître le souci de satisfaire les besoins; il conduit notamment aux outils de l'analyse de la valeur puisque celle-ci fonde toute sa logique sur ce terme.

Le deuxième axe concerne le contrôle de conformité tournée vers les fabrications et les approvisionnements afin d'assurer la stabilité de la production à un niveau fixe dans le cadre de la politique qualité de l'entreprise.

Représentation Architecturale

Schéma d'un mécanisme définissant toutes les liaisons élémentaires entre les différents sous-ensembles qui le constituent, [FGG 04].

Ce mode de schéma, appelé aussi schéma architectural et utilise principalement en mécanique, permet d'analyser un mécanisme en faisant clairement apparaître toutes les liaisons élémentaires en vue d'une étude dynamique (recherche des actions mécaniques s'exerçant sur le mécanisme et dans toutes les liaisons). Son élaboration s'effectue généralement en deux étapes:

- trace du graphe des liaisons;
- trace du schéma proprement dit.
- Pour cela, il est nécessaire de respecter les règles suivantes:
- les pièces constitutives d'un groupe cinématiquement lié ne sont pas distinguées; ces sous-ensembles sont représentés sans épaisseur, sans échelle et repères par un numéro;
- les liaisons entre les groupes cinématiquement liés sont représentées conformément à la norme NF E 04015 ;
- les propriétés géométriques relatives de ces liaisons sont respectées : parallélisme, perpendicularité, positions relatives des centres des liaisons...;
- les principaux paramètres de position sont représentés, en particulier les paramètres d'entrée-sortie. Selon la complexité du mécanisme, le schéma distributeur des liaisons peut être plan ou spatial.

Ressources

Ensemble des moyens et personnels disponibles dans l'entreprise pour accomplir une tâche, [FGG 04].

Dans les activités industrielles, on distingue deux types de ressources :

- **les ressources matérielles** ou postes de charges (moyen de production, machine...);
- **les ressources humaines** (service, opérateur...).

On utilisera donc ce terme lorsque l'on veut élargir le champ des moyens de production, à l'ensemble de la structure de l'entreprise.

Risque

Danger éventuel plus ou moins prévisible, [FGG 04].

Lors d'une démarche de Maîtrise statistique du processus, la détection des pièces non conformes n'est plus assurée à 100 %, Cela engendre des risques de non détection en cours de processus ou lors du contrôle de conformité final,

Les risques encourus sont définis par la norme ISO 3534.2 :

Le risque client (risque Alpha) : en considérant un plan d'échantillonnage donne, c'est la probabilité d'acceptation d'un lot au d'un processus lorsque le niveau de qualité a une valeur définie par le plan comme non satisfaisante,

Le risque fournisseur (risque Béta) : en considérant un plan d'échantillonnage donne, c'est la probabilité de non-acceptation d'un lot lorsque le niveau de qualité du lot au du processus a une valeur définie par le plan comme acceptable,

Lors du contrôle final, ces risques sont présents et engendrent deux insatisfactions :

- celle du client, car des pièces non conformes lui sont livrées. Il renvoie le lot de pièces, ce qui augmente son délai d'approvisionnement ;
- celle de l'entreprise, car un lot de pièces conformes a été rejeté. Elle doit effectuer un contrôle systématique sur ce lot d'ou un surcoût.

Lors du contrôle des pièces en cours de processus, les conséquences sont différentes.

Au cours d'un lancement de production, le réglage des postes est effectuée; les pièces sont produites puis contrôlées.

Satisfaction client

Perception du client sur le niveau de satisfaction de ses exigences, [AFI 04].

Spécification

Document formulant des exigences, [AFI 04].

Sûreté de fonctionnement

Ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance.

Pour les ECSS (European Cooperation for Space Standardization), la Sûreté de fonctionnement comprend la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité, [AFI 04].

Système

Association de sous-systèmes constituant un tout organique complexe destiné à remplir une fonction générale (NF E 90-001), [FGG 04].

Ce terme comporte de nombreuses définitions. Citons aussi, celle proposée par Joël de Rosnay: « Un système est un ensemble d'éléments, en interaction dynamique, organisés

en fonction d'un but. »

Il s'agit donc d'un ensemble identifiable assurant une fonction globale, et doté d'une structure qui évolue dans le temps et dans un environnement pour une finalité.

Il est important de bien identifier les limites du système, c'est-à-dire les éléments qui le constituent et qui en font une entité organisée: sa frontière.

Par exemple, le Minitel, représentant un système destiné à fournir des informations à son utilisateur, comprend :

- un écran et un clavier constituant le terminal ;
- un ordinateur central gérant le système ;
- des banques de données dans lesquelles sont stockées les informations.

Un système agit sur l'environnement, ou plus particulièrement sur la partie de l'environnement qui est modifiée: c'est la matière d'œuvre (MO). Celle-ci peut être de la matière, de l'énergie, de l'information. Les modifications apportées par le système confèrent à la matière d'œuvre une plus grande valeur pour l'homme, j' c'est ce qu'on appelle la valeur ajoutée.

La matière d'œuvre, caractérisant l'activité du système, circule à travers le réseau de communications et souvent à double sens par l'intermédiaire des interactions entre les éléments. De plus, les données de l'environnement prises en compte dans son fonctionnement, étant susceptibles de varier dans le temps, nécessitent que le système soit capable d'évoluer, donc de s'adapter pour continuer à exister. Ceci correspond à la notion d'interaction dynamique; ce qui n'est pas le cas par exemple d'un mécanisme représentant l'image d'un ensemble stable, donc non évolutif.

Dans le domaine industriel, il existe de nombreux systèmes physiques créés par l'homme : ce sont les systèmes automatisés. Leur approche et leur compréhension s'effectuent par l'intermédiaire des outils issus:

- d'abord de l'analyse fonctionnelle, afin d'avoir une modélisation associant avec pertinence les points de vue de tous les experts (mécanicien, électricien, informaticien...); le **modèle** SADT constitue l'outil privilégié;
- mais aussi de l'analyse temporelle, pour visualiser l'enchaînement des tâches réalisées dans le temps;
- et enfin de l'analyse matérielle (ou structurelle), afin de comprendre les solutions constructives adoptées.

Extrait de la norme X 60-012 :

Sous-système: association de composants destinée à remplir ou plusieurs fonction(s) opérationnelle(s) au sein d'un système.

Composant: élément ou ensemble destiné à remplir une fonction particulière dans un sous-système ou un système.

Traçabilité

Aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre, l'emplacement, l'utilisation ou la localisation d'une entité qui est examinée, [AFI 04].

Aptitude à retrouver l'historique ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées (ISO 8402), [FGG 04].

La traçabilité est une pratique très utilisée dans une démarche d'assurance qualité.

Cette pratique concerne le nucléaire, l'aéronautique l'armement et, plus récemment, l'automobile. La traçabilité ne doit être mise en œuvre que lorsque le produit revêt une importance particulière. En effet, une traçabilité efficace nécessite de mettre en place des structures contraignantes tout au long de la vie du produit. Il faut archiver l'ensemble des informations.

Une bonne traçabilité s'appuie sur un suivi du produit, de son état initial jusqu'à son état final et peut couvrir tout son cycle de vie.

Elle s'appuie essentiellement sur :

- l'identification des matériaux et des pièces entrant dans sa composition (nature et provenance) ;
- le suivi de tout le processus conduisant à l'élaboration du produit (gammes et ressources utilisées) ;
- l'identification et le marquage des lots ou produits non conformes ;
- la transcription de ces informations sur les documents appropriés (étiquettes, registres de contrôle...);
- le classement et la conservation de ces informations pendant un laps de temps défini avec l'utilisateur.

Bibliographie

- [AFA 96] Fouré C., "Qualité en conception : la rencontre, besoin, produit, ressources -- étude effectuée par l'AFAV sous la dir. de Claude Fouré ", Éditeur AFNOR, Paris, 1996.
- [AFIS06] AFIS, Association Française d'Ingénierie Système [En ligne]. Adresse URL : <http://www.afis.fr/index.htm>. France 2006.
- [AFI 04] "Dictionnaire de MANAGEMENT DE PROJET", Auteur : Association française des ingénieurs et techniciens d'estimation et de planification 4^e édition, AFITEP, AFNOR, 2000 (3^e tirage), Avril 2004.
- [ATBG 05] Alquier A-M, Tignol M-H, Baron C., Gutiérrez C., "Pour une vision intégrée du Système d'information et de la Gestion de Projet", 4th Conférence CPI (Conception et Production Intégrées), Casablanca, Maroc, Novembre 2005.
- [BaB 05] Barlier C., Bourgeois R., "Mémotech plus. Conception et dessin", Éditeur, Educavivres Casteilla, Paris 2005.
- [Bar 05] Baron C., Rochet S. and Gutiérrez C., "Proposition of a methodology for the management of innovative design projects", 5th annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, July 2005.
- [BBG 04] Bergaud C., Belaubre P., Guirardel M., Belier B., Pourciel J-B., "Système de dépôt de solutions biologiques avec ou sans contact pour la fabrication de biopuces", Brevet N° 0206016, 2004.
- [Bec 99] Beck J., "Texture Measurement as a Basis for Heuristic Commitment Techniques in Constraint-Directed Scheduling", PhD thesis, University of Toronto Department of Computer Science, 1999.
- [BEG 04] Baron C., Esteve D., Gutiérrez C., "Towards a Shared Process for Product Design and Project", 14th Annual International International Conference on System Engineering (INCOSE), Toulouse, France, June 2004.

-
- [Ber 83] Berthomieu, M. Menasche, An Enumerative Approach for Analyzing Time Petri Nets, IFIP Congress 1983, Paris, 1983.
- [Bez 01] J.Bézivin, From object composition to model Transformation with the MDA, TOOLS'USA, Volume IEEE TOOLS-39 Santa Barbara, August 2001.
- [Bez 02] Bézivin J. et Blanc X., "MDA: standards et travaux", Développeur Référence, 2 Octobre 2002.
- [BID 99] Blancho P., Durand J., "Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques, la maintenabilité", réalisé par l'Institut de sûreté de fonctionnement, groupe de travail 41, "critères de maintenabilité", 1999.
- [Bou 06] Bouissieres J. B., "Expression du besoin & cahier des charges fonctionnel : Élaboration et rédaction", AFNOR, Août 2006.
- [Cal 90] Calvez J. P., "Spécification et conception des systèmes, une méthodologie", Éditorial MASSON, pags. 3-17, 167-172, 1990.
- [Cha 06] Chamseddine N. "Application de méthodes formelles de vérification sur un exemple de système automatisé", Rapport du master SMIS, LAAS-CNRS, Toulouse, France. 2006.
- [Che 06] Chelouah Rachid, Baron Claude, Rochet Samuel, "Ant colonies algorithm and Genetic algorithm hybridized with taboo and greedy searches to optimize a project management application", Revue, Laboratoire d'Étude des Systèmes Informatiques et Automatiques (LESIA), 2006.
- [CRG 04] Clermont P., Rakoto H., Geneste L., "Instanciation d'un système de retour d'expérience pour un processus de maintenance", 6^{ème} Congrès International de Génie Industriel 2005, Besançon.
- [Cro 92] Cros.T., "Maîtriser les projets avec l'extreme programming, Pilotage par les tests-client". CEPADULES-EDITIONS. 1992.
- [Den 06] Dennerly M., "Piloter un projet de formation : De l'analyse de la demande au cahier des charges", Éditeur ESF; 4e édition, Mar 2006.
- [Dje 04] DJEBBI O., "MDA : Vers l'industrialisation de la construction d'applications répartie", Rapport Bibliographique, DEA SIR (Systèmes Informatiques Répartis), LIP6 (Laboratoire d'informatique Paris 6), 2004.
- [Dua 06] Duarte H., "Mise au point de la Plate-forme HiLeS", Rapport du master, LAAS-CNRS, Juillet de 2006.
- [Esq 99] Esquirol P., Lopez P., "L'ordonnancement", Éditorial ECONOMICA, pags. 13-46, 1999.

- [FGG 04] Favier J., Gau S., Gavet D., Rak I., Teixido C., "Dictionnaire des sciences de l'ingénieur, La bibliothèque Foucher", 2^e édition, 2004.
- [GBDE 06] Gutiérrez C., Baron C., Duarte H., Esteve D., "Design and Project Management: their coordination on a platform of interoperable tools", INCOM2006, Saint Etienne, France, Mai 2006.
- [Gut 05] Gutiérrez C., Baron C., Geneste L., Clermont P (2005). Esteve D., Rochet S., "How to interconnect Product Design and Project Management including Experience Feedback and Reusability Requirements", IEEE 2005 International Conference on Information Reuse and Integration, Las Vegas, NV, USA., August.
- [Ham 05] Hamon J. C., Thèse : "Méthodes et outils de la conception amont pour les systèmes et les microsystèmes", LAAS-CNRS, Février de 2005.
- [HEP 03] J.C HAMON, D. ESTEVE, P. PAMPAGNIN. "HiLeS Designer: A Tool For Systems Design". CONVERGENCE 03: Aeronautics, Automobile & Space International Symposium. Paris (France), 1-3 December 2003.
- [IEE 98] "IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process", Document Number: IEEE 1220-1998, Institute of Electrical and Electronics Engineers, ISBN: 073811543601-May-1998.
- [Eis 01] J Eisner .H., "Essentials of project and systems engineering management". Second Edition. WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION. 2001.
- [Jam 98] James N. Martin, "Processes for Engineering a System" TUTORIAL, Overview of the EIA 632 Standard, Adresse: http://sepo.spawar.navy.mil/632_Tutorial.pdf
- [Jug 05] Jugieu D., Thèse "Conception et Réalisation d'une matrice de Microéjecteurs Thermique adressable individuellement pour la fonctionnalisation de BioPuce", LAAS-CNRS, Mars 2005
- [Kad 05] Kadima H., "MDA, Conception orientée objet guidée par les modèles ", Edi. DUNOD, Paris 2005.
- [KoS 03] Kossiakoff A., Sweet W., "Systems engineering, principles and practice ", Éditeur Hoboken, N.J. , Wiley-Interscience, 2003.
- [Mau 05] Rémy M., Thèse : "Contribution à la méthodologie de conception système : application à la réalisation d'un microsystème multicapteurs communicant pour la génie civil", LAAS-CNRS, Décembre de 2005.
- [Mar 03] Marvie R., "Vers des patrons de méta-modélisation", Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille, Université des Sciences et Techniques de Lille, 2003.

Adresse : <http://www.valoria.univ-ubs.fr/Jacques.Malenfant/ALP.OCM/Journee2003/Marvie.pdf>

- [MDA 03] En ligne, Adresse : <http://www.omg.org/mda>
- [MGG 02] Maders H-P., Gauthier E., Gallas T., "Conduire un projet d'organisation, Guide Méthodologique", Editions d'Organisation, TREND, 2002.
- [Mei 98] Meinadier J-P, "Ingénierie et intégration des systèmes" Éditorial HERMES, pag 31-45, Paris 1998.
- [Met 06] Metratech Méthodes - Transferts - Technologies. En ligne, Adresse : http://www.metratech.net/spip/article.php3?id_article=29
- [MGG 03] Maders H., Gauthier E., Gallais C., "Conduire un projet d'organisation", Guide méthodologique, Éditions d'Organisation, Paris France, 2003.
- [MHL 06] Morley C., Hugues J., Leblanc B., "UML2 pour l'analyse d'un système d'information : Le cahier des charges du maître d'ouvrage", Éditeur : Dunod; Édition : 3e édition, Jan 2006.
- [MiM 03] Miller J. et Mukerji J., "MDA Guide Version 1.1", 12 Juin 2003, Document number omg/2003-06-01.
- [Mul 97] Muller Pierre-Alain, Gaertner Natalie "Modélisation objet avec UML", Deuxième édition, Ed. Eyrolles, 1997.
- [Nas 05] Nassar M, Thèse : "Analyse/conception par points de vue : le profil UML", Institut National Polytechnique de Toulouse, École doctorale : Informatique et Télécommunications, Spécialité en Informatique, Septembre de 2005, pages. 33-34.
- [OMG 00] XML Metadata Interchange (XMI), Specification v.1.1., En ligne, Adresse : <http://www.omg.org>
- [Pia 04] Piazza Laurent, "Conception et réalisation de l'environnement d'un microsystème de dépôt localisé pour la synthèse de l'ADN in situ sur les biopuces à l'aide d'un nouvel outil de conception système", Rapport de Stage, Toulouse France, 2004.
- [Pen 02] Penders T., "Introduction à UML ", OEM, Paris, 2002.
- [PHM 04] Piazza L., Hamon J.C., Maurice R., Esteve D., Gue A.M., " Conception et réalisation de l'environnement d'un microsystème de dépôt localisé pour la synthèse de l'ADN à l'aide du logiciel HiLeS-Designer", Rapport LAAS N° 04141, LAAS-CNRS, Février 2004.

- [Rak 04] Rakoto H., Thèse : "Intégration du retour d'expérience dans les processus industriels", INP Toulouse le 15 octobre 2004.
- [RBS 04] Robbes R. Bouraqadi N. Stinckwick S., Thèse "Un modèle multi-agent unifiant les notions de groupe et d'aspect", École des Mines de Douai, Dept. G.I.P., 2004.
- [Roc 04] Rochet S., "Étude des Méthodes d'optimisation par algorithme génétique et développement d'un exemple en conception système et organisation de la conception", Rapport de stage, LESIA, Équipe SFS, INSA Toulouse, 2004.
- [Roc 05] Rochet S., Hamon J.C., Gutiérrez C., Baron C., Estève D. "Vers une démarche de conception cohérente : Proposition d'une méthode et d'outils pour la gestion des alternatives de conception", 6e Congrès international de génie industriel, juin 2005, Besançon (France).
- [SBY 88] G. Steele, S. Byers, D. Young, and R. Moore., "An analysis of injection molding by Taguchi methods ", *Proceedings of ANTEC '88 Conference*, 1988.
- [SPEC 00] En ligne, Adresse : http://www.omg.org/technology/documents/spec_catalog.htm
- [UML 01] Unified Modeling Language (UML), OMG Document formal/2001-09-67, Septembre 2001, En ligne, Adresse : <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/01-09-67>
- [Ush 98] Usher, R-M., Utpal, H-R. Parsaei. "Integrated Product and Process Development, Methods ; Tools, and Technologies". Wiley Series in Engineering Design and Automation. 1998.
- [VeJ 06] Verries Jean, "Méthodes de conception systèmes appliquées à un robot de dépôt localisé pour la synthèse in situ de l'ADN", Rapport du master, Toulouse France 2006.
- [Ver 03] Vera Serrano A., "Herramienta Software para la Planificación Estructurada de Proyectos", Proyecto de fin de carrera, Universidad de Castilla-La mancha, España, Octubre 2003.
- [War 89] Warner J.C., O'Connor J., "Molding Process is improved by Using the Taguchi Method", *Modern Plastics*: 65-68, 1989.
- [XML 02] XML Metadata Interchange (XMI), OMG Document formal/2000-11-02, Novembre 2001, En ligne, Adresse : <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/2000-11-02>
- [Yac 04] Yacoub M., Thèse "Conception Des Systèmes : Évaluation Technico-Economique et Aide à la Décision dans la Conduite d'un Projet « Recherche »", LAAS-CNRS, Toulouse, Juillet 2004.
- [Zam 04] Zamilpa C., Thèse "Conception de Systèmes Séquentiels Adaptatifs par Identification Génétique", LESIA-INSA, Toulouse, Juillet 2004.

Annexe A

Pour l'aboutissement des tâches du projet Robot BioPuce déjà décrites sur le Tableau 4-6 du chapitre 4, nous avons suivi des méthodes de planification de projet. Ceci afin de :

- Identifier les tâches constituant le projet
- Organiser les tâches dans le temps.
- Évaluer les dépendances entre tâches.
- Évaluer l'effort nécessaire pour chaque tâche (durée maximum et minimum).
- Affecter les ressources (personnel, matériels, outils...) aux tâches.

Cette annexe regroupe ces cinq points et présente sur des diagrammes de Gantt le travail que nous avons effectué de façon manuelle. La démarche suivie a pris comme exemple le graphe disponible dans le paragraphe 4.4.1, à partir duquel nous avons tiré diverses façons de les organiser pour définir une stratégie d'obtention des alternatives de réalisation des tâches du projet BioPuce.

Notre plan pour l'obtention des alternatives de tâches, comporte les critères suivants :

1. Respecter la charge de travail (de 8 heures par jour) que chaque participant doit accomplir.
2. Fixer les tâches et participants qu'il n'est pas possible de changer.
3. Respecter la durée et les précédences assignées à chaque tâche.
4. Possibilité de maîtriser le coût des tâches.
5. Possibilité de maîtriser les ressources requises

Ainsi, la stratégie suivie nous a permis d'obtenir un premier diagramme de Gantt. Dans ce diagramme, les tâches 0, 1, 2 et 6 ont été fixées au début en

considérant sa durée et en respectant les précédences, après nous avons associé le participant ou responsable à chaque tâche.

	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Tâche 0	J Verries 10,000 € 30 jours	J Verries 10,000 € 30 jours	J Verries 10,000 € 30 jours	J Verries 5,000 € 15 jours	J Verries 5,000 € 15 jours		
Tâche 1		F Mathieu 10,000 € 30 jours	F Mathieu 3,500 € 10 jours	F Mathieu 5,000 € 15 jours	F Mathieu 2,500 € 5 jours		
Tâche 2	M Dumontel 10,000 € 30 jours	M Dumontel 10,000 € 30 jours	M Dumontel 5,000 € 15 jours	M Dumontel 3,500 € 10 jours	M Dumontel 2,500 € 5 jours	M Dumontel 3,500 € 10 jours	
Tâche 3			5,000 € 15 jours J Verries	M Dumontel 5,000 € 15 jours F Mathieu	M Dumontel 2,500 € 5 jours F Mathieu		
Tâche 4			M Dumontel 3,000 € 10 jours F Mathieu	M Dumontel 3,000 € 10 jours	M Dumontel 2,500 € 5 jours	M Dumontel 3,500 € 10 jours	
Tâche 5					BSA		
Tâche 6			F Mathieu 3,000 € 10 jours	Salle Blanche LAAS	M Dumontel 2,500 € 5 jours F Mathieu	3,000 € 10 jours	3,000 € 10 jours
Tâche 7				2,500 € 5 jours A. M. Gut	J Verries 5,000 € 15 jours	A. M. Gut 3,000 € 10 jours	

FIGURE A-1. Premier choix de réalisation des tâches du Projet Robot BioPuce

Ensuite, nous avons étudié la meilleure façon de combiner les tâches 3, 4, 5 et 7, en respectant toujours la durée et les précédences, mais pour ces 4 tâches nous sommes assurés de respecter la charge de travail de chaque participant par mois. Le résultat graphique de cette étude nous a amené à l'obtention du diagramme de Gantt de la Figure A-1.

Nous avons effectué une analyse méticuleuse, et avons enfin obtenu la première alternative de réalisation (Alternative 1) de chacune des tâches, donnant la solution suivante :

Pour la Tâche 0 :

2 Ressources prévues (1 électronicien/informaticien <ei> et 1 ordinateur <PC1>) avec un coût de 40,000€ et une durée de 5 mois.

Pour la Tâche 1 :

2 Ressources prévues (1 électronicien <e> et 1 ordinateur <PC2>) avec un coût de 22,900€ et une durée de 4 mois.

Pour la Tâche 2 :

2 Ressources prévues (1 technologue <t> et 1 ordinateur <PC3>) avec un coût de 36,600€ et une durée de 5.5 mois.

Pour la Tâche 3 :

4 Ressources prévues (1 électronicien/informaticien <ei>, 1 électronicien <e>, 1 technologue <t> et 1 ordinateur <PC3>, à partager avec la tâche 2, car le participant est le même avec) avec un coût de 24,100€ et une durée de 2 mois.

Pour la Tâche 4 :

4 Ressources prévues (1 électronicien <e>, 1 technologue <t> et 2 ordinateurs <PC3 et PC3>) avec un coût de 21,500€ et une durée de 4 mois.

Pour la Tâche 5 :

1 Ressource prévue (1 mécanique extérieur <ST1>) avec un coût de 20,000€ et une durée de 1 mois.

Pour la Tâche 6 :

4 Ressources prévues (1 mécanique extérieur <ST2>, 1 électronicien <e>, 1 technologue <t> et 1 ordinateur <PC3>) avec un coût de 25,100€ et une durée de 2 mois.

Et pour la Tâche 7 :

7 Ressources prévues (1 manager <ma>, 1 électronicien/informaticien <ei>, 1 électronicien <e>, 1 technologue <t> et 2 ordinateurs <PC1 et PC2>) avec un coût de 34,500€ et une durée de 2 mois.

Afin d'avoir au moins 5 alternatives de chaque tâche nous avons suivi la même stratégie de l'alternative 1, donnant lieu aux Diagrammes de Gantt que nous montrons ensuite.

Alternative 2

	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Tâche 0	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 5,000 €	J. Verries 10,000 €		
Tâche 1		F. Mathieu 10,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €		
Tâche 2	M. Dumonteil 10,000 €	M. Dumonteil 10,000 €	M. Dumonteil 3,000 €	M. Dumonteil 10,000 €	M. Dumonteil 10,000 €	M. Dumonteil 10,000 €	
Tâche 3				M. Dumonteil 3,500 €	M. Dumonteil 2,500 €		
Tâche 4			M. Dumonteil 7,000 €	M. Dumonteil 3,500 €	M. Dumonteil 2,500 €	M. Dumonteil 3,500 €	
Tâche 5						INSA	
Tâche 6				Salle Blanche LAAS F. Mathieu 5,000 €	M. Dumon 2,500 €		
Tâche 7					A. M. Gué 10,000 €	A. M. Gué 10,000 €	10,000 €
						M. Dumon 3,000 €	
						F. Mathieu 10,000 €	
						J. Verries 10,000 €	

Alternative 3

	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Tâche 0	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 5,000 €		
Tâche 1		F. Mathieu 10,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €		
Tâche 2	M. Dumontel 10,000 €	M. Dumontel 10,000 €	5,000 €	M. Dumontel 3,500 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,500 €	
Tâche 3				M. Dumontel 6,500 €	M. Dumontel 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €	
Tâche 4			F. Mathieu 5,000 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,500 €	
Tâche 5					INSA		
Tâche 6				Salle Blanche LAAS F. Mathieu 5,000 €	M. Dumon 1,000 €		
Tâche 7					A. M. Gué 20,000 €	A. M. Gué 3,000 €	20,000 €
						F. Mathieu 5,000 €	3,000 €
						J. Verries 5,000 €	5,000 €

Alternative 4

	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Tâche 0	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 10,000 €	J. Verries 5,000 €		
Tâche 1		F. Mathieu 10,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €		
Tâche 2	M. Dumontel 10,000 €	M. Dumontel 10,000 €	5,000 €	M. Dumontel 3,500 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,500 €	
Tâche 3				M. Dumontel 6,500 €	M. Dumontel 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €	
Tâche 4			F. Mathieu 5,000 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,000 €	M. Dumontel 3,500 €	
Tâche 5					INSA		
Tâche 6				Salle Blanche LAAS M. Dumon 5,000 €	F. Mathieu 5,000 €		
Tâche 7					A. M. Gué 20,000 €	A. M. Gué 3,000 €	20,000 €
						F. Mathieu 5,000 €	3,000 €
						J. Verries 5,000 €	5,000 €

L'analyse des alternatives précédentes donne comme résultat l'information illustrée sur le tableau suivant.

	<i>Alternative 1</i>	<i>Alternative 2</i>	<i>Alternative 3</i>	<i>Alternative 4</i>
Tâche 0	No Ressources = 2 Coût = 40,000€ Durée = 5 mois	No Ressources = 2 Coût = 45000€ Durée = 5 mois	No Ressources = 2 Coût = 45000€ Durée = 5 mois	No Ressources = 2 Coût = 45000€ Durée = 5 mois
Tâche 1	No Ressources = 2 Coût = 22,900€ Durée = 4 mois	No Ressources = 2 Coût = 26,900€ Durée = 4 mois	No Ressources = 2 Coût = 26,900€ Durée = 4 mois	No Ressources = 2 Coût = 26,900€ Durée = 4 mois
Tâche 2	No Ressources = 2 Coût = 36,600€ Durée = 5.5 mois	No Ressources = 3 Coût = 46,600€ Durée = 5.5 mois	No Ressources = 2 Coût = 37,100€ Durée = 5.5 mois	No Ressources = 2 Coût = 37,100€ Durée = 5.5 mois
Tâche 3	No Ressources = 4 Coût = 24,100€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 18,100€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 18,600€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 18,600€ Durée = 2 mois
Tâche 4	No Ressources = 4 Coût = 21,500€ Durée = 4 mois	No Ressources = 4 Coût = 25,500€ Durée = 4 mois	No Ressources = 4 Coût = 18,500€ Durée = 4 mois	No Ressources = 4 Coût = 18,500€ Durée = 4 mois
Tâche 5	Ressource = 1 Coût = 20,000€ Durée = 1 mois	Ressource = 1 Coût = 20,000€ Durée = 1 mois	Ressource = 1 Coût = 20,000€ Durée = 1 mois	Ressource = 1 Coût = 20,000€ Durée = 1 mois
Tâche 6	No Ressources = 4 Coût = 25,100€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 9,600€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 8,100€ Durée = 2 mois	No Ressources = 4 Coût = 12,100€ Durée = 2 mois
Tâche 7	No Ressources = 7 Coût = 34,500€ Durée = 2 mois	No Ressources = 7 Coût = 47,000 € Durée = 2 mois	No Ressources = 7 Coût = 37,000 € Durée = 2 mois	No Ressources = 7 Coût = 37,000 € Durée = 2 mois

TABLEAU T-1. Représentation des alternatives de réalisation des tâches du
Projet Robot BioPuce

Annexe B

L'information d'entrée est adaptée à l'outil GESOS, et a été illustrée dans le tableau de l'annexe A. Elle doit être spécifiée dans l'ordre que nous allons ensuite décrire :

- 1) Indiquer le nom avec lequel nous allons identifier le projet
- 2) Fixer le nombre de critères à analyser
- 3) Donner la valeur optimale de chaque critère
- 4) Indiquer les valeurs de Taguchi fixés pour chaque critère
- 5) Fixer le nombre de ressources du projet
- 6) Indiquer un identifiant pour chaque ressource fixée ainsi que sa valeur maximale disponible
- 7) Fixer le nombre de tâches
- 8) Indiquer un nom ainsi qu'un identifiant « unique » à chaque tâche fixée
- 9) Indiquer un nombre d'alternatives pour réaliser la tâche
- 10) Préciser le nom de l'alternative
- 11) Donner la valeur optimale de chaque critère liée à l'alternative
- 12) Fixer le nombre de ressources nécessaires pour l'alternative
- 13) Indiquer le numéro de la ressource et la quantité de ressources à utiliser pour l'alternative
- 14) Répéter du point 7 au point 12 jusqu'à détailler toutes les tâches
- 15) Indiquer combien de choix ont été indiqués dans le graphe du projet en question
- 16) Donner les identifiants de tous les choix du graphe
- 17) Donner un identifiant du nœud de départ et du nœud final du graphe de projet
- 18) Indiquer combien de "et" logiques « and » entre les plusieurs tâches dispose le graphe du projet
- 19) Donner un identifiant pour chaque « and », et finalement
- 20) Indiquer le nombre de sommets du graphe de projet

Voici, notre exemple qui détaille le graphe tiré du Projet BioPuce (Figure 4-13) et que nous avons fourni comme données d'entrée à GESOS sous le format suivant :

Robot fabric BioPuce		Nom du projet
2		nombre de critères
180	900,000	valeur de chaque objectif [durée, coût]
3.00	2.00	valeur de taguchi
2		nombre de ressources
0	6.0	identificateur de la ressource et sa valeur maximale disponible
1	3.0	identificateur de la ressource et sa valeur maximale disponible
8		nombre de tâches
tache1	1	nom et identifiant de la tâche
2		nombre d'alternatives
alter0		nom de l'alternative
165	56,500	valeurs de chaque objectif nécessaire [durée coût]
2		nombre de ressources
0	1.0	numéro de la ressource, unité de ressource
0	1.0	numéro de la ressource, unité de ressource
alter1		
165	55,000	
1	1.0	
1	1.0	
tache2	2	
2		
alter0		
180	62,000	
2		
0	1.0	
0	1.0	
alter1		
180	63,500	
1	1.0	
1	1.0	
tache3	3	
2		
alter0		
180	60,000	
2		
0	1.0	
0	1.0	
alter1		
180	70,000	
1	1.0	
1	1.0	
tache4	4	
1		
alter0		
60	35,000	
2		
0	1.0	
0	1.0	
tache5	5	
1		
alter0		
120	120,000	
2		
0	1.0	
0	1.0	
tache6	6	
1		
alter0		
30	100,000	
0		
0	0	
0	0	
tache7	7	
1		
alter0		
60	195,000	
2		
1	1.0	
2	3.0	
tache8	8	
3		
alter0		
60	20,000	
2		
0	1.0	
0	1.0	
alter1		
60	30,000	
1	1.0	
1	1.0	
alter2		
60	60,000	

2	1.0	
2	1.0	
nombre de choix 1	nombre de "choix"	
0	0	ID du nœud de départ ID nœud d'arrivée
nombre de ands 1	nombre de "ands"	
9	ID du "And"	
nombre de sommets	nombre de sommets (relation successeur)	
0	2	
4	6	1 3
5	7	

Le résultat graphique que GESOS produit une fois qu'il a effectué la sélection et optimisation des scénarios est illustré dans la Figure B-1. Cette image indique clairement quelle est l'alternative à considérer pour chaque tâche (indiquée dans la ligne « Tâches »), le numéro du choix qu'il a pris, un coût, la durée totale estimée et le scénario qu'il propose comme étant le meilleur.

```

evaluation
generation 30/30 ==> 5/5 ind dans le front
Solution trouvee en 0.0 secondes
+-----+
Taches   : 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1
Choix    : 0
+ Duree   : 615.000000
+ ->Perte : 189225.000000
+ Cout    : 584000.000000
+ ->Perte : 9985598976.000000
+ ->Surcout : 99856187392.000000
+-----+
<Tache 0 , Option 0>-->1
<Tache 1 , Option 0>-->2 -->3 -->4
<Tache 2 , Option 0>-->8
<Tache 3 , Option 0>-->8
<Tache 4 , Option 0>-->5
<Tache 5 , Option 0>-->8
<Tache 8 , Option 1>-->6
<Tache 6 , Option 0>-->11
<Tache 11 , Option 1>
Appuyez sur une touche pour continuer...

```

FIGURE B-1. Écran de résultats proportionnés par GESOS