Contribution à la conduite d'étude de faisabilité de systèmes de fabrication

Luc Lossent

▶ **To cite this version:**

Luc Lossent. Contribution à la conduite d'étude de faisabilité de systèmes de fabrication. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1997. Français. NNT : 1997NAN10269 . tel-01747543

HAL Id: tel-01747543
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747543

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université Henri Poincaré, NANCY 1
U.F.R. S.T.M.I.A.
Ecole Doctorale IAE + M
DFD Automatique et Production Automatisée

S.C.D. - U.H.P.
NANCY 1
SCIENCES
BIBLIOTHÈQUE

Thèse présentée

à

l'Université Henri Poincaré

pour l'obtention du

Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1

Spécialité **Production Automatisée**

par

Luc LOSSENT

CONTRIBUTION A LA CONDUITE D'ETUDE DE FAISABILITE DE SYSTEMES DE FABRICATION

Soutenue publiquement le 20 Octobre 1997 devant la commission d'examen composée de :

Rapporteurs :	J-J. LESAGE	Professeur à l'ENS. de Cachan
	P. CHEDMAIL	Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes
Examinateurs :	C. HUMBERT	Professeur à l'ESSTIN, UHP
	G. RIS	Professeur à l'ESIAL, UHP
	J-M. POUARD	Ingénieur, Responsable du conditionnement aux Brasseries de Champigneulles
Directeur de thèse :	P. MARTIN	Professeur à l'ENSAM, METZ

Sommaire page 1

Glossaire page 3

Introduction page 4

Chapitre 1 La problématique dans la conception-réalisation de systèmes de fabrication

Sommaire détaillé page 7

1. Introduction aux systèmes de fabrication page 8

2. Présentation des structures industrielles page 10

3. L'ingénierie des systèmes de fabrication page 11

4. Le Produit, la Pièce et le Système de Fabrication page 19

5. L'homme face au système de fabrication page 24

6. Les intégrations page 25

7. La coopération page 32

8. Conclusions page 33

Chapitre 2 Méthodologies générales de conception-réalisation de systèmes

Sommaire détaillé page 35

1. Introduction page 36

2. Les différentes phases de l'ingénierie page 37

3. Les différentes phases du cycle de vie d'un système de fabrication page 39

4. Les modèles de cycle de vie page 43

5. Les méthodes de conception et de représentation de produit page 47

6. Les méthodes de conception de système de production page 54

7. Les méthodes d'analyse en conception page 60

8. Conclusions page 64

Chapitre 3 La simulation et la validation de parties opératives

Sommaire détaillé page 67

1. Introduction page 68

2. La simulation de flux page 68

3. La simulation de partie commande et de partie commande page 70

4. Les simulations de mécanismes page 72

4. La simulation robotique page 77

6. Les outils de validation de solutions non simulables page 79

7. Conclusions page 87

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

Chapitre 4 Méthodologie d'études de faisabilité de système de fabrication

Sommaire détaillé page 89
1. Introduction page 90
2. Etudes de faisabilité, intégration dans le cycle de conception-réalisation page 90
3. Vers une aide à la conduite d'étude de faisabilité de système de fabrication page 92
4. La syntaxe page 94
5. Les activités de définition d'un projet page 97
6. Le bilan des activités de définition, la vue "définition de la faisabilité" page 105
7. Les activités de recherche page 106
8. La mise en place de solutions faisables et la réalisation page 108
9. L'évolution des activités page 110
10. Le bilan final, la vue "faisabilité" page 111
11. L'amplification des contraintes page 113
12. L'estimation des performances de la méthodologie page 114
12. Conclusions page 116

Chapitre 5 Exemples de cas industriels étudiés

Sommaire détaillé page 118
1. Présentation page 119
2. Le projet du formeur de nappes page 119
3. Le projet du Système Flexible de Production (SFP) page 133
4. Conclusions des applications page 148

Chapitre 6 Le bilan

Sommaire détaillé page 151
1. Les limites de la méthodologie page 152
2. Les perspectives page 153
3. Les conclusions générales page 155

Bibliographie page 158
Annexes page 171

Glossaire et abréviations :

Etude de faisabilité : nous utilisons cette expression pour désigner une étude dont l'objectif principale est de conclure sur les possibilités de fonctionnement technique d'un système.

Contexte concourant : nous désignons un environnement de travail ou l'organisation, les méthodes, les outils utilisés sont du domaine de l'ingénierie concourante.

Ingénierie concourante : nous associons à ce terme les notions de parallélisme ;

- de travail sur des sous-systèmes,
- des phases d'étude de faisabilité d'un système,

ainsi que les notions de concurrence et d'intégrations.

API : Automate Programmable Industriel

AIPL : Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs effets et de leurs criticités

CMAO : Conception de Mécanismes Assistée par Ordinateur

DFM : Design For Manufacturing

FAST : Function Analysis System Technic

Gestion de configuration : également appelé Système de configuration de produits ou Product configuration management, permet de désigner un SGDT avec une gestion des nomenclatures, des versions et des documents associés.

PRIMECA : Pôle de Ressource Informatique pour la MECAnique

GDT : Gestion de Données ou de Documents Techniques

QFD : Quality Function Deployement

PC : Partie Commande

PO : Partie Opérative

SADT : Structured Analysis and Design Technic

SGBD = Système de Gestion de Base de Données : c'est un technologie informatique qui gère des informations ou des données structurées.

SGDT = Système de Gestion de Données (ou de Documentation) Techniques : sert à la gestion des données de production (gammes, articles, nomenclatures ...) et à celles des données du cycle de vie d'un système ou d'un produit.

SFP : Système Flexible de Production situé à l'AIP Lorrain

- Introduction au mémoire

Nous présentons dans ce mémoire les travaux de recherche menés au sein de l'équipe d'Ingénierie de la Conception et de la Fabrication (ICF) du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN), dans le domaine des Systèmes de Fabrication. Nous situons nos investigations dans le cadre de la démarche PRIMECA [PRI 90] où nous travaillons sur les aspects **mécanique** des Systèmes de Fabrication et leurs interactions avec les aspects **commande**. Il s'agit bien de Conception de systèmes Mécaniques, terme avancé dans le projet PRIMECA sous la désignation: Conception de produit et de systèmes Mécaniques Assistée par Ordinateur (CMAO). Pour certains projets industriels, de recherche ou pédagogiques, nous utilisons les moyens situés à l'Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain (AIP Lorrain), notamment pour les aspects de **maquettage** et de **prototypage** de Systèmes de Fabrication.

Ces projets sont menés dans le cadre de différents sites universitaires:

-l'Université Henri Poincaré (UHP) avec l'Ecole Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nancy (ESSTIN), l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies de l'Industrie du Bois (ENSTIB) à Epinal et différentes équipes du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN).

-l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA).

Certains projets font intervenir également des élèves de différentes années et de différentes filières de ces mêmes écoles.

Les projets réalisés avec nos partenaires industriels sont issus de différents domaines: sidérurgie, automobile, alimentaire, ferroviaire, bois... Les entreprises avec lesquelles nous avons travaillé sont en majorité des PME-PMI où des services de grands groupes de la taille de ces entreprises. Ces diversités sont sources de flexibilité et de richesses mais induisent **rigueur** et **méthode** pour cerner les problèmes et les résoudre.

Au cours des différents projets, nous sommes principalement confrontés en phase de conception, notamment en recherche et développement, aux **études de faisabilité** des **Systèmes de Fabrication**. Il s'agit essentiellement de la **faisabilité de principe de fonctionnement.**

Les travaux réalisés avec ces supports d'expérience industrielle dans le domaine de la faisabilité, domaine actuellement **peu formalisé**, nous ont amené à proposer une méthodologie pour aider les **partenaires** d'un projet à **conduire des études de faisabilité de systèmes de fabrication**. C'est une méthodologie permettant l'intégration et le travail en **ingénierie concourante** où une

méthode et un langage commun permettent la communication entre différents métiers. La méthodologie formalise les évènements compte tenu de la diversité et de l'importance de la créativité dans le domaine de la faisabilité. Cette méthodologie est basée sur une démarche inductive.

Nos fournisseurs de projets constituent notre **support d'expérience** et de **compétence** pour le développement de la méthodologie proposée.

D'autre part les travaux menés dans le cadre universitaire, entrainent des applications pédagogiques dans les différentes filières concernées.

Dans la première partie, nous situons les problèmes liés à la conception de système de fabrication dans la phase de **faisabilité de fonctionnement**. Ces problèmes dépendent des **produits** fabriqués, de l'**environnement** industriel ,des **hommes** et des **méthodes** de travail actuelles.

Dans une seconde partie, nous dressons un bilan des méthodes approchant le concept d'étude de faisabilité, ces méthodes sont connexes aux domaines de **conception** ou de reconception de produits ou de systèmes de production. Elles répondent mal aux attentes des industriels en PME-PMI, notamment dans le cas de conception et de réalisation de systèmes de fabrication. Elles ne sont pas adaptées aux phases d'études de faisabilité de fonctionnement d'un système, en particulier dans la gestion des délais et des ressources. Elles ne fournissent pas suffisamment d'indications sur le déroulement des démarches d'études et sur leurs liens avec l'environnement humain, matériel et méthodologique. D'autre part, les méthodes liées à la conception véhiculent des quantités d'informations très importantes et différentes de celles nécessaires en faisabilité. Ces méthodes s'appliquent sur des outils lourds à mettre en oeuvre.

La troisième partie décrit les outils utilisés principalement pendant l'étude de faisabilité dans le cadre d'abord de la simulation puis dans la réalisation de maquettes et de prototypes.

Suite à ces bilans, nous proposons à la quatrième partie une méthodologie de conduite d'étude de faisabilité de système de fabrication. Cette méthodologie fait appel à une représentation associée à une sémantique pour favoriser la communication lors du déroulement d'un projet et visant à structurer la démarche.

Dans la cinquième partie, nous présentons deux applications représentatives validant différents aspects de la méthodologie présentée dans des environnements différents. La première application est réalisée en industrie et supporte le développement d'une maquette pour prouver la faisabilité du système retenu.

La seconde application effectuée en milieu universitaire, présente le prototypage d'une solution adoptée comme support de travaux pratiques dans le cadre de l'automatisation et de la productique.

En annexe sont présentées succinctement d'autres applications réalisées ainsi que leurs particularités vis à vis de la méthodologie présentée.

Nous concluons en sixième partie, en abordant les perspectives et développements en cours et à venir.

Sommaire détaillé

Chapitre 1: La problématique dans la conception-réalisation de systèmes de fabrication

1. Introduction aux systèmes de fabrication page 8
2. Présentation des structures industrielles page 10
3. L'ingénierie des systèmes de fabrication page 11
3.1. Définition d'un système de fabrication page 11
3.2. La vie d'un système de fabrication page 12
3.3. Les Evolutions de la conception-réalisation. Les organisations d'ingénierie page 14
3.3.1. L'ingénierie séquentielle page 14
3.3.2. L'ingénierie concourante page 15
4. Le Produit, la Pièce et le Système de Fabrication page 19
4.1. Historique, la situation passée page 22
4.2. La situation actuelle page 22
4.3. La comparaison des situations page 22
4.4. La vue Produit-Procédé-Processus-Ressources page 24
5. L'homme face au système de fabrication page 24
6. Les intégrations page 25
6.1. Intégration humaine page 27
6.2. Intégration de compétences page 28
6.3. Intégration matérielle page 29
6.4. Intégration des systèmes informatiques page 31
6.5. Intégration au niveau du contrôle-commande page 31
7. La coopération page 32
8. Conclusions page 33

Chapitre 1 : La problématique dans la conception-réalisation de systèmes de fabrication

1. Introduction aux systèmes de fabrication

Les entreprises possèdent des outils de production constitués de différents systèmes de fabrication propres à leur domaine. Ces systèmes de fabrication sont constitués de machines standards plus ou moins flexibles et de machines spécifiques aux processus ou aux produits.

La concurrence pousse les entreprises à concevoir et développer leur produit dans des délais de plus en plus courts, nous voyons apparaître de nombreux outils et méthodes de conception et de fabrication de produits [FUR 96]. Peu d'outils et de méthodologies ne sont par contre proposés dans le domaine de la conception de systèmes de fabrication pour aider le concepteur dans sa tâche [CHA 91], [GAR 92].

Cela est d'autant plus flagrant dans les phases amont du cycle de conception d'un système. Ces phases; appelées **faisabilité** et **validation** [PRI 90], commencent par les expressions et les spécifications du besoin et vont jusqu'à la mise en place de l'avant-projet du système de fabrication, souvent concrétisé par la rédaction d'un cahier des charges.

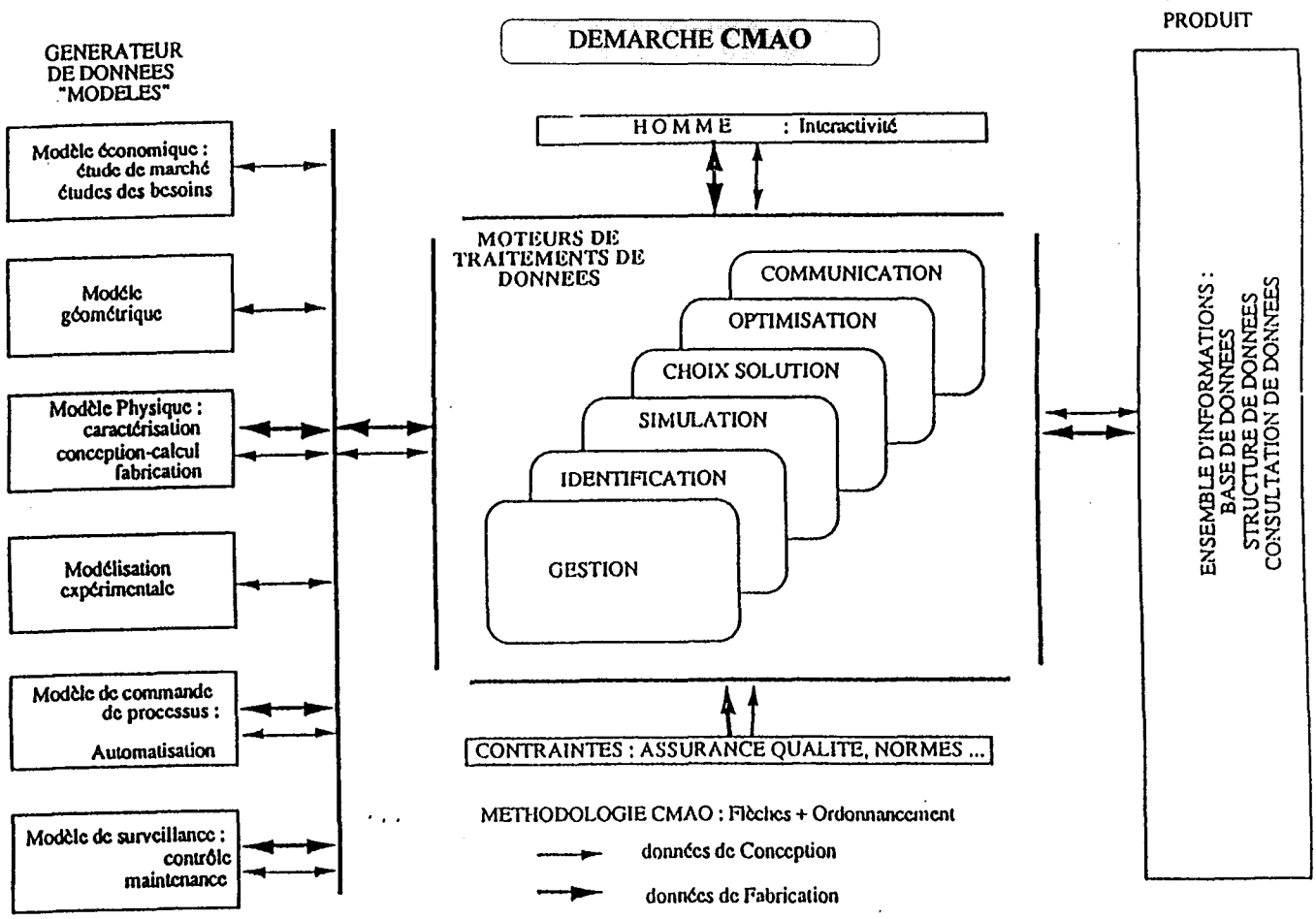


Figure 1.1 : *Le système intégré dans PRIMECA* [PRI 90]

La **difficulté** de trouver des méthodologies dans ces phases s'explique par:

- la **spécificité** et la **complexité** des études de faisabilité lié à une approche multi-métiers,
- la place de la **créativité** et la difficulté de la gérer dans le temps,
- le **rôle multiple de l'homme**; donneur d'ordre, concepteur, utilisateur...,
- un **horizon variable** de prise de décisions et de flux d'informations,
- les **expérimentations** quasi impossibles,
- **l'absence de mémorisation**,
- les **contraintes économiques**.

D'autre part la contrainte de tenue des délais ne permet pas de faire de la méthode en parallèle au travail de conception-fabrication. Enfin la concurrence, la compétitivité induisent un cloisonnement des équipes de recherche et développement, provoquent la mise en place de protections autour des procédés et des technologies par des brevets, et entraîne une faible diffusion des outils et méthodes utilisés.

Par analogie à la conception de produit, il est reconnu que 70 à 80% des coûts d'un système sont issus des phases de conception. Les résultats ou les choix effectués à la suite d'études de faisabilité engagent l'entreprise dans des voies plus ou moins simples, plus ou moins coûteuses et plus ou moins rapides.

Ces machines spéciales ou ces systèmes de fabrication impliquent une conception et une réalisation particulières nécessitant souvent des études de faisabilité afin de valider les différentes fonctions demandées.

Nous nous plaçons donc dans un contexte de réalisation **sur mesure**, à l'inverse de la conception-réalisation de machine-outil par exemple, où cette phase débouche sur une machine **catalogue** comportant un certain nombre d'option pour s'adapter sans étude particulière aux besoins des clients. Il s'agit dans ce cas d'une **démarche produit**.

La réalisation **sur mesure** entraîne une démarche que nous qualifions de **démarche système de fabrication.**

Dans ce chapitre nous définissons l'environnement industriel et les contraintes de fabrication qui ont engendré le besoin méthodologique en études de faisabilité de systèmes de fabrication.

2. Présentation des structures industrielles

Les particularités des demandes industrielles qui ont induit nos travaux sont :

- l'absence ou la non adéquation d'un service Recherche et Développement au niveau des systèmes de fabrication. La plupart des services Recherche et Développement sont bien sûr axés sur les produits réalisés.

- le manque de connaissance dans un domaine de spécialiste, qui fait aussi souvent appel à une technologie de pointe (exemple: la vision artificielle)

- le besoin de réflexion sur un ensemble de problèmes effectué par un oeil neuf.

Dans les entreprises ayant une composante Recherche et Développement dans leur service technique, celui-ci est souvent focalisé par les besoins de la production sur le court et moyen terme. Ayant les soucis du quotidien, ces services manquent de recul pour appréhender des problèmes ou des projets souvent planifiés sur du long terme.

- le manque de temps ou de ressources humaines disponibles pour assurer la recherche et le développement de projet.

- un besoin de veille technologique pour connaître l'état de l'art dans certains domaines afin de pouvoir évaluer ou mesurer les performances de technologies proposées par rapport aux attentes de la production.

Dans nos propos, la majorité des demandes industrielles proviennent d'entreprises de petite et moyenne tailles. L'effectif variant de 5 à 300 personnes. C'est le domaine des PME-PMI. Dans le cas d'entreprises plus importantes, la taille du service demandeur est équivalente (5 à 300 personnes).

Par le type d'entreprises partenaires et par nos compétences propres, nous avons été amené à travailler sur des systèmes de fabrication, à la différence des unités ou des lignes de production, qui sont le domaine de l'ingénierie de production, connues également sous le terme d'ensembliers. C'est souvent une ingénierie indépendante ou une société spécialisée qui travaille pour un client en pouvant être à la fois le représentant vis à vis des fournisseurs et le conseiller.

Les entreprises travaillant dans le domaine de la machine spéciale sont réparties en deux catégories:

- les sociétés construisant une gamme généraliste de machines, par exemple CERMEX dans le secteur de l'emballage,

- les sociétés construisant une gamme de machines spécialisées, par exemple KRONES dans le conditionnement et l'emballage en boissons-brasseries.

Les premières font des efforts de développement répartis sur tout un secteur et sont souvent des entreprises qui utilisent des principes et des technologies existants, et réutilisent leurs acquis pour développer de nouvelles machines.

Les secondes ont leurs efforts de développement concentrés dans leur domaine d'excellence et innovent dans ce secteur.

Nous nous plaçons plutôt dans ce second secteur, car les études de faisabilité importantes vont de pair avec l'innovation et la recherche de nouveaux procédés, équipements ou systèmes de fabrication.

3. L'ingénierie des systèmes de fabrication

3.1. La définition d'un système de fabrication

Nous reprenons la définition d'un système de fabrication suivante: un ensemble "mécanique" réalisant les fonctions de bases : Transformer, Déplacer, Stocker et Contrôler. Ces fonctions sont appliquées à un ou plusieurs produits pouvant évoluer dans le temps.

Cet ensemble est constitué d'une "Partie Opérative" et d'une "Partie Commande" appelée aussi "Contrôle commande" ou "Commande". La Partie Opérative comprend des structures ou ossatures, des cinématiques et des actionneurs. Le Partie Commande comprend les capteurs, les éléments de calcul, de prise de décisions, les interfaces, les pupitres de dialogues homme-machines, ainsi que la communication avec l'environnement.

Le système est alimenté en matière ou en produit entrant. Un système a plusieurs notions de **flexibilité**:

- il doit pouvoir **évoluer** par rapport à l'environnement, c'est l'évolutivité,
- il doit s'adapter aux **modifications** envisagées sur le produit,
- il doit permettre des **changements** rapides de "format".

Dans de nombreuses études, le système doit s'**intégrer** dans un environnement existant.

Ce système fait appel à un ou plusieurs procédés pour réaliser une ou plusieurs fonctions déclinées du besoin du client. Le système de fabrication est également appelé **machine spéciale**. Par opposition à un produit ou à une **machine standard**, un système n'existe pas en catalogue.

Le système évacue de la matière ou du produit sortant avec ou sans valeur ajoutée. Il s'agit là d'un point de vue différent (fonctionnel ou concepteur) de [FRO 89] où le flux sortant est indiqué avec valeur ajoutée.

Dans certains systèmes, où il n'y a que des opérations de manutention, de stockage, de rangement; les fonctions n'apportent pas de valeur ajoutée directe. Par contre, nous considérons qu'il y a une valeur ajoutée indirecte par des fonctions de régulation, d'optimisation de production....

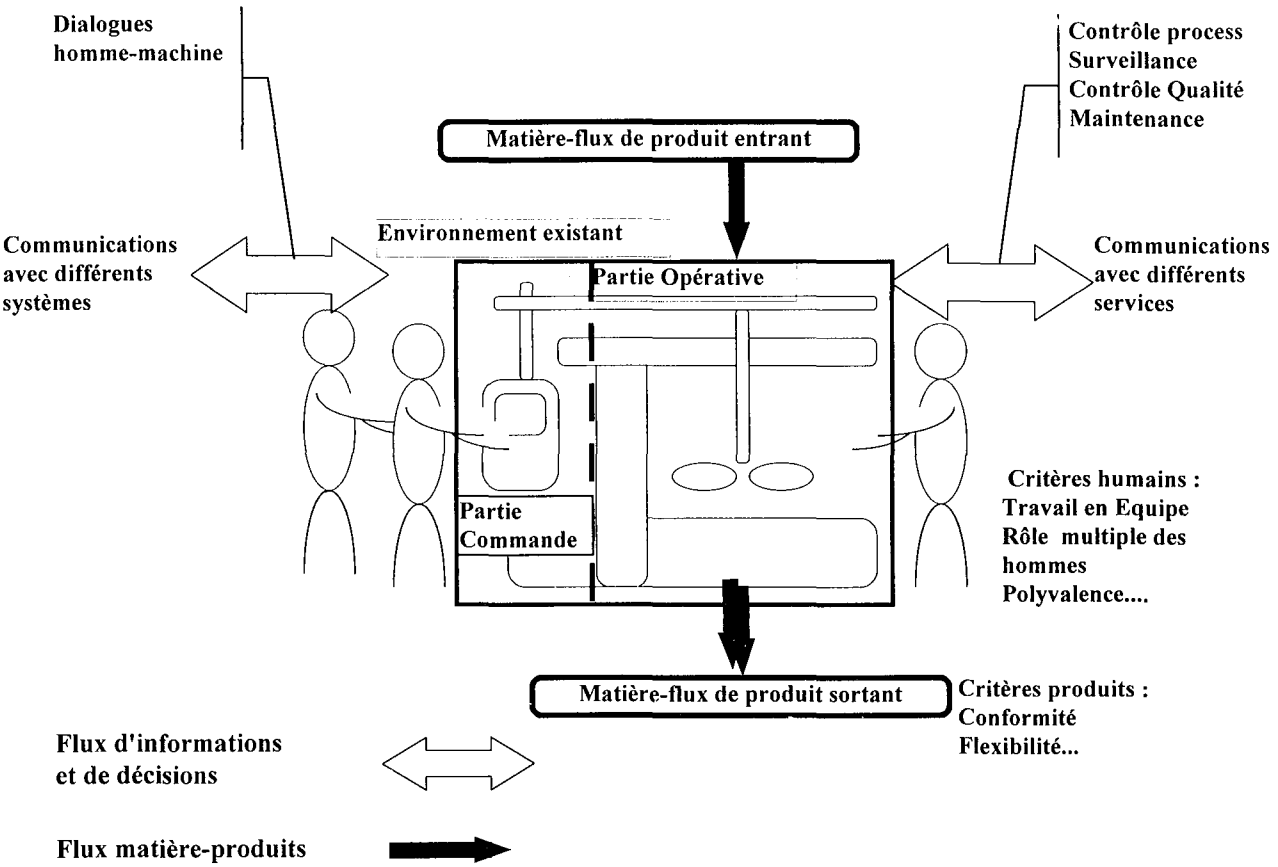


figure 1.2 : *notre vue d'un système de fabrication*

3.2. La vie d'un système de fabrication

Un système de fabrication suit un cycle de vie depuis ses spécifications jusqu'à son démantèlement (figure 1.3). Les spécifications sont issues d'une demande qui peut être faite par différents services, nous prenons des exemples dans les études de faisabililité que nous avons menées et nous les référençons à la page 162:

- le marketing suite à une évolution de produit ou à la mise en place d'un nouveau produit [COVERLAND 96], [VEGA FRUIT 96],

- la production ou des services connexes pour des améliorations de productivité ou de qualité [PEUGEOT 93], [DUPLICATION 90] ou bien encore de sécurité [ASCOMETAL 90],

- les méthodes générales pour connaître l'état de l'art de différents domaines et technologies [PEUGEOT 93],

- le bureau d'études pour mécaniser certaines tâches en production [CHAMBON 90].

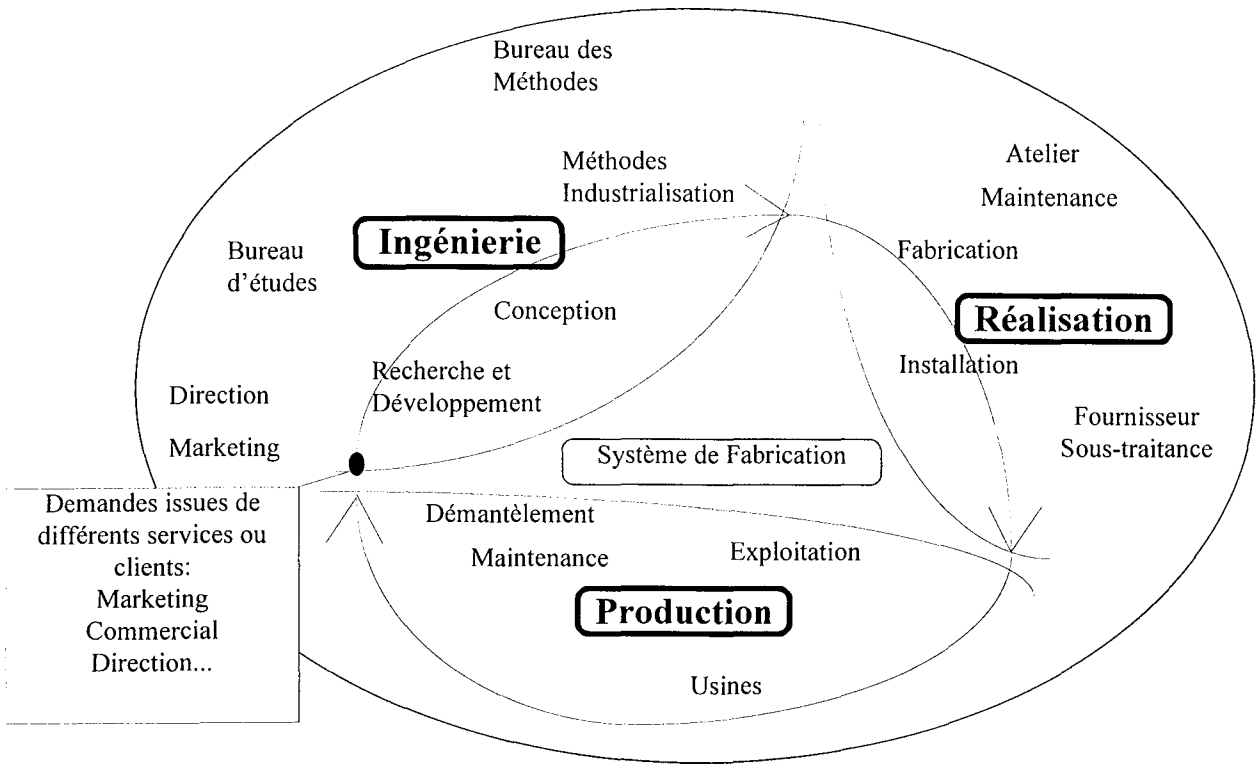


Figure 1.3 : *Cycle de vie d'un système de fabrication*

La définition de l'ingénierie [LAR 87] appliquée au système de fabrication donne : "**étude qui nécessite un travail de synthèse coordonnant les travaux de plusieurs équipes de spécialistes**".

Contrairement au cycle de vie d'un produit, un système de fabrication va subir un grand nombre de modifications avant son démantèlement.

Les décisions prises dans la phase d'ingénierie, influencent une grande partie du cycle de vie et sont établies principalement lors de la recherche et du développement en conception.

C'est également dans la phase de recherche et développement que sont engagés 70 à 80% des coûts du système de fabrication [PAL 94].

Nous sommes donc dans une étape capitale qui engage un service voir l'entreprise pour plusieurs années.

C'est dans cette étape que nous situons les **études de faisabilité** de système de fabrication. L'**amélioration** de la recherche passe par **l'élaboration de méthodes et d'outils** pour ces études de faisabilité.

La durée du cycle de vie d'un système de fabrication est fortement variable mais nous pouvons le situer dans la fourchette des 10-50 ans [ASCOMETAL 90], [PEUGEOT 93], [KRONENBOURG 96]. Par comparaison la durée du cycle de vie d'un produit est de 10-15 ans [PEUGEOT 93].

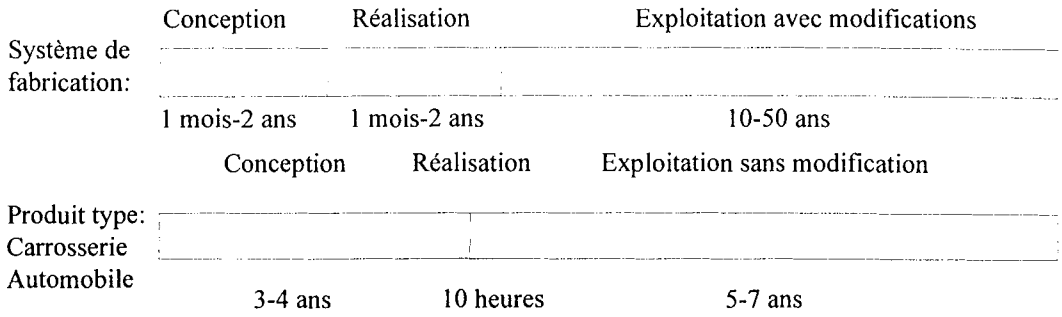


Figure 1.4 : *Comparaison des durées de cycles de vie Produit / Système de Fabrication* [PEUGEOT 93]

3.3. Les Evolutions de la conception-réalisation. Les organisations d'ingénierie.

L'objectif est de préciser les contraintes liées aux différents types d'organisation de l'ingénierie. Il y a actuellement deux principaux types d'ingénierie. Nous commençons par l'ingénierie séquentielle [PRI 90] puis nous poursuivons par l'ingénierie concourante mais auparavant nous allons faire quelques remarques.

Dans toutes les démarches d'ingénierie, de la demande client jusqu'à la réalisation voir le démantèlement, les différents **acteurs** ont besoins de **langages standards** permettant le **transfert des informations** d'un secteur à un autre, par exemple: le **dessin industriel**.
Ces langages expriment les solutions et non les raisons du choix et des démarches adoptées.

3.3.1. L'ingénierie séquentielle

C'est une démarche traditionnelle où à chaque étape, l'ensemble des données est transmise à l'étape suivante. Ces étapes correspondent à des services différents ou à des personnes différentes. Ce type de démarche provoque des choix arbitraires à chaque étape, car les éléments de décisions sont isolés des autres acteurs de la démarche. De nombreux retours en arrière sont nécessaires pour faire des modifications et donc faire avancer le projet. Cette approche est l'héritage de la division du travail, prônée par Taylor [TAY 13], suivie par un grand nombre de secteurs industriels et renforcée par l'Organisation Scientifique du Travail jusque dans les années 80.

Ce séquencement provoque également une division des responsabilités entre les multiples intervenants. provoquant de nombreux litiges aux différentes étapes et notamment lors de la mise en

oeuvre et du rodage du système où les aléas sont "forcément" dus à l'autre. Ces dysfonctionnements sont encore plus délicats lors de l'utilisation de sous-traitants.

La répartition des responsabilités entraîne ainsi une surprotection des intervenants pour se garantir en cas d'aléas et cela se traduit globalement par une augmentation: augmentation des devis, augmentation des délais, augmentation des cotes, augmentation des puissances....

La transmission des informations d'un service à l'autre est rendue difficile par le cloisonnement et l'autonomie présents dans ce type d'ingénierie.

Un grand nombre de méthodes sont adaptées à l'ingénierie séquentielle ; telles que QFD [ZAI 90] ou DFM, que nous présentons en seconde partie.

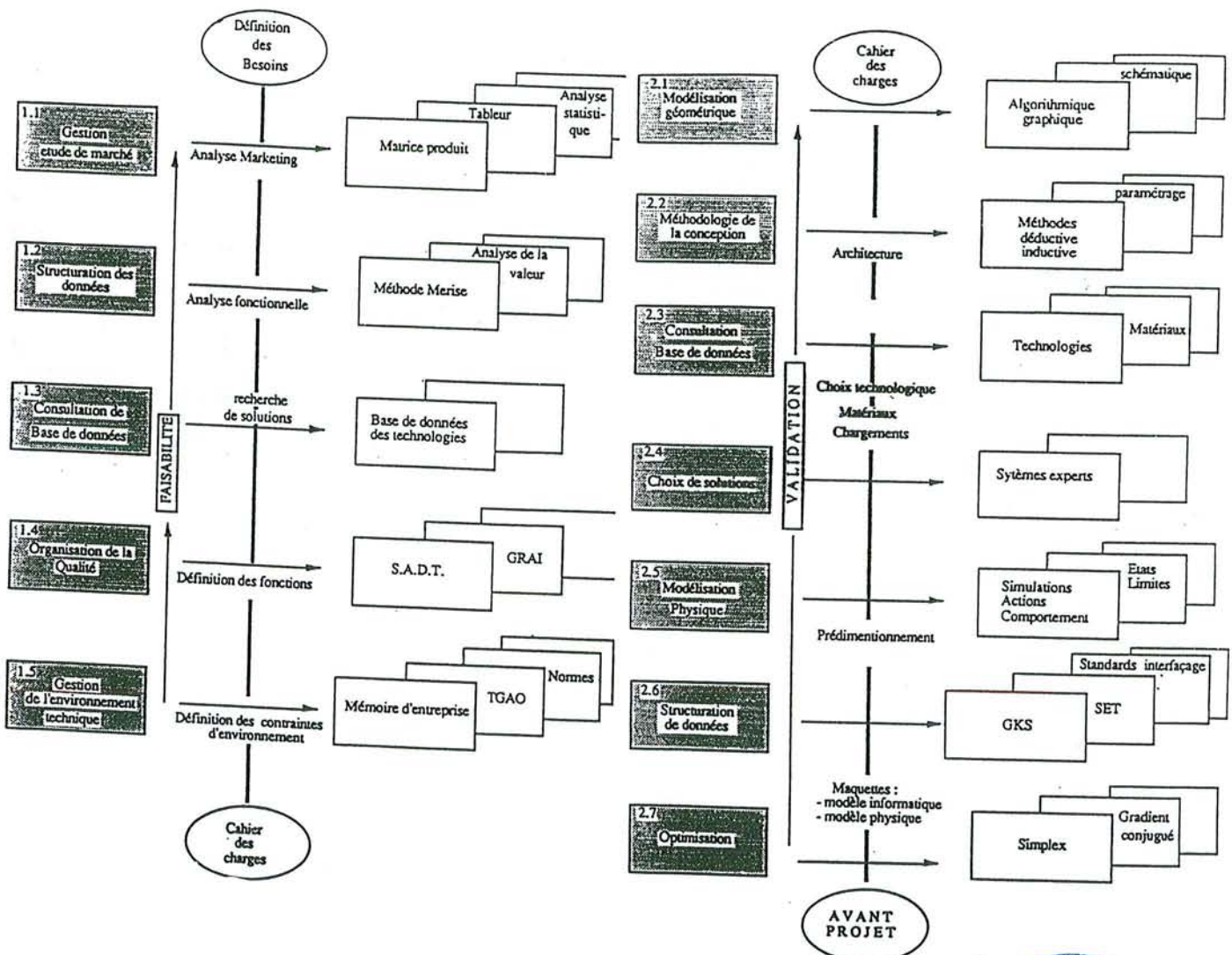


Figure 1.5 : *L'ingénierie séquentielle selon PRIMECA* [PRI 90]

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

3.3.2. L'ingénierie concourante

Apparue dans un rapport de l'Institute for Defense Analysis en 1988 [WIN 88], le terme est d'abord utilisé sous l'appellation **ingénierie simultanée** ou simultaneous engineering [EVE 91], qui consiste en une mise en parallèle des tâches ou plutôt une mise en cascade avec un recouvrement variable suivant les activités de la tâche (figure 1.6). Le gain espéré est situé sur les délais du projet. Le développement de nouvelles automobiles est un des exemples type de ces dernières années ; la TWINGO en 1992, la SMART de MCC en 1995, l'OCTAVIA du groupe VOLKSWAGEN en 1996. D'autres industries comme le bois [MEA 96] utilisent également l'ingénierie concourante pour améliorer leur processus. De nombreux travaux sont réalisés pour étendre l'ingénierie concourante aux secteurs amonts tels que le marketing, la recherche ... [BOU 93], [SYA 94].

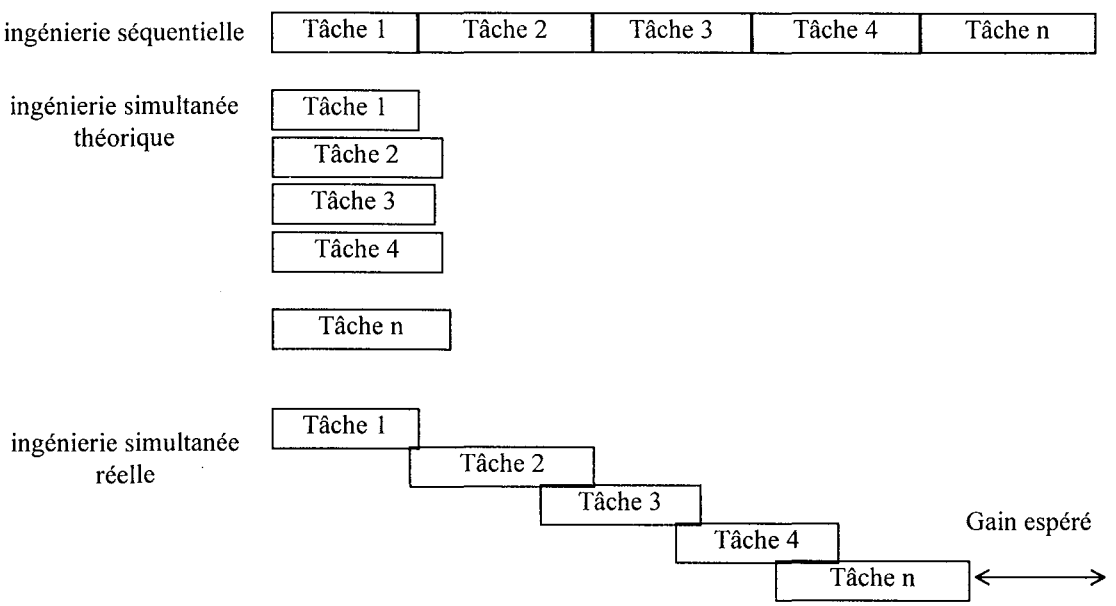


Figure 1.6 : *l'ingénierie simultanée* [MON 92]

La simultanéité peut être appliquée conjointement au produit et au système de production. Des travaux concernant une méthodologie de conception intégrée produit-système de production sont présentés par H.A. Baboli et D. Brun Picard dans [BAB 95].

Dans le cas où le projet comporte surtout des tâches liées à des études de faisabilité, la représentation est différente et s'apparente à la figure 1.7. Dans ce contexte d'ingénierie , il est nécessaire de fournir et de communiquer les raisons des choix ainsi que les démarches utilisées. Ces partages permettent le travail en équipe horizontale, ce qui n'est pas le cas en ingénierie séquentielle

[GRA 95], [HUE 95].

Les communications, les mises au point, les décisions concernant les choix nécessitent du temps supplémentaire et conditionnent souvent une ou plusieurs parties de la suite du projet. Le **retard** en temps se produit à chaque tâche et il est alors important de rechercher des méthodes et des outils permettant d'atténuer ce délai supplémentaire puis de le transformer en gain [SMA 96].

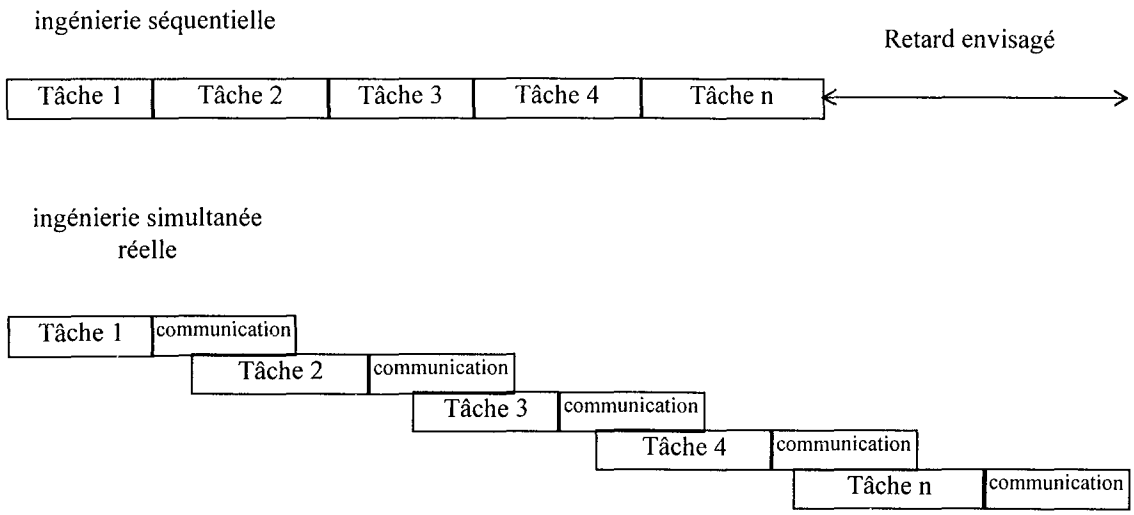


Figure 1.7 : *L'ingénierie simultanée actuelle en étude de faisabilité* [SMA 96]

Une extension de l'ingénierie simultanée est l'ingénierie concourante ou concurrent engineering [PAI 91]. L' ingénierie concourante est appliquée à un problème technique, alors que la précédente est un problème d'organisation [PET 91]. La constitution de groupe de travail évoluant autour d'un projet est une solution d'organisation en ingénierie simultanée.

Nous avons en fait **trois axes principaux** dans l'ingénierie concourante de conception-réalisation:

- l'axe de l'**organisation** qui est lié à l'entreprise, la hiérarchie, les structures industrielles [JAG 93], [BOU 94]

- l'axe de **communication** qui comprend les interfaces entre hommes, entre machines de production, entre systèmes informatiques avec les standards d'échanges entre logiciel,

- l'axe des **outils** d'aide à la conception intégrant les connaissances et les savoir-faire dans lesquels nous trouvons des travaux portant sur les entités d'usinage [GAM 90], sur les objets intermédiaires [MON 92], [LOM 94], [MER 95] et sur les démarches de conception [ZAN 93], [SAL 95]. Nous situons nos travaux dans ce troisième axe principalement en proposant des liens avec les 2 premiers.

La notion de concourance entraîne dans [MONc 94] :

- des aspects de **parallélisme** dans le déroulement du projet
- l'**intégration** à laquelle nous revenons au paragraphe 6
- la **concurrence** entre équipes

Le parallélisme est représenté par un découpage du projet en différentes fonctions ou en différents métiers. La figure 1.8 représente un découpage en fonctions puis en métier, l'inverse est également possible. Il y a un déroulement parallèle des différentes fonctions ou métiers, et une simultanéité des différentes tâches qui les composent.

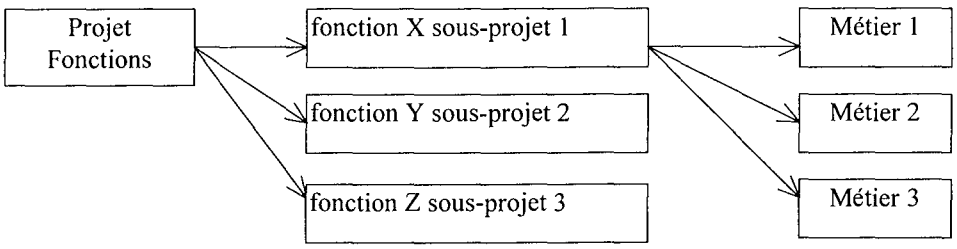


figure 1.8 : *Le parallélisme en ingénierie concourante* [MONc 94]

Cette notion de concourance concerne l'optimisation globale d'un système de fabrication. Elle nécessite une organisation particulière, en équipe de travail ou équipe de projet et utilise une gestion de projet à base de synchronisation. De nombreux problèmes sont générés par cette approche concourante:

- organisation et formation
- définition des rôles de chacun
- responsabilité notamment dans le cas de sous-traitance
- méthodes de spécification
- communications importantes et langage utilisé
- formalisation, capitalisation du savoir et de l'expérience
- système d'information avec interface informatique, l'accès multi-utilisateur pour l'archivage des documents de travail et des procédures avec pour objectif de réaliser une traçabilité des démarches utilisées.

Un palliatif est utilisé pour ne pas avoir trop de problèmes à résoudre en démarrage de projet dans certains types d'ingénieries, notamment de produit, les concepteurs utilisent les méthodes issues de l'ingénierie séquentielle : conception pour la **production**, conception pour **l'assemblage**

ou le désassemblage, conception pour la **maintenance** : design for **manufacturing** (DFM) [AUT 91], design for **assembly or disassembly** (DFA) [GOU 92], design for **maintenance** [MON 92].

Il s'agit dans le cas de DFM, d'une organisation séquentielle avec une remontée des informations pertinentes vers la conception afin de minimiser les choix arbitraires et les retours en arrière. Une optimisation locale est visée par rapport à un des domaines choisis.

La mesure et l'amélioration de la productivité des méthodes de recherche et de développement restent des problèmes importants souvent cités par les PME-PMI [COY 93].
Nous présentons au chapitre 2, les différentes méthodes proches de la conception de système.

4. Le Produit, la Pièce et le Système de Fabrication

Nous utilisons les définitions suivantes pour le produit et la pièce.

Le **produit**: c'est un ensemble constitué de pièces et de composants. Les composants sont achetés. Le produit est fabriqué sur un système de fabrication et correspond à un article commercialisé par une entreprise (NF X50 310).

La **pièce**: c'est un constituant du produit fabriqué spécifiquement pour lui sur un système de fabrication. Lorsque le produit comporte une seule pièce, il a les deux appellations.

Un système de fabrication dépend beaucoup des produits à manipuler et à transformer en terme de structure et de dimensionnement. Pour sa réalisation, le produit suit un processus de fabrication depuis un état brut ou initial jusqu'à sa sortie à l'état final. Il subit à chaque étape un ou plusieurs procédés de transformation (usinage par coupe, traitement thermique...) qui lui ajoutent de la valeur directe. Nous utiliserons les symboles introduits dans le process Charts [POU 86]:

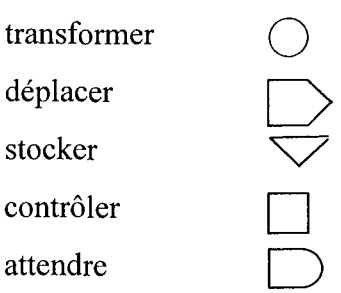


Figure 1.9 : *Les symboles utilisés pour les actions subies* [POU 86]

De ces différentes fonctions auxquelles sont soumis la pièce ou le produit, on en déduit les fonctions du système de fabrication.

Entre chaque étape d'un processus, le produit est déplacé, stocké, contrôlé, ce qui lui ajoute une valeur ajoutée indirecte. C'est le cas du stockage dynamique entre deux machines où la valeur ajoutée provient de la régulation du flux rendu possible par l'accumulation et non par la fonction de stockage. Ces éléments introduisent les notions de rendement et justifient les besoins en simulation que nous présentons au chapitre 3. D'autres fonctions peuvent découler de ces fonctions:

ranger

trier

conditionner....

Elles sont nécessitées par les caractéristiques temporelles du produit.(caractéristiques à un instant donné, exemple longueur, poids ,diamètre...) Le produit possède des paramètres flexibles. (figure 1.10) Pour représenter la composition de la flexibilité du produit, nous utilisons un diagramme en arête de poisson.

Le système doit pouvoir suivre les évolutions du produit ;

- il doit éventuellement avoir une **flexibilité structurelle**. Nous pouvons citer en exemple les systèmes de fabrication de pièces de carrosserie qui doivent s'adapter à des restyling. Cette flexibilité dépend surtout de la partie opérative.

- il doit éventuellement s'adapter aux caractéristiques des différents produits passant sur ligne, c'est la **flexibilité de format**. C'est le cas des lignes de conditionnement de liquides dans certaines brasseries, qui changent de réglage et d'outillage pour différents contenus, différents contenants, différents types d'étiquetage, différents types de packaging et de palettisation. Comme la précédente, elle dépend pour une grande part de la partie opérative.

- il doit éventuellement s'adapter aux demandes de la production en terme de cadences, de régulation, de type de marche, c'est la **flexibilité opérationnelle**. Elle est principalement liée aux possibilité de la partie commande.

- il doit éventuellement être **réactif** face aux comportements de l'**environnement** et de **l'homme**.

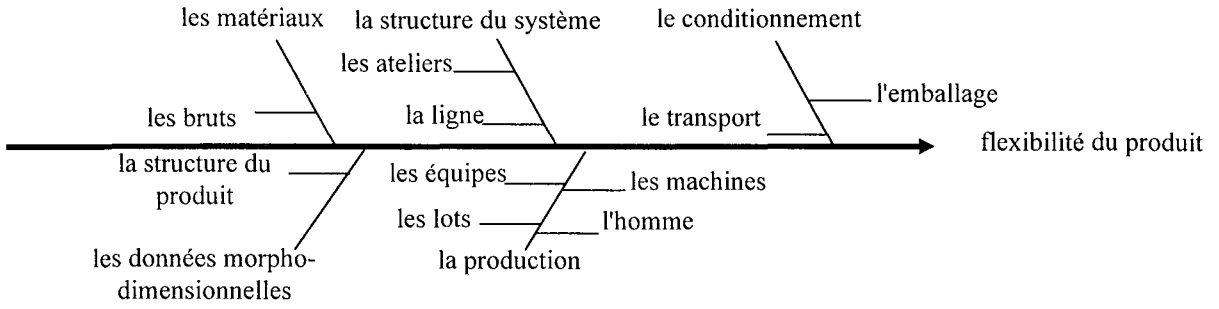


Figure 1.10 : *Les composantes de la flexibilité du produit*

Un flux d'informations techniques est associé au produit, le suit et s'enrichit au fur et à mesure de sa progression dans le processus. L'informatique a permis de gérer, stocker, traiter ce flux, et les réseaux de communication de pouvoir les faire circuler, fournissant ainsi une aide dans la conduite des systèmes de production.

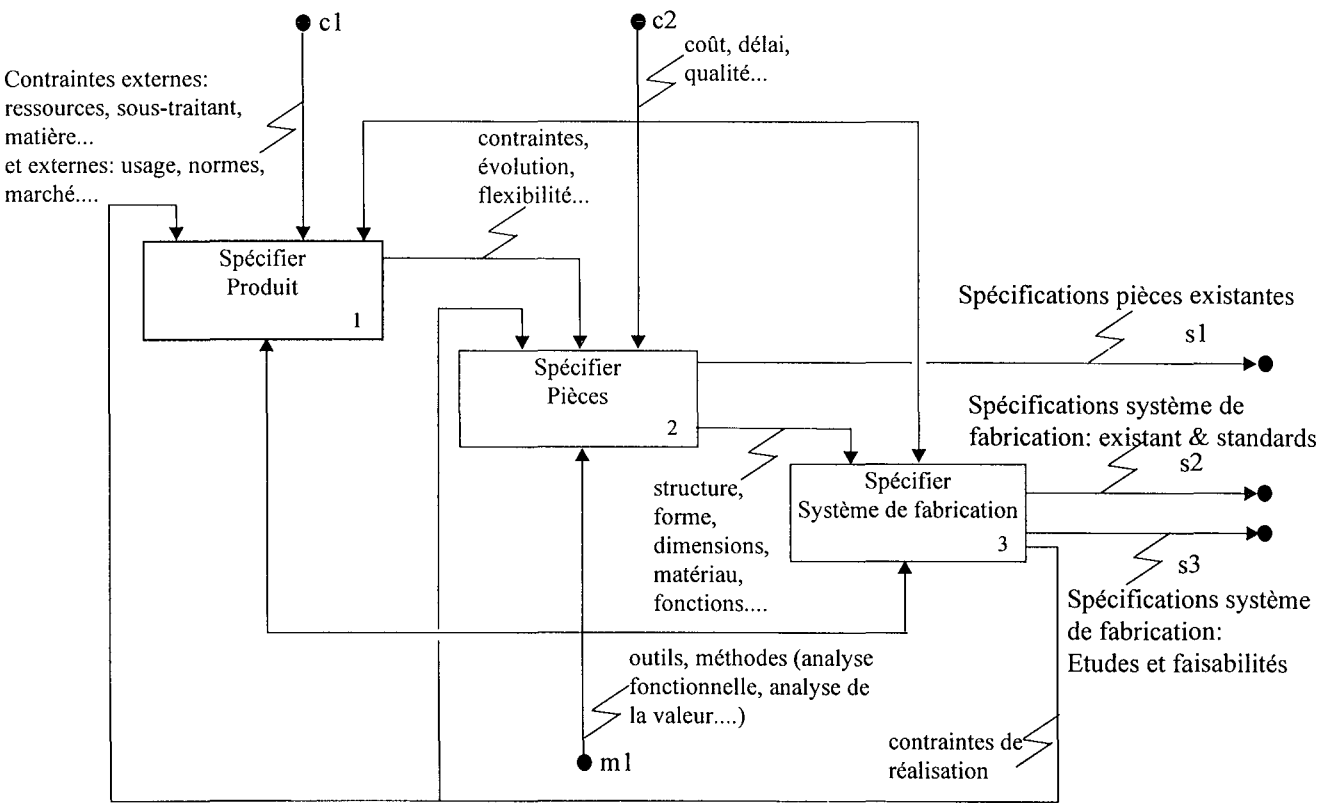


Figure 1.11 : *Les liaisons produit-pièce-système de fabrication (SADT)*

Il reste cependant à structurer les données et notamment les données technologiques (Base de Données Technologiques; BDT). De nombreux travaux sont réalisés dans ce domaine [MON 90], [CAD 92], [MON 93], [MONd 94], les industries et leurs produits sont l'objet de nombreux échos

[CAU 95], [JIM 96], nous présentons dans les quatrième et cinquième parties, notre contribution dans le domaine de la faisabilité.

4.1. Historique, la situation passée

Dans la production de masse qui a dominé pendant 70 ans (1910-1980), les systèmes de fabrication étaient de deux types :

- une fabrication de masse où la demande était très supérieure à l'offre
- une fabrication sur demande réalisée de façon artisanale où le savoir-faire de l'homme était le garant de la qualité et le prix était lié au temps passé.

Les fabrications étaient conçues autour de problèmes et de contraintes produits, procédés et ressources représentés à la figure 1.12.

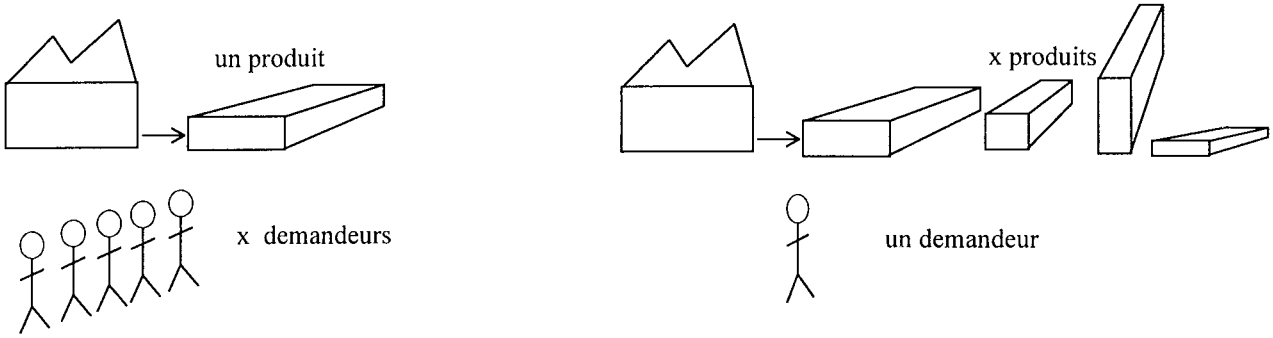


Figure 1.12 : *La situation en production de masse* *la situation actuelle*

4.2. La situation actuelle

Au fur et à mesure de l'arrivée de produits, la situation s'est renversée, la demande est inférieure à l'offre, le client est devenu roi. Il y a apparition d'un marché tiré par le client. Les adaptations humaines et matérielles ont commencé et se poursuivent pour aboutir aux paramètres suivants

4.3. La comparaison des situations

Nous présentons dans le tableau à la page suivante les différentes particularités des produits et des systèmes en fonction de la production de masse et la situation actuelle.

Fabrication de masse	Fabrication actuelle
4.1.1. Paramètres produits	**4.2.1. Paramètres produits**
- cadence élevée	- n produits imbriquées éventuellement par ligne ou n produits par îlots, n augmentant régulièrement
- un produit par ligne	
- un changement de format par semaine	- un changement de format par demi-poste
- peu d'évolution produit, cycles de vie long	- peu d'évolution produit, cycles de vie long
4.1.2. Les systèmes de fabrication	**4.2.2. les systèmes de fabrication**
- solidité, robustesse	- solidité, robustesse, fiabilité, maintenabilité, disponibilité
- retours d'investissement sur période moyenne à longue	- retours d'investissement sur période courte
	- évolution rapide des technologies et matériaux (informatique)
- évolution lente des technologies et des matériaux	- choix important en composants et donc en fournisseurs
- choix restreints en composants	- intégration de l'entretien et évolution vers la maintenance
- suprématie de l'entretien sur la fabrication	- informatique en atelier et au pied de machine
4.1.3. Les hommes	**4.2.3. Les hommes**
- conduite par un opérateur attitré	- opérateur polyvalent et conduite de plusieurs machines
- horaires fixes	- horaires fonction de la demande
- niveau de formation minimum	- niveau de formation minimum pour une évolution potentielle
- nombreux niveaux de hiérarchie	- peu de niveaux de hiérarchie
- cloisonnement des métiers et des services	- intégration des métiers, des corporations
4.1.4. Les processus	**4.2.4. Les processus**
- contrôle en fin de production	- contrôle produit en ligne, contrôle process intégrés, maîtrise de la qualité
- automatisme non programmable	- automatisme programmé
- saturation de la production	- automatisation fonction du retour d'investissement, du succès commercial
- travail en flux poussé	- saturation des machines goulots ou machines critiques
- fabrication sur stock	- travail en juste à temps
4.1.5. L'organisation	**4.2.5. L'organisation**
- indépendance des services autour de la production	- intégration des services nécessaire à la production
- absence de marketing lié à la demande supérieure à l'offre	- prépondérance du marketing dans les décisions concernant les produits
	- prise en compte des besoins client et évolution de la conception
- peu de retour client, satisfaction ?	- évolution produit pour satisfaire la demande client, diminution cycle de vie
- marché en attente	- production à la demande et délais de fabrication courts
- délais de fabrication très longs	- économie mondiale
- économie locale voir nationale	- fabrication par ligne , par îlots ou par atelier; forte flexibilité d'organisation
4.1.6. La conception	**4.2.6. La conception**
- méthodes de conception liées à l'expérience sur les produits et les systèmes de fabrication ainsi qu'au savoir-faire de l'homme	- méthodes de conception empiriques, expérimentales complétées par de nombreuses approches méthodologiques métiers
	- nombreux outils d'aide à la conception : la simulation , le prototypage rapide des produits et des systèmes de fabrication, les calculs de structure...
- peu d'outils d'aide à la conception	
- recherche technologique civile tirée par le secteur militaire, l'automobile et l'aéronautique	- association de la recherche avec les services (marketing, développement, production....) pour constituer des vecteurs de progrès, de réactivité
	- communications humaines et matérielles pour travail en équipe

4.4. La quadrilogie Produit-Procédé-Processus-Système de fabrication

Avec ces évolutions, le produit s'est progressivement couplé aux procédés, au processus et aux systèmes de fabrication, l'ensemble fonctionnant dans un environnement donné. Nous représentons cet ensemble par la figure suivante où le système est placé au centre et le produit, les procédés et le processus sont dessinés autour. Le système est à la fois le support et l'émergence de cette trilogie.

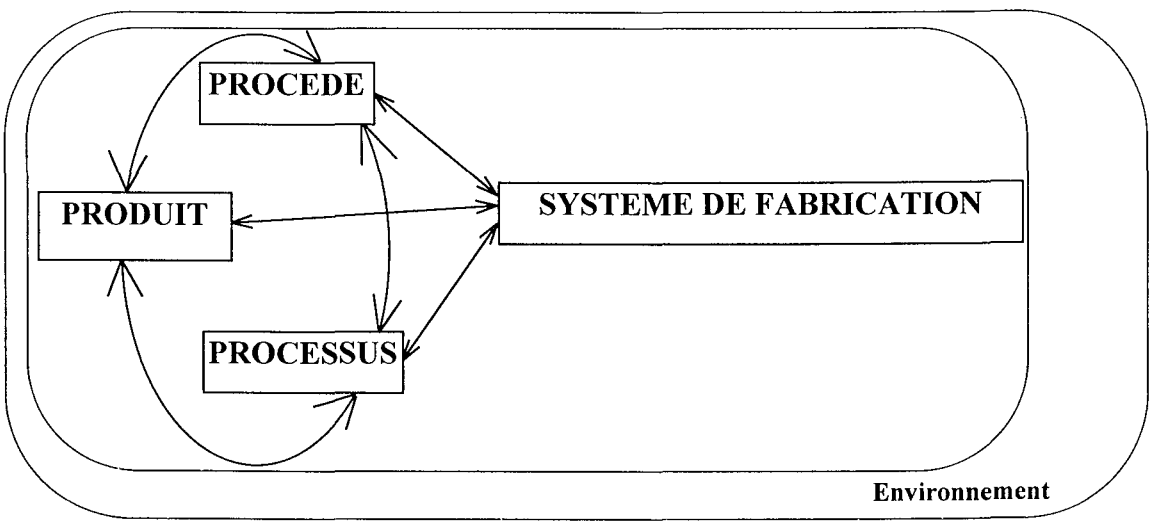


Figure 1.13.1 : *La quadrilogie*

Cette forme de représentation permet d'avoir plusieurs vues de l'ensemble:

- une vue opérationnelle où chaque partie physique est représentée et décomposée, les liens sont les interactions de fonctionnement,
- une vue introduisant l'intégration par les données et le système d'information. Le modèle conceptuel de données en est une des composantes,
- une vue montrant les interactions entres les différents modèles.

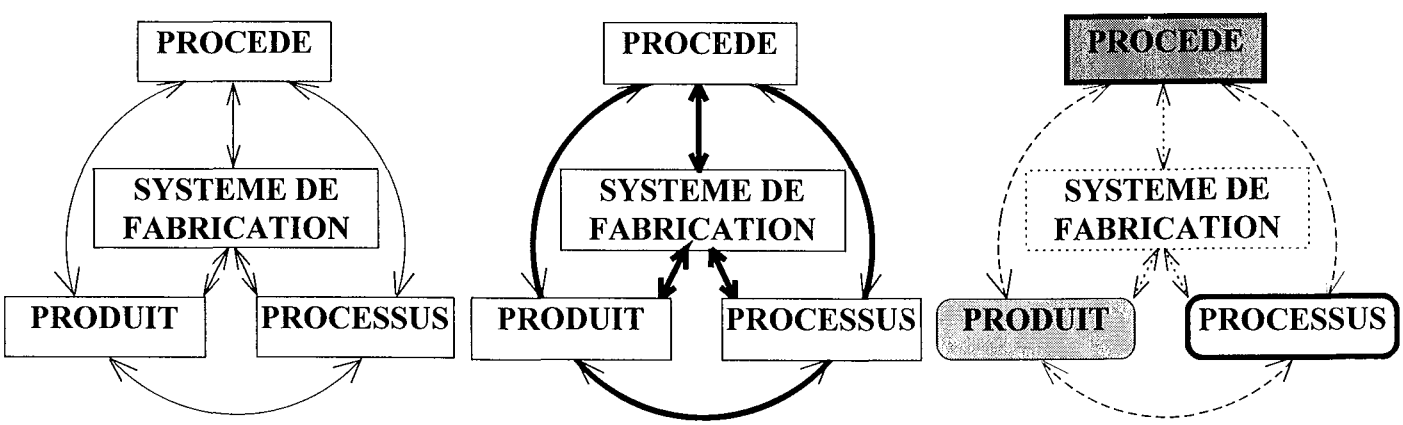


Figure 1.13.2 : *Vue opérationnelle* *Vue intégration par les données* *Vue modèles*

Les difficultés en étude de faisabilité sont dues en partie :

- au manque de données sur les produits,
- à l'absence de modèles de comportement de produit, de combinaison de procédés,
- aux interactions entre le système de fabrication à étudier et la trilogie environnante.

5. L'homme face au système de fabrication

Les rôles de l'homme dans le cycle de vie d'un système de fabrication sont multiples:

- créateur
- concepteur
- demandeur
- exploitant
- agent de maintenance
- décideur
- superviseur...

Il apparait donc une forte complexité pour le concepteur devant ces fonctions **difficilement modélisables** simultanément.

Ensuite d'autres facteurs viennent couronner cette complexité: sa formation, son expérience, ses responsabilités, sa flexibilité, son potentiel d'adaptation, son évolution de carrière, sa disponibilité, la hiérarchie, sa santé et enfin sa sécurité. Le mariage de ceci avec les critères de l'entreprise, donne du fil à retordre aux concepteurs.

6. Les intégrations

La situation des entreprises leur demandant de répondre à des demandes variées, dans des délais décroissant, en quantité variable, dans des qualités croissantes et aux coûts subissant la concurrence, les conduits à accroître leur **réactivité**. D'après P.M. Gallois [GAL 90], la réactivité est le support de trois concepts:

- Flux
- Simplification
- Intégration

D. O'sullivan [O'SU 92] a mis en évidence six types d'intégration dans un système de production répartis en deux groupes (figure 1.14).

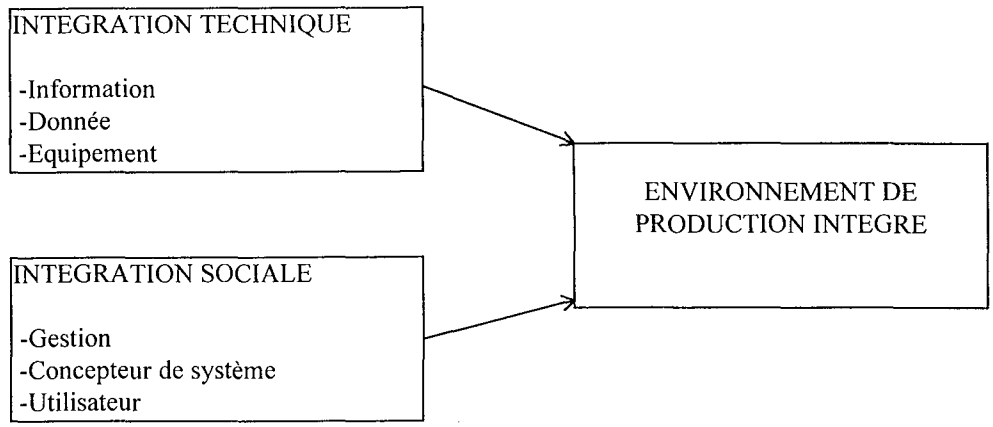


Figure 1.14 : *Les six intégrations d'après O'SULLIVAN*

Le projet européen IMPACS [IMP 90], [IMP 91], [IMP 92] définit l'intégration suivant qu'il existe:

- une intégration par l'information

  l'ensemble des systèmes utilise les mêmes données ayant les mêmes significations

  les différents systèmes sont capables de communiquer

- une intégration par la décision

  tous les systèmes possèdent des objectifs locaux qui convergent vers les mêmes objectifs globaux. Le modèle GRAI a développé les aspects informationnels, décisionnels et physiques.

Un système de fabrication est le résultat d'un optimum global. Ce qui est différent d'une somme d'optimums individuels, en particulier dans un environnement très perturbé comme nous le décrivons dans cette partie. Pour un atteindre cet optimum global, il est nécessaire d'intégrer à différents niveaux:

-intégration humaine,

-intégration des compétences,

-intégration matérielle,

-intégration informatique,

-intégration au niveau du contrôle-commande,

Ces intégrations sont une réponse à la problématique compte tenu des problèmes générés par les évolutions produit, ressources.... citées précédemment. La mise en oeuvre des intégrations introduit des contraintes techniques et organisationnelles:

-structuration et formalisation des données liées à l'utilisation de moyens informatiques,

-cohérence des informations techniques entre elles et par rapport aux besoins et aux utilisateurs,

-interfaces et dialogues entre les différentes activités et les différents acteurs.

Du point de vue de recherche, il s'agit de proposer à partir de ces concepts des outils et des modèles génériques, de formaliser les connaissances, les procédures, les données utilisables pour certaines classes de problèmes après les avoir validés soit d'une manière formelle, soit d'une manière expérimentale. L'expérimentation se réalise dans notre cas en **laboratoire** ou à l'AIP Lorrain et dans l'industrie sur **site pilote** .

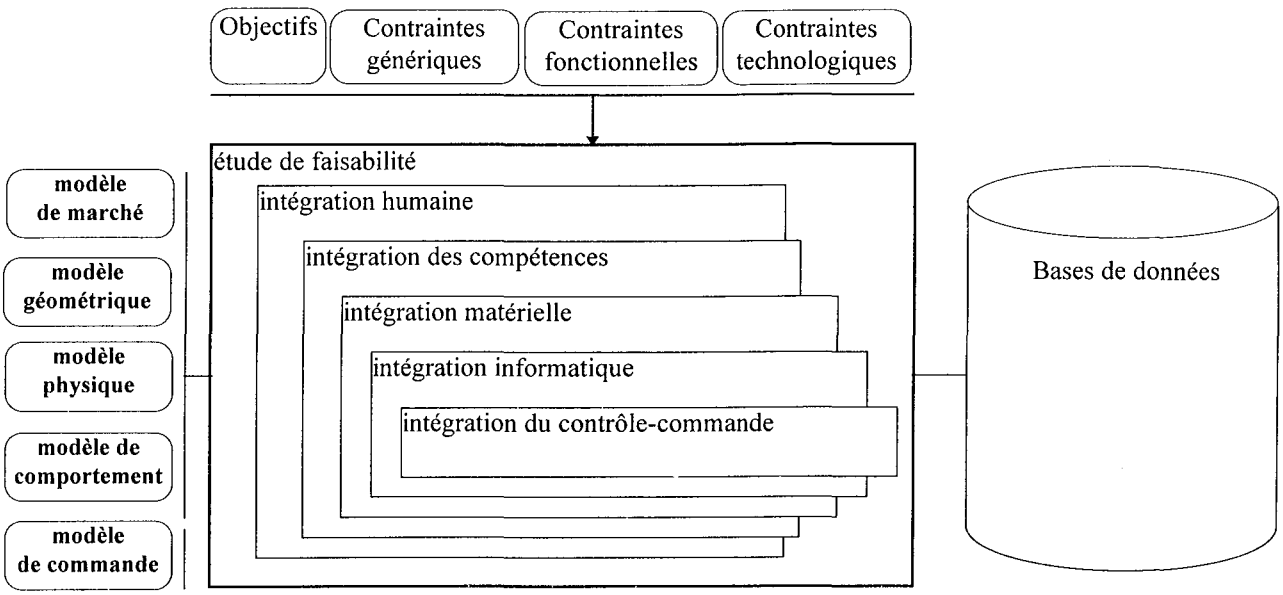


Figure 1.15 : *Les intégrations*

6.1. Intégration humaine

Un très grand nombre de paramètres dépendent des interventions de l'homme ou de l'équipe, ainsi la fiabilité d'un système est correlée à sa conception et aux interventions des hommes de production et de maintenance.

Le système de fabrication doit intégrer ou s'adapter à l'homme et non l'inverse qui est beaucoup plus facile d'un point de vue conception. Il est donc clair que l'homme doit être au centre de la conception de système de fabrication et non la technologie comme cela se passe habituellement. En effet le remplacement de l'homme par des systèmes automatisés trop complexes à mettre au point s'est souvent montré comme un mauvais choix. Les ateliers flexibles fonctionnent en mode dégradé. Les automatisations des lignes de tôlerie ont chuté de plus de 35% et ont redonné une place à l'homme [TWI 93].

L'Homme ou l'Equipe assure les activités de contrôles, de surveillance et de maintenance de ce système qui doit être en conformité aux normes. L'Homme ou l'Equipe est également polyvalent. Nous nous plaçons dans l'approche socio-technique mis en évidence par J. Orty-Hernandez dans [ORT 95]. L'ensemble des intervenants constitue l' **équipe de projet**. Il y a un gain de temps et d'efficacité en favorisant une convergence rapide vers une solution optimisée en évitant de nombreux cycles de modifications et d'itérations.

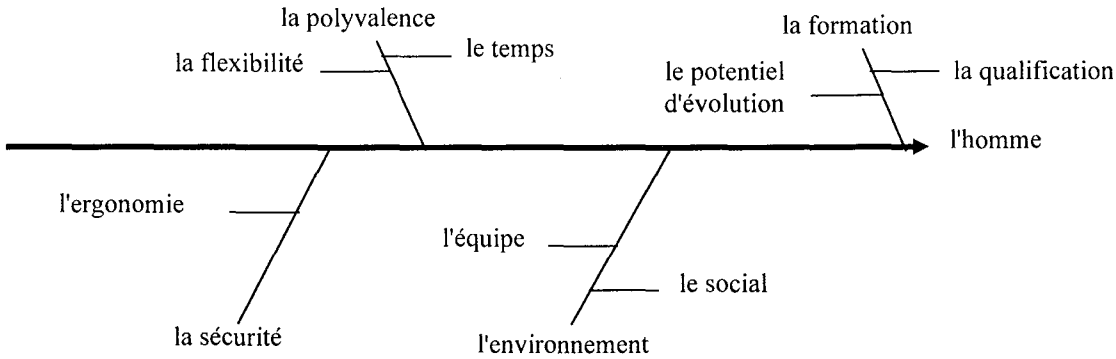


Figure 1.16 : *Les composantes de l'intégration humaine*

Il apparaît également que les hommes intervenant sur des systèmes de fabrication doivent être intégrés dès le début d'une étude pour pouvoir plus tard s'approprier les systèmes.

Un des problèmes en étude est de quantifier et de qualifier les besoins en intervention humaine [KRONENBOURG 96], de bien spécifier les tâches à faire, les formations nécessaires. Des recherches se développent dans ce sens, elles sont effectuées par le groupe SPI-SHS (Sciences pour l'Ingénieur-Sciences Humaines et Sociales), qui sont deux départements scientifiques du CNRS. Une publication est en cours.

Enfin le point sécurité nous paraît tout à fait important par la suite, pour prendre en compte les problèmes de conception de structure et les problèmes de conception de commande. Des travaux sur la sécurité des machines réalisés par J. Ciccatelli [CIC 97] au sein du centre de recherche à l'INRS de Nancy vont permettre de prendre en compte les contraintes de sécurité dès le début des projets.

6.2. Intégration de compétences

Pour tenir compte des contraintes du produit, un travail en monodiscipline n'est plus possible. Il est nécessaire dans un projet de rassembler les compétences de plusieurs spécialistes pour mener à bien les différentes études.

Les études doivent intégrer les connaissances et savoir-faire de différents domaines ou métiers: Mécanique, Contrôle-Commande,....ainsi que des experts: Vision artificielle, Cerclage...Ces compétences sont souvent à l'extérieur de l'entreprise. Ces dernières années, les entreprises se sont recentrées sur leur savoir et leur métier, dans un soucis de productivité. La plupart n'ont pas le besoin d'avoir à temps plein des spécialistes dont la diversité ne cesse de croître par les développements des technologies. Il s'agit alors de gérer des sous-traitants ou des fournisseurs possédant un savoir autre.

L'intégration des compétences consiste à faire intervenir l'ensemble des intervenants multi-fonctions et multi-savoirs-faire (Exploitation, Maintenance...) nécessaires au développement et à l'utilisation d'un système. Cette intégration fait appel à la notion de projet et de chef de projet à l'image des produits automobiles [TWINGO 92] et [SMART 96].

Les difficultés sont liées à :

- l'importance du facteur humain,
- la hiérarchisation des problèmes,
- aux différences de compréhension suite à un manque de sémantique,
- la prise en compte des points de vue,
- au recouvrement des compétences et de l'expérience,
- les spécificités des métiers.

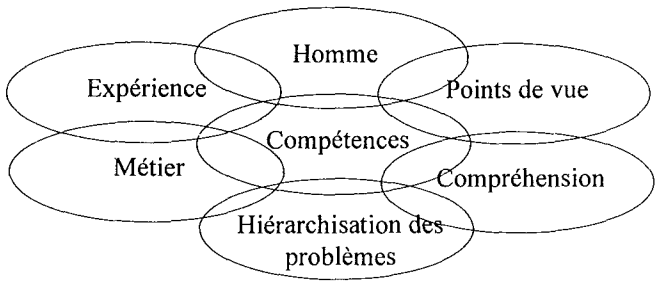


Figure 1.17 : *Les facteurs de l'intégration des compétences*

6.3. Intégration matérielle

Un système de fabrication est constitué d'un grand nombre d'éléments ayant des fonctions imbriquées tels que:

- les structures,
- les composants de guidage,
- les composants de procédé,
- les équipements électrique et pneumatique....

Il est nécessaire d'**intégrer** ces matériels aux projets en tenant compte des contraintes de standard, d'encombrement, de précision, de poids, d'énergie, de maintenance, de délais de réalisation....

D'autre part, il y a souvent assemblage dans un système, de sous-ensembles achetés avec d'autres parties conçues, développées et fabriquées. Cela revient à intégrer les fournisseurs de ces appareillages avec les garanties nécessaires aux conditions d'utilisation.

Nous sommes confrontés dans les problèmes de technologie, aux choix de composants, à l'agencement et à l'assemblage de ceux-ci, avec une tendance à la diminution du nombre de pièces dans un ensemble. Dans le passé les tâches prépondérantes étaient plutôt la conception, la réinvention de pièces. c'est le cas par exemple des vérins qui étaient proposés sans attachement standard, sans capteur intégré, sans technologie de guidage, il fallait plusieurs composants pour réaliser ces fonctions. Elles étaient autrefois réalisées par l'utilisateur. Aujourd'hui elles sont réalisées par le fournisseur. Il y a eu une extension des fonctions des composants de bases par l'intégration des métiers chez les constructeurs. Les métiers de la mécanique et de l'électronique sont notamment intégrés chez de nombreux fournisseurs pour réaliser les nouvelles fonctions demandées aux composants. Ces évolutions des services ou des fonctions proposés par les constructeurs entrainent un rapprochement entre les fournisseurs et leurs clients. Les bases de connaissances doivent maintenant tenir compte de ces évolutions.

Les activités de recherche de technologie se sont déplacées vers les salons spécialisés, vers la consultation de revues annonçant les produits nouveaux, vers la mise à jour via des supports informatiques des catalogues de produits et composants.

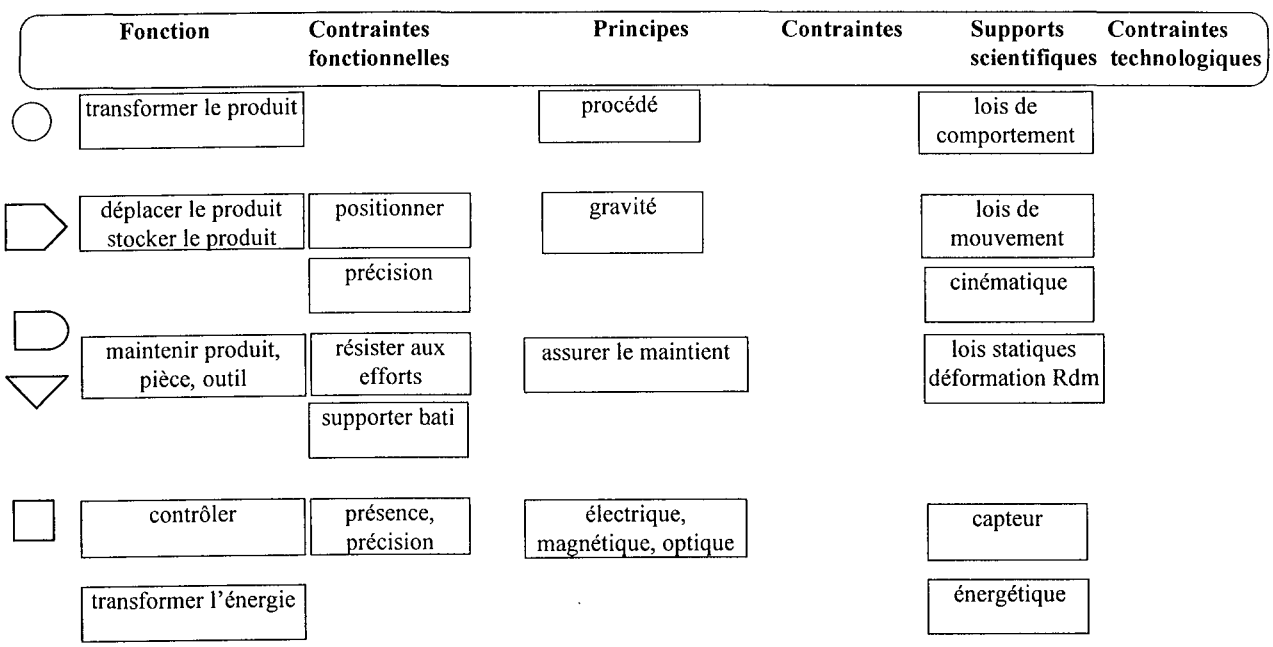


Figure 1.18 : *L'intégration du matériel dans le passage fonction-système physique*

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

6.4. Intégration des systèmes informatiques : réseaux, supervision,...

Les besoins en communications, en archivage, en dialogue homme-machine, aide à la maintenance, en suivi de production entrainent un recours systématique à l'informatique à base d'ordinateur personnel type PC. Ces aides à la conduite, au pilotage, à la supervision sont nécessaire pour permettre à l'homme de se consacrer à d'autres tâches comme la surveillance de zones...

Pour des problèmes de rapidité de communication, le traitement des informations se réalise au plus près des zones comportant les actionneurs. Il y a distribution de l'intelligence et donc de la décision. Les entrées-sorties sont déportées, les fonctions de réglage, de maintenance sont simplifiées. La flexibilité d'évolution est plus importante.

La conception et la mise en oeuvre de ces systèmes informatiques est à mener de front avec la conception des systèmes de fabrication.

6.5. Intégration au niveau du contrôle-commande

Dans presque tous les systèmes de fabrication, il y a une commande constituée souvent d'un automate programmable industriel pour piloter des variables logiques et analogiques. La sécurité est réalisée en logique câblée. Les modes de marche sont gérés par l'automate. D'autres parties, telle que la vision artificielle, des systèmes d'enregistrement de paramètres physiques peuvent être couplées à l'automate, qui communique avec de l'informatique industrielle le cas échéant.

Suivant la structure et les spécifications de la commande ou des systèmes couplés, il faut coordonner les phases de recherche et développement avec celles du système.

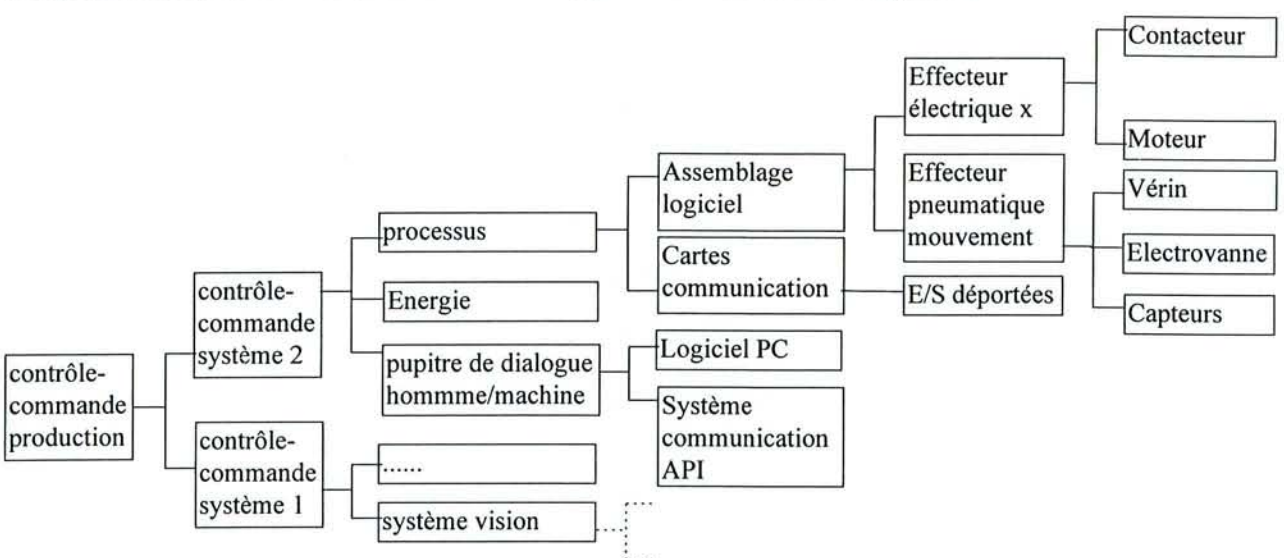


Figure 1.19 : *Notre vue de la décomposition du contrôle-commande*

7. La coopération

La **coopération** désigne l'état d'esprit et les organisations associées dans lesquels se réalisent les phases d'un projet et donc les études de faisabilité. Des travaux de recherche sont menés dans cette voie : projet CIM-ONE [DAV 91], projet ESPRIT IPDES [BRU 93]. Les nombreux termes rencontrés ou utilisés dans les projets industriels attestent de cette volonté d'évolution :

- projet en plateau ou projet plateau = ingénierie simultanée pour constructeurs automobiles,
- travail en recouvrement = ingénierie simultanée pour constructeurs automobiles,
- partenariat,
- management par projet, gestion des projets par des équipes temporaires, pluridisciplinaire,
- hiérarchie transversale,
- colocalisation qui est un regroupement d'experts métiers autour d'un projet,
- conception collective...

C'est à la fois un axe de l'ingénierie concourante et une caractéristique de la conception intégrée.

B. T. David décrit quatre modes de conception coopérante [DAV 96] :

- la coopération asynchrone (pas de co-temporalité),
- la coopération en session (co-temporalité autonome),
- la coopération en réunion (co-temporalité et partage des objets en tour à tour),
- la coopération étroite(co-temporalité et partage des objets en temps réel).

Chaque mode a un objectif principal propre :

- proposer des outils supportant les éléments de base pour la coopération asynchrone,
- diminuer les délais d'interaction entre les acteurs d'un projet pour la coopération en session,
- coordonner, planifier les travaux entre les membres pour la coopération en réunion,
- accroître la co-production des acteurs pour la coopération étroite.

L'assistance informatique est nécessaire et les recherches en travail coopératif doivent proposer un applicatif appelé **collecticiel** ou **computer supported cooperative work** (CSCW) [BAN 91]. Pour les 3 modes de travail synchrone, les principaux problèmes sont :

- gérer le contrôle des données ou des opérations,
- maintenir la cohérence,
- verrouiller les informations,
- auto-réguler l'équipe de travail.

La construction de collecticiel nécessite des primitives de coopération associées à des données identifiées spécifiques au domaine d'études.

8. Conclusions

Pour mener des études de **faisabilité** dans un contexte de **PMI-PME** et définies par les contraintes liées à l'homme, au produit, au procédé, au processus et aux ressources, l'ingénierie doit être **concourante**. Ce type d'**organisation**, mis en place surtout dans **l'ingénierie** de **produit**, doit s'adapter aux exigences de **l'ingénierie** de **systèmes** de fabrication qualifiée par :

- le **parallélisme,**
- l'**intégration,**
- la **coopération.**

Il faut souligner que derrière ces trois mots **simples** se cachent des **difficultés** liées à leurs applications et à leurs mises en oeuvre.

Le **parallélisme** s'applique à la réalisation d'activités telles que l'analyse fonctionnelle, la recherche de solutions, la prise de décision et concerne l'exécution de tâches associée à des métiers différents. Les organisations actuelles sont plus orientées vers une structure séquentielle avec un recouvrement partiel des activités.

L'**intégration** doit être vue **simultanément** par:

- l'**homme**,
- les **métiers**, les **compétences,** les **méthodes** et les **outils** associés
- le **matériel**, les **instruments** et les **équipements** dans un contexte de **flexibilité** et d'**évolutivité**,
- les systèmes **informatiques**,
- le **contrôle-commande**.

La **coopération** nécessite de définir un mode de travail et fait appel à un collecticiel répondant aux problèmes de gestion des données.

De plus les études de faisabilité de système ajoutent les **spécificités** suivantes:

-les besoins **non définis** ou **non affinés**,

-la rédaction ou la **complémentation des spécifications** du projet,

-la **créativité à gérer** dans le temps,

-la **recherche de procédés** ou de principes correspondants aux fonctions demandées,

-**l'amplification des contraintes** au cours de l'étude,

-la **transformation de l'abstrait** en objet avec une technologie industrialisée disponible,

-le **pré-agencement** et le **pré-dimensionnement** de matériel.

-les **interactions** du système à étudier, du produit, des procédés et du processus abordés, avec une quasi absence de modèles et de données sur une ou plusieurs parties de cette quadrilogie.

Ces éléments sont d'autant plus perturbants qu'ils deviennent des informations à gérer pour assurer:

- la **communication** et les rapports avec les clients ou les partenaires du projet,
- la **formalisation** de l'expérience et de la connaissance en privilégiant la **lisibilité**,
- la **validation** d'hypothèses et de solutions,
- la **prise de décision**,
- la fixation d'**objectifs**,
- la mise en place d'**indicateurs de mesure** et de performance,
- la **mémorisation** du savoir et du savoir faire pour assurer la pérennité du projet,
- la **réutilisation** de l'acquis,
- la **traçabilité** de la démarche.

L'objectif de ce mémoire est de proposer une démarche et les outils associés pour :

- **l'aide à l'organisation** de l'étude de faisabilité en intégrant les connaissances et les savoir-faire,

- la gestion de l' **évolution** du projet et des informations associées permettant de **visualiser** la conduite des études de faisabilité.

Au préalable (partie 2), nous allons faire un tour d'horizon des méthodes et outils utilisés en étude de faisabilité ainsi que les cycles de vies ou les vues de systèmes de fabrication. Nous regardons également ce qui se fait dans le domaine de la conception de produit et de système de production.

Sommaire détaillé

Chapitre 2 Méthodologies générales de conception-réalisation d'un système de fabrication

1. Introduction page 36

2. Les différentes phases de l'ingénierie page 37

3. Les différentes phases du cycle de vie d'un système de fabrication page 39

3.1. L'expression du besoin page 39

3.2. La recherche et le développement du système page 41

3.3. Les méthodes et l'industrialisation page 42

3.4. La réalisation page 43

3.5. L'installation, l'exploitation et le démantèlement page 43

4. Les modèles de cycle de vie page 43

4.1. Le modèle en cascade page 43

4.2. Le cycle de vie en V page 44

4.3. Le modèle contractuel page 46

4.4. Le modèle en spirale page 47

5. Les méthodes de conception et de représentation de produit page 47

5.1. La méthode Quality Function Deployement : QFD page 48

5.2. La méthode Design For Manufacturing : DFM page 50

5.3. La Méthodologie de Conception Intégrée : MCI page 51

5.4. La conception distribuée page 52

5.5. Le modèle de représentation multi-vues page 53

6. Les méthodes de conception de système de production page 54

6.1. Les méthodes GRAI et IMPACS page 54

6.2. Le Soutien Logistique Intégré: SLI page 56

6.3. La Conception d'Outil de Production : COP page 58

7. Les méthodes d'analyse en conception page 60

7.1. L'analyse fonctionnelle page 60

7.2. Les méthodes IDEFo et SADT page 62

7.3. L'analyse de la valeur page 62

7.4. L'analyse multicritère page 63

8. Conclusions page 64

Chapitre 2 Méthodologies générales de conception-réalisation

En préambule au contenu de la seconde partie, nous **précisons** le terme de **conception** et de **faisabilité.**

- **Conception**: il s'agit d'une activité humaine qui fait appel à l'intelligence et qui permet de créer à partir d'un besoin; un produit ou un système artificiel. C'est une activité de transformation qui améliore un produit ou un système existant.

A propos des systèmes de production, Dasgupta [DAS 89] et Zanettin [ZAN 93] considèrent que la conception est une activité de synthèse, orientée solution, créative, spontanée et intuitive.

- **Faisabilité**: c'est fournir les voies technologiques possibles pour satisfaire un besoin, et l'avant projet: c'est proposer la voie à développer parmi celles qui sont faisables.

Une étude de faisabilité est une étude préliminaire statuant sur les possibilités d'envisager un investissement [JUB 91].

1. Introduction

Nous avons vu dans la partie précédente la place particulièrement importante de la conception dans l'ingénierie de systèmes de fabrication. Nous allons explorer le champ des propositions actuelles pouvant nous intéresser pour atteindre les objectifs fixés. Dans un premier temps, nous retraçons les différentes phases de l'ingénierie de systèmes, puis nous situerons les études de faisabilité dans le cycle de conception - réalisation.

Ensuite nous abordons notre recherche suivant trois axes principaux:

1 - l'observation des cycles de vie de systèmes pour nous renseigner sur le mode de fonctionnement d'une étude et de voir les conséquences sur la conduite d'un projet comprenant un faisabilité de fonctionnement.

2 - l'analyse de méthodes générales de conception de produit et de modèles de représentation de produit, ainsi que l'analyse de méthodes générales de conception de système de production afin de déterminer leur degré d'adéquation avec la conception de système de fabrication et d'en retirer éventuellement un enseignement pour nos objectifs.

3 - la revue des méthodes d'analyse utilisées en conception pour structurer la démarche d'analyse puis pour modéliser et traiter le problème posé.

Nous complèterons ces trois axes principaux par une recherche sur les **modèles** de représentation de **produit** permettant une approche par **métiers**, approche nécessaire en conception

de système vue au chapitre 1. Nous présentons une synthèse de nos recherche dans la figure suivante.

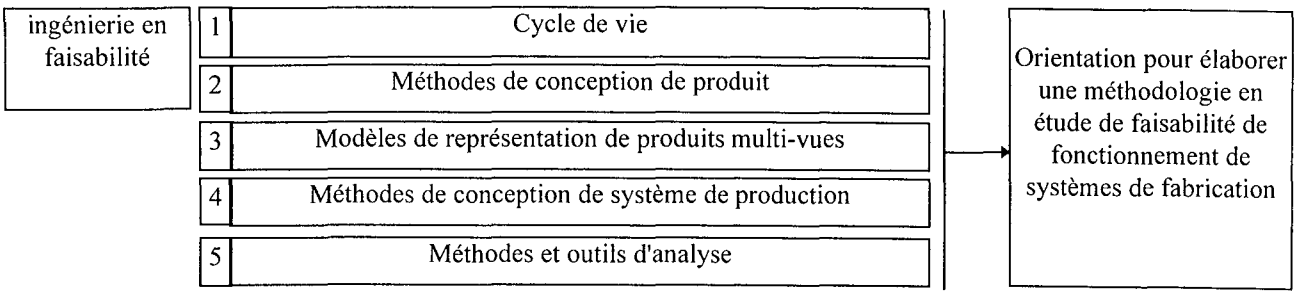


Figure 2.0 : *notre approche de l'état de l'art*

Le chapitre 3 poursuit notre recherche bibliographique dans le domaine des outils de validation d'études par la simulation, le maquettage et le prototypage.

2. Les différentes phases de l'ingénierie

Un projet en ingénierie est constitué de plusieurs phases:

- les négociations commerciales,
- les études préliminaires pouvant être :
  - une étude de faisabilité technique, économique qui a pour objet de proposer des solutions techniques au projet ainsi que sa rentabilité,
  - une étude de plan directeur et d'organisation,
  - une étude de programmation.

Ces études sont proposées au client, en cas d'acceptation un contrat est rédigé et signé par l'ingénieriste et le client. Ce document est une référence au cours du projet. Il contient:

- le montant de la mission correspondant au devis du projet,
- les modalités de paiement,
- les délais (planning),
- les obligations diverses des parties (conditions d'exécutions de la mission),
- les garanties et les pénalités.

Les études de faisabilité sont souvent traitées avec un fort décalage entre le moment de signature et le début des études. Différents évènements peuvent différer ou remettre en cause le projet. Ces incertitudes ajoutées aux durées importantes des projets, rendent l'organisation des ressources et la gestion des études de faisabilité difficiles en ingénierie. Les études préliminaires débouchent sur la pré-étude sommaire.

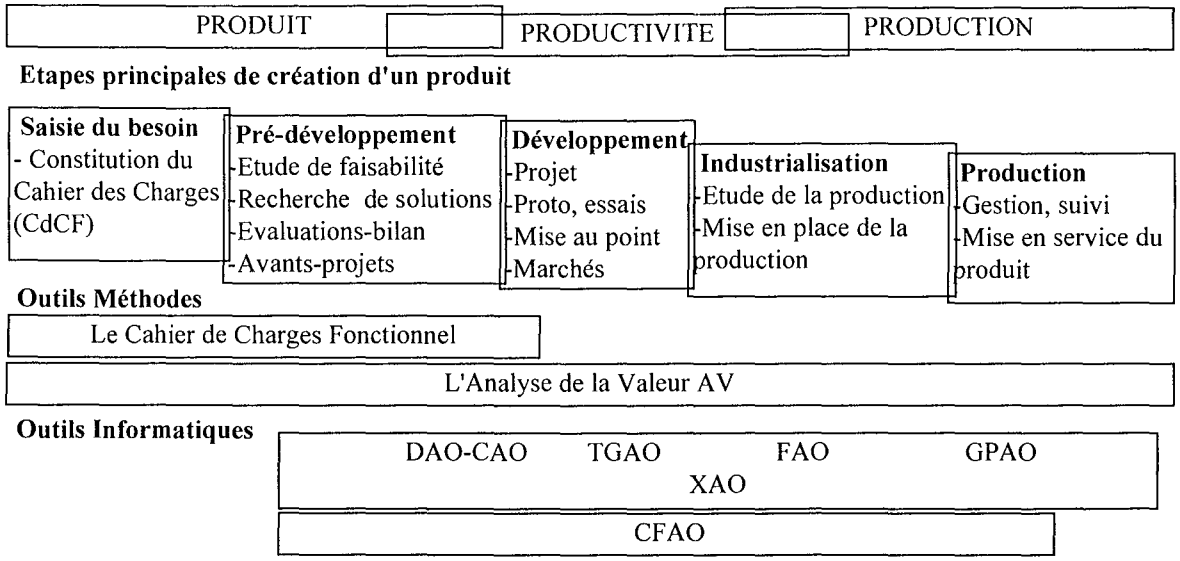


Figure 2.1 : *la description des tâches de l'ingénierie de produit* [MEM 94]

L'ingénierie, pour se positionner dans les appels d'offre fait des propositions commerciales de plus en plus basses, et donc gagner en temps sur les différentes phases de projet. L'ingénierie doit donc développer des outils et des méthodes de travail lui permettant d'améliorer ses performances.

Les normes sur les cahiers des charges NF X50...ainsi que les outils de l'assurance qualité et de la certification ISO 9000...,ISO14000... en font partie. L'organisation du projet et les relations entre les différents intervenants en sont d'autres.

Le service Marketing non représenté sur le cycle de vie a pour fonction d'établir les spécifications techniques de produit modifié ou nouveau.

Les activités de Recherche et Développement: ces fonctions répondent aux demandes des différents services en étudiant les possibilités de réaliser les besoins exprimés. Les fonctions Recherche et Développement sont souvent assurées par le bureau d'études.

Les activités de Conception sont nombreuses : la pré-étude ou avant-projet, les études de détails, les simulations, les calculs.... La conception est réalisée par le bureau d'études.

Les activités Méthodes et Industrialisation permettent de traduire les données du bureau d'études en information entraînant la réalisation. C'est la détermination des bruts, la réalisation des gammes, les études d'outils et d'outillage, la programmation des machines....

3. Les différentes phases du cycle de vie d'un système de fabrication

Le cycle de vie d'un système de fabrication se décompose en sept phases principales:

- l'expression du besoin d'un système
- la recherche et le développement du système
- l'industrialisation
- la réalisation
- l'installation et la mise en service
- l'exploitation
- le démantèlement

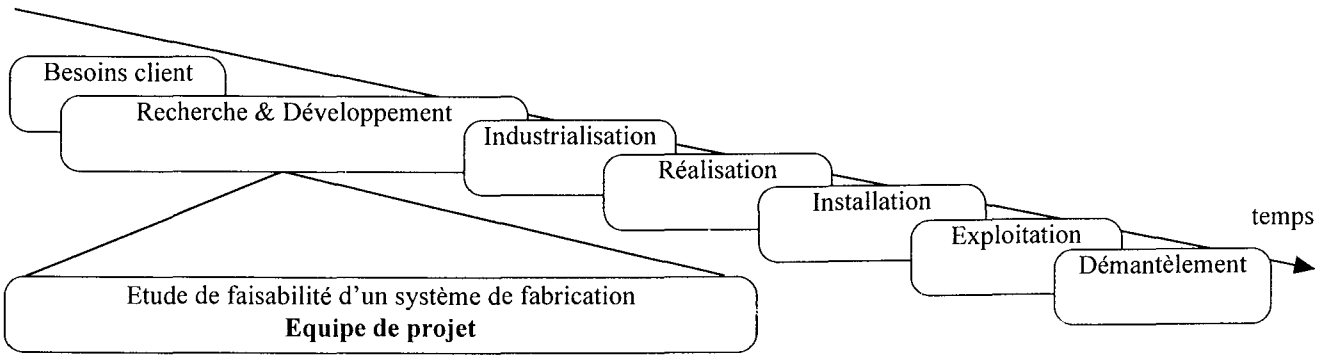


figure 2.2 : *la place de l'étude de faisabilité dans le cycle de conception-réalisation*

3.1 - L'expression du besoin

C'est l'étape de départ où sont spécifiés les besoins exprimés par le demandeur ou client. Ces **besoins** correspondent à des **objectifs** associés à des critères **qualitatifs**. Il est souhaitable d'avoir le plus de précisions sur les critères **quantitatifs** de performance. Lorsque ce n'est pas le cas, c'est à l'étude de faisabilité de les fournir. Les besoins concernent des actions des cinq fonctions de base: transformation, déplacement, stockage, contrôle et attente, ou liés au process. Les actions sont souvent exprimées par des verbes. Un verbe représente la fonction globale du système à étudier. Les besoins sont formalisés dans un cahier des charges fonctionnel [AFN 84], [AFA 89]. Ce document va s'enrichir jusqu'au démantèlement du système [TIG 96].

La juste détermination des besoins est la condition sine qua non à un juste prix. Un des objectifs est donc par itération et par projection de définir ces strictes besoins.

A l'issue de cette étape les différents services vont vérifier si les besoins peuvent être satisfaits par l'achat d'un système de fabrication disponible sur catalogue avec adaptation aux problèmes posés: c'est le cas des lignes de conditionnement de boissons constituées de machines ou systèmes standards dont les outils, préhenseurs, guides... sont adaptés aux produits. Dans le cas où il n'existe pas de systèmes appropriés, il faut les concevoir en démarrant par une étude de faisabilité et développer ensuite ces systèmes.

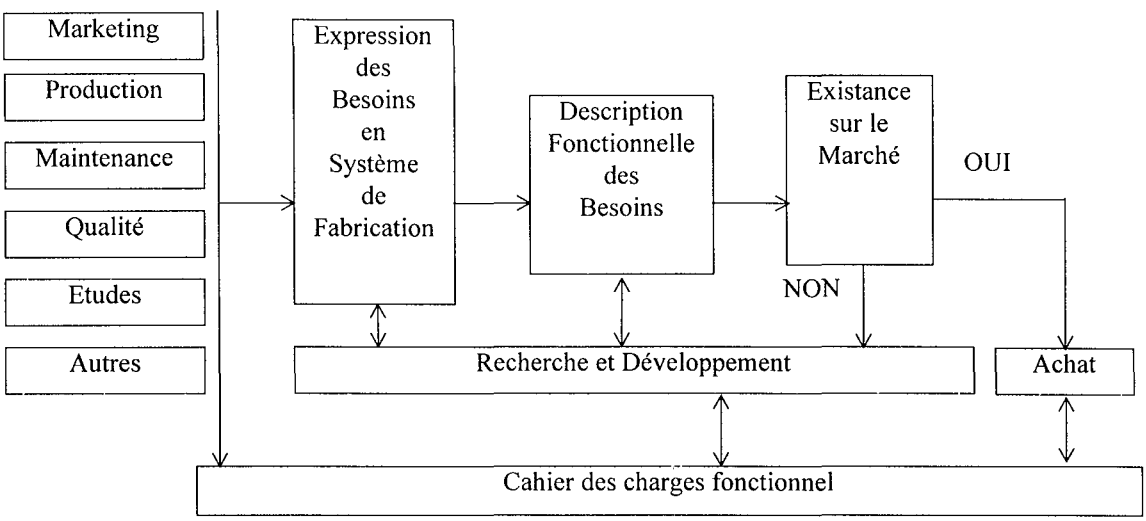


Figure 2.3 : *La demande d'études de Système de Fabrication*

L'analyse des besoins nécessite la comparaison avec des systèmes existants proches de celui à concevoir. Une mesure des gains attendus du nouveau système permet également de les comparer. L'outil connu sous le nom de **benchmarking** est souvent employé dans cette phase.

Nous empruntons la définition du benchmarking à G. BALM [BAL 94].:

-Action continue de comparaison d'un processus, produit ou service avec une activité similaire réputée la meilleure, afin de fixer des objectifs et des actions d'amélioration ambitieux mais réalistes, pour devenir et rester les meilleurs des meilleurs en un temps raisonnable.

Le benchmarking permet de valider l'intérêt de la conception d'un nouveau système et fournit les solutions existantes avec les contraintes de coût et de performance.

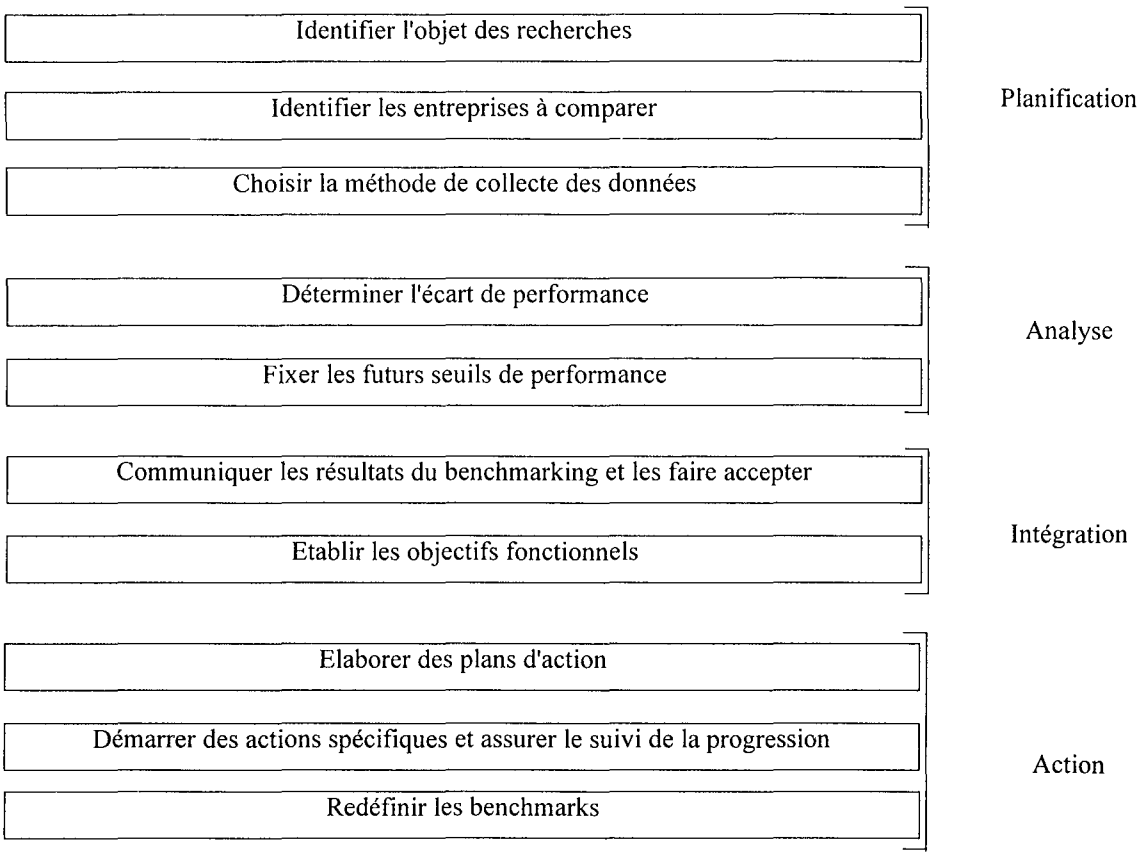


Figure 2.4 : *La démarche de benchmarking* [CAM 92]

3.2. La recherche et le développement du système

Dans ces activités, nous cherchons des principes et des procédés qui permettent avec une technologie existante ou à créer de réaliser techniquement les fonctions du système issues des besoins du client. Ces fonctions associées à des critères de performances, deviennent des contraintes plus ou moins importantes du problème posé.

Lorsqu'une solution est envisagée, une vérification de propriétés ou de protection est faite en consultant différentes bases de données de brevets, pour ne pas exploiter commercialement des solutions protégées. Le cas échéant, une protection de la solution trouvé est déposée.

Dans cette recherche, il est nécessaire en fonction des principes et des procédés capables de satisfaire aux besoins, de tester, de démontrer la faisabilité industrielle de ces solutions. Cette faisabilité est une étude particulière où le temps est un paramètre difficile à quantifier. Les travaux de spécifications, de dessins, de calculs.... sont des tâches évaluables en temps par habitude, par référence, par comparaison, ou par détermination à l'aide d'outils de gestion de projet. Mais là où interviennent la créativité, l'association d'idées, la recherche dans des bases de données, dans des systèmes plus ou moins informatisés (microfiches films...) les délais ne sont pas évaluable par

calcul, il faut déterminer une enveloppe de temps et augmenter les chances de trouver en négociant avec le client (augmentation des ressources humaines, appel à des experts....). Nous introduisons un troisième axe pour les temps liés à la créativité.

Ce dimensionnement peut faire appel au partenariat entre le client et l'équipe d'ingénierie pour pouvoir éventuellement être élastique. Néanmoins il serait intéressant de disposer de données permettant de prévoir un montant des ressources et un planning.

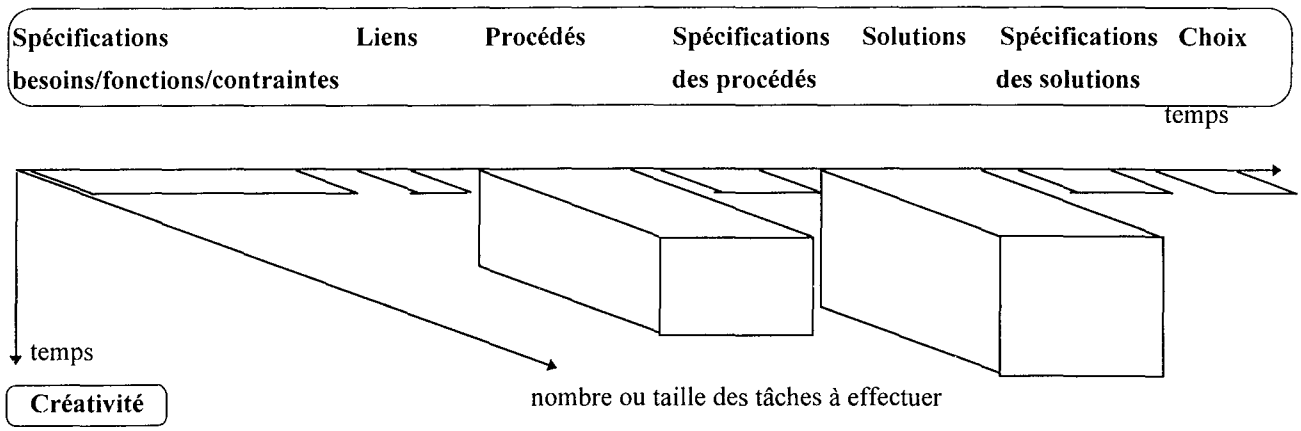


Figure 2.5 : *Le temps et la créativité*

Dans le cas ou plusieurs solutions sont proposées par la recherche il est nécessaire de choisir la plus adéquate à développer. Il faut donc des critères de choix. La phase finale de la recherche est la suite de la rédaction du cahier des charges pour pouvoir aborder le développement.

Le développement s'effectue ensuite à partir de ce cahier des charges. Cette phase est également appelée études [PRI 90]. Un certain nombre de travaux de calcul, de détermination géométrique, d'optimisation, de dimensionnement vont être réalisé par le bureau d'études.

Au cours de la recherche et du développement, il est nécessaire de valider un certain nombre de solutions, il faut donc réaliser des simulations, fabriquer des maquettes ou des prototypes. Nous aborderons ces activités dans la partie 3.

3.3. Les méthodes et l'industrialisation

Elles consistent à transformer des résultats des études en un système réel, supportant les contraintes de la production. D'autres études de faisabilité sont alors réalisées dans des domaines spécifiques tels que: coût de réalisation, maintenance, capabilité...

3.4. La réalisation

Elle comprend la fabrication des pièces de structure et de mécanisme puis le montage ou l'assemblage de ces éléments avec des composants achetés et enfin les câblages, la programmation de la partie commande.

Un certain nombre d'outils et de méthodes de suivi de projet sont utilisés par les clients pour s'assurer du respect des cahiers des charges et surtout des délais spécifiés.

Ces méthodes et outils travaillent sur:

- les étapes; P.E.R.T. (Programm Evaluation, Review Technique) ou C.P.M. (Critical Path Method),
- les tâches; P.D.M. (Precedence Diagramming Method) ou M.P.M. (Methode Potentiel Metra).

Nous renvoyons le lecteur à la nombreuse littérature sur ces outils informatisés [CXP 94].

3.5. L'installation, l'exploitation et le démantèlement

Elles suivent la validation de la réalisation avec une montée en cadence progressive. Souvent les critères employés sont liés au nombre de pièces réalisées en préserie. D'autres fonctions telles que la maintenance, la qualité, le suivi de production prennent une importance croissante. Nous développons une application dans ce sens au chapitre 5.

4. Les modèles de cycle de vie

Au paragraphe précédent, nous avons représenté le cycle de vie d'un système de fabrication depuis sa demande jusqu'à son démantèlement. D'autres modèles de cycle de vie existent et présentent certains intérêts vis à vis des différents métiers nécessaires à la réalisation d'un système de fabrication ou des différentes phases des cycles de vie. Ces modèles décrivent les différentes phases depuis la demande par un client jusqu'à la réalisation du système [CAL 90], [ZAN 93].

Il est important d'analyser les différents cycles pour déterminer leur adéquation avec la phase de faisabilité et leur réutilisation en conduite d'étude.

4.1. Le modèle en cascade: Waterfall

Ce modèle déroule les étapes successives de la vie d'un système suivant la représentation d'une cascade. Des liens représentent le passage d'une étape à une autre, dans le sens ascendant il s'agit d'un retour en arrière pour modifications. Une validation est réalisable à certaines étapes, elle est représentée par une boucle sur l'activité. Dans les cas de corrections sur une étape ou sur l'étape précédente, il faut recommencer le travail ou modifier les spécifications de l'activité considérée.

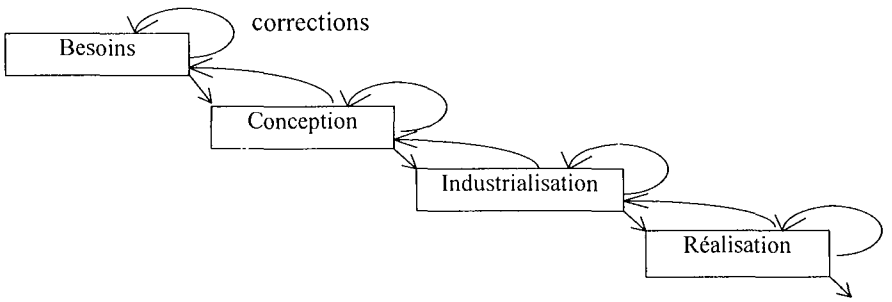


Figure 2.6 : *le modèle Waterfall* [ZAN 93]

C'est un principe de base avec une démarche linéaire [PRI 90] qui n'est pas adapté a l'ingénierie de systèmes de fabrication, dans lesquels travaillent plusieurs métiers sur plusieurs sous-ensembles. Par contre sa représentation est simple et limitée.

Les intérêts de cette démarche pour la conception de système de fabrication en PMI-PME sont:

- la similitude entre la linéarité et le déroulement réel des travaux réalisés par une seule personne (cas courant en bureau d'études de PME-PMI).

- la simplicité de mise en oeuvre.

Le modèle en cascade ne permet pas de montrer le fonctionnement en ingénierie intégré nécessaire en étude de faisabilité.

4.2. Le cycle de vie en V

C'est en fait un cycle en cascade possédant deux parties. L'une descendante qui détaille le développement des phases principales de spécifications et de conception. L'autre partie ascendante où sont mises en vis à vis les étapes de test, d'évaluation et d'implantation. C'est la phase de réalisation. C'est une approche d'activités à mener en parallèle puis à intégrer au système. L'axe horizontal est l'axe du temps et correspond à l'ordre des phases principales.

Ce modèle est adapté à la conception-réalisation de parties de commande comportant des développement de logiciel et du câblage. Des tests et des évaluations sont réalisés en plate-forme avec une partie opérative simulée. Néanmoins l'ensemble du système de fabrication ne peut être évalué avec ce modèle [FRA 90], [MOR 93].

Ce cycle présente un double parallélisme:

-un parallélisme dans certaines phases de la partie commande,

-un parallélisme entre la conception-réalisation de la partie opérative et de la partie commande.

Nous remarquons cependant que le parallélisme ne démarre qu'en phase de conception, c'est à dire après la phase de faisabilité. Les étapes entre les besoins et les spécifications du S.A.P. ne sont pas

présentées. Ce modèle dédié à la partie commande, ne détaille pas le cycle de conception de la partie opérative, qui est notre principal soucis en étude de dfaisabilité de fonctionnement.

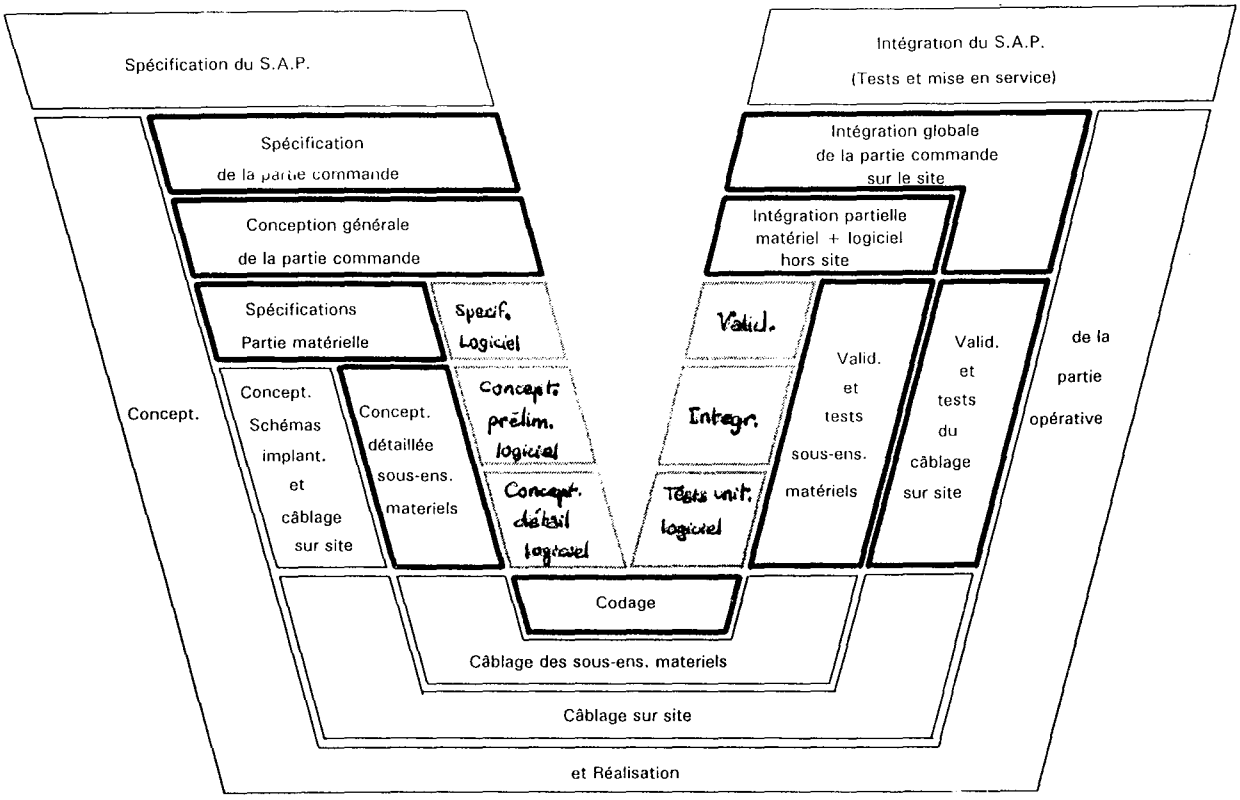


Figure 2.7 : *le cycle de vie en V* [MOR 93]

4.3. Le modèle contractuel

Ce modèle est issu des relations entre un client et un fournisseur dans le cadre d'un développement de produit (figure 2.8). Ces relations sont nécessaires lors de l'expression de besoins mais également tout au long du processus de développement. Les fournisseurs seront tour à tour les concepteurs, les réalisateurs, les installateurs...[COH 86].

La validation d'une phase par le client permet de passer à la phase suivante, c'est la satisfaction aux termes du contrat. Cette satisfaction passe par la réalisation de preuve de la part du fournisseur, et pose le problème de l'évaluation. Ce sont des tâches difficiles dans les étapes de formalisations, de spécifications, de dessins ou autre activité virtuelle. Un partenariat entre client et fournisseur doit atténuer ce besoin de preuve. Cette représentation ne permet pas de visualiser les différents métiers ainsi que les différentes sous-parties d'un système de fabrication. D'autre part l'aspect faisabilité n'est pas mis en évidence.

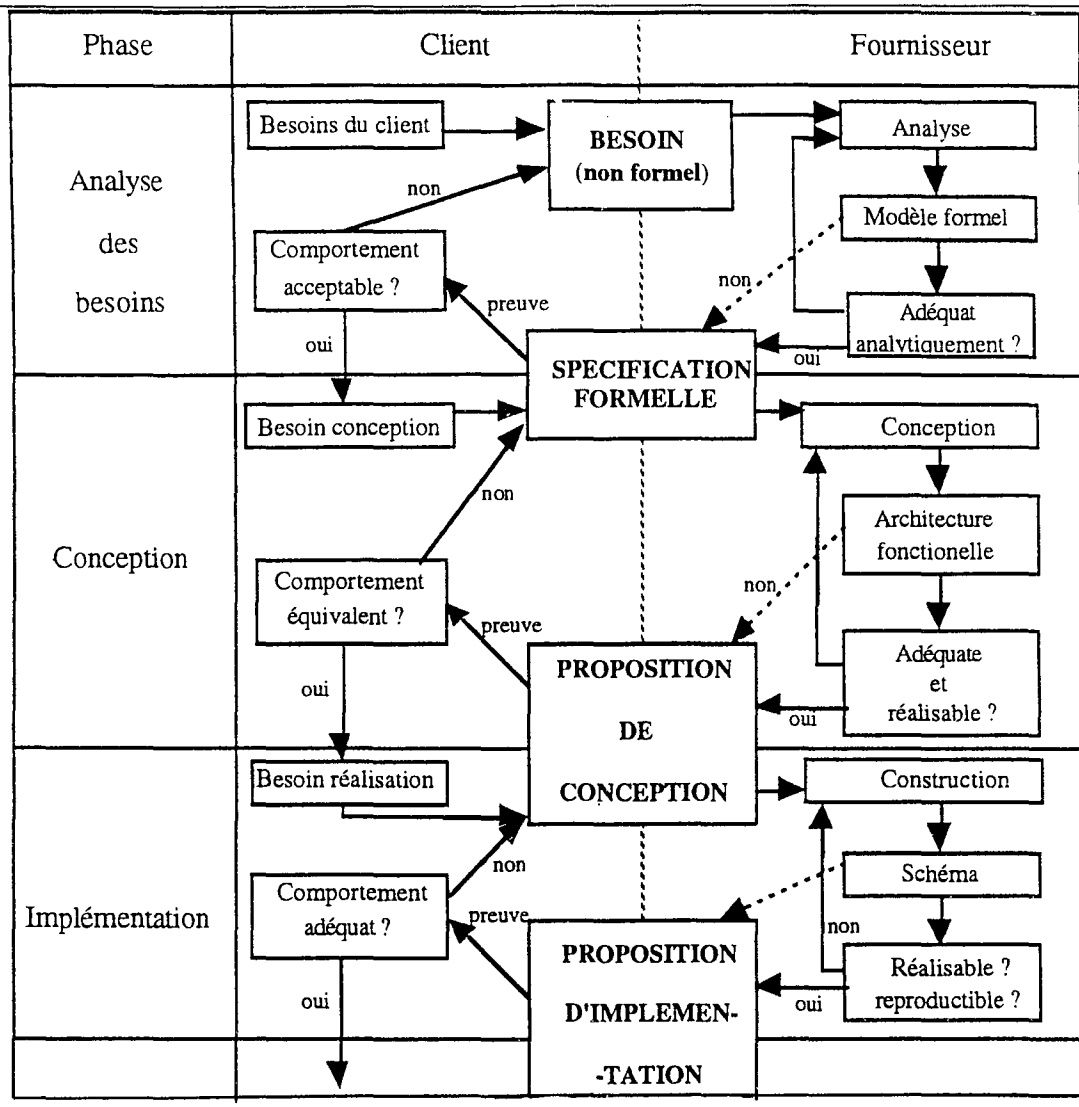


Figure 2.8 : *le modèle contractuel* [COH 86]

4.4. Le modèle spirale

Ce modèle est un processus itératif décrivant le développement en quatre phases et montrant les différentes approches: expression des besoins, faisabilité, prototypage et développement qui n'étaient pas vue dans les autres modèles [WIL 88]. Chaque quadrant correspond à une phase :

- la planification des phases ultérieures
- la définition des objectifs, des variantes et des contraintes
- l'évaluation de solutions et l'analyse des risques
- le développement et la vérification du produit

La distance d'un point de la courbe au centre représente le coût cumulé à ce stade du développement.

L'évaluation de la solution est fait systématiquement par la réalisation d'un prototype, ce qui n'est pas possible dans tous les cas de système de fabrication.

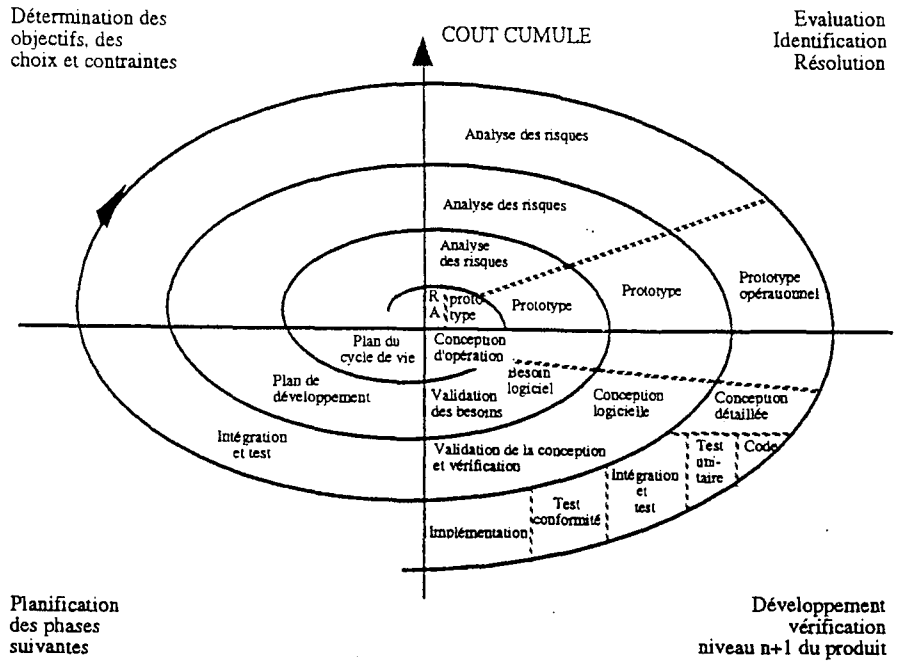


Figure 2.9 : *le modèle spirale* [WIL 88]

Le modèle spirale est bien adapté à la conception de produit mais ne présente pas tous les aspects métiers et sous-ensembles d'un système.

5. Les méthodes de conception de produit

L'objectif de cette partie, est d'examiner et d'évaluer les méthodes utilisées en conception de produit, et de préciser leur utilisation dans la faisabilité de système de fabrication.

5.1. La méthode Quality Function Deployment : QFD

Cette méthode vient du Japon où Yoji Akao l'a introduite en 1966. QFD permet d'obtenir une conception de qualité [AKA 90] à partir des demandes du consommateur. Les demandes sont traduites en objectifs de conception et en points d'assurance qualité [REY 92]. Un des intérêts de QFD est de réduire le temps de conception. QFD comporte cinq étapes principales avec des revues de décision intermédiaire [ZAI 90]. C'est une démarche séquentielle.

- **Etude de marché**: QFD liste les attentes des clients, les hiérarchise et les pondère. C'est le document le plus important de la démarche appelé "voix du client".

Définition du produit: QFD compare les attentes des clients avec le potentiel de l'entreprise. A un "QUOI" (voix du client) est associé un "COMMENT" opérationnel et maîtrisable, visualisé dans une matrice de corrélation contenant le poids de la corrélation.

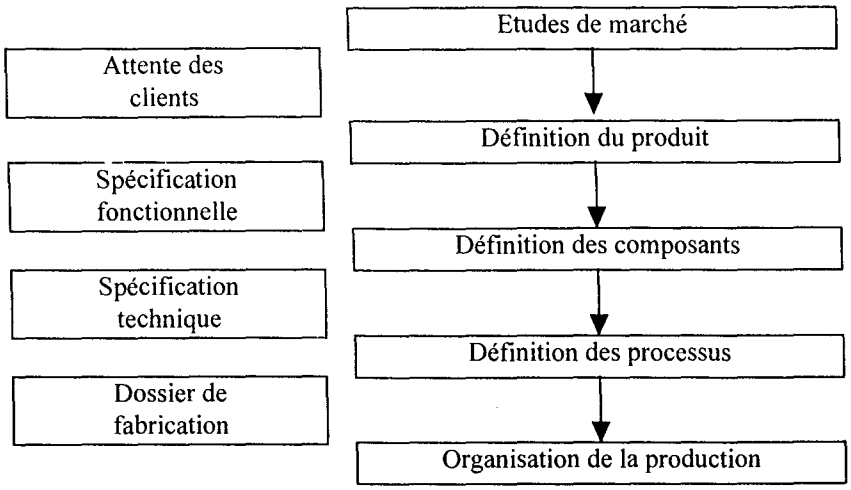


Figure 2.18 : *les étapes de QFD* [ZAI 90]

Un graphe en forme de toit est construit au dessus des "COMMENT" et on y indique le sens et le degré de corrélation entre les différents "COMMENT". Ensuite le "COMBIEN" est précisé pour chaque "COMMENT", c'est un objectif à atteindre. Le chiffrage est nécessaire. QFD demande alors de comparer les "QUOI" et les "COMBIEN" à la concurrence en terme de réponses aux attentes et de performances techniques.

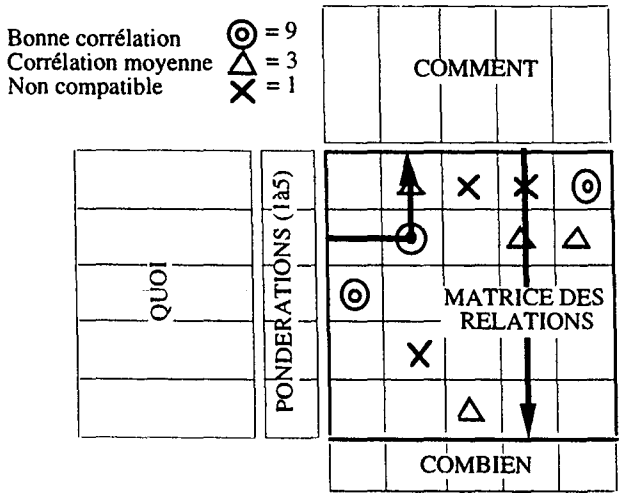


Figure 2.19 : *un exemple de matrice de corrélation* [BOCa 95]

Définition des composants

Une démarche analogue est utilisée. Les "COMBIEN" de l'étape précédente deviennent les "QUOI" de la nouvelle matrice destinée à trouver les spécifications techniques (les "COMBIEN" résultant de la nouvelle matrice). Des plans terminent cette étape et permettent de construire un prototype.

Définition des processus

Les "COMBIEN" de l'étape précédente deviennent les "QUOI". Les dessins permettent de définir les procédés et les opérations nécessaires à la fabrication des pièces.

Organisation de la production

Dans cette étape, les gammes de fabrication, de contrôle ainsi que les plans de production sont réalisés avec le même processus que précédemment. La voix du client atteint l'atelier.

Cette démarche nécessite un travail en équipe pluridisciplinaire. QFD utilise des notions de l'ingénierie concourante. QFD comme d'autres méthodes japonaises, Kaizen, TPM, SMED [NAK 89] est un **outil de management** à forte participation des équipes et un outil de **bon sens** [VIG 92].

Dans QFD, la représentation des QUOI, des COMMENT... est **statique** puisque c'est le résultat de décisions. JC. Bocquet et A. Vassiliu proposent une **approche dynamique** de QFD basée sur un modèle de représentation et de gestion des décisions dans [BOCa 95], [BOCb 95] ,[VAS 96]. Le modèle comporte une composante "capitalisation du processus de conception" dans QFD et permet de remplir les matrices QFD à travers la construction d'un historique de conception sous la forme d'un graphe. En reconception, le concepteur a en plus des informations contenues dans les matrices, la succession des décisions prises pour la conception.

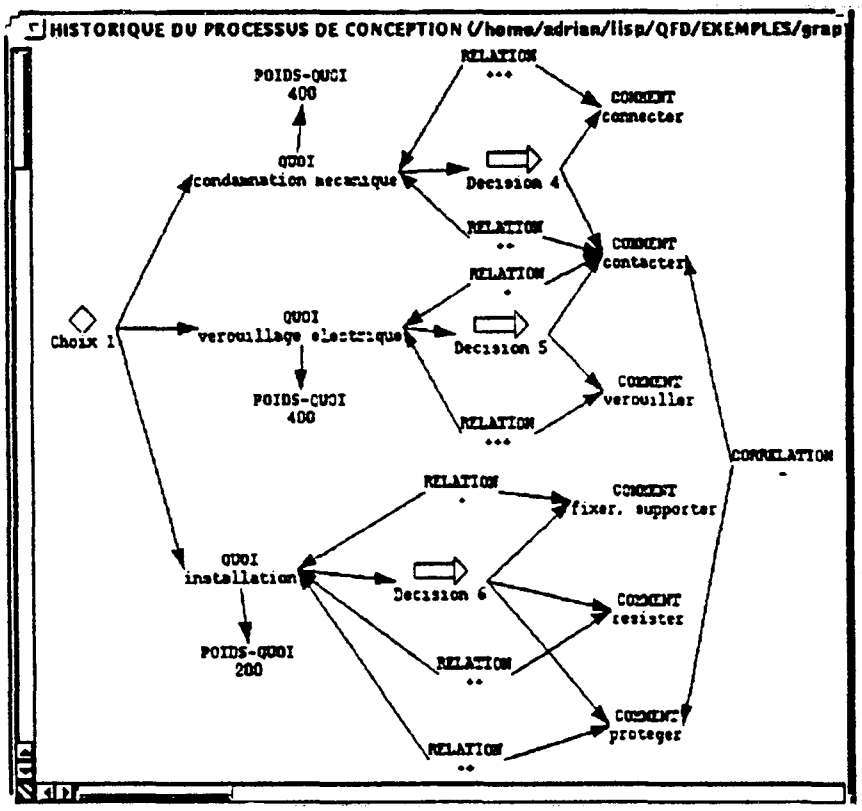


Figure 2.20 : *le processus de notation des décisions* [BOCb 95]

Une plate-forme de reconception a été développée et validée sur un produit de condamnation électromagnétique.

La méthode QFD est lourde à mettre en oeuvre pour la phase de faisabilité qui ne débouche pas toujours sur un développement de système. Elle ne permet pas la représentation des différents métiers et oblige à un foctionnement quasi séquentiel de l'ingénierie.

5.2. La méthode DFM (Design For Manufacturing)

DFM est une méthode de développement de produit apparue dans les années 80. Suite à l'ingénierie concourante, L. Sheldon [SHE 91] préconise le *"Design For..."* pour gagner sur les trois points de la compétitivité d'un produit : disponibilité, qualité, utilité. La méthode DFM fait suite à celles concernant l'assemblage : Design For Assembly (DFA). Cet outil simule des assemblages dès la conception, et minimise le nombre d'assemblage ou de pièces à assembler.

Un autre outil ; Design For Manufacturing and Assembly (DFMA) a permis d'intégrer les bases de données d'usinage destinées à optimiser les chiffrages des coûts de revient de fabrication. DFM est l'aboutissement de ces méthodes et permet d'appréhender le cycle de production de pièces [SUH 90].

Elle demande de remonter les contraintes et savoir-faire liés au "manufacturing" jusqu'à la conception. Elle vise la minimisation du coût global par une conception adaptant la réalisation aux besoins du client. Les applications actuelles sont en fait des reconceptions avec une équipe pluridisciplinaire comme QFD. La démarche comporte 7 étapes séquentielles décrite dans un guide [MAN 96]. A chaque étape, plusieurs méthodes et outils sont utilisés dans les domaines de l'analyse, de la modélisation et de la mesure et validation: analyse de la valeur, analyse fonctionnelle, AMDEC, QFD, DFA, DFMA.

5.3. La Méthodologie de Conception Intégrée : MCI

La méthode DFM manque d'organisation, les outils ne sont pas liés. Les travaux de J.L. Bochatay proposent de palier à ces manques avec ORME-DFM ; ORganisation and MEthodologie in DFM [BOC 94] et une Méthodologie de Conception Intégrée (MCI) [DJE 95] propose de palier à ces problèmes avec un guide de travail et une base de données technique qui gère les outils utilisés, la réutilisation et les transferts de données entre les différentes phases du projet. MCI élargie le champ d'application de DFM à l'ensemble de la conception-réalisation.

C'est une démarche séquentielle sans spécificités pour mener les travaux de plusieurs métiers.

La méthodologie MCI bien qu'étendant le champ de DFM, ne précise pas les phases de faisabilité ainsi que les liens entre l'expressio.. d'un besoin et la définition et le développement d'un produit.

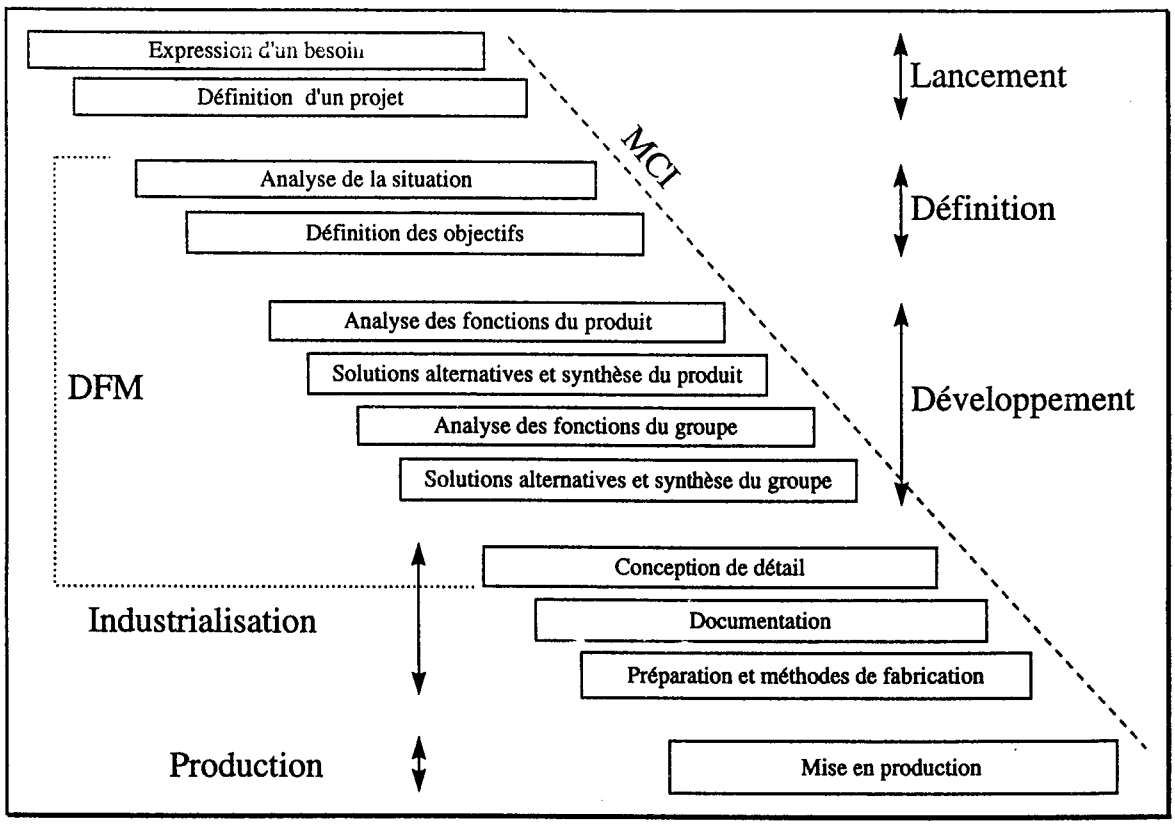


Figure 2.21 : *les méthodes DFM et MCI* [DJE 95]

Dans cette méthodologie, il n'y a pas de prise en compte des couples:

- produit-procédé,
- produit-processus,
- produit-système.

5.4. La conception distribuée

Cette approche de la conception fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine des systèmes coopératifs en conception [SHE 95]. La notion de distribution pour la conception en génie mécanique vient :

- de la pluritechnologies des systèmes,

- des différents métiers intervenants en conception réalisation associés comme nous l'avons présenté à des méthodes de conception DFM et DFA,

- de l'évolution vers l'ingénierie concourante, où les connaissances sont distribuées, les actions de conception sont distribuées dans le temps et l'espace.

Les décisions, les actions, les outils et les méthodes sont distribués. Nous représentons le fonctionnement distribué par la figure suivante.

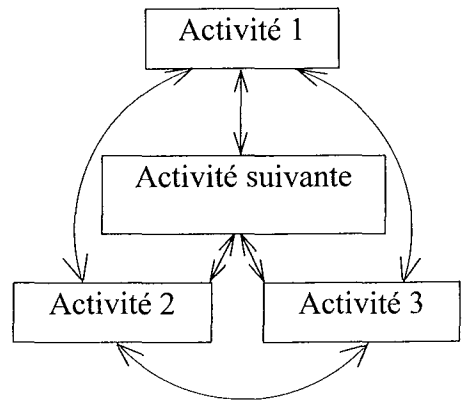


Figure 2.26 : *Notre vue du principe de fonctionnement du processus distribué et itératif*

I. Sälau et O. Garro proposent un modèle de conception distribuée s'appuyant sur trois modules [SAL 95], [GAR 96] :

- un module structurel,
- un module fonctionnel,
- un module de fabrication

Ces trois modules échangent des informations qui peuvent être représentées par la figure 2.27.

La conception distribuée est adaptée à la conception de produit ou de système et nous utilisons cette approche dans notre démarche.

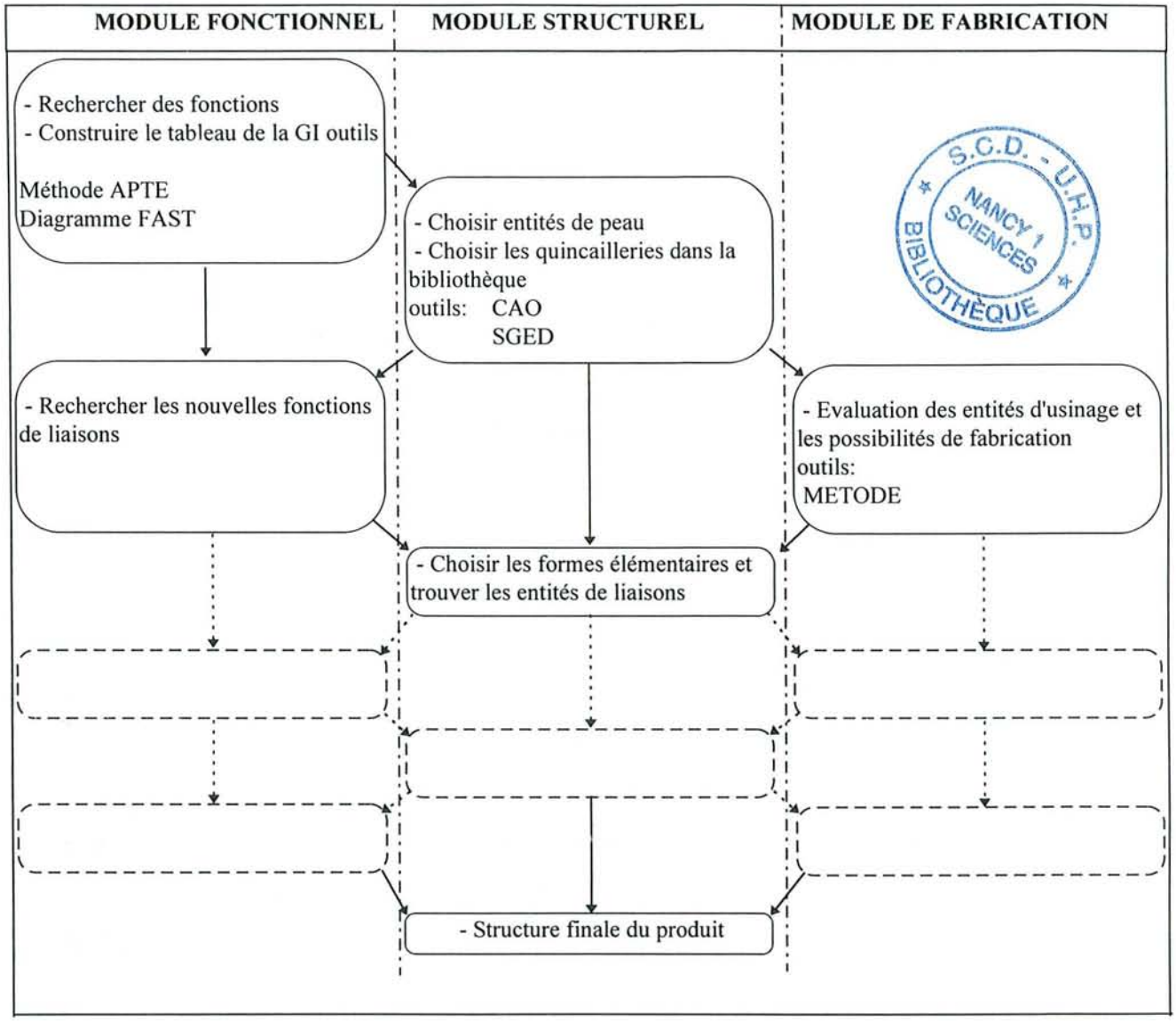


figure 2.27 : *Le modèle fonctionnel, structurel et fabrication* [GAR 96]

5.5. Un modèle de représentation de produit multi-vues

Ce modèle est issu de l'intégration des étapes du cycle de vie d'un produit en phase de conception [TIC 95] lui-même repris d'un modèle produit de base présenté par Matra Datavision [DEB 94]. La nécessité de l'aspect multi-vues est liée à la description du produit par de multiples acteurs au cours du process en ingénierie simultanée. Cette représentation utilise trois concepts de base : composants, liens et relation, (figure 2.15) qui sont associés à une grammaire fondée sur trois règles de décomposition, de substitution et de représentation multi-vues [BEL 94].

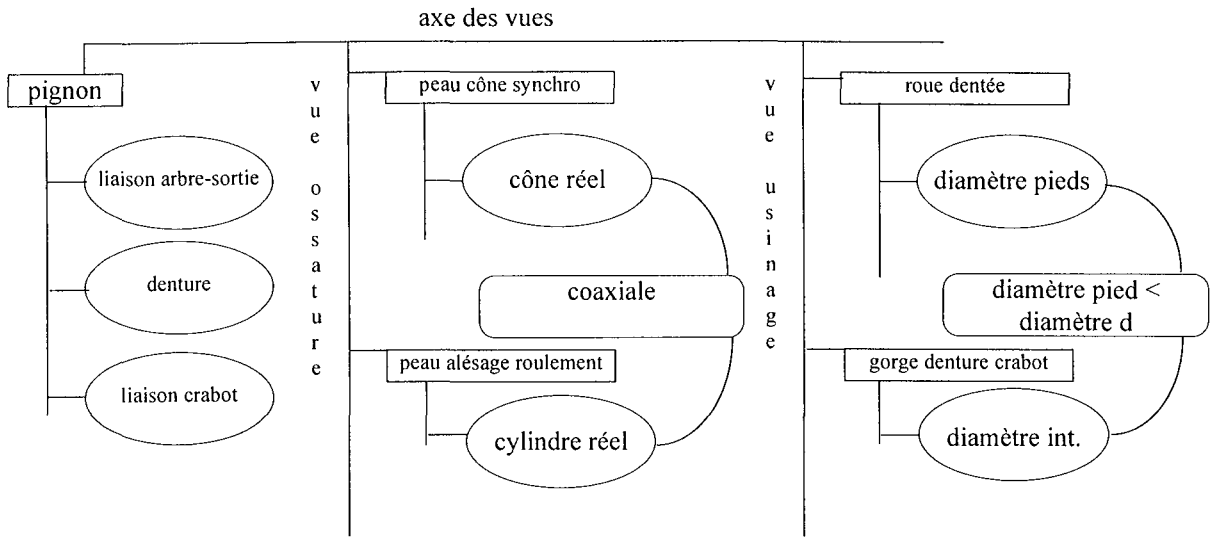


Figure 2.15 : *Le modèle multi-vues pour un produit* [TIC 95]

Ce modèle est intéressant car il permet aux différents acteurs de se situer. La décomposition arborescente est claire et permet de situer certaines contraintes de conception mécanique.

6. Les méthodes de conception de système de production

Comme dans le paragraphe précédent, nous allons examiner les méthodes utilisées en conception de système de production, et et évaluer leur utilisation dans les études de faisabilité.

6.1. Les méthodes GRAI et IMPACS

La méthode GRAI présentée en 1984 par M. Doumeingts [DOU 84] permet l'analyse et la conception de systèmes décisionnels de systèmes de gestion de production. Le projet européen ESPRIT 418 "Open CAM System" a engendré des travaux ayant abouti a une méthode d'analyse et de conception pour l'ensemble du système de production. Les premiers éléments sont présentés dans ROBOAM [ROB 88] et correspondent aux travaux sur la création de GIM (GRAI - IDEFo - MERISE puis GRAI Integrated Method).

Le modèle de référence de GRAI peut être représenté par la figure suivante. Cest une vue globale du système de production.

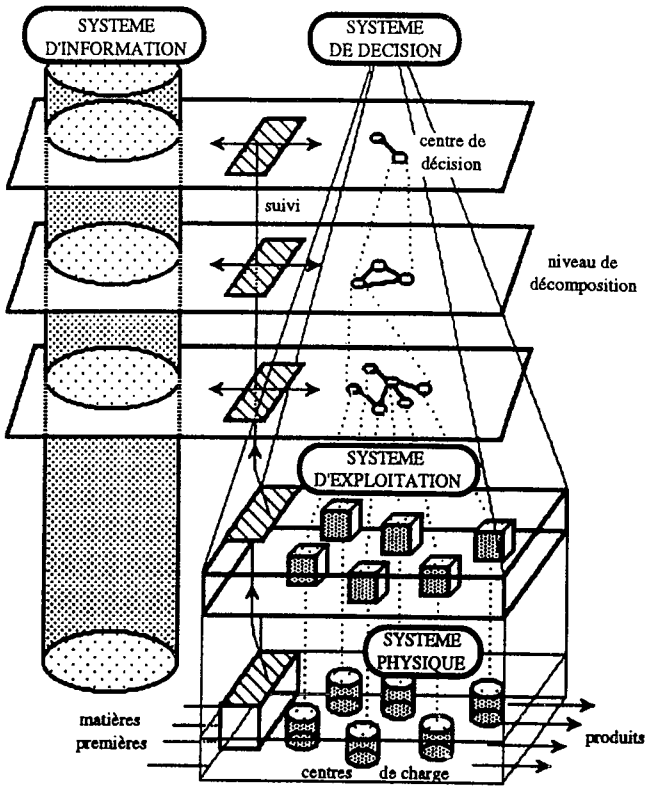


Figure 2.16 : *le modèle GRAI* [DOU 84]

IMPACS (Integrated Manufacturing Planning And Control System) est un système de gestion de production qui a été développé dans le cadre d'un projet européen et visant un système intégré de planification et de contrôle s'étendant depuis la stratégie de production jusqu'au contrôle temps réel de l'atelier.

IMPACS est basée sur une architecture décrivant les caractéristiques du système et sur une méthodologie pour l'utilisation de cette architecture : le GIM [ZAN 93].

Les travaux de recherche autour de IMPACS, GIM sont surtout axés dans la conception de systèmes de production et non pas la conception de système de fabrication au stade de la faisabilité.

Néanmoins, l'approche IMPACS permet de travailler sur plusieurs vues d'un système :

- la vue physique
- la vue fonctionnelle
- la vue décisionnelle
- la vue d'information.

La faisabilité est présente dans chacune de ces vues mais n'est pas présentée dans IMPACS.

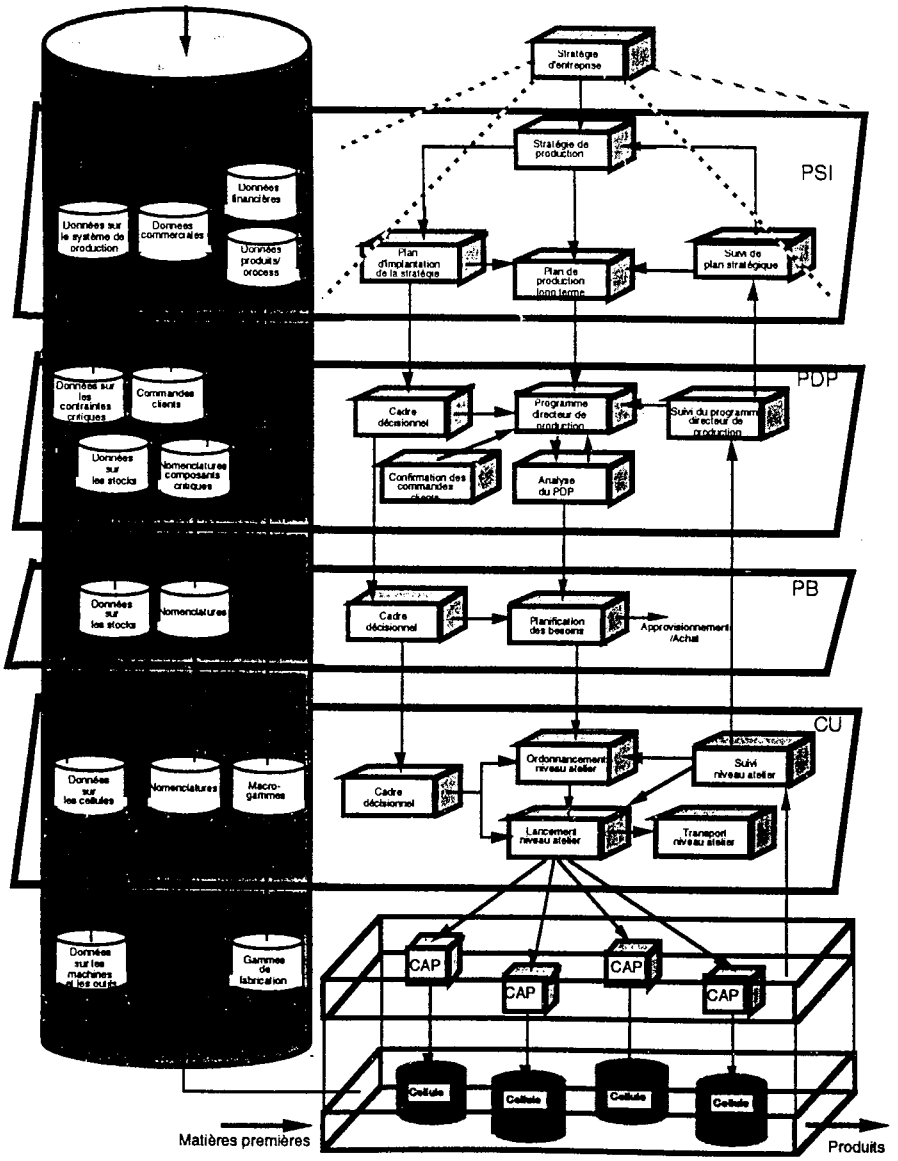


Figure 2.17 : *l'architecture de IMPACS* [ZAN 93]

6.2. Le soutien logistique intégré (SLI)

Le Soutien Logistique Intégré est issu du Department of Defense des USA et s'applique à l'origine à un système d'arme qui est un produit complexe. Il est nécessaire de concevoir le système et les éléments qui permettent son exploitation : le soutien. La logistique concerne :

- le **flux matériel**; gestion de stock, manutention, acheminement [BAR 95], (logistique de flux),
- les activités liées au **maintien opérationnel**; fiabilité, maintenabilité, (logistique de production),
- les activités assurant la **disponibilité**; documentation, formation, outillages (logistique de soutien).

Nous trouvons une définition du SLI dans [PON 93]: "*approche globale et itérative de management comprenant des activités techniques dès la conception, avec l'objectif d'assurer à un système des performances aux meilleurs coûts et délais tout au long du cycle de vie*".

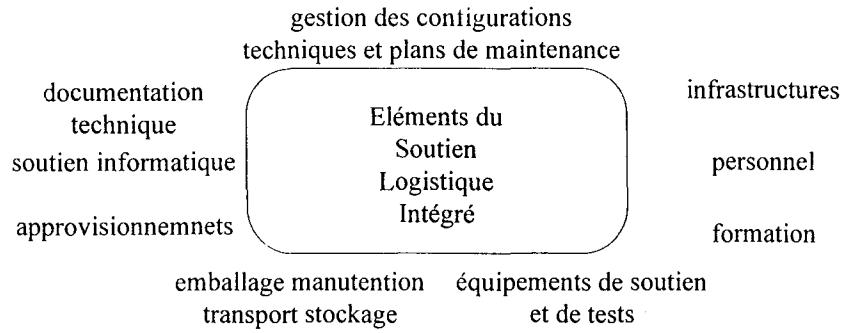


Figure 2.18 : *les éléments du SLI* [PON 93]

Pour assurer la prise en compte du soutien, la spécification et la définition du système, l'optimisation de l'ensemble système-système de soutien, la mise en place du système de soutien et sa maintenance, il est nécessaire d'utiliser des techniques d'ingénierie définies par l'analyse du soutien logistique (logistic support analysis: LSA) et son enregistrement (logistic support analysis record: LSAR). Les tâches d'analyse sont identifiées dans un guide "ASL DGA 6007" [PRE 94]. Le LSA est constitué de 5 tâches globales décomposées en de nombreuses sous-tâches. Le LSAR a donné naissance à CALS (Computer aided Acquisition and Logistic Support) pour harmoniser les bases de données et échanger les données entre partenaires d'un projet. Le système d'information est de ce fait très spécifique [ALQ 95]. Le sens des initiales CALS a évolué pour devenir aujourd'hui ; Continuous Acquisition and Life cycle Support. CALS est également un outil pour la mise en oeuvre de l'ingénierie concourante, permettant la mise à disposition des informations.

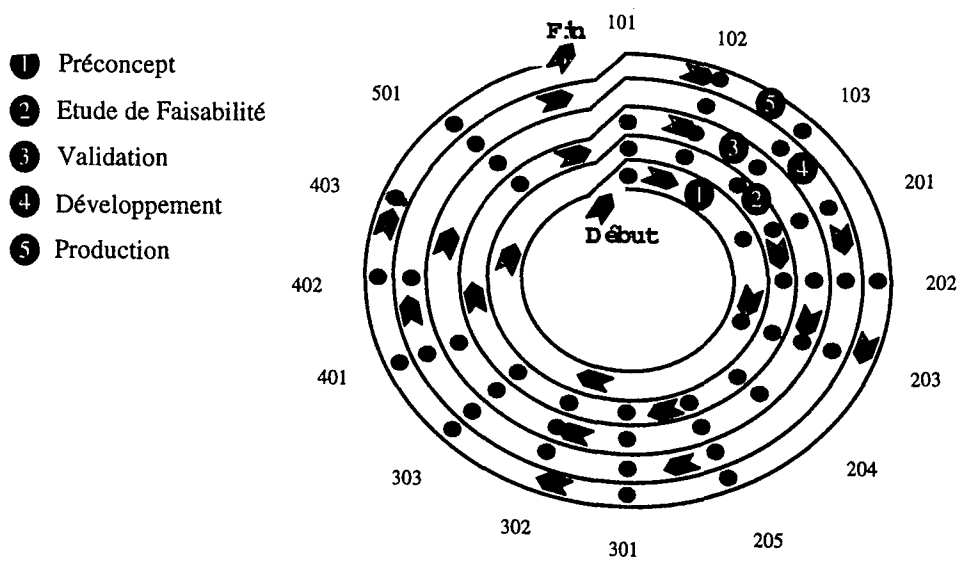


Figure 2.19 : *le déroulement du LSA* [PRE 94]

6.3. La méthode de conception d'outil de production (COP)

C'est une méthodologie de conception qui s'applique à un système de production ou à un produit. Elle permet de concevoir ce système ou ce produit en apportant des solutions dans le domaine de la maintenance , de l'évolution tout au long de sa vie.

Cette approche est proposé dans le domaine des équipements de production [MAN 96]. Ceux-ci répondent aux critères suivants :

- système unique à faible logistique de flux,
- cycle de vie long,
- utilisation complexe,
- conception ou reconception tout au long du cycle de vie.

Les étapes de conception classique sont linéaires descendantes.

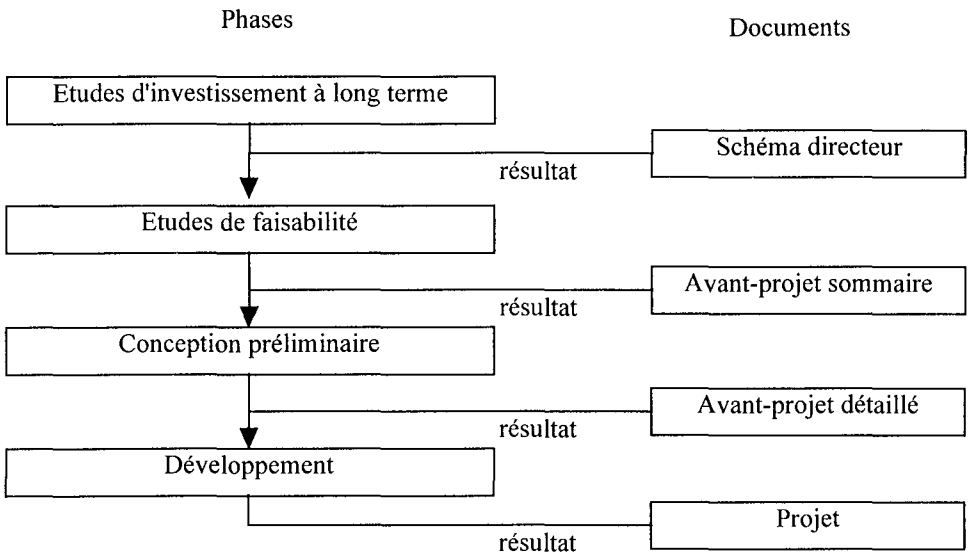


Figure 2.20 : *les étapes de conception d'après* [MAN 96]

COP propose cinq thèmes de travail pour ces quatres phases de conception :

-le thème **Stratégie Globale et Gestion de l'Information** gère les interactions entre les groupes de travail des quatres autres thèmes.

-le thème **Mesure de l'existant** prend en compte l'expérience de l'entreprise

-le thème **Analyse** utilise l'analyse fonctionnelle, l'analyse des risques (Sûreté de fonctionnement) et l'analyse économique (analyse de la valeur).

-le thème **Evaluation de performance et de coût global** qui définit les objectifs et compare entre les différentes phases de conception.

-le thème **Prise en compte du soutien** qui assure les quatres points suivant:

*Gestion des rechanges

*Formation

*Equipement de soutient

*Plan de maintenance

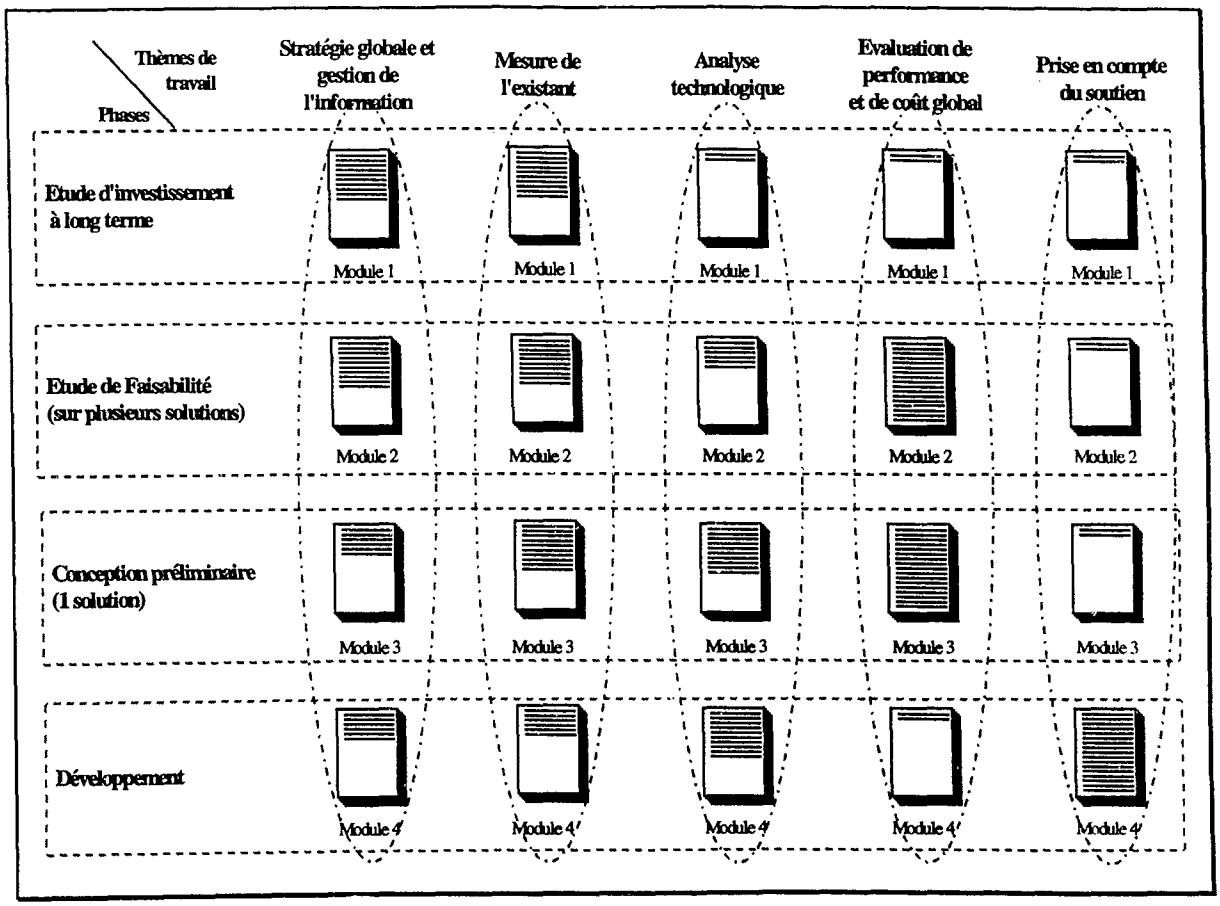


Figure 2.21 : *les étapes de conception et les thèmes de travail COP* [MAN 96]

La méthode COP est surtout axée sur la **reconception** d'un système de production à partir de l'existant en se basant sur les possiblités de comparaison:

- comparaison existant / futur système
- comparaison par l'analyse
- comparaison des performances et du coût global
- comparaison du soutien.

C'est également une méthode orientée sur la **maintenance**.

Ces deux axes sont éloignés des contraintes de la faisabilité:

- une étude faisabilité est pratiquement jamais une reconception,

- la maintenance est rarement prise en compte tant que le fonctionnement d'un système de fabrication est validé.

De plus cette méthode de conception englobe un ensemble de contraintes liée à la production, ce qui n'est pas le cas d'un système de fabrication.

7. Les méthodes d'analyse utilisée en conception

Nous abordons les méthodes d'analyse suivantes :

- l'analyse fonctionnelle avec des méthodes comme celles proposées par la société APTE, les outils tels que la "pieuvre", la bête à cornes le bloc-diagramme fonctionnel et le tableau d'analyse fonctionnel,
- les diagrammes FAST (Function Analysis System Technique),
- l'analyse de la valeur,
- l'analyse multicritère.

7.1. L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche basée sur l'approche fonctionnelle, elle consiste à rechercher, caractériser, ordonner, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions (extrait de la norme NF X 50-150). Différentes méthodes d'analyse fonctionnelle existent, et ce n'est pas notre propos de les citer vu leur grand nombre. La plupart repose sur un langage graphique représentant les fonctions ou les activités. La phase d'analyse est du domaine de la réflexion humaine. L'approche fonctionnelle qui découle de l'analyse fonctionnelle est une manière de conduire ou d'exprimer un raisonnement en terme de fonctions. C'est une approche méthodique et créative qui fait abstraction de toute référence à des solutions technologiques [TAS 95], [TEI 95].

L'approche fonctionnelle est un outil d'aide à l'expression du besoin du demandeur ou client. L'outil s'appuie sur une technique méthodique qui est appliquée par une équipe de travail. Le produit ou le système sont abordés en terme d'objectifs pour déterminer :

- Comment un produit ou un système remplit les fonctions pour lesquelles il a été conçu ?
- Pourquoi les solutions envisagées ont elles été choisies ?

Des outils internes à l'analyse fonctionnelle sont utilisées pour aider le concepteur dans sa définition du système, dans ses relations avec le client:

- le schéma fonctionnel ou bloc diagramme fonctionnel,
- le tableau d'analyse fonctionnelle,

- l'arbre fonctionnel.

Ce dernier est très utilisé dans l'industrie où il représente les fonctions mises sous une forme hiérarchique qui permet d'avoir une vision claire et structurée. Ces fonctions sont appelées :

- fonction principale,
- fonction contrainte,
- fonction de service.

Les feuilles de l'arbre fonctionnel sont des fonctions de services. Il est possible de valoriser les fonctions à chaque noeud de l'arbre en évaluant localement l'importance de celles-ci. La valorisation fait l'objet de réunion où plusieurs méthodes sont utilisées pour atteindre un concensus : le brainwritting, le tri croisé [ADA 85], [DEL 91].

L'analyse fonctionnelle est utilisée dans de nombreuses démarche telles que l'analyse de la valeur, l' AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets sur la Criticité)...

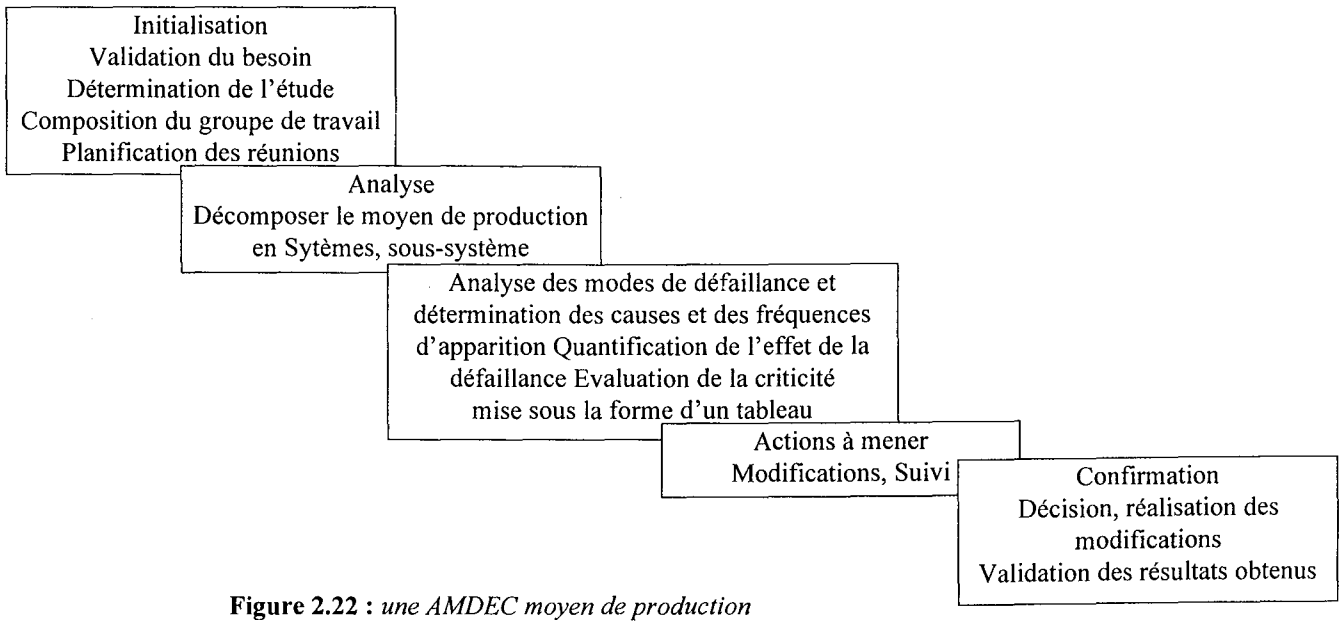


Figure 2.22 : *une AMDEC moyen de production*

Le cahier des charges fonctionnel (CDCF) conclut la phase d'analyse fonctionnelle. A la suite de l'analyse fonctionnelle, il faut passer de l'abstrait au concret. Ce passage est fait entre l'arbre fonctionnel et la structure physique du système et met en oeuvre la **créativité** du groupe de travail. La recherche de solutions est facilitée par l'utilisation du diagramme FAST. Il visualise de façon explicite et progressive les liaisons de causes à moyens entre les fonctions.

Le diagramme FAST permet de représenter pour une solution les fonctions de service et les fonctions techniques dans leur enchaînement logique.

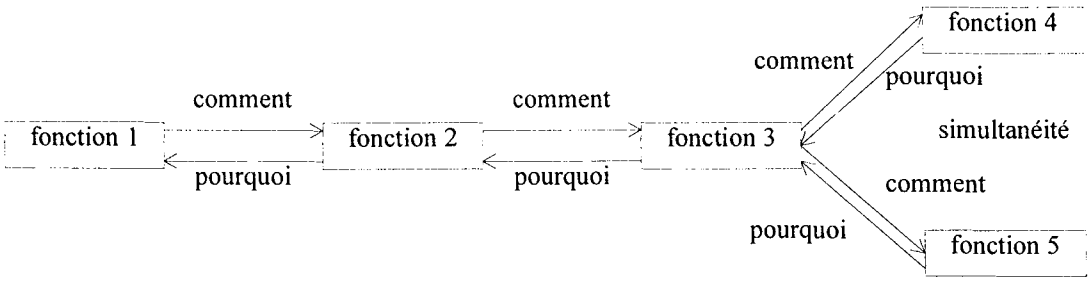


Figure 2.23 : *le diagramme FAST*

L'analyse descendante peut également se représenter par la figure suivante. La décomposition fonctionnelle se fait en niveau de plus en plus détaillé. Ces niveaux correspondent à des fonctions ou à des activités. Ce type de décomposition permet une représentation chronologique d'un projet.

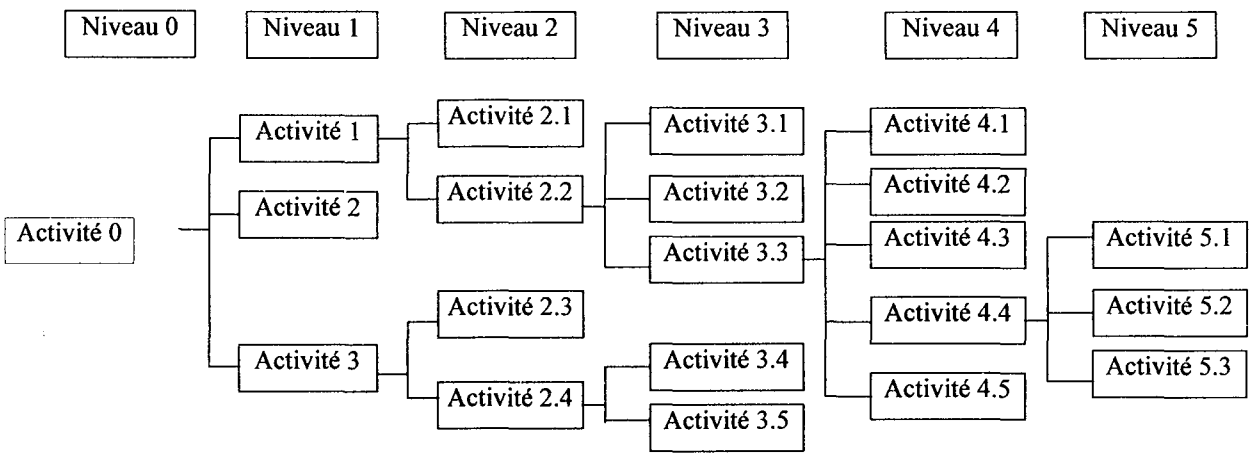


figure 2.24 : *une représentation des activités type analyse descendante*

7.2. Les méthodes IDEFo et SADT

Les méthodes IDEFo et SADT (Structured Analysis and Design Technic) proposent une modélisation hiérarchique, descendante modulaire et structurée, elles sont basées sur un formalisme graphique et syntaxique pour pouvoir communiquer. La pratique de la méthode nécessite un recours à l'outil informatique surtout lorsque l'on exploite la syntaxe pour valider la cohérence . Nous proposons au lecteur de se reporter à la volumineuse bibliographie se rapportant à IDEFo et SADT, [SAD 89], [JAU 90], [LIS 90].

7.3. L'analyse de la valeur

L'analyse de la valeur est une **méthode organisée** qui favorise la **communication** au sein de l'entreprise, principalement par l'examen fonctionnel qui est au coeur de la méthode.[ADA 85],

[AFA 89], [LAC 87], [COO 84], [AFN 90]. La méthodologie de l'analyse de la valeur comporte 7 étapes [BEL 90].

Elle est utilisée en conception de produit et de système dans les phases avals aux études de faisabilité. Nous renvoyons le lecteur à la nombreuse littérature existante sur ce sujet.

7.4. L'analyse multicritère

Elle permet de résoudre les problèmes de décision lorsque plusieurs points de vue sont nécessaires. Elle a recours à une modélisation du problème et utilise plusieurs méthodes pour choisir une solution optimisée. Un des intérêts est de montrer que tous les points de vues ont été pris en compte. L'aide à la décision se résume par les différentes phases présentées à la figure 2.13.

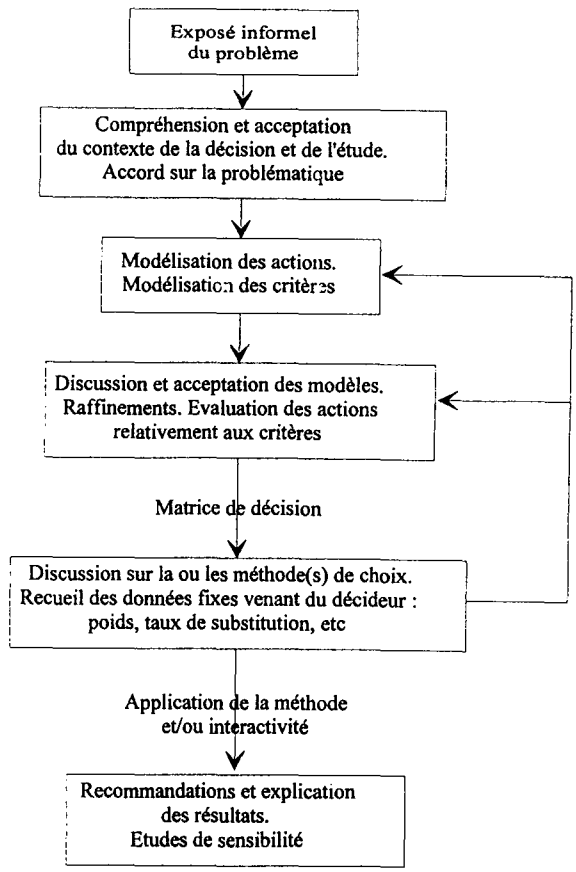


Figure 2.25 : *les phases principales de l'aide multicritère à la décision*

Une des méthodes les plus utilisées en France et en Europe [ROY 93] est ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la Réalité. J.M. Moser l'a choisi pour un classement multicritère de solutions pour la conception de cellule flexible dans [MOS 89]. Beaucoup d'autres méthodes

existent et nous invitons le lecteur à consulter [ROY 93], [POM 93] et [MIL 95]. Le choix et l'aide informatique sont développés dans [POM 93].

Dans le domaine de la conception de système de fabrication, il y a peu d'applications et donc très peu dans la phase de faisabilité. Dans l'analyse multicritère, l'expérience des analystes est prépondérante pour résoudre les problèmes [MIL 95].

8. Conclusions

Il y a une grande **richesse de méthodes** et d'outils existant pour la conception-réalisation de **produits** ou de **moyens de production**, permettant de couvrir de nombreuses phases d'études. Cependant il ne répondent **pas aux besoins** de structuration et d'organisation évoqués pour les **systèmes de fabrication** en phase de **faisabilité**.

Plusieurs problèmes se posent au concepteur:

- quelles méthodes existent ?
- laquelle choisir ?
- comment l'intégrer ?
- d'après quels critères ? (performance, habitude, conseil....)
- quand les utiliser ?
- où sont les informations nécessaires ?
- comment sont stockées les données ?

Ces problèmes sont encore plus important en faisabilité ou le parallélisme de travail est nécessaire. De plus les outils ne représentent pas le même objet ni le même niveau de détail.

Les modèles de **cycle de vie** répondent seulement à quelques aspects d'un problème. Les modèles à **séquentialité** plus ou moins marquée (Waterfall, cycle contractuel, spirale) ne sont **pas bien adaptés** aux études de **faisabilité** où le parallélisme des activités est prépondérant.

Les **méthodes** et outils issus de la **conception de produit** (DFM, DFA, MCI, QFD) sont trop **difficiles** à mettre en oeuvre dans leur forme actuelle pour aborder la faisabilité de système. Les budgets d'études et de développements de systèmes sont beaucoup plus faibles que ceux de produit (étude automobile; 3-5 milliards de F, étude d'une machine de packaging; 100 KF à 5 MF). Le **temps** pour mettre en oeuvre ces méthodes et outils est souvent **plus long** que les **délais** proposés

pour des études de faisabilité (2 à 6 mois). D'autre part les outils-méthodes pour la conception de produit sont **souvent des outils-méthodes de reconception** (reengeenering).

Les travaux réalisés en conception distribuée avec le parallélisme de ses structures et ses applications dans la conception de systèmes, nous fournissent une voie à exploiter pour les études de faisabilité.

L'approche **multi-vues** d'un modèle de produit associée à la représentation de la chronologie permettant d'aborder les aspects de **parallélisme** ou de simultanéité nous parait être une approche intéressante à utiliser en étude de faisabilité de système de fabrication. Elle **intègre** en effet plusieurs **métiers** et permet de visualiser plusieurs critères d'une étude décomposé en sous-ensembles.

Les **méthodes de référence** GRAI et IMPACS sont axées sur la mise en place de systèmes de **production**.

Les **méthodologies SLI, LSA et COP** sont adaptées à des systèmes où la **sécurité**, la **sûreté** de fonctionnement, la **fiabilité** et la **maintenance** sont **prépondérants**. Ces éléments sont abordés en parallèle à l'étude de faisabilité ou après celle-ci et ne propose pas d'aide pour la mener. Ces méthodologies nécessitent également des données disponibles sur un système existant proche du système à concevoir, permettant ainsi la **comparaison** économique et technique ainsi que l'évaluation des performances de ces méthodologies et outils utilisés.

L'analyse fonctionnelle et ses outils-méthodes fournissent des idées en étude de faisabilité mais restent très **orientées** pour la conception de **produit**. Le très bas niveau de détail abordé ne correspond pas aux besoins de la faisabilité. L'étude de détail limite la créativité, consomme un temps énorme en formalisation et risque de focaliser l'équipe sur des contraintes de second plan. C'est le résultat de la faisabilité qui doit déclencher l'étude de détail.

Les méthodes **IDEFo et SADT** sont bien adaptées au **génie logiciel** et à la conception comportant des **automatismes** et systèmes vus au niveau de flux d'informations. Pour la conception mécanique, un grand nombre d'éléments (configuration fonctionnelle, liaisons entre les structures, techniques d'assemblage et de réalisations, contraintes et priorités de fonction...) ne sont pas pris en compte et visualisés par ces méthodes.

L'analyse de la valeur est un outil de conception, à forte tendance **économique**. Il est donc **très difficile en faisabilité** d'être fortement contraint par ce critère ou d'avoir **toutes les informations** sur un système inexistant. A priori une faisabilité économique suit, ou se fait de façon

simultanée à une faisabilité de fonctionnement. Une étude de développement ou d'industrialisation utilise mieux cette notion de valeur.

La méthodologie d'analyse de la valeur tend à optimiser les démarches de conception et est intégrée dans d'autres démarches (DFM, QFD ...) qui sont également l'apanage de la conception de produit ou utilisées pour des aspects spécifiques.

L'analyse de la valeur s'applique lorsqu'il y a une dépense pour fabriquer un système qui correspond à un besoin à condition que le gain espéré soit rentable vis à vis du coût de l'étude. En étude de faisabilité, il est trop tôt pour quantifier tous les gains envisagés. C'est en phase de choix de solution faisable que l'analyse de la valeur trouve des applications.

L'analyse multicritère est un outil mathématique bien adapté aux études économiques mais **difficile à appliquer en recherche de procédés**, de solutions technologiques liés à la conception de systèmes ou les données manquent au départ.

Devant les **limites de méthodes** liées à leur aspect généraliste et à leur application dans l'ingénierie de produit ou de système de production, nous étudions en complément du chapitre 2, les apports de la simulation, du maquettage et du prototypage au chapitre 3, pour établir notre proposition de méthodologie dans l'ingénierie de système de fabrication en phase de faisabilité.

Sommaire détaillé **Chapitre 3 La simulation et la validation de parties opératives**

1. Introduction page 68
2. La simulation de flux de produit page 68
2.1. Description et objectifs du projet d'accumulation de pièces en bois page 69
2.2. Résultats du projet page 69
3. La simulation de partie commande et de partie opérative page 70
3.1. Les outils de simulation page 70
3.2. Description, objectifs et résultats de l'étude du contrôle de tôles page 72
4. Les simulations de mécanismes page 73
4.1. La simulation de cinématique page 73
4.2. La simulation dynamique page 73
4.2.1. Description et objectifs d'un projet d'empilage de tuiles page 73
4.2.2. Résultats du projet page 75
5. La simulation robotique page 76
5.1. Description du projet d'assemblage de châssis de fenêtre page 77
5.2. Résultats de la simulation page 78
6. Les outils de validation de solutions non simulables page 78
6.1. Présentation page 78
6.2. Le maquettage page 80
6.2.1. Les besoins et l'analyse page 80
6.2.2. La conception, la réalisation et la mise en oeuvre page 80
6.2.3. Les essais et les résultats page 80
6.2.4. La suite de l'étude page 80
6.2.5. Un exemple de maquettage : la découpe de mirabelle congelée page 81
6.3. Le prototypage page 84
6.3.1. Les besoins et les spécifications page 85
6.3.2. La conception-réalisation page 85
6.3.3. Les résultats page 85
6.3.4. L'industrialisation du prototype page 85
6.3.5. Un exemple de prototypage : l'encaissage de cassettes vidéo page 85
7. Conclusions page 87

Chapitre 3 La simulation et la validation de parties opératives

Ce chapitre est une extension du précédent, orientée sur les outils de simulation et de validation utilisés derrière les méthodes de conception. Nous faisons le point sur ces outils dédiés à la conception de mécanisme et nous statuons sur leur utilisation et leur limite en étude de faisabilité. Nous **limitons** notre approche aux **simulations** dans les domaines permettant une modélisation de **principes**, de **procédés** et de **solutions**, entraînant ainsi une avancée en étude de faisabilité de fonctionnement de systèmes. Nous n'abordons donc pas les outils de simulations qui sont utilisés plutôt dans les phases avals d'un projet tels que la simulation d'enlèvement de copeau, la simulation en processus thermique, la simulation en forgeage; soudage....

1. Introduction

La simulation est un instrument privilégié du concepteur. Elle s'est considérablement modifiée et enrichie depuis l'apparition des outils informatiques. Les produits au départ étaient de type généraliste, puis en fonction des demandes, les logiciels spécialisés dans certains métiers se sont développés. Le concepteur doit tester des idées, des principes technologiques sur des systèmes qu'il n'est pas possible de réaliser pour des raisons de coûts, de choix de technologies.

La simulation nécessite des outils de CAO pour générer des modèles géométriques dédiés à:

- présenter aux demandeurs des ébauches de solutions, d'implantation de sous-ensembles,
- prédimensionner ces sous-ensembles,
- mettre en évidence les problèmes de flux de matière de produit entrant et sortant,
- évaluer des cinématiques , des solutions de guidage,

Pour la suite des développements et notamment après les phases de faisabilité, les modèles numériques sont utilisés pour optimiser, simuler, valider les solutions en cours de définition.

La liaison des outils CAO avec les outils d'analyse fonctionnelle ou avec des outils de conception de Partie commande n'est pas réalisé avec notre connaissance, même s'il existe des outils de simulation de partie opérative que nous présentons dans les paragraphes suivants.

2. La simulation de flux de produit

Pour dimensionner des systèmes de fabrication, il est nécessaire de connaître les paramètres concernant le déplacement, le stock et l'attente des produits. La simulation de flux de produit permet de fournir des indications sur les temps de processus de fabrication en fonction de l'implantation, des données de cycles, des aléas de fabrication des différents systèmes constituant le processus. Pour

simuler le comportement d'un système, SIMAN [PED 87], [PED 91] procède à partir d'un modèle du système définissant ses caractéristiques statiques et dynamiques et d'un cadre expérimental définissant les attributs des différents paramètres et les mesures de performances retenues.

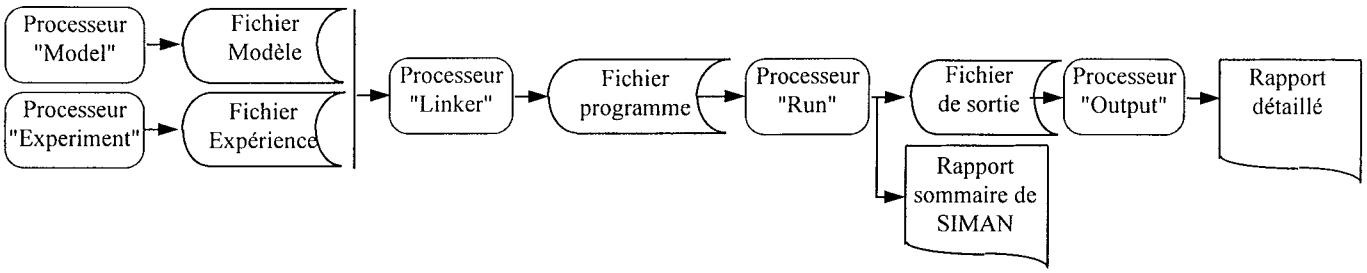


Figure 3.4 : *La simulation de flux de produit: organigramme du logiciel SIMAN* [PED 91]

2.1. Description du projet d'accumulation de pièces en bois

Nous avons utilisé ces outils pour valider le comportement des différents systèmes de transfert par rapport aux spécifications des différentes caractéristiques et aborder les difficultés de planification d'un tel système [CHA 92]. Ensuite, le dimensionnement des systèmes de transfert flexible s'est effectué en fonction des minimum imposés par les caractéristiques dimensionnelles des pièces et par les disponibilités financières du moment. Ce système est implanté dans une ligne d'usinage de bois massif à l'ENSTIB à Epinal, entre une corroyeuse à commande numérique et une tenonneuse double à positionnement numérique. Il a été réalisé par la société Bertrand Garcin. Il s'agit de concevoir un système de transfert et d'accumulation de pièces en bois massif, situé entre une corroyeuse à commande numérique et une tenonneuse à positionnement numérique. Il est nécessaire de dimensionner le système en fonction de contraintes de fabrication des pièces. Les deux machines ont des cadences différentes liées aux spécifications de production: flexibilité. Les machines ont des temps de réglages différents et la taille des lots de production doit être déterminée. Il s'agit ainsi de simuler la production pour obtenir la taille de lot permettant de justifier l'investissement d'un tel système. Nous avons utilisé la simulation de flux pour arriver à nos objectifs de dimensionnement.

2.2. Résultats du projet

La simulation de flux nous a permis de dimensionner une installation d'usinage de bois massif en tenant compte des différents critères de productivité de la corroyeuse et de la tenonneuse. Nous avons retenu une accumulation de 20 pièces permettant de satisfaire aux critères de productivité sur cette fabrication de pièces.

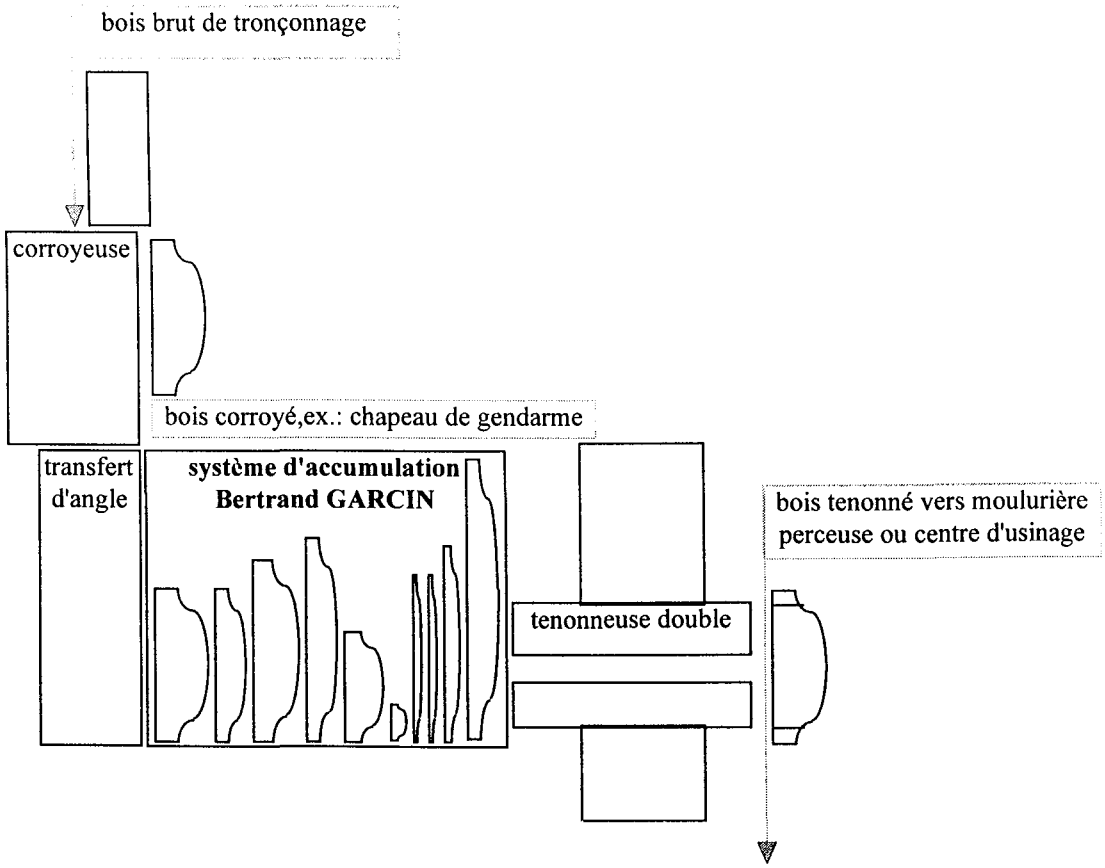


Figure 3.5 : *La simulation de flux; exemple de l'accumulation de pièces en bois massif à l'ENSTIB*

3. La simulation de partie commande et de la partie opérative

Nous présentons dans ce paragraphe deux aspects de la simulation:

- les outils de simulation, utilisés dans les phases avals du cycle de conception-réalisation de parties commande et opératives (phases de tests, intégration, validation en plate-forme).

- une application demandant une faisabilité de partie commande.

3.1. Les outils de simulation

Il est important dans les projets comportant de l'automatisation, de pouvoir **simuler** le comportement de la partie commande pour **minimiser** la mise au point sur site et ainsi répondre dans des **délais plus courts** avec une **qualité** de service supérieur.

De nombreux outils informatiques permettent d'effectuer ces travaux situés après les phases d'analyse et de spécifications dans le cycle en V d'un système automatisé. Ces outils permettent ensuite une simulation de l'exécution des spécifications sans connexion à une partie commande donc sans codage. Nous citons en exemple l'outil **SPEX** (Spécifications Exécutables) permettant la spécification et l'éxecution en simulation de façon autonome d'un système automatisé, il est issu des travaux d'une équipe du CRAN avec Lhoste [LHO 85], Tixador [TIX 89].

Un second niveau de simulation est offerte avec d'autres outils comme **MAXSIM** [MAX 91], qui permettent de tester en plate-forme, les spécifications d'automatisme implantées sur un système de contrôle-commande. MAXSIM est l'aboutissement des travaux du CRAN avec Corbier [COR 85], [COR 89]. Les tests nécessitent le système de contrôle-commande, un support de simulation en liaison avec le système de contrôle-commande et le logiciel de spécification- simulation. Cette étape permet de vérifier les modes de marches, les défauts, les alarmes, la prise en compte des sécurités, la supervision....Les vérifications sont réalisées par le concepteur et validées par le client, elles s'appellent : faire la **recette** d'une installation en plate-forme.

La troisième simulation consiste à vérifier le câblage et le comportement du système de contrôle-commande. Il faut raccorder les entrées-sorties physiques du système à contrôler avec un système se comportant comme les capteurs et les actionneurs de la partie opérative. Un outil **ADELAIDE** a été élaboré dans ce sens. Nous présentons dans la figure 3.6, les places des outils de simulations.

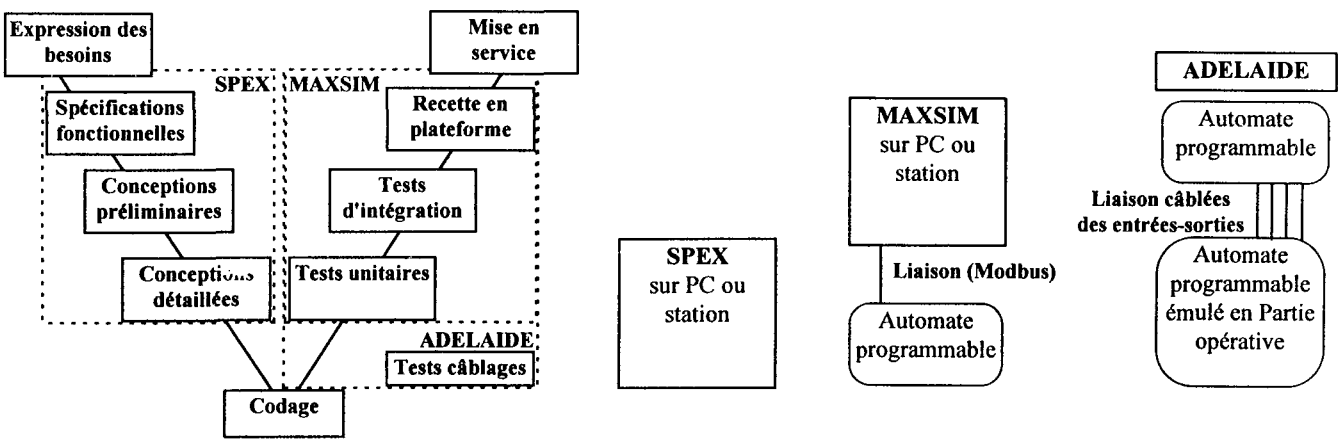


Figure 3.6 :*Les places dans le cycle en V* *Les spécifications SPEX* *La simulation MAXSIM* *La simulation ADELAIDE*

ADELAIDE a été l'étape intermédiaire entre le développement de SPEX et de MAXSIM [COR 85], [COR 89]. Actuellement MAXSIM est l'outil le plus utilisé, car sa version actuel comprend les fonctionnalités de SPEX et permet de s'affranchir du travail de câblage d'ADELAIDE, celui-ci ne nécessitant pas de validation hors site. Nous citerons les autres travaux engagés dans la simulation de systèmes automatisés comme PIASTRE [CAZ 83], SIMULA [DER 86] et PROSYST [PRO 88].

Malgré cet offre d'outils, la simulation ne prend pas en compte les **contraintes de la partie opérative**, tels que les **couples, inerties, frottements**...Il en est de même avec les **contraintes** liées aux **produits** ; **tolérances, variabilité de propriété,** (carton, barre flexible,...) ou liées aux interactions entre le produit et le système.

D'autre part la faisabilité de fonctionnement nécessite rarement d'aller renseigner aussi loin les spécifications d'un système et de valider les comportements de la partie contrôle-commande.

3.2. Description, objectifs et résultats de l'étude du contrôle de tôles :

Dans le contrôle de caisses en tôles blanches en fin d'assemblage, les techniques employées sont visuelles, tactiles et reposent sur l'homme. Il nous a été demandé de réaliser l'étude de faisabilité d'un système permettant le contrôle avec d'autres informations que l'oeil et la main humaine [HEI 93], [RIF 95]. Le système doit pouvoir détecter une demi-douzaine de défauts différents et les chiffrer. Nous avons travaillé sur différents éléments de caisses, nous avons simulé le fonctionnement d'une installation "future" comportant un système de vision artificielle couplé à une prise de vue par caméra embarqué sur un robot.

Les contraintes principales d'un tel système sont:

- robustesse des algorithmes de vision,
- prise de vue en site industriel,
- réalité industriel du système proposé,
- intégration du système de commande dans le système global.

Nous avons proposé un ensemble d'algorithmes capables de détecter les défauts dans les tolérances demandées, avec une saisie d'image matricielle remplaçable par une prise en continu avec une caméra linéaire. Nous avons intégré cette partie commande avec une partie opérative de type robot et programmé les trajectoires en CAO surfacique. Ces solutions sont ainsi faisables sur un site de production mais ne sont pas économiquement intéressantes pour l'industrialisation à l'époque de nos simulations.

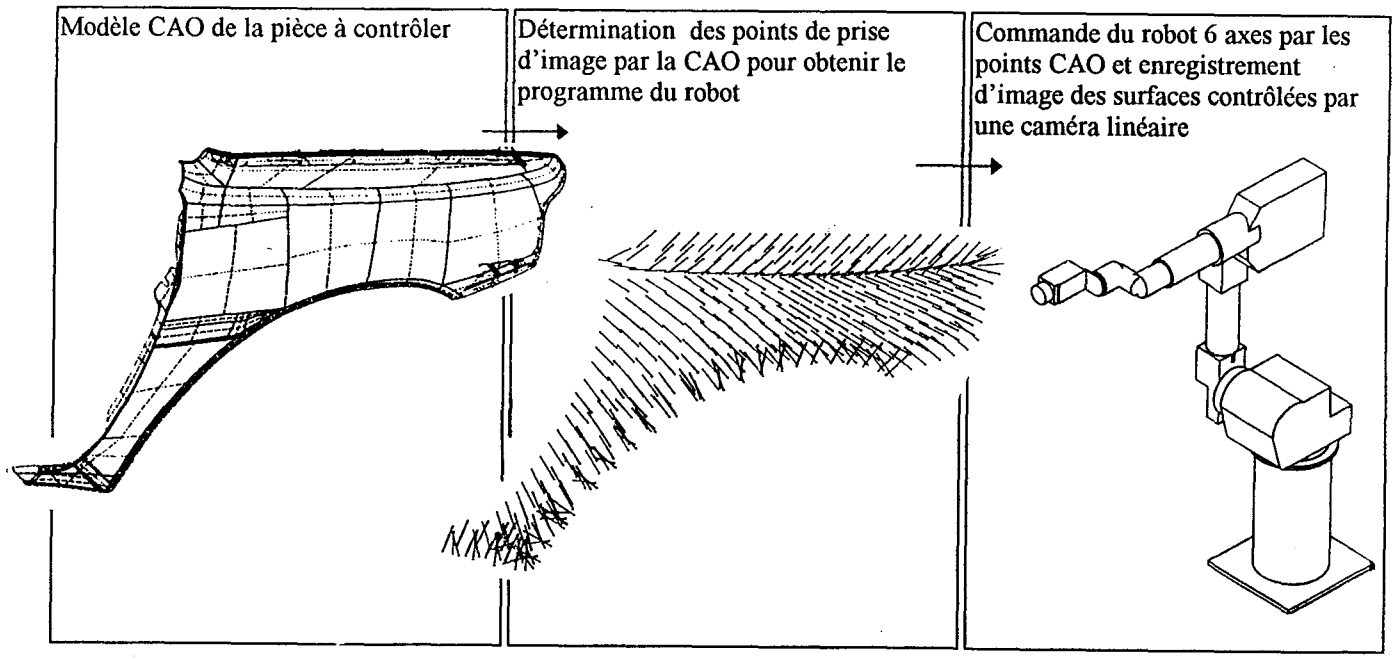


Figure 3.7 : *la simulation de partie commande; intégration de la vision et de la robotique*

4. Les simulations de mécanismes

4.1. La simulation de cinématique

La simulation de cinématique en modélisant des liaisons à partir d'entités géométriques filaires ou solide en trois dimensions, permet de :

-simuler des mouvements pour dimensionner des débattements, des encombrements ,

-vérifier les degrés de mobilité de l'ensemble constitué (isostatisme et degré d'hyperstaticité). Ensuite en ajoutant les lois de mouvements au mécanisme constitué, le concepteur peut connaître les paramètres concernant la position, la vitesse et l'accélération d'un mobile en fonction du temps. Ces éléments vont renseigner les outils de simulation dynamique et renseigner les principes ou de procédés proposés dans une étude.

4.2. La simulation dynamique

Les besoins des services recherche et développement sont de deux natures:

- soit standard et des produits de simulation dynamique existent et sont donc une acquisition et une adaptation par développement à effectuer. (Simulation Dynamique de Système ; Sds, Adams, Matlab...)

- soit sur mesure car pour différentes applications (secteurs industriels et métiers), les produits sont déplacés, stockés avec des paramètres dynamiques (cadence, vitesse...) et des transformations sont demandées par le client ou le processus (éjection, rangement, tri, positionnement,...). Les caractéristiques du flux imposent de connaitre des paramètres sur le produit à tout instant de son déplacement pour pouvoir caractériser la recherche. Il est donc nécessaire d'avoir une modélisation dynamique pour pouvoir simuler différentes configurations du procédé de déplacement, et ainsi connaître les paramètres manquant à la recherche. Dans ces cas, un développement informatique est nécessaire pour obtenir les paramètres manquants, et valider les recherches en cours.

4.2.1. Description et objectifs du projet d'empilage de tuiles

Nous avons réalisé une simulation dynamique de convoyage de tuile dans une étude de faisabilité de système d'empilage de tuiles pour Coverland.

Une évolution du produit "tuile" au niveau de sa face supérieure recouverte d'un vernis oblige le demandeur à trouver une solution pour l'empilage des tuiles par 10 en sortie de ligne de

fabrication. Pour des raisons d'aspect les tuiles ne sont plus empilés avec le système actuel qui raye le vernis. Le projet part de ce besoin jusqu'à la proposition d'une solution industrielle réalisable.

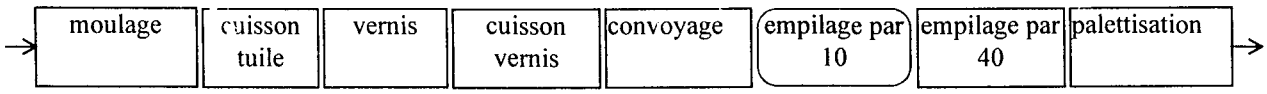


figure 3.8 : *le processus global de fabrication des tuiles*

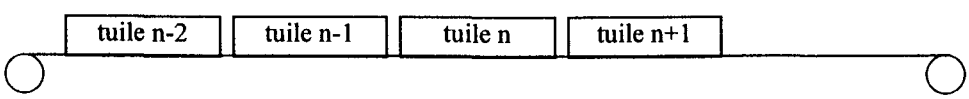
Spécifications du projet au niveau du convoyage:

- vitesse de convoyage 50m/minute
- vitesse avant l'arrêt des tuiles pour éviter la casse 10 m/minute
- un opérateur enlève les tuiles à défaut à la volée sur le convoyeur provoquant des espaces plus important entre les tuiles.

Un manque de données sur les temps et / ou sur les distances entre les tuiles nous ont contraint de simuler dynamiquement le système existant pour déterminer les temps de réponses nécessaires à l'implantation des différents capteurs en **fonction des choix de principes et de procédés** de la partie opérative.

Nous avons une situation de convoyage répertoriée par la figure 3.9. Pour pouvoir rechercher des principes d'empilage, il nous a fallu développer un logiciel de simulation dynamique en langage C car les outils SIMAN ou CADENCE ne pouvaient prendre en compte des pièces se suivant sans temps intermédiaire de déplacement, afin de déterminer les valeurs des paramètres de temps de réponses des différents systèmes à mettre en oeuvre.

- situation théorique de convoyage: espacement constant à 50 mètre/minute



- situation réelle de convoyage ; espacement variable de 0 à x longueurs de tuiles à 50 mètre/minute

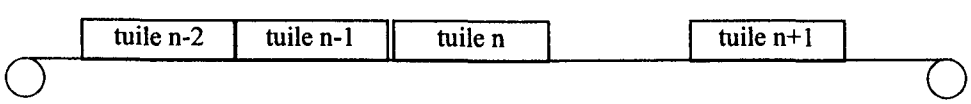


figure 3.9 : *la situation des tuiles sur le convoyeur*

4.2.2. Résultats du projet

Cette simulation dynamique nous a fourni une aide au niveau de la partie commande et de la partie opérative :

- détermination des paramètres de réponse du contrôle-commande, (donner les temps de réponses du système de traitement et donc prépositionner les emplacements des capteurs d'informations sur la partie opérative)

- vérification de la faisabilité de différents principes d'aiguillage, de pinces avec leur technologie associée,

- détermination de la vitesse du système d'empilage choisi,

- détermination de l'emplacement des capteurs, du dimensionnement des guides.

Les résultats des simulations nous ont conduit à éliminer des solutions à base d'empilage montant utilisant des pinces ou les solutions d'aiguillages horizontales permettant de diviser le flux de produit pour limiter la cadence d'empilage.

Ensuite, ces simulations ont favorisé la convergence vers la solution d'empilage par des chaînes à taquets montantes, en permettant de situer les capteurs nécessaires aux fonctionnements envisagés.

La figure 3.10 montre l'agencement des différents éléments constituants le système. Les tuiles arrivent par la gauche et sont introduites dans les rayonnages constitués de deux équerres fixées sur des chaînes. En fin d'introduction elles sont freinées pour ne pas avoir de choc, les chaînes montent d'un cran pour recevoir la tuile suivante. Après avoir introduit 10 tuiles, les chaînes entrainent les rayonnages vers le haut pendant qu'un second ensemble de rayonnages prend le relais pour recevoir les tuiles suivantes. Les 10 premières tuiles arrivées en position haute sont poussées ensemble sur un convoyeur qui les emmène vers le système réalisant le conditionnement. Une fois libéré les taquets redescendent pour prendre le relais. Cette installation a été réalisée par Coverland en 1996.

Des produits spécifiques existent en entreprises mais sont souvent leurs outils de travail et donc non accessibles; simulation de convoyage de bouteilles, de packs pour dimensionner, aider à la régulation des groupes d'embouteillages permettant au fournisseur de s'engager sur des caractéristiques validées par simulation. Ces outils permettent également de diagnostiquer ou d'auditer des installations existantes, et donc de proposer des améliorations.

Ces outils de simulation deviennent des outils de décisions d'investissement donc des outils de décisions commerciales.

Les produits développés sont le savoir-faire d'entreprises et ne sont pas diffusables, par contre ils nécessitent des outils de simulation paramétrable de systèmes dynamiques tels que SDS, Adams...

- Les tuiles arrivent par le convoyeur C1 et entre dans les rails solidaires des chaines entrainée par les poulies 1.
- A chaque tuile les chaines montent d'un cran.
- Lorsque 10 tuiles sont entrées les chaines les montent jusqu'au convoyeur C2.
- Un vérin V les pousse sur celui-ci et les chaines ramènes les rails en position basse pour la prochaine série.
- Pendant la montée d'un groupe de 10 tuiles, les suivantes sont enfilés dans les rails des chaines entrainées par les poulies 2.
- Le temps de cycle pour monter les 10 tuiles + l'évacuation par V sur C2 et la descente des rails vides est inférieur au temps de remplissage des 10 tuiles en position basse.

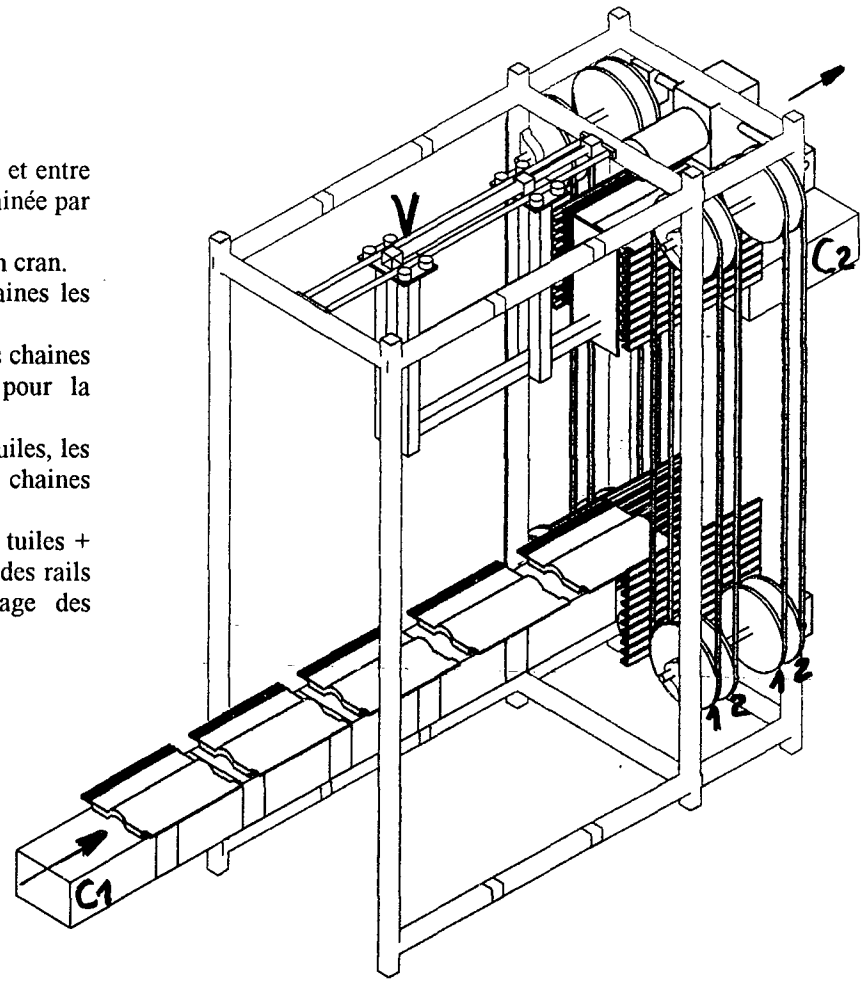


figure 3.10 : *la solution d'empilage proposée*

5. La simulation robotique

Ce type de simulation associe la modélisation géométrique filaire ou solide avec une description de la cinématique en terme de guidage linéaire ou articulaire avec leurs limites de courses sur un système de CAO Robotique [CHE 92]. Cette modélisation permet la réalisation virtuelle d'un système à plusieurs axes numériques ou non, indépendants ou liés dans leurs mouvements. L'implantation du système robotique dans son environnement, l'adjonction de préhenseurs ou d'outils de process et de pièces, entrainent la vérification d'accessibilité du système et permet les évolutions nécessaires pour atteindre les spécifications demandées. La détection de collision est alors possible à ce stade.

Pour la simulation dynamique, le renseignement des paramètres de vitesse et d'accélération permet de fournir des indications sur les temps de cycle.

L'adjonction de module comportant des développements spécifiques métiers entraîne une aide dans la mise en place des éléments nécessaires aux simulations. Il existe des applications dans les domaines de la peinture, du soudage semi- automatique ou par point, de la palettisation...

Ces différentes approches restent classiques et sont en fait des outils graphiques à la disposition du concepteur, qui progresse de façon itérative. Pour l'aider dans sa prise de décision, la recherche en conception-simulation robotique développe des outils dédiés à la détermination de critères divers en conception de sites robotisés [CHE 95].

Dans d'autres contextes, l'utilisation d'un post-processeur rend possible la récupération de points, voire de trajectoires pour leurs exécutions par la baie de commande du robot. Des sociétés spécialisées dans ce secteur propose des produits développés pour différents types de robot et d'armoire de commande.

Les constructeurs de robot se sont engagés à fournir aux fournisseurs de logiciels de CAO robotique, un module RRS (Réalistic Robotic Simulation) qui permet de disposer sur la commande CAO des algorithmes de la commande réelle tenant compte des inerties, des couples, des variations dues aux charges....Les limites concernent les possibilités de calibration, de processeur inverse permettant de recaler les modèles CAO par rapport aux positions physiques des robots.
Des travaux de conception de systèmes [GHA 95] utilisent la simulation robotique couplée à de la simulation générale (SLAM II, [PRI 86]) pour optimiser la conception de cellules robotisées par diminution des temps de cycles.

5.1. Description et objectifs du projet d'assemblage de châssis de fenêtre

Nous décrivons un exemple d'application d'une simulation robotique, que nous avons mené pour la société Chambon; constructeur de machines pour l'industrie du bois.

Il s'agissait de déterminer la faisabilité de la manutention entre une centre d'usinage et l'unité d'assemblage de châssis de fenêtre par un robot. Les châssis sont constitués d'un dormant et d'un montant. Les fonctions sont les différentes actions à réaliser pour le montage des dormants et ouvrants d'une fenêtre, en alternant la fabrication des montants et des traverses. L'évacuation de la pareclose en sortie du centre d'usinage doit être faite par le robot.

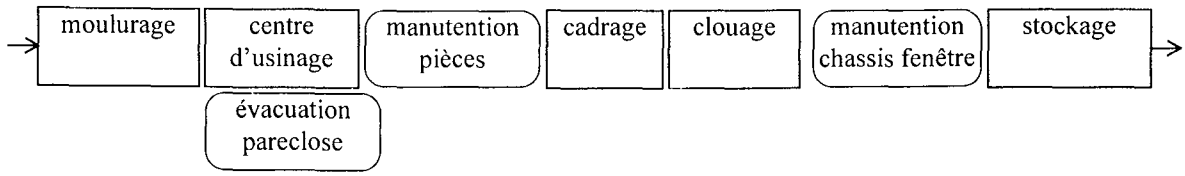


figure 3.11 : *le processus global de fabrication de fenêtres*

Les contraintes sont liées:

- aux dimensions des produits ; châssis de fenêtre de 300 * 300 à 1500 * 1500
- aux cadences des différentes machines,
- aux coûts des systèmes de manutention et de positionnement.

5.2. Les résultats de la simulation

La modélisation de la cellule d'assemblage avec un robot 6 axes nous a permis de :

- valider l'implantation des machines,
- valider l'implantation du robot,
- valider l'accessibilité des machines par le robot,
- dimensionner les outils nécessaires en préhension,
- prévoir les trajectoires et les points de dégagement et d'approche,
- prévoir les opérations nécessaires à ce métier d'assemblage.

Différents problèmes restaient à résoudre sur les couples des axes 5 et 6.

Nous avons donc réaliser une maquette pour valider cette simulation et résoudre les problèmes de couple n'ayant pas de données modèlisables à l'époque sur ce robot.

6. Les outils de prototypage de solutions non simulables

6.1. Présentation

Les simulations ont des limites pour apporter les preuves qu'attendent les concepteurs ou les demandeurs face à une proposition de solution. Ces limites dépendent de différents facteurs:

- les caractéristiques des produits concernés
- les caractéristiques des interactions entre ces produits et leur support
- les caractéristiques des procédés proposés

Il s'agit donc de déterminer ces caractéristiques par expérimentation.

Suivant les cas, cette expérimentation se fait sur une maquette souvent à échelle réduite mais en utilisant des matériaux et une structure différente du système final: le maquettage.

Pour les caractéristiques des produits concernés, nous proposons de les classer en deux catégories afin de déterminer le besoin en prototypage:

- les produits mécaniquement et de dimensions stables par leur structure, leur matériaux et leur taille, par exemple : cassette vidéo, tuile, boîtier de compact-disc...

- les produits ayant au moins une variabilité; de forme, de dimension de texture liée à la matière ou au matériau, (barre de métal, plaque de carton, agrumes surgelés, microfiches, ...)

Pour les interactions entre le produit et son support ou son procédé associé, le prototypage est nécessaire si les informations ne sont pas disponibles à partir d'essais réalisés en laboratoire sur une plate-forme reproduisant les mouvements et les trajectoires nécessités par les principes ou les procédés proposés. Ces interactions étant fonction de paramètres tels que : humidité, température, conditions de stockage...., les essais envisagés doivent être caractérisés afin d'en extraire les limites quantifiées. Il est nécessaire de réaliser des maquettes d'essais pour déterminer les capabilités des procédés envisagés, leurs limites ou les paramètres importants, donc de valider l'adéquation du procédé aux fonctions demandées avec par exemple :

- former une nappe de barres de métal pour le traitement thermique (présentée en partie 5)
- mirabelle congelée à découper
- assemblage de châssis de fenêtre mécanisé
- étude de faisabilité en production pour la brasserie,

C'est le cas d'une étude de faisabilité menée pour la société Kronenbourg, où nous avons été amené à caractériser les comportements de matériaux et de produits face à des procédés et des principes que nous avons proposés. Nous ne pouvons décrire cette application pour des raisons de confidentialité.

Les résultats du maquettage-prototypage et des essais vont permettre de mettre au point des procédés ou un système avant de rédiger, de compléter le cahier des charges, de dimensionner les études de développement et de déterminer les possibilités d'industrialisation.

Une autre raison du besoin en maquette-prototype est la limitation de la simulation à des domaines où un modèle convient : pas de déformations, pas de tolérances sur le produit ou l'environnement, pas de compliance dans les guidages, les articulations, les assemblages, pas de problème d'interaction avec un produit à forte "variabilité" (ex : carton, barre...).

6.2. Le maquettage

Il consiste en une réalisation technologique limitée, qui permet de valider des principes de bases ou des procédés proposés. Il répond à des besoins et à des spécifications, ce sont les premières activités. Il s'en suit une étape de conception, réalisation pour aboutir aux essais et résultats.

6.2.1. Les besoins, les spécifications et l'analyse

Les besoins et spécifications sont **restreints** aux objectifs du maquettage. Elles permettent de fixer le dimensionnement de la maquette et de décider des systèmes à réaliser ou existant à utiliser. Il est important de valider les propositions de principes dans des délais et des coûts maîtrisés et ces activités doivent limiter aux strictes objectifs de l'étude, la définition de la maquette.

6.2.2. La conception, la réalisation et la mise en oeuvre

Suivant les contraintes liées aux solutions retenues pour faire les essais, la réalisation se fait avec des outils permettant d'assurer les fonctions demandées. Par exemple un robot polyarticulé 6 axes à coordonnées sphériques peut remplacer un bras manipulateur linéaire à plusieurs positions. [CHAMBON 90], [KRONENBOURG 96].

6.2.3. Les essais et les résultats

Le maquettage fournit à l'aide des séances d'essais, des indications et des données permettant de définir les limites d'un principe ou d'un procédé. Il apporte également des informations sur les dimensionnements futurs.

6.2.4. La suite de l'étude

Les résultats permettent d'envisager en fonction du contenu et des besoins, différentes suites:

- la réalisation d'un prototype industriel, pour avoir une validation en production, l'expérimentation sur un prototype de système comportant les structures, les cinématiques, les actionneurs définitifs conclue sur la faisabilité d'exploitation. [DUPLICATION 90]

- la définition d'un cahier des charges pour établir les plans d'ensemble du système envisagé permettant de chiffrer l'installation.[ASCOMETAL 91]

- une synthèse de l'état de l'art avant d'envisager l'industrialisation, [PEUGEOT 92]

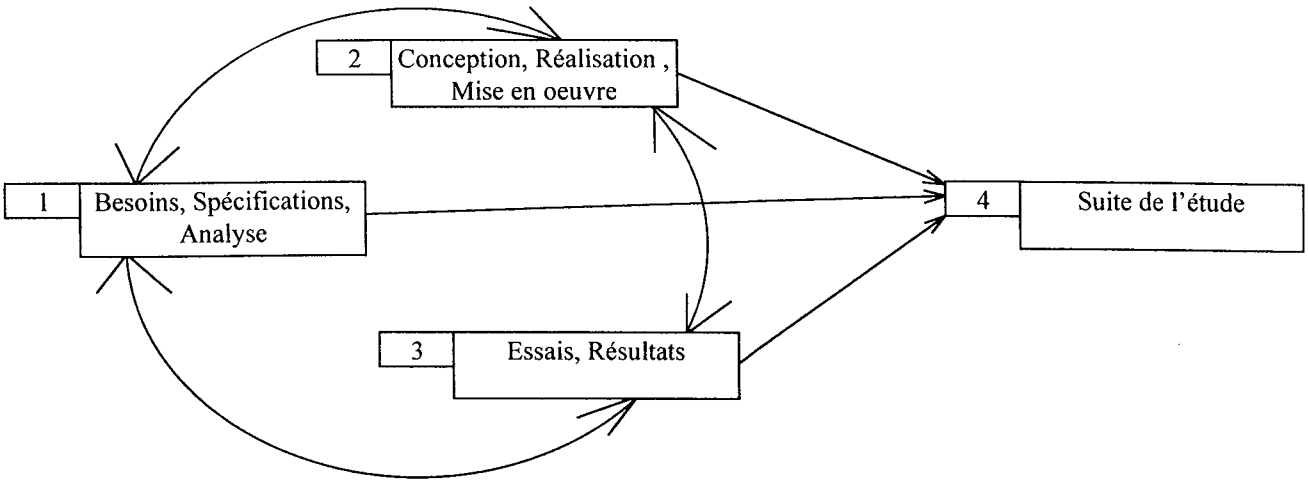


figure 3.12 : *Le principe du processus distribué et itératif pour le maquettage*

6.2.5. Un exemple de maquettage : la découpe de mirabelle congelée.

Il s'agit de proposer sur le marché des produits congelés; des oreillons de mirabelle congelés près à l'utilisation ou valorisés sous forme de tartes, tartelettes prêtes à la cuisson.

Le projet est mené par une équipe pluridisciplinaire d'une quinzaine de personnes et est divisé en quatre sous-projets dont trois études de faisabilité:

- **l'étude de marché,**
- la **conservation,** le **traitement** des fruits et l'**exudation** lors de la cuisson
- la **découpe** et le **dénoyautage,**
- le **recyclage** des noyaux.

Les trois premiers sous-projets sont liées par des informations techniques, économiques, leur validation permet à l'ensemble du projet d'avancer.

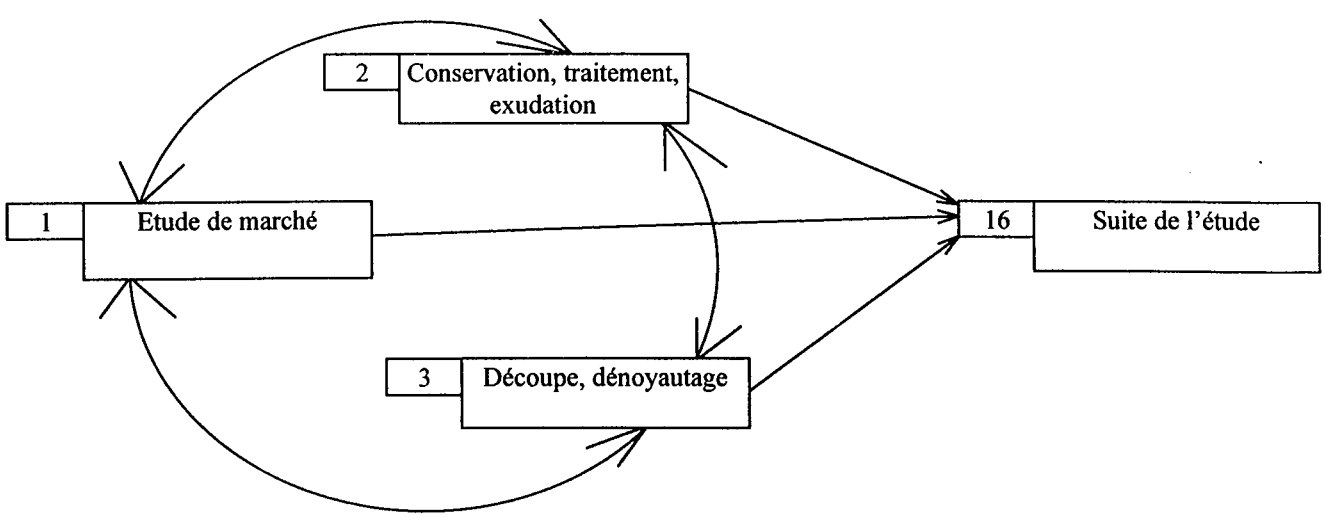


figure 3.13 : *Les liens entre les trois sous-projets*

Nous présentons le maquettage de la découpe et du dénoyautage réalisé suite à l'étude correspondante. La maquette est nécessaire pour:

- **prouver** les hypothèses émises lors des propositions de principes et procédés,

- **évaluer** la versatilité de découpe à d'autres fruits,

- **déterminer** les limites du procédé (cadence, tenu des principes, modification angle de coupe, diamètre éjecteur)

(- continuer les essais réalisés manuellement avec un outillage permettant une découpe et un dénoyautage à l'unité,)

- **quantifier** les paramètres de qualité (étude de capabilité du procédé).

Sur ce projet, nous avons travaillé avec les contraintes suivantes:

- Travail à température négative $-10<T<-5°C$

- Découpe fournissant une quantité et une qualité permettant la mise en place de la protection et de la conservation des fruits,

- perte de chair par arrachement lors de l'éjection du noyau limité à 10% de la masse,

- processus global de découpe sortant 80% de fruit dans la qualité demandée.

- gérer les informations de autres groupes

- pas de données existantes sur la découpe mécanique

Nous en avons déduit les objectifs de la maquette :

- quantifier le taux de mirabelle non conforme

- valider les principes de couteaux

- dimensionner les proportions couteaux-éjecteurs.

Réalisation du projet

Nous avons proposé 2 familles de principe de découpe:

- Découpe par choc

- Découpe par pression

et à la suite des résultats des essais nous avons opté pour la découpe par pression avec fendage dans la partie inférieure pour favoriser l'éjection du noyau sans enlèvement important de chair et sans positionnement préalable de la mirabelle.

Nous avons réalisé une maquette comprenant:

- une alvéole où la mirabelle est posée dans une position quelconque, elle est fendue sur les 4/5 de la hauteur pour le passage du couteau,

- un couteau constitué de deux lames associé à un doigt d'éjection du noyau,

Le cycle de la maquette

1- introduction de la mirabelle congelée (T=-5°C) manuellement, la position de pose est notée pour des exploitations statistiques ultérieures,

2- une fente est réalisée dans la partie basse de la mirabelle par une lame sur 8 mm de haut,

4- le couteau descend dans l'alvéole et le doigt perce le fruit,

5- la suite de la descente découpe la mirabelle en deux oreillons et le doigt entraîne le noyau vers le bas à travers la fente réalisée précédemment,

6- le noyau est éjecté,

7-le couteau remonte , la mirabelle reste collée au fond de l'alvéole par la déformation lors de la coupe,

8- l'alvéole est retournée et les oreillons tombe par gravité ou en les poussant.

Résultats des essais avec la maquette

Nous avons validé les hypothèses suivantes:

- une seule fente suffit pour éjecter le noyau et il faut maintenir la mirabelle dans la partie haute pendant le fendage,
- la mirabelle se déforme à sa base, il faut donc la supporter pendant le découpe,
- il faut extraire mécaniquement les deux oreillons,
- un tri est nécessaire après l'extraction des oreillons,
- la capabilité du procédé doit être établie,

A la suite de ces premiers résultats, une seconde maquette est en cours de réalisation pour valider les éléments décrits ci-dessus et spécifier les modifications à réaliser sur l'outillage d'une dénoyauteuse existante.

Résultats des essais de découpe en liens avec les deux autres sous-projets

Le travail en parallèle de ces sous-projets a mis en évidence lors des 7 mois:

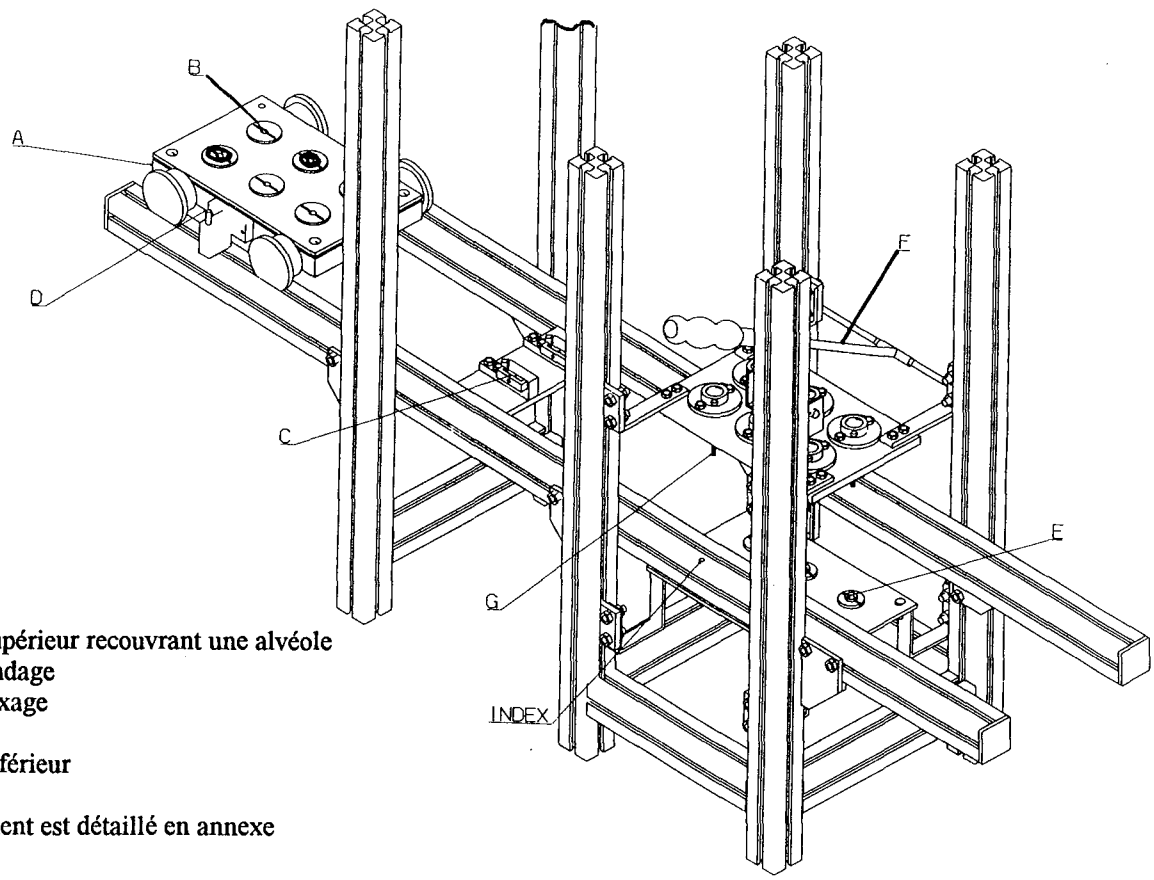
- les besoins de communications
- l'accès aux informations, aux données techniques
- l'évolution de la configuration des différentes maquettes et des différents essais réalisés.

Nous avons commencé à mettre en place un système de gestion de documentation de données techniques et de configuration dans les différents établissements travaillant sur ce projet ; l'AIPL, l'ENSAIA et l'ESSTIN. Nous avons travaillé sur des bases locales pour l'instant, les mises à jour se faisant par l'intermédiaire de disquettes et nous envisageons une mise en réseau avec accès à une base de données commune pour la rentrée 97-98.

Ce système nous permet de décrire l'application suivant différents points de vue. Pour l'étude concernant les mirabelles nous avons retenu trois vues:

- la vue faisabilité,
- la vue fonctionnelle,
- la vue réalisation.

La vue faisabilité décrit la démarche utilisée suivant les développements présentés au chapitre 4. La vue fonctionnelle décrit les différentes fonctions mises en évidence au cours de la démarche et la vue réalisation matérialise ces fonctions pour les différentes maquettes. Ces vues sont présentées en annexes. Pour une maquette, il n'y a pas de vue commande, exploitation et logiciel.



A - Chariot
B - Manchon supérieur recouvrant une alvéole
C - Lame de fendage
D - Tige d'indexage
E - Levier
F - Manchon inférieur
G - Couteau
Le fonctionnement est détaillé en annexe

Figure 3.14 : *la seconde maquette de découpe de mirabelles congelées*

6.3. Le prototypage

Nous définissons par ce terme un système comportant les caractéristiques géométriques, fonctionnelles, de commande en mode normale (marche automatique) permettant son insertion dans la fabrication. Un prototype est une maquette développée pour une exploitation industrielle et donc **réutilisable**.

6.3.1. Les besoins et les spécifications

Un prototype du système de fabrication va permettre de tester les principes et les procédés sur une grande période ou sur un grand nombre de produits fabriqués.[AIPL 97], [DUPLICATION 90], [HIRTZ 91]. Les spécifications issues des activités adjacentes vont permettre de dresser celles nécessaires à la réalisation du prototype.

6.3.2. La conception-réalisation

Il s'agit d'une activité classique comprenant des activités d'études, de calcul, de dessin d'ensemble et de définition.

6.3.3. Les résultats

Le prototype est mis en service et réalise les fonctions pour lequel il a été réalisé. Les différents essais vont générer des données permettant son évolution. La gestion des différentes configurations réalisées est alors nécessaire. Plusieurs vues de cette réalisation sont établies et permettent la comparaison.

6.3.4. L'industrialisation du prototype

Un des intérêts du prototype est sa réutilisation partielle ou totale dans le système définitif. Sa conception doit en tenir compte. Les différents éléments (pièces, guidage, actionneurs,....) vont être essayés et modifiés au fur et à mesure des tests, différentes fonctions vont pouvoir être vérifiées telles que la maintenance, les temps de réglage....Ce prototype servant de banc d'essais est souvent reconstruit en quelques exemplaires [DUPLICATION 90], [AIPL 97].

6.3.5. Un exemple de prototypage : l'encaissage de cassettes vidéo

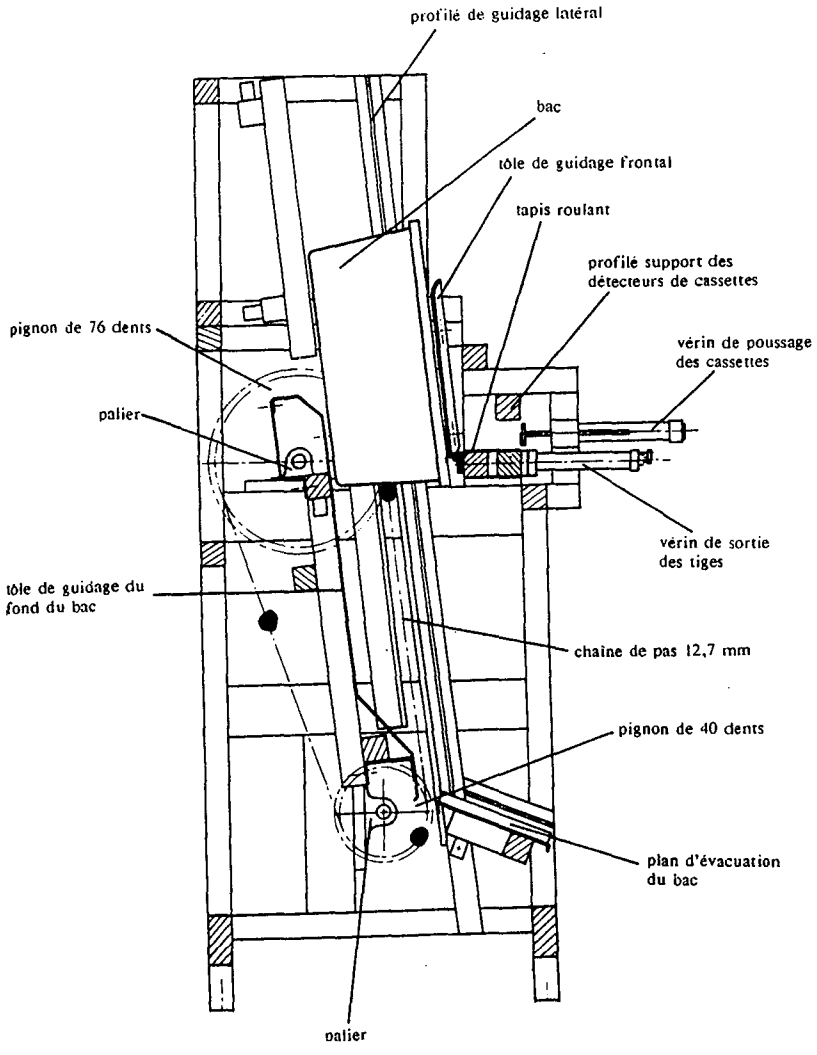
Il s'agit de concevoir un système permettant le rangement de cassettes vidéo en sortie de salle de bobinage dans des bacs plastiques faisant partie de la logistique interne pour la société DUPLICATION FRANCE.

Les contraintes sont :

- Cadence maximale de sortie : 30 cassettes par minutes par ligne de bobinage
- Bacs fournis de dimensions suffisantes pour ranger en manuel les cassettes
- Nombre de cassettes à ranger en bac : 100
- Tolérance sur le nombre de cassettes encaissées : 0

- Alimentation de bac en automatique pour ne pas interrompre le bobinage : un bac en attente
- Evacuation de bac en automatique
- Réalisation 6 systèmes identiques pour absorber le flux de la salle de bobinage (8 à 12 bobineuses)

Nous avons, à partir des différentes fonctions et contraintes de ce projet proposé un ensemble de solutions réalisant les besoins du client en minimisant le nombre de mouvements par rapport aux plans d'encaissage. Nous n'avions pas de données simulables sur les actionneurs pour la descente du bac. Trois procédés d'indexage du bac en vertical ont été envisagés et nous avons réalisé des essais sur une maquette pour tester les différentes technologies. Après avoir validé une technologie d'actionneur et de cinématique de descente de bac, nous avons étudié, réalisé et installé un prototype sur le site pour la mise au point. Différentes modifications ont été apportées en encombrement, en capotage pour la sécurité et l'esthétique-ergonomie. Un pupitre de dialogue homme-machine a été installé. Le client a fait réaliser les 5 machines nécessaires sur la base de l'évolution du prototype.



- Un bac vide est introduit par le dessus.
- Il descend sur la barre-butée représentée par le point noir.
- A chaque cycle de remplissage de 6 cassettes par le vérin de poussage , le bac descend de la valeur d'une couche de cassettes.
- Après 96 cassettes , le bac est engagé sur le pland'évacuation et se libère de la barre-butée.
- L'évacuation se fait par gravité ensuite sur des rouleaux libres.
- Un bace vide peut être posé sur un bac en cours de remplissage.
- L'autonomie du système est de 2 bacs

Figure 3.11 *le, projet Duplication France*

Les démarches adoptées ont permis d'aboutir à un prototype industriel en minimisant le nombre d'heures d'études et de maquettes. Notamment pour des raisons de nombre de mouvement, donc de complexité et de coût, nous avons proposé de ranger 96 cassettes en automatique et 4 cassettes en manuel qui sont prépares sur une file d'attente et introduite une fois le bac évacué. L'opérateur de surveillance de la salle de bobinage intervient sur demande de l'encaissage.

7. Conclusions

Les outils de **simulation** sont en **constante évolution** et restent encore du **domaine du spécialiste**. Leur emploi nécessite une **formation importante**, leur **intégration** en entreprise est une opération de **long terme**. Cela est un problème pour les PMI-PME. Leurs évolutions sont conditionnées par le succès commercial du produit et par les demandes des grands comptes. Les outils de bases de la CAO arrivent à échanger leurs données dans quelques domaines avec encore pour quelque temps des adaptations ou des pertes sémantiques. La communication avec les outils de simulation (utilisation de modèles, paramétrage...) est un problème à régler au cas par cas. Les besoins de modéliser à différents niveaux de représentation d'éléments technologiques sont nécessaires dès que l'agencement ou le dimensionnement influent sur la faisabilité. En CAO, ces activités requièrent des données en grand nombre pour la modélisation géométrique et actuellement les systèmes de CAO sont surtout développés pour la conception de pièces. Le temps nécessaire à la modélisation freine l'utilisation de la CAO en faisabilité de système. Nous l'avons employé dans différentes applications pour les aspects visualisation en 3D nécessaire à la communication avec les intervenants, mais le chiffrage du surcoût en temps d'utilisation et en matériel n'a pas été fait dans le cadre de nos recherches.

Une base de données technologiques comportant des organes de mouvement, des mécanismes d'assemblage, des cinématiques, associée à une modélisation de représentation serait nécessaire pour favoriser l'utilisation de la CAO au stade de l'étude de faisabilité en permettant un gain sur les délais ou sur les résultats de l'étude.

Les investissements financiers en outils de simulation sont des investissements lourds, et d'autant plus importants qu'ils sont réalisés avec des retours sur une durée longue liées aux formations nécessaires et aux bases de données à manipuler pour pouvoir faire tourner les simulations.

Dans bien des projets, la simulation n'est pas envisagée pour fournir la preuve qu'un principe ou un procédé fonctionne. La réalisation physique d'une maquette ou d'un prototype s'impose. Les

besoins du client ou les contraintes de temps, de coûts et les objectifs des concepteurs vont être les éléments de décision dans le choix entre maquette et prototype.

La simulation n'apporte pas de preuves physiques sur un principe ou un procédé. Les modèles mathématiques se prêtent bien à la simulation de systèmes stables où les données sont connues.

Les outils de **simulation** sont bien adaptés aux phases d'**études** et de **développement**, mais sont lourds à mettre en oeuvre dans le domaine de la faisabilité ou les **investissements** sont plus **réduits** que dans les autres phases d'un projet.

Les progrès apportés par l'introduction de la "réalité" en simulation robotique (RRS) ne sont pas pour l'instant disponible en simulation de parties opératives avec des produits à forte variabilité de données.

Le maquettage et le prototypage restent les **outils nécessaires** aujourd'hui de la faisabilité par les validations physiques qu'ils apportent et les possibilités de renseigner les concepteurs pour aborder la phase de développement. Ces outils permettent de **renseigner les concepteurs** sur les **données manquantes** en phase d'innovation et de créativité. Il faut néanmoins structurer cette approche par maquette et prototype en identifiant clairement leurs besoins, leurs fonctions et les contraintes des systèmes pour aboutir à un champ de solutions faisables compatibles avec les données économiques.

Pour les études de faisabilité, tant que les modèles de comportement des produits, des procédés et des processus ne sont pas associables au modèle de comportement physique du système de fabrication (modèle mécanique exploitable), il est nécessaire de valider par une réalisation physique.

Bien entendu,la **poursuite des travaux de recherche** et de développement sur la **modélisation des produits** et des **systèmes** est **stratégique** pour, à l'avenir pouvoir simuler de plus en plus tôt en conception-réalisation voir en préconception lors de certaines phases d'études de faisabilité. La modélisation et la simulation permettent effectivement de prolonger les essais débutés sur maquette ou prototype, et de **déterminer les limites** des **procédés,** des **principes** et des **solutions envisagés**. L'extension du champ d'action fourni par la simulation permet un complément de de validation pas toujours possible sur une partie physique à performances limitées.

Nous proposons donc dans la partie 4, une méthodologie qui a été développée à partir des recherches effectuées lors de la réalisation des différents projets de faisabilité présentés.

Sommaire détaillé

Chapitre 4 Méthodologie d'études de faisabilité de système de fabrication

1. Introduction page 90
2. Etudes de Faisabilité, Intégration dans le cycle de conception-réalisation page 90
3. Vers une aide à la conduite d'études de faisabilité de système de fabrication page 92
4. La syntaxe page 94
5. Les activités de définition d'un projet page 97
5.1. L'étude des besoins page 97
5.2. L'étude des fonctions page 99
5.3. La génération des contraintes page 101
5.3.1. Les tâches de l'étude des contraintes page 101
5.3.2. La hiérarchisation des contraintes page 102
5.3.3. Les liens entre les contraintes page 103
5.3.4. L'arborescence des contraintes page 104
6. Le bilan des activités de définition, la vue "définition de la faisabilité" page 104
7. Les activités de recherche page 105
7.1. Le processus de travail page 105
7.2. L'environnement du processus page 107
8. La mise en place de solutions faisables et de leurs réalisations page 108
9. L'évolution des activités page 109
10. Le bilan, la vue "faisabilité" page 110
11. L'amplification des contraintes page 112
12. L'estimation des performances de la méthodologie page 113
13. Conclusions page 116

Chapitre 4 **Méthodologie de conduite d'études de faisabilité de système de fabrication**

1. Introduction

Une étude de faisabilité d'un système de fabrication nécessite un **partenariat** très fort entre l'équipe de projet et le client. C'est une des **particularités** de ce type d'études réalisées par des tierces personnes (personnes extérieures à l'entreprise ou au secteur client). En effet, pour l'équipe d'ingénierie qui demande un montant à sa mission, par exemple 100, la société cliente investit également 100 sur la **réussite** de l'étude. Ainsi les demandes majoritaires entre fournisseur et client sont à deux sens:

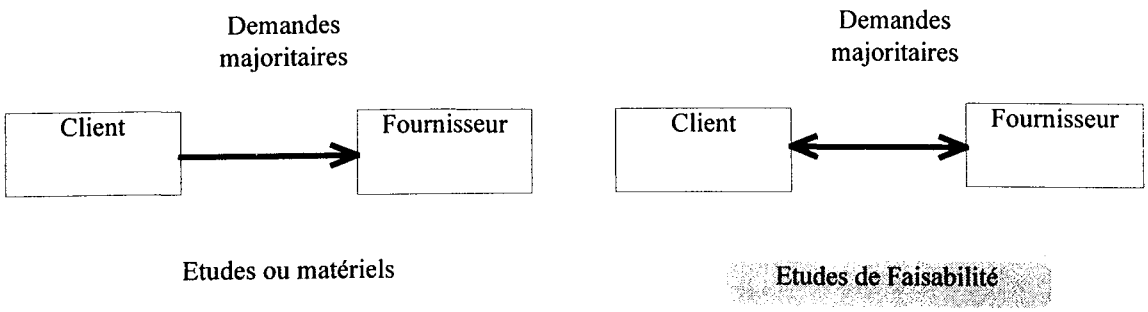


Figure 4.1 : *la divergence des demandes dans les relations client-fournisseur*

Ces relations clients-fournisseurs diffèrent des relations régies par les contrats technico-commerciaux. Il s'agit bien de **prestations particulières** dans lesquelles les approches, les choix et les propositions de solutions ou non sont le fruit d'une intégration fournisseur-client ou client-fournisseur. Il n'y a pas d'engagement de résultats chiffrés de la part du fournisseur et le risque de ne pas aboutir est partagé par les deux partenaires.

Il y a donc un intérêt commun à avoir une méthodologie commune permettant d'aboutir à une ou plusieurs solutions dans des délais maîtrisés.

2. Etudes de Faisabilité, Intégration dans le cycle de conception-réalisation

Nous avons proposé dans la seconde partie de décomposer le cycle de conception-réalisation d'un système de fabrication en sept phases principales:

- l'expression du besoin
- la recherche et le développement du système
- l'industrialisation
- la réalisation
- l'installation

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

- l'exploitation.
- le démantèlement

Des études de faisabilité sont menées tout au long du processus de conception-fabrication. (Faisabilité des principes et des procédés, Faisabilité de l'industrialisation, Faisabilité de la réalisation....). La **faisabilité économique** est de plus omniprésente.

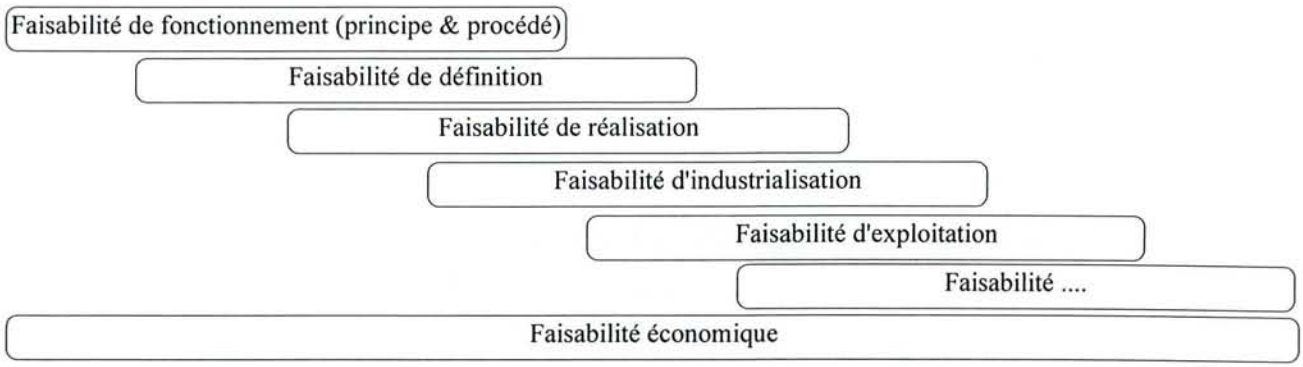


Figure 4.2 : *Les différentes faisabilités*

Les études de faisabilité de système permettent également de connaître les limites de la science et de la technologie sur un procédé donné. C'est le cas d'une de nos applications de contrôle de caisse en tôle blanche en sortie de tôlerie [PEUGEOT 93]. Nous avons également utilisé cet outil de veille technologique pour le contrôle tridimensionnel sans contact par vision [PEUGEOT 95].

Dans nos travaux nous nous attachons plus particulièrement aux études de faisabilité d'un système situées dans la phase de recherche et développement et concernant la faisabilité des principes ou des procédés. Celles-ci étant prépondérantes par les coûts induits. Nous en présentons maintenant les deux niveaux d'intégration, caractéristique importante de l'ingénierie simultanée. (figure 4.3)

Nous qualifions ces deux niveaux ; d'**intégration externe** et d'**intégration interne**. L'**intégration externe** est habituellement pris en compte par des personnes extérieures au service demandeur. L'**intégration interne** consiste à faire intervenir l'ensemble des compétences multi-fonction (bureau d'études, exploitation ...) et multi-savoir-faire (Qualité, Maintenance...) nécessaires au développement et à l'utilisation d'un système. Les études doivent **intégrer** aussi les connaissances et savoir-faire de différents domaines ou métiers: mécanique, contrôle-commande,....ainsi que des experts : en vision artificielle, en soudage...

De plus, il est nécessaire d'**intégrer** des matériels, des machines et des procédés existants et donc d'intégrer des **fournisseurs**. L'ensemble des intervenants constitue l'**équipe de projet** . Il y a

un gain de temps et d'efficacité en favorisant une convergence rapide vers une solution optimisée en évitant de nombreux cycles de modifications et d'itérations.

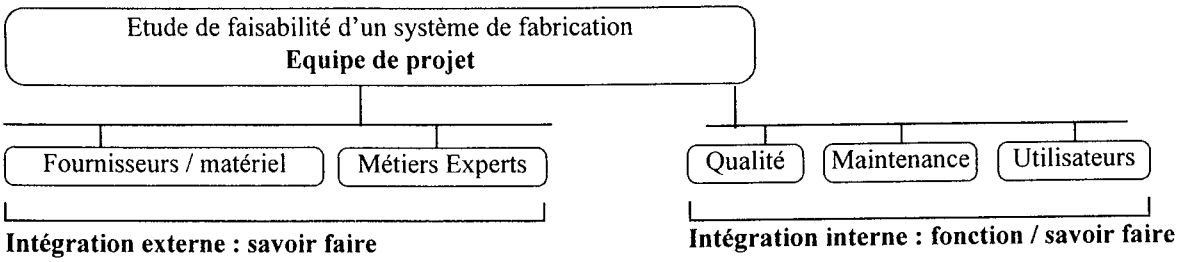


figure 4.3 : *les intégrations en étude de faisabilité*

3. Vers une aide à la conduite d'étude de faisabilité de système de fabrication

Nous avons vu dans la première partie le manque d'outils et de méthodes dans le domaine de la faisabilité, nous proposons une méthodologie issue de nos différentes applications et utilisant les nombreux outils et méthodes appliqués dans la conception de produits. Cette méthodologie s'appuie sur un ensemble de sept démarches principales qui constituent notre contribution à la conduite d'études de faisabilité.

Nous abordons notre démarche dans un contexte concourant qui présente d'abord une notion de simultanéité. La simultanéité consiste en un démarrage le plus tôt possible des différentes activités de l'étude. La simultanéité nécessite un grand nombre de communications dans le déroulement de l'étude. Ces communications sont plus ou moins importantes suivant le niveau de l'étude. Elles génèrent des problèmes de synchronisation d'activités [MAR 95]. Nous proposons de représenter les 7 activités, avec un recouvrement imageant la simultanéité des tâches des différentes activités (figure 4.4).

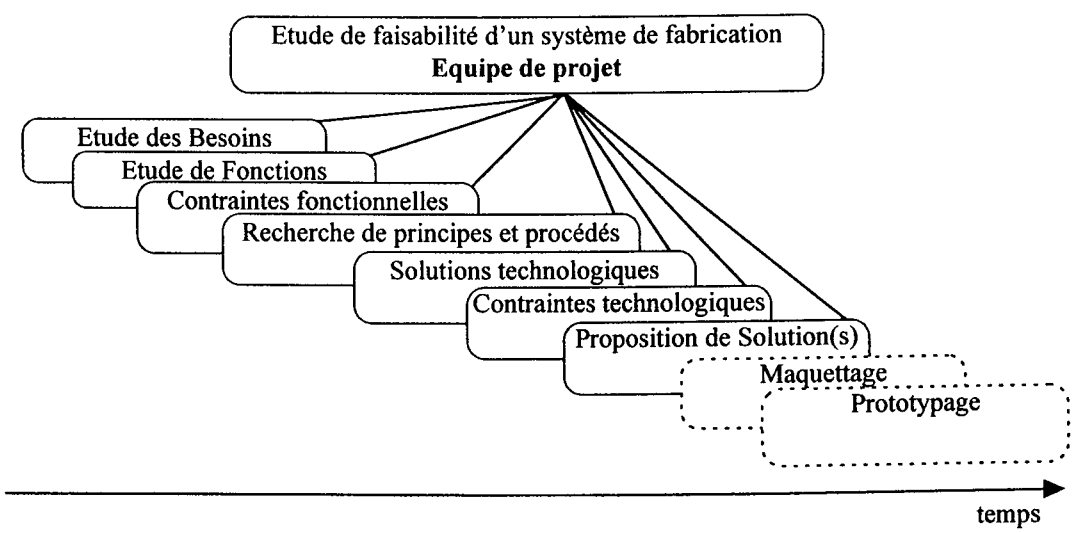


figure 4.4 : *l'aspect global de la simultanéité des différentes activités*

Cette représentation ne correspond pas bien à la majorité des études de faisabilité ou la simulanéité n'est pas suffisante pour assurer le fonctionnement optimal des analyses et des recherches.

En effet dans le domaine de faisabilité de systèmes, il est particulièrement **important** de pouvoir démarrer les différentes activités présentées ci-dessus, de façon totalement **parallèle**. Ensuite leurs déroulements seront ensuite éventuellement simultanés ou séquentiels suivant les possibilités de l'équipe, les objectifs, les tâches à réaliser...

Cette possibilité permet à la créativité de s'exprimer très tôt, garantissant ainsi une recherche possible sur l'ensemble du délai de l'étude.

La structuration de l'ensemble est d'autant plus nécessaire pour pouvoir assurer la coordination, les décisions, l'archivage ou la recherche d'informations et de données.

Nous nommons les activités ;

- étude des besoins, étude de fonction et génération de contraintes fonctionnelles: activités de **définition** de l'étude de faisabilité.

- recherche de principes et procédés, solutions technologiques et contraintes technologiques : activités de **création** et de **solutions** de l'étude,

- proposition de solutions faisables, maquettage et prototypage: activités de **matérialisation** et de **validation.**

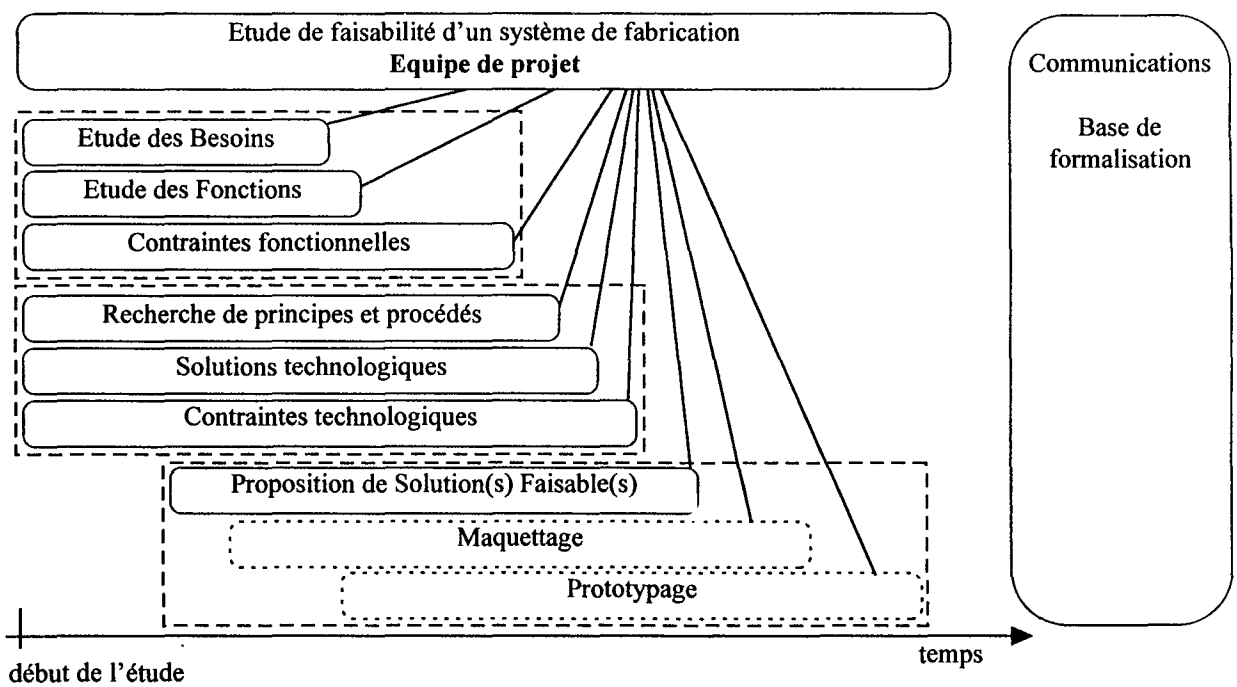


figure 4.5 : *le parallélisme des différentes activités*

Dans la réalité, le parallélisme représenté nécessite plusieurs postulats. Il faut soit:

- plusieurs acteurs en équipe travaillant sur les différentes activités,
- le travail d'un acteur sur ces différentes activités.

Dans le premier cas, la synchronisation des tâches revient à un problème de calcul de charges et d'occupation des temps d'attente en conception. Des travaux en cours [MAR 95] permettent d'aider à la synchronisation des tâches. Dans le second cas, le concepteur doit gérer son synchronisme.
Nous citons à titre d'exemple, le projet de découpe de mirabelles où il a fallu gérer les attentes entre deux groupes qui doivent échanger des informations pour continuer à travailler (le dimensionnement de la machine de découpe dépendant de la taille du marché et le prix du produit dépendant de la machine de découpe). Le recentrage des besoins et d'objectifs internes ont permis de poursuivre les travaux respectifs, puis de renseigner les points en fin d'étude.
Nous allons aborder en détail le contenu de ces différentes activités dans le paragraphe 5:

- en mettant en évidence les différentes outils ou méthodes utilisables,
- en identifiant les informations utiles, nécessaires et suffisantes,
- en spécifiant les problèmes à résoudre au bon moment,
- en indiquant les objectifs des activités, les moyens de les valider et les indicateurs choisis,
- en précisant les flux d'informations entre les partenaires ou les systèmes d'informations ,
- en formalisant chaque étape, décision, choix effectué,
- en repèrant les différents éléments des démarches réalisées pour un réutilisation dans le projet en cours ou dans un autre projet.

Pour cela nous décrivons nos éléments à l'aide d'une sémantique décrite au paragraphe 4.

4. La syntaxe

Nous proposons un formalisme graphique pour répondre aux différentes demandes décrites précédemment. Ce formalisme graphique nous permet de visualiser les différentes démarches avec les relations qui sont mises en place entre les tâches, leurs supports, les systèmes d'informations et les partenaires d'une étude de faisabilité.

Ce besoin de formalisme est justifié par le besoin de **représentation** simple du **processus de conception** dans la phase de faisabilité. Nous avons opté pour un graphisme **simple**, ne nécessitant pas d'outils graphiques spécifiques et ayant une syntaxe réduite pour être abordable rapidement en PMI-PME.

Ensuite nous avons voulu faire apparaitre les **données techniques** et mettre en évidence le traitement qui leur est associé.

Il est également nécessaire d'indiquer les activités pouvant être menées en **paralléle,** ce que nous appelons le parallélisme réalisable.

Il nous faut aussi indiquer les **niveaux d'intégration**, marquer la **traçabilité** et avoir la représentation des propositions pour pouvoir établir leurs différences par comparaison et indiquer les choix effectués ainsi que les décisions et les raisons de celle-ci. La représentation de cet ensemble d'informations favorise l'apparition d'une solution émergente. Les intégrations sont présentes par:

- l'accès aux informations par les différents acteurs,
- la prise en compte des acteurs dans les différentes activités.

Les tâches ou les actions sont la décomposition du contenu d'une activité. Nous repèrons les activités pour aider la gestion du projet et assurer la traçabilité des démarches.

Elles nécessitent de s'appuyer suivant les cas sur des méthodes ou des outils existants facilitant un travail rigoureux, logique.

Les informations et les données sont échangées entre les hommes et les systèmes tout au long d'une démarche, elles donnent naissance à une documentation stockée pour la pérennisation de l'étude. Son support d'archivage est une ou plusieurs bases de données.

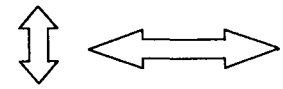
L'avancée de l'étude est ponctuée par des dialogues entre l'équipe d'ingénierie et le demandeur pour aboutir à une solution faisable et souvent la rédaction d'une cahier des charges de conception et de réalisation. Nous avons appelé cela : un point de validation. Il sert à :

- valider l'avancée de l'étude,
- évaluer les résultats acquis,
- orienter la suite de l'étude,
- ajuster ou fixer les objectifs,
- ajuster ou fixer les délais.

Suivant les spécificités de fonctionnement et de l'étude, un point de validation peut être associé à une transition entre deux tâches marquant ainsi une séquentialité dans la démarche.
Nous avons choisi une représentation graphique pour être simple, clair et éviter les ambiguïtés d'interprétations de textes (figure 4.5).

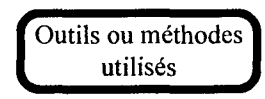
Transfert (stockage ou recherche) de données ou d'informations entre une tâche et le système d'information, le sens est indiqué par la(les) flèche(s)

Flux de communication ou de décision entre partenaires, le sens suivant la(les) flèche(s).

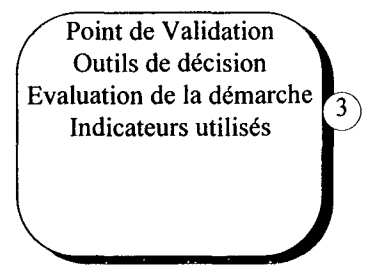


Appel à outils ou méthodes nécessaires à la conception, le sens est indiqué par la(les) flèche(s)

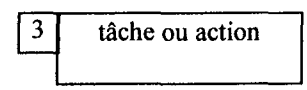
Outils ou méthodes nécessaires aux différentes tâches



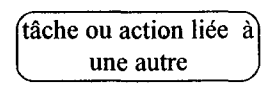
C'est un point de validation, qui entraine des décisions sur les choix effectués, ce point est associé à une transition. Des outils de décision et des indicateurs sont utilisés par l'équipe et par le client donnant lieu à une planification. A ce moment il y a évaluation de la démarche. Un repérage est associé à un point de validation, le repère est dans un cercle et indique une référence dans la démarche.



Un rectangle à bord carré représente une tâche ou une action, ce rectangle est précédé d'un carré avec un repère, permettant de référencer les activités ou actions sans attribution chronologique.



Un rectangle à bord ronds indique une activité en relation avec une autre.



Un trait fort représente une transition entre deux étapes ou deux tâches (pb de séquentialité)

C'est un système d'information, une base de données avec un repère pour les distinguer si les études en nécessitent plusieurs. Le contenu de la base est repéré dans un rectangle grisé et comprend des documentations: dessins, nomenclature, spécifications, feuille de calcul, fichier informatique....

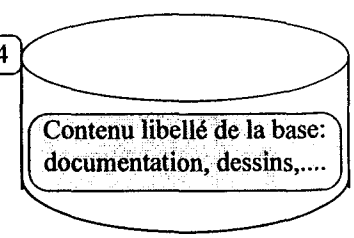


figure 4.6 : *la syntaxe*

Nous détaillons maintenant et commentons chaque activité décrite à la figure 4.4 à l'aide de cette syntaxe.

5. Les activités de définition d'un projet

Nous allons décrire la formalisation de l'expression des besoins, de l'étude des fonctions et des contraintes générées par ces fonctions avec la mise en place des différents métiers le cas échéant. Ces trois démarches sont menées simultanément et le travail effectué sur celles-ci est distribué. L'aboutissement de ces trois phases permet d'appréhender le travail de recherche sur les principes, les procédés et la technologie qui y est associée. La figure suivante représente ce travail distribué faisant émerger la recherche et les technologies associées. Les critères prépondérants de cette trilogie sont le nombre de contraintes et leur poids. Effectivement, des contraintes trop élevées à ce stade sont éventuellement solutionnées ensuite par une technologie coûteuse ou sans solution.

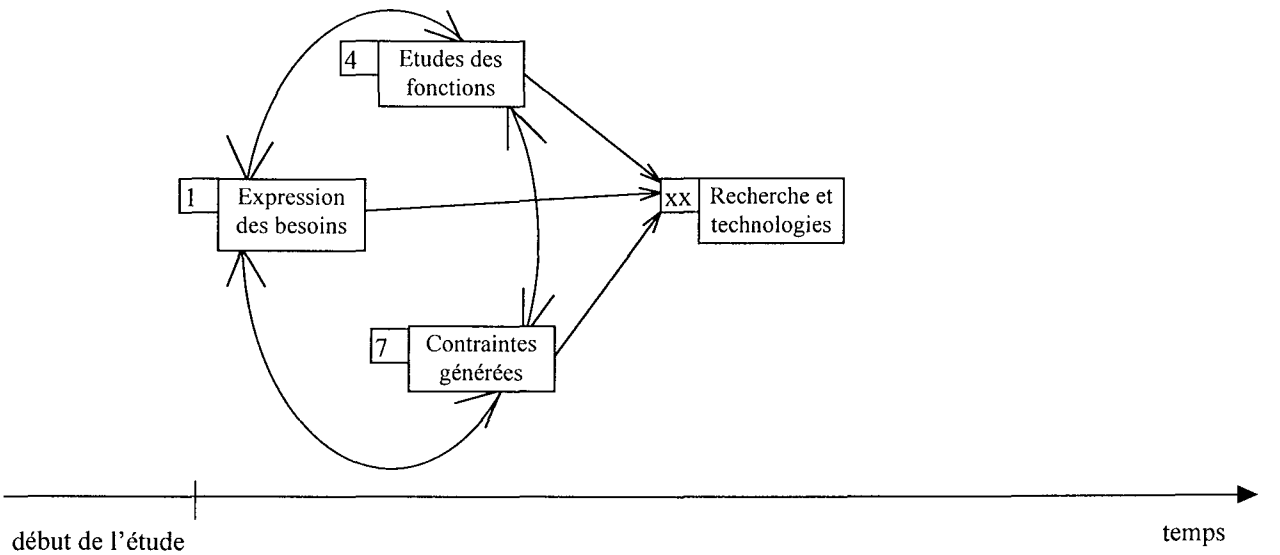


figure 4.7 : *Le processus de base*

5.1. L'étude des besoins

Cette activité comporte les tâches suivantes :

- expression des besoins du client et de l'étude
- rédaction des Spécifications
- analyse des besoins.

L' expression des besoins du client et de l'étude, c'est la transformation des besoins exprimés par le client en besoins retenus pour l'étude de faisabilité.

La rédaction des spécifications nécessite une formalisation avec un point de vue différent de celui du client. Cette divergence enrichit souvent les spécifications initiales.

L'analyse des besoins, valide les deux tâches précédentes. Cette étape permet de bien préciser les problèmes posés nécessitant une étude de faisabilité et de les **formaliser**. Cette phase est souvent

accompagnée d'un audit de l'environnement (hommes et machines), permettant la confrontation entre le point de vue du client et celui de l'équipe conceptrice. Un état "référence" est fixé et permet par comparaison de mesurer les apports de la conception future. La validation des données avec le client clôture cette étape.

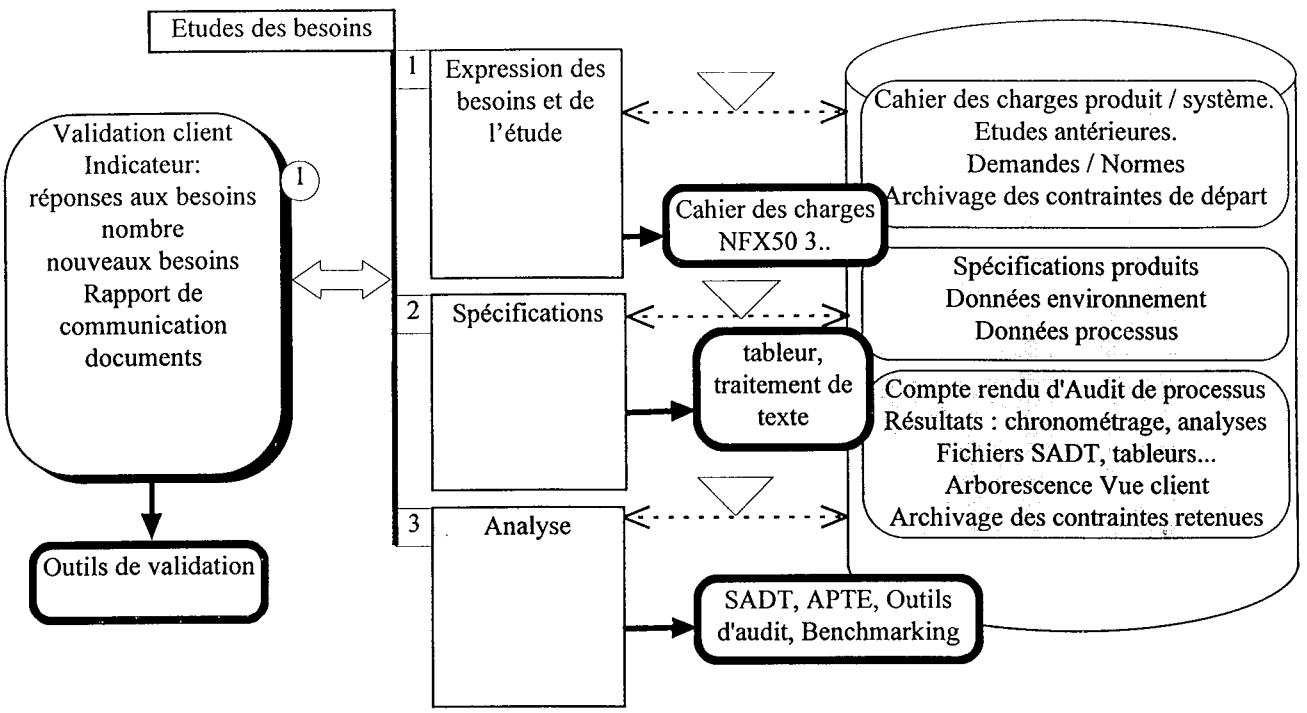


figure 4.8 : *l'étude des besoins (vue organisation)*

Cette représentation indique les liaisons entre les éléments de type : activités, communications, outils, méthodes, documentations.... La vue organisation indique pour ces activités :

- les sens,
- le contenu,
- les origines,
- les destinations,

La vue de décomposition descendante permet la mise en place des éléments de l'étude en parallèle avec le stockage des données, des informations et situe l'utilisation des méthodes et des outils adéquats à un moment donné du projet.

Les trois activités de l'étude des besoins sont menées suivant un processus itératif et distribuée. Les intérêts de ce processus sont :

- une avancée en parallèle des activités,
- une interaction entre les activités,
- une cohérence des informations et des données traitées.

Nous proposons une seconde figure pour représenter cette étude. Nous pouvons la décomposer en une arborescence descendante où nous avons X niveau suivant l'étude. L'étude des besoins est renseignée par les documents techniques, elle est communiquée au client pour décision. Ensuite les différents niveaux sont documentés par des fichiers et sont associés à des outils ou des méthodes.

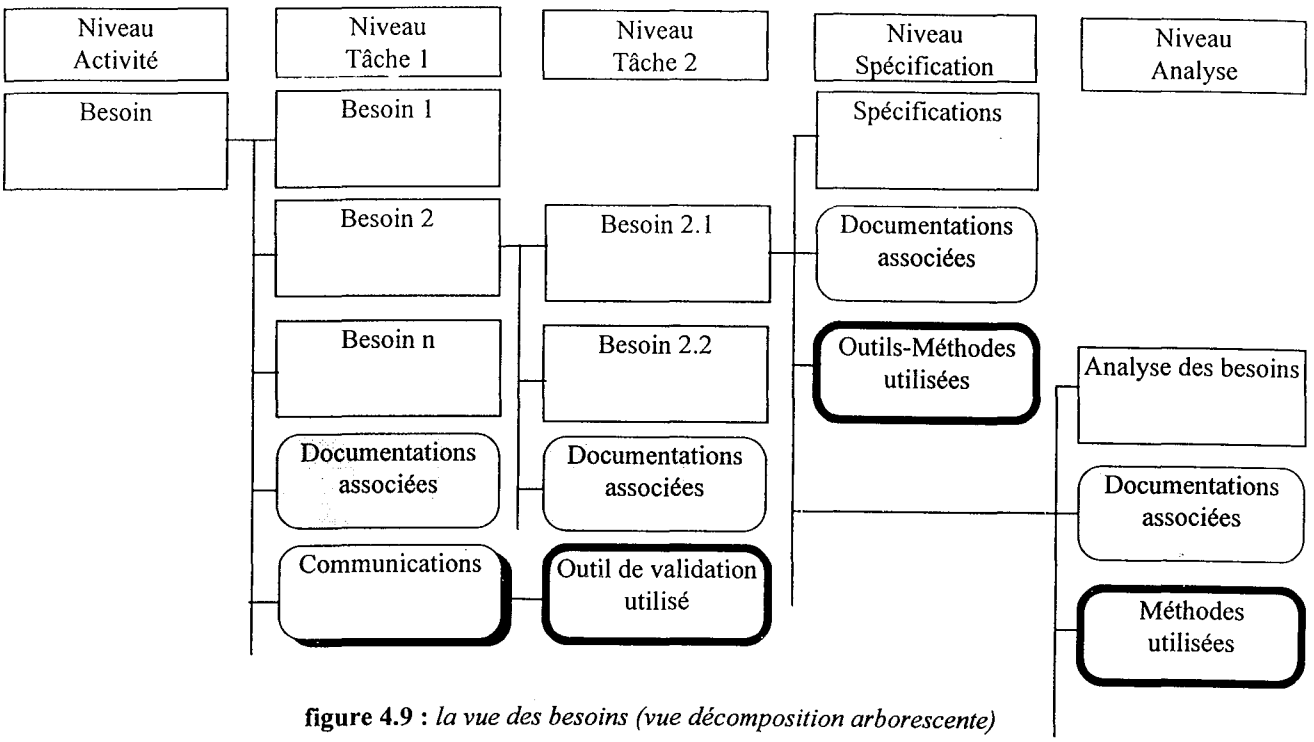


figure 4.9 : *la vue des besoins (vue décomposition arborescente)*

L'intérêt de cette forme de représentation réside dans sa visualisation par certains systèmes de Gestion de Données Techniques (GDT) ou de Gestion de Configurations (GC). Elle n'est pas adaptée pour indiquer les liaisons entre les différentes parties.

A l'issue de ces activités, l'étude s'est enrichie en :

- **formalisation,**
- besoin juste **nécessaire,**
- **préparation** aux tâches parallèles fonction/contrainte.
- **informations** nécessaires pour les décisions

5.2. L'étude des fonctions

L'analyse fonctionnelle met en évidence les fonctions principales nécessaires à la réalisation des besoins du client. La nature de ces fonctions principales permet la répartition de l'étude en plusieurs fonctions et sous-systèmes associés.

Il y a **parallélisme** d'activités. Ces sous-systèmes sont les supports d'études de plusieurs métiers et c'est la naissance d'un second parallélisme. Nous remarquons qu'un métier peut correspondre à un sous-système ou à une fonction, et éventuellement à différents services ou sous-traitants / fournisseurs.

Lors de cette phase, la concurrence peut être introduite pour augmenter les performances de chaque équipe par compétition et donc avoir plus de solutions proposées en final, pour émuler la créativité, pour avoir des indicateurs de comparaison.

Ce découpage en parallèle doit permettre une avancée simultanée dans les différents métiers (tel que PO - PC) et dans les différents sous-projets.

Les contraintes générées par le parallélisme sont:

- Interface entre les sous-projets.
- Dépendances et de synchronisation entre les différents métiers et partenaires extérieurs
- Communications importantes entre les différents métiers
- Maîtrise de l'avancée entre les différents métiers en cas de non faisabilité d'un critère ou d'un principe dans l'un d'eux.

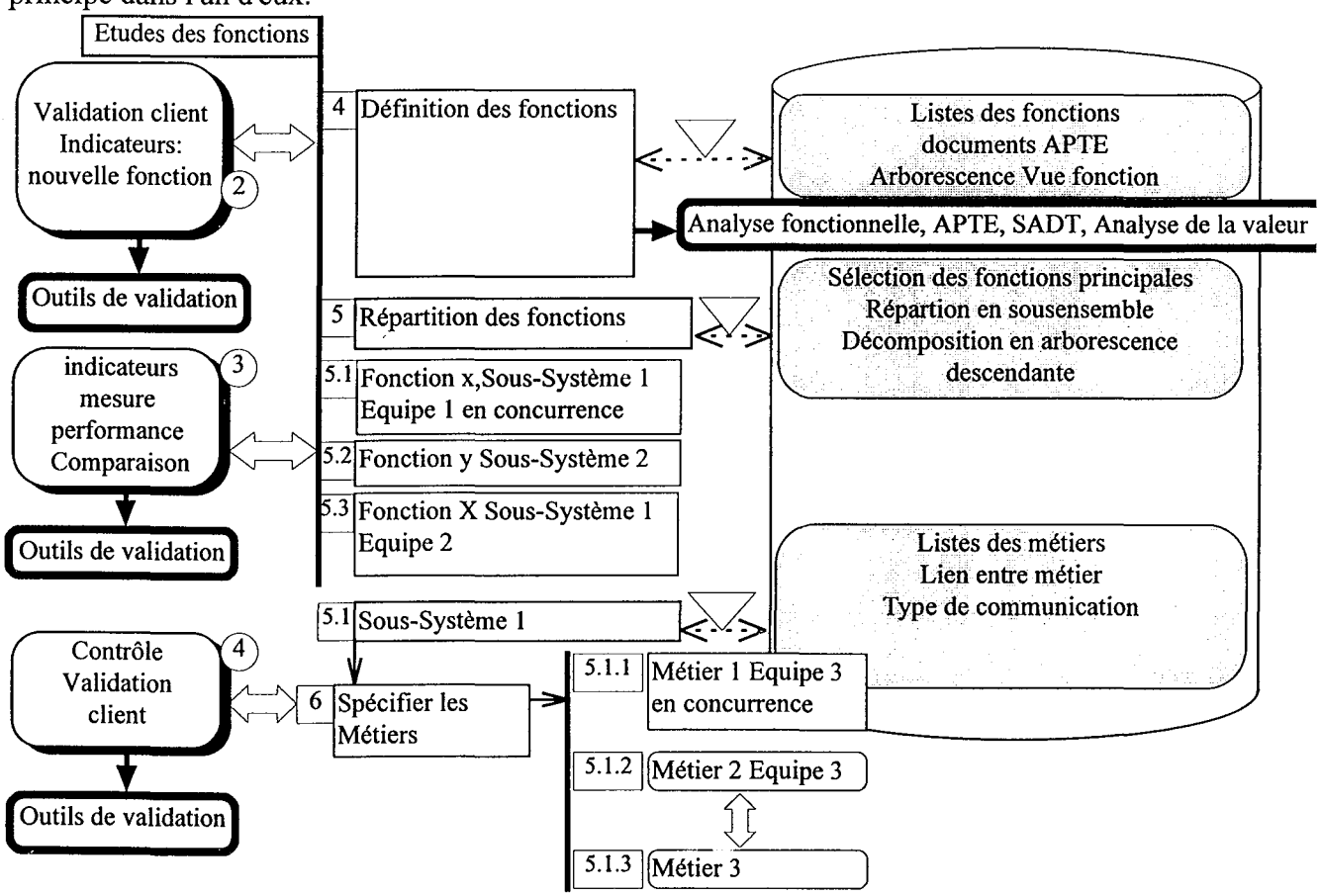


figure 4.10 : *l'étude des fonctions*

De même que dans le cas des besoins, nous représentons les fonctions, les activités et les tâches associées par une représentation arborescente. La décomposition en différents sous-systèmes est réalisée dans cette représentation. Avec ce principe, nous utilisons une arborescence pour la décomposition d'une fonction en différents métiers le cas échéant.

Les éléments de la vue fonctionnelle sont utilisés dans d'autres vues, notamment dans celles concernant la réalisation, l'exploitation la commande voir d'autres critères suivant la suite donnée à la faisabilité.

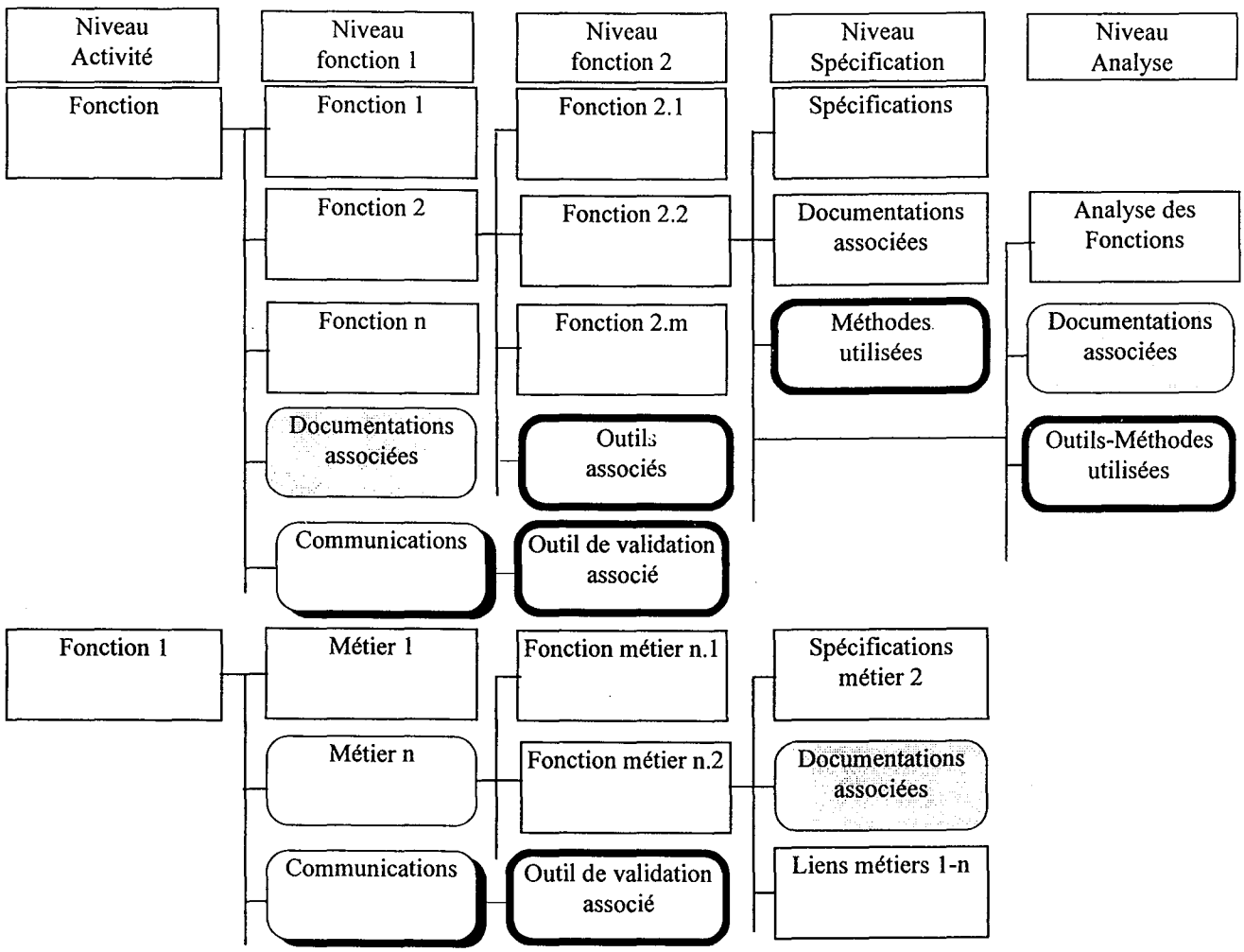


figure 4.11 : *la vue des fonctions et les liens entre métiers*

5.3. La génération des contraintes

5.3.1. Les tâches de l'étude des contraintes

Pour chaque fonction, sont associées des contraintes caractérisées par les spécifications de cette fonction. Par exemple: la fonction *décharger mécaniquement une palette* devient une

contrainte dès lors que la spécification introduit des tolérances de positionnement, de vitesse, des caractéristiques physiques de produits. Ce sont des contraintes fonctionnelles.

D'abord il faut lister les contraintes liées à une fonction, un sous-ensemble ou un métier et les représenter de façon claire.

Cette liste est complétée en fonction de l'avancée du projet.

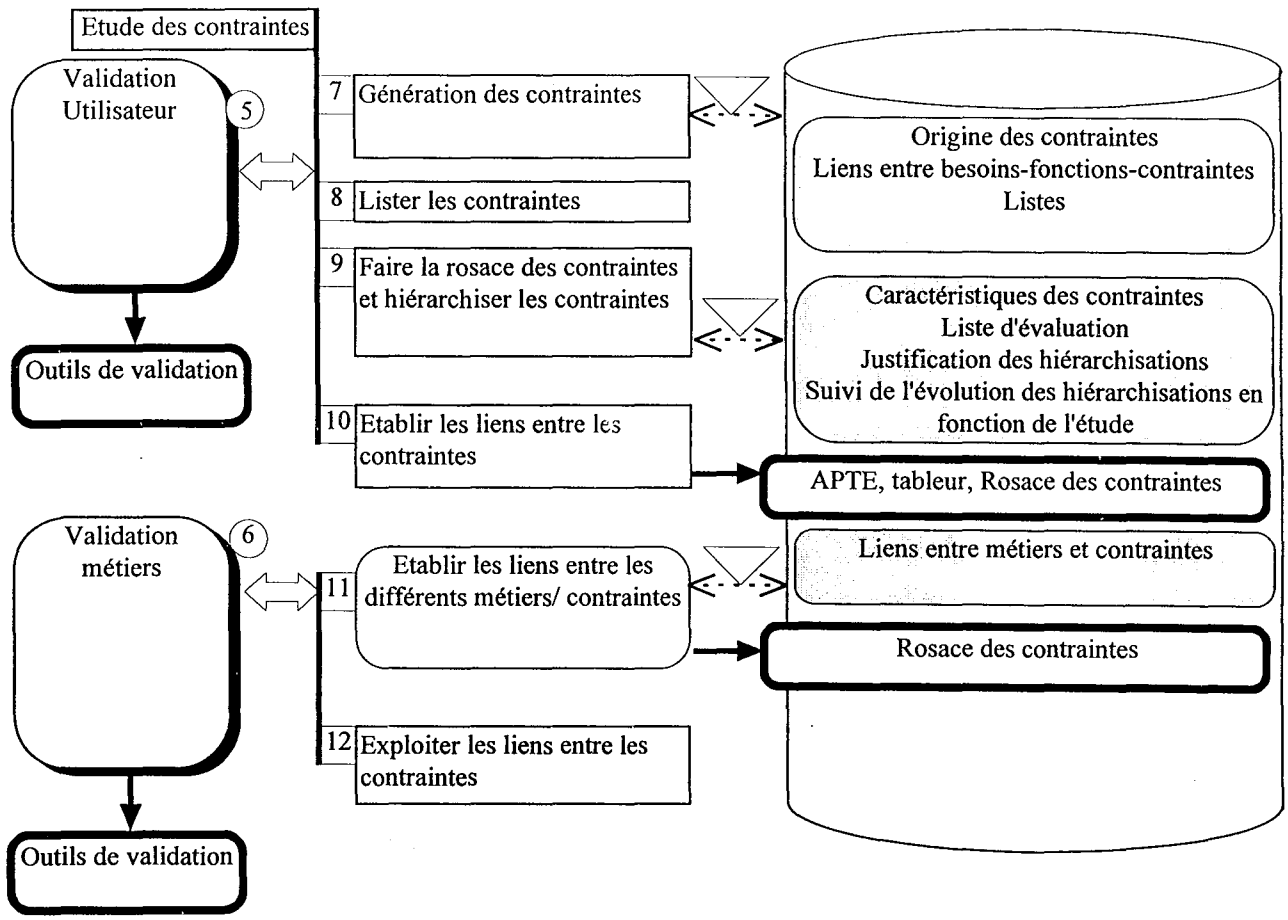


figure 4.12 : *la génération de contraintes*

5.3.2. La hiérarchisation des contraintes

Il est intéressant ensuite d'avoir une approche **hiérarchisée** des contraintes. Il faut leur affecté un "poids" afin de pouvoir les classer. Cette hiérarchie définie:

- la priorité de l'étude de faisabilité de certaines fonctions par rapport à d'autres,
- les moyens humains à dégager pour traiter une étude dans un délai donné,
- les délais et le budget nécessaire.

Le poids est fixé par l'équipe de projet et par le client. Une grille d'évaluation est nécessaire pour que les membres de l'équipe aient les mêmes références de hiérarchisation (grille à 10 critères notés de 1 à 10). Nous proposons une représentation graphique sous la forme d'une rosace où les contraintes sont spécifiées dans un rectangle et le poids figure en bout du rectangle: exemple à la figure 4.11, le nombre de colonnes et de lignes est fonction de l'application.

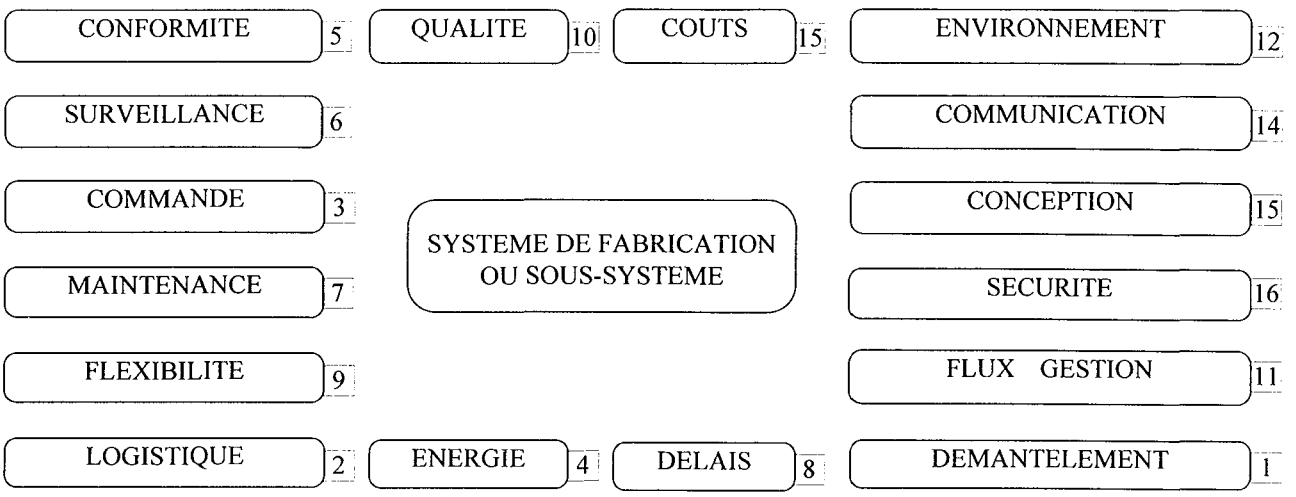


figure 4.14 : *la rosace des contraintes (exemple à 16 contraintes)*

5.3.3. Les liens entre les contraintes

La troisième étape consiste sur la rosace à regrouper les contraintes qui ont un lien fonctionnel entre elles et ainsi de les rendre dépendantes. La raison du lien est notée dans un rectangle et est archivée de manière à pouvoir être réutilisée dans un autre métier ou une autre étude de faisabilité. Nous proposons une représentation de type "bête à corne". Cette représentation est séparée de la rosace pour plus de clarté.

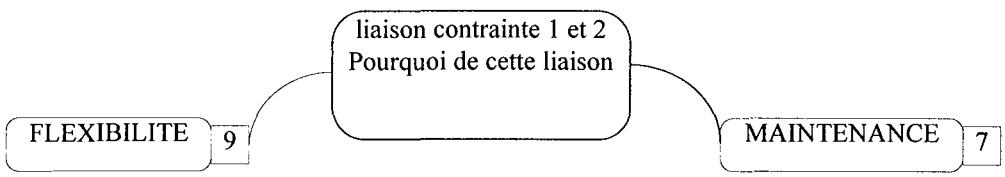


figure 4.15 : *le lien entre les contraintes*

Le traitement de ce lien permet de redéfinir la hiérarchisation résultante des contraintes, il donne un classement permettant de déterminer les contraintes prioritaires sur lesquelles doivent être basées les premières études de faisabilité. Ensuite cette hiérarchisation sert à fixer un planning de travail.

5.3.4. L'arborescence des contraintes

Pour chaque fonction qui le nécessite, nous représentons la mise en place des contraintes par une arborescence établie sur le modèle des précédentes. Les contraintes sont hiérarchisées et sont ensuite liées éventuellement entre elles. Les communications et les raisons des liens sont associées aux différentes activités.

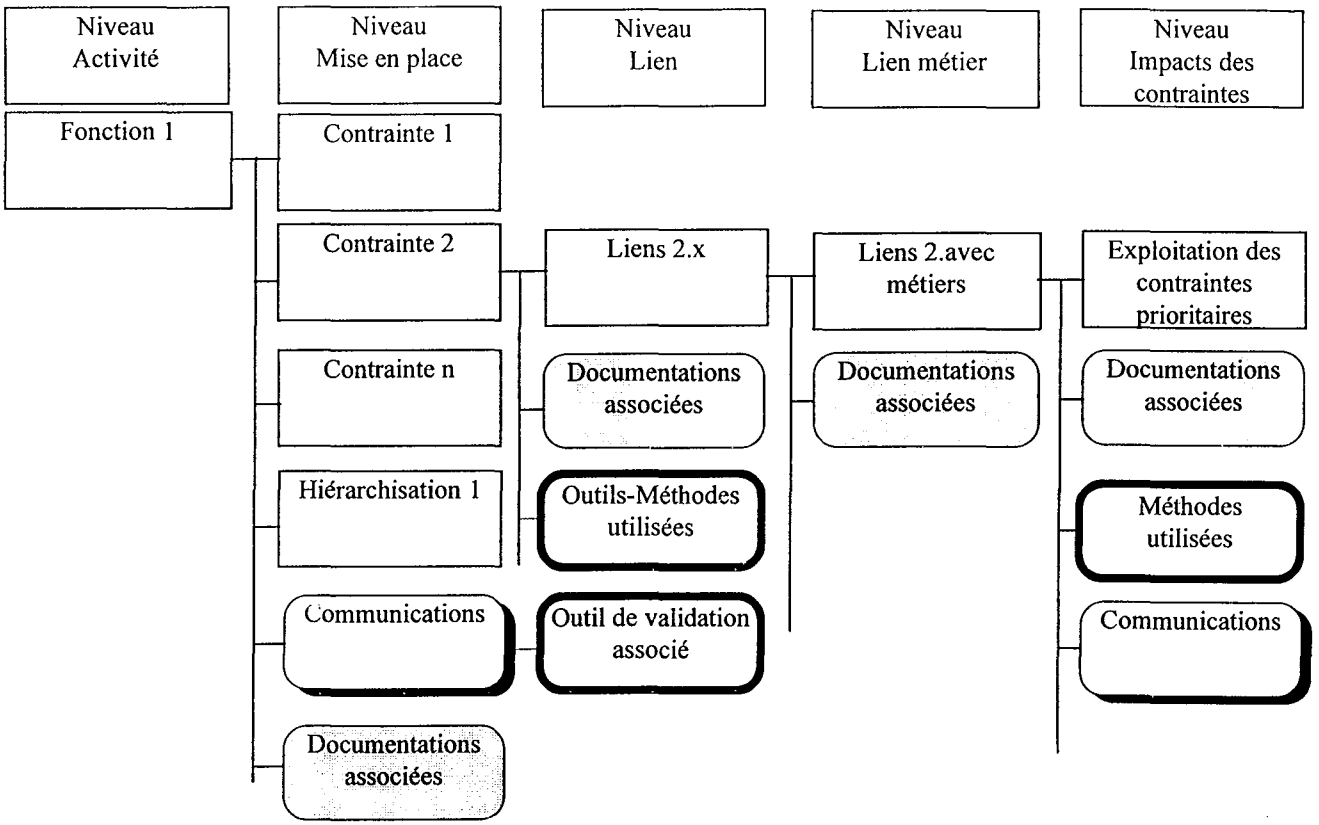


figure 4.16 : *la vue des contraintes*

6. Le bilan des activités de définition, la vue "définition de la faisabilité" du projet

Au fur et à mesure de la collecte des informations sur l'expression des besoins, la mise en place des fonctions et la génération des contraintes, il est nécessaire d'avoir une vue d'ensemble de la démarche. En effet les nombres de besoins, de fonctions et de contraintes sont importants et sont rapportés tout au long de l'étude. Nous appelons cette vue: la vue **Définition de la Faisabilité** où les activités sont extraites des vues **besoins, fonctions, métiers** et **contraintes** précédentes.
L'objectif est de visualiser l'ensemble des données maîtresses dans le déroulement de l'étude. Cette représentation permet d'avoir une vue à un instant donné de l'avancée du projet, le suivi de projet est ainsi facilité ainsi que sa présentation entre les différents acteurs.

Cette vue arborescente du projet décrit de façon **descendante** les différentes activités et découpage du projet. Elle permet de situer les constituants du projet. L'axe horizontal est l'axe

principal du temps. Les tâches s'enchainent de façon chronologique suivant le type de projet et les capacités de l'équipe de projet. La simultanéité des tâches représente ce type de recouvrement d'activités. Les communications, les documentations associées, les outils et les méthodes peuvent également être représentés dans cette vue.

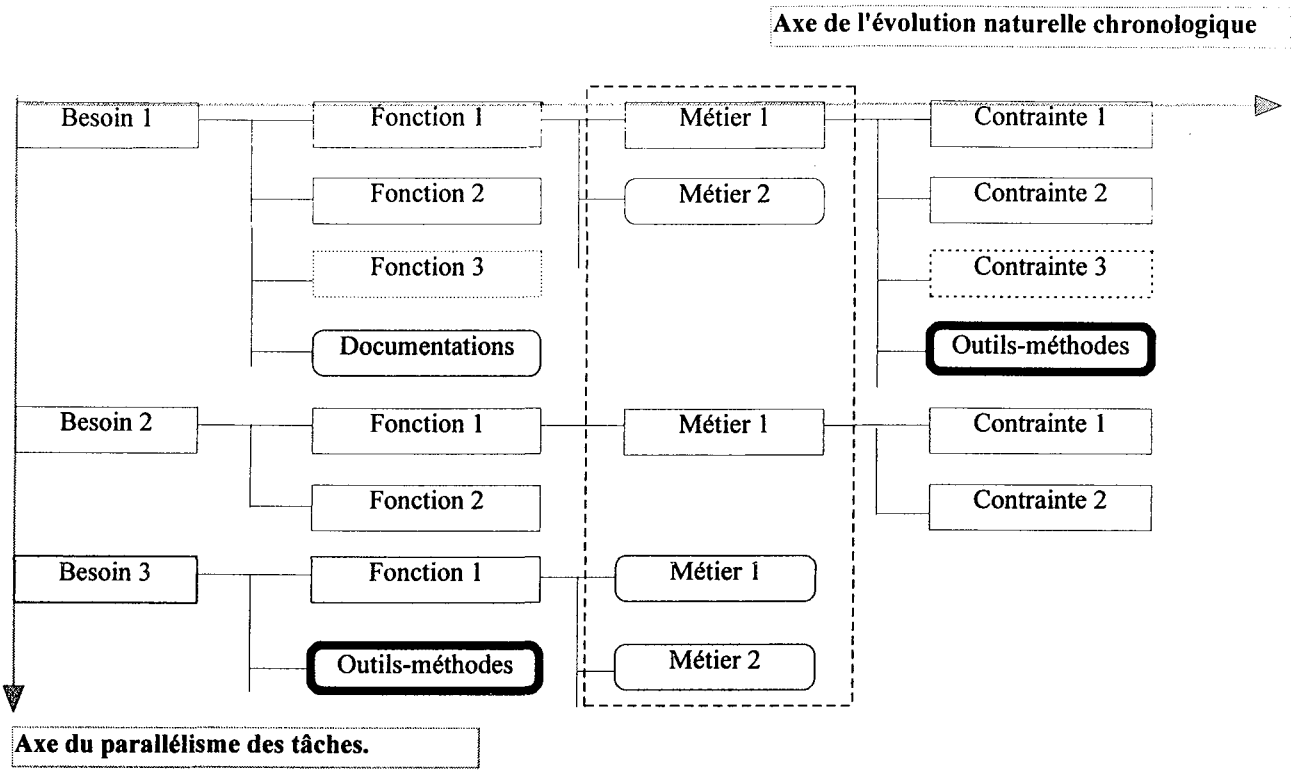


figure 4.17 : *l'arborescence des activités des besoins aux contraintes fonctionnelles ; la vue définition de la faisabilité*

En diagonale sont réalisées des tâches simultanément avec un recouvrement. Le cadre en pointillé indique que les métiers peuvent être mis à titre **facultatif** suivant le contenu de l'étude.

Le parallélisme des tâches est réalisé lorsque différentes personnes travaillent en parallèle sur différents besoins ou différents sous-ensembles ainsi que dans différents métiers. Les branches constituées avancent à leur propre rythme. Il est alors important de coordonner les différents acteurs, notamment lorsqu'il y a plusieurs métiers dans le projet et/ou plusieurs équipes.

7. Les activités de recherche

7.1 Le processus de travail

En parallèle avec le premier groupe d'activités, l'équipe de projet se consacre à une seconde phase comprenant plusieurs activités que nous avons nommé :

- la recherche de principes et de procédés,

- les solutions technologiques,
- les contraintes technologiques générées par ces solutions.

Ces trois activités permettent de déboucher sur une proposition de **solutions faisables**. Ces activités se déroulent de façon simultanée à partir des résultats obtenus dans les trois activités précédentes. Il s'agit maintenant de rechercher un principe ou un procédé ainsi que les voies technologiques qui permettent de solutionner les fonctions et les contraintes résultantes.

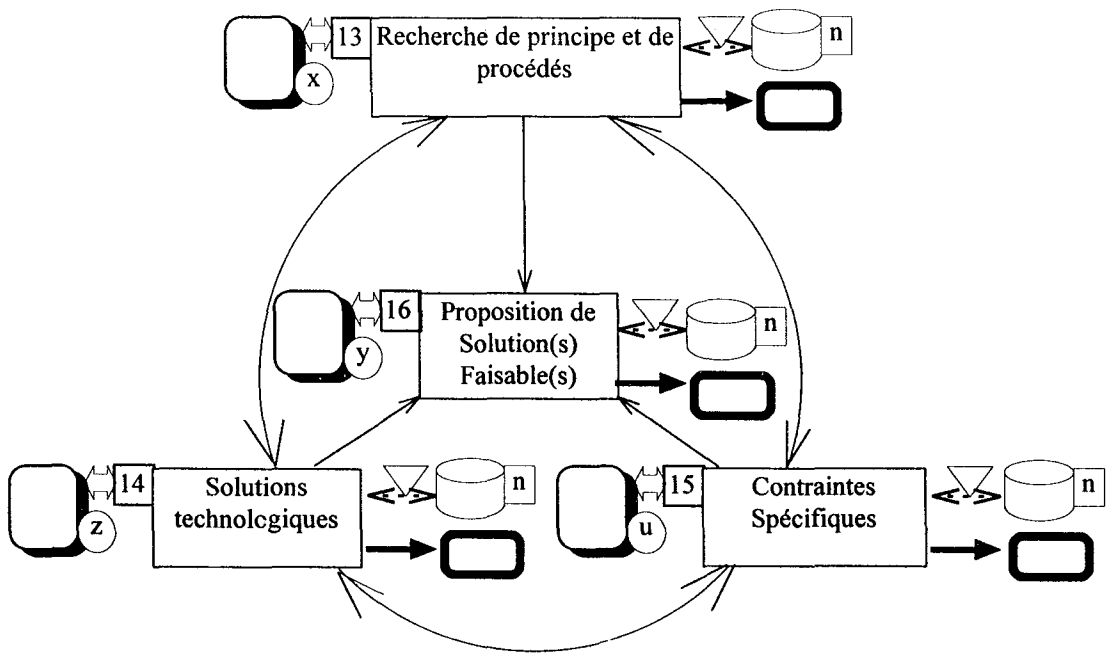


figure 4.18 : *Le principe du processus débouchant sur une solution faisable*

Dans un premier temps, l'équipe va générer X principes ou procédés qui répondent au problème posé. Ensuite la recherche de solutions technologiques possibles doit concrétiser ces solutions en maintenant les contraintes spécifiques de ces solutions technologiques dans une proportion acceptable de coût.

La recherche des principes et des procédés, la recherche de solutions technologiques, la génération des contraintes spécifiques à ces solutions technologiques, vont se dérouler tant qu'une ou plusieurs solutions faisables et acceptables ne soient proposées ou que le budget / délai pour l'étude de faisabilité ne soit atteint. Dans le cas où soit le budget soit les délais sont atteints, il y a négociation entre le demandeur et l'équipe d'ingénierie, pour déterminer la suite de l'étude. La condition "d'objectif atteint" est en général une association entre plusieurs critères types : coûts, complexité,... ou d'une pondération entre les différents critères.

Dans les cas où la faisabilité n'est pas atteinte, il est alors important de déterminer quel est le

facteur limitant parmi les différentes phases de l'étude pour savoir si après une modification ou une élimination de ce critère, il y a une solution faisable. Dans tous les cas, il est nécessaire de noter les conclusions, ainsi que le "chemin" parcouru, c'est à dire l'enchainement des différentes branches dans les différentes phases de l'étude, afin de constituer un historique réutilisable.

7.2 L'environnement du processus

Nous représentons les flux d'informations entre les différentes activités à la figure suivante. Pour des raisons de clarté, nous ne pouvons pas utiliser la forme de la représentation précédente, qui ne précise pas les différents outils, ni le contenu des validations clients, ni les données. Par contre, nous ne pouvons pas indiquer le passage des différentes activités distribuées avec l'activité suivante sans compliquer la figure. Ces trois activités entrainent la proposition de solutions faisables non représenté sur cette figure pour plus de clarté.

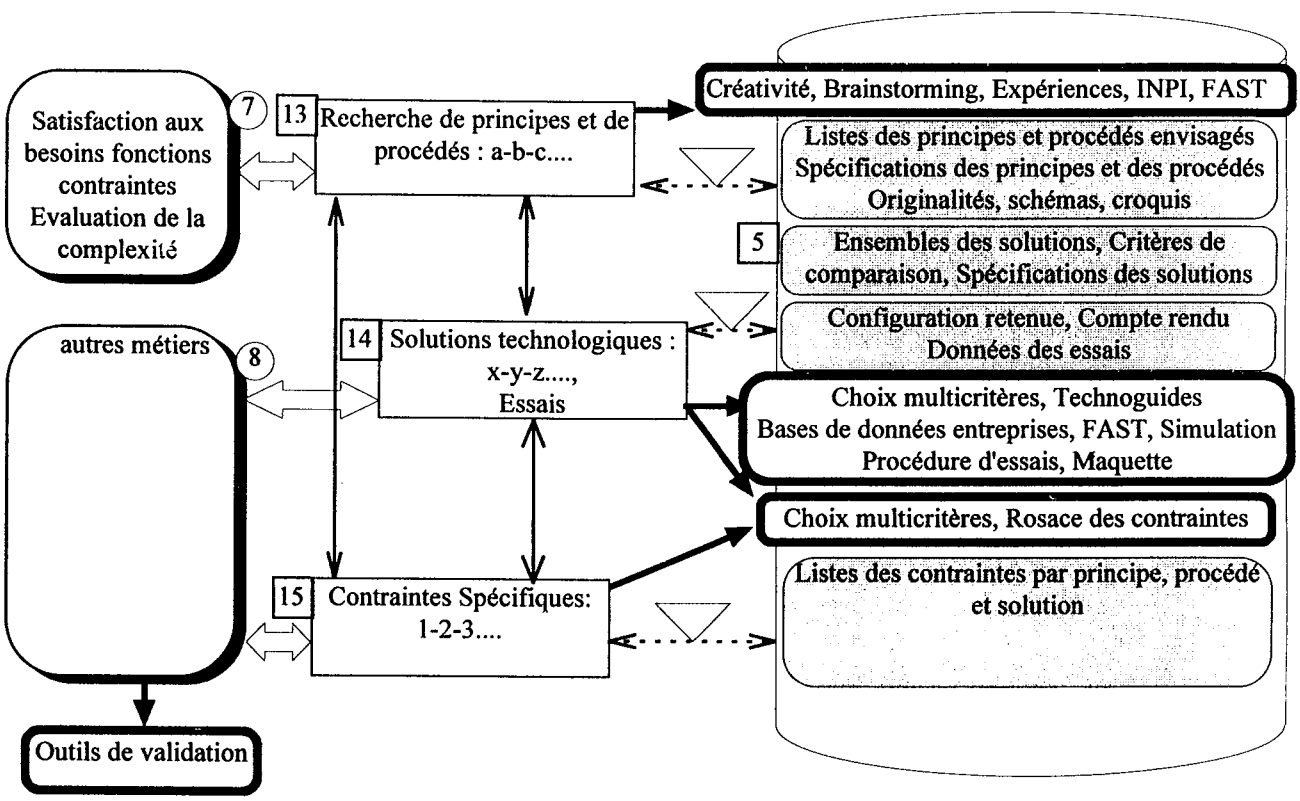


figure 4.19 : *le processus distribué et itératif associé aux informations*

D'autres documents sont produits pour expliciter les différents principes ou procédés proposés, les solutions technologiques et les contraintes spécifiques. Ces documents sont archivés en liaison avec la base de données. Ces documents sont des schémas, des croquis des figures illustrant le fonctionnement des solutions proposées.

8. Mise en place de solutions faisables et de leurs réalisations

Il est nécessaire à stade, de prouver physiquement que la ou les solutions faisables avancées conviennent aux demandes émises, il faut donc **prouver** par différents moyens les hypothèses émises. Lorsque les données sont suffisantes, une maquette ou un prototype est fabriqué. Dans le cas contraire, il faut procéder à différents essais en réalisant une maquette succincte qui permettra d'obtenir des données servant à dimensionner une maquette plus conséquente pour atteindre les différents objectifs de l'étude. Les résultats acquis lors des essais réalisés sur la maquette ou le prototype vont permettre de conclure sur l'étude de faisabilité. Les essais renseignent également sur les limites des principes ou des procédés sélectionnés. Par la suite, ils vont orienter les choix faits en développement et industrialisation.

Le maquettage et le prototypage sont alors des activités plus séquentielles avec une simultanéité (un recouvrement des activités) similaire à celui existant dans la conception de produit. Les représentations précédentes "en boucle" ne conviennent plus pour ces activités.

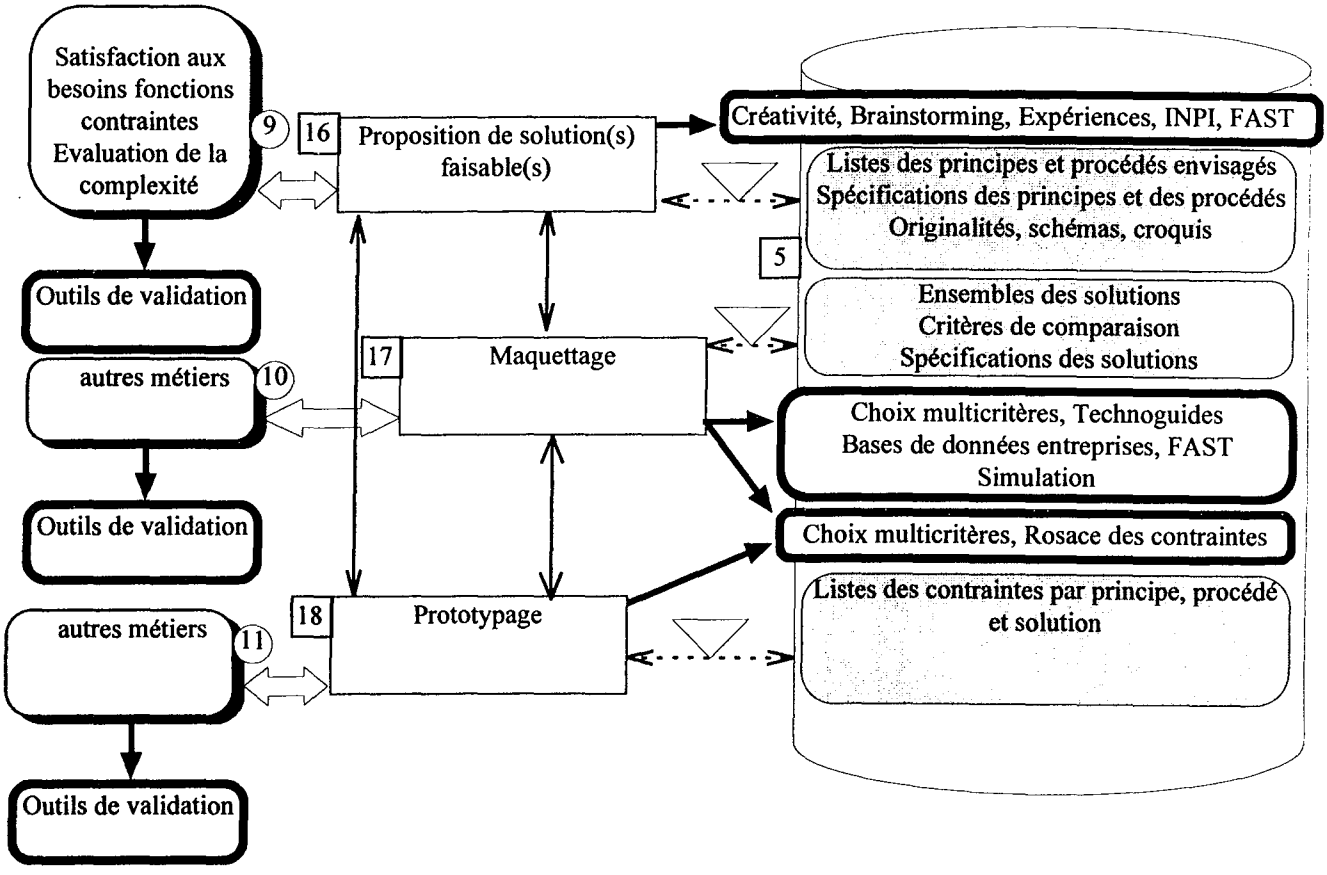


figure 4.20 : *les solutions faisables, le maquettage et le prototypage*

Les vues nécessaires à la suite du projet sont alors celles concernant la **définition**, la **réalisation** et l'**exploitation** de la maquette ou du prototype. Ces vues sont construites à partir des vues de **besoins**, des **fonctions** et des **contraintes** qui ont été spécifiées lors de ces activités.

La vue de définition est la vue d'étude ; c'est à dire la traduction des **besoins, fonctions, contraintes** en **solutions technologiques génériques**, c'est à dire sans les choix de fabrication et de fournisseurs de composants.

La vue réalisation est la concrétisation des fonctions et de leurs définitions pour la maquette ou le prototype.

La vue exploitation est l'association entre la vue réalisation et les spécifications pour réaliser un cycle d'essais, un fonctionnement en marche normale, une action de maintenance, une procédure de réglage. Le cas échéant cette vue nécessite des informations sur les systèmes logiciels et de contrôle-commande de l'installation.

Nous présentons ces différentes vues sur les applications décrites à la partie 5.

9. L'évolution des activités

Nous avons vu plus haut que l'issue de la première trilogie de démarche débouchait sur la recherche de principes et de procédés. Maintenant nous avons une représentation similaire qui enchaîne sur une ou plusieurs solutions faisables.

Cet enchaînement de démarches distribuées nous montre une stabilité des activités générées par les études de faisabilité. Bien évidemment, nous ne pouvons pas représenter l'intégralité des informations et des liens sur cette figure. Entre les deux niveaux, le nombre des contraintes a progressé ainsi que leur poids, car il y a **addition** de principes, de procédés et addition de technologies aux fonctions émises par les besoins du client.

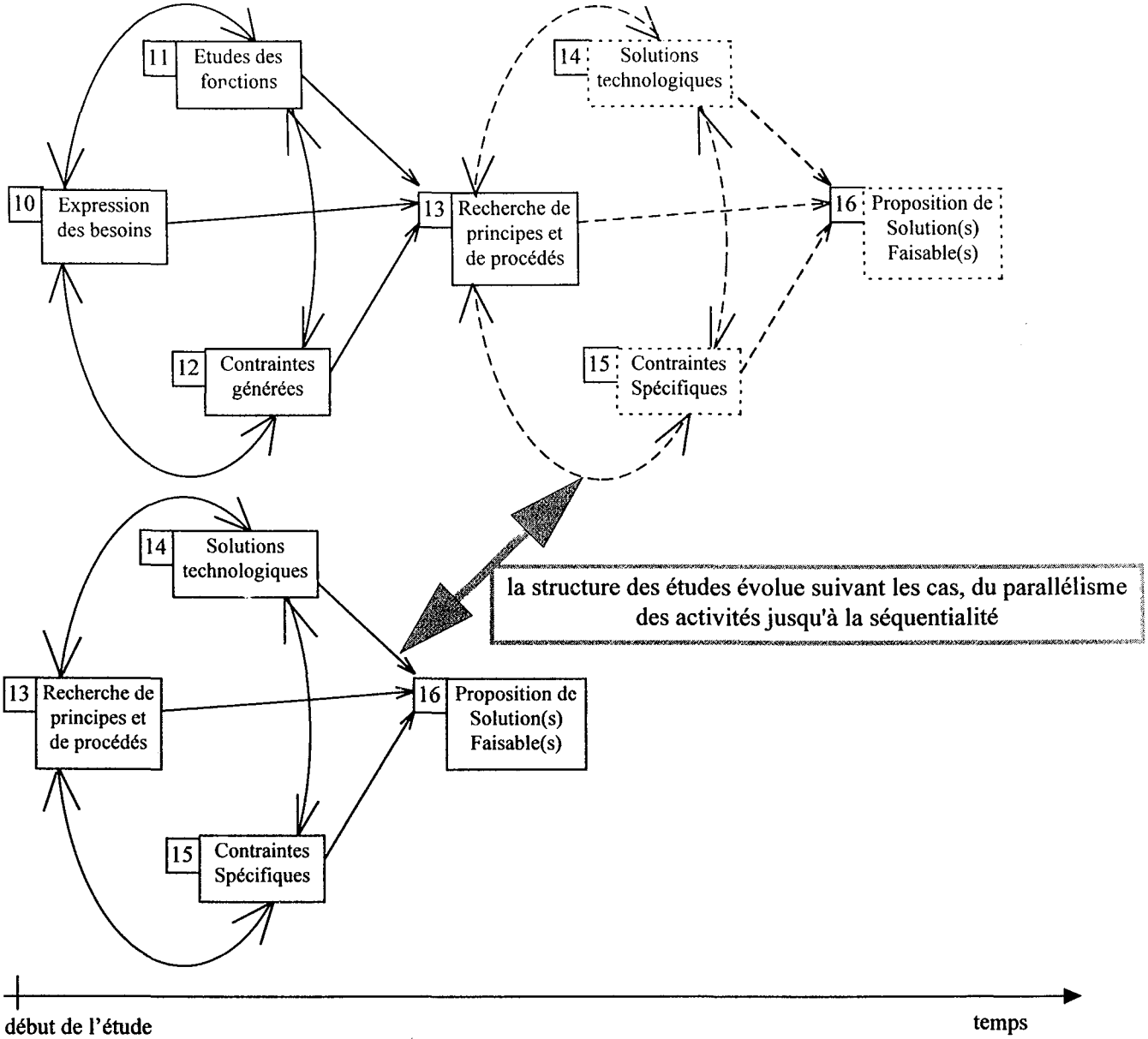


figure 4.21 : *le parallélisme des activités*

10. Le bilan ; la vue "faisabilité"

Comme à l'issue des trois premières activités, il est nécessaire d'avoir une représentation de l'ensemble des activités générées au cours du travail réalisé en recherche de principes, de procédés ainsi que les solutions technologiques et contraintes spécifiques de celles-ci. Cette vue est proposée à la suite de la partie 1, comprenant les phases d'expression de besoins jusqu'aux spécifications des contraintes. Nous appelons cette vue : la vue "**faisabilité**".

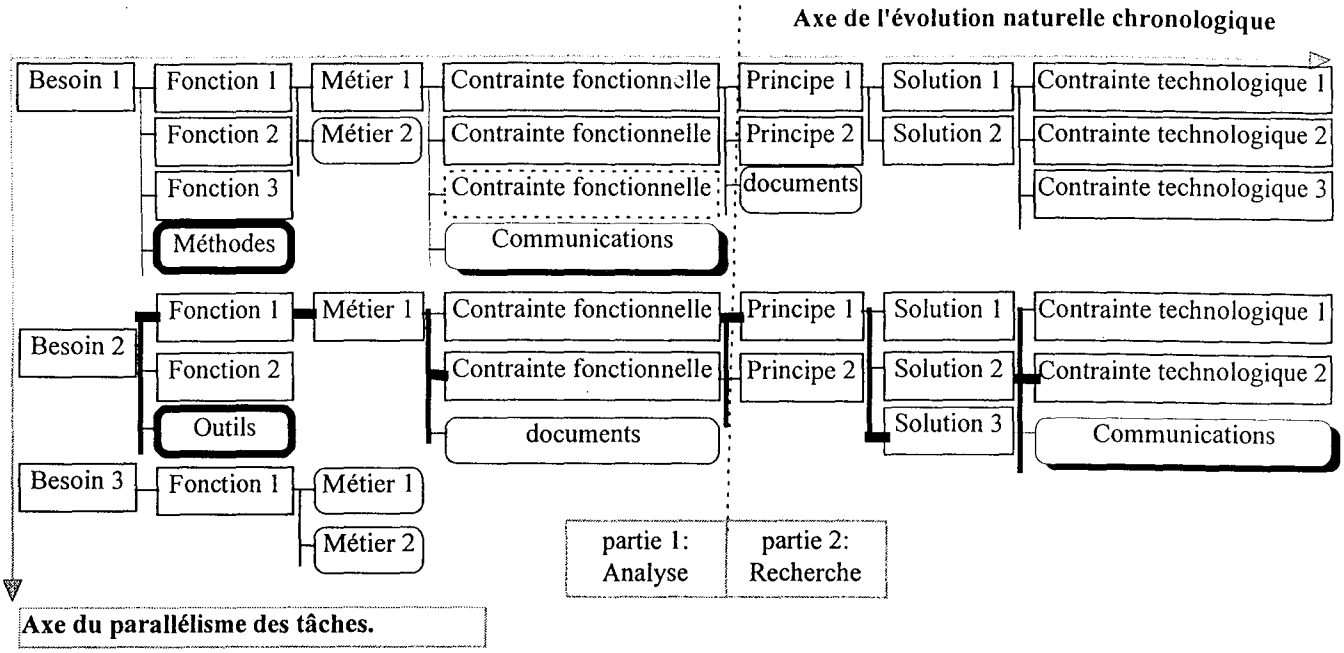


figure 4.22 : *l'arborescence des activités : la vue "faisabilité"*

Cette représentation nous donne la possibilité d'obtenir une traçabilité des différents choix effectué lors des trois premières démarches ou lors des suivantes. Cette traçabilité permet de réutiliser une partie des démarches lors de modifications entraînant un retour en arrière. Elle sert également à comparer les différentes options choisies au cours des démarches. Nous représentons à la figure ci dessus un exemple de **traçabilité en trait fort**. En cas de solution non faisable ou de solution faisable mais avec des contraintes trop fortes, il suffit de reprendre l'arbre de décision et de modifier la ou les fonctions initiales en cause, de les modifier ou les supprimer et de continuer les démarches de choix.

Un autre intérêt de cette vue est d'avoir une démarche formalisée favorisant la qualité de la conception par la mémorisation des décisions, des objets de la conception types besoin-fonction-contraintes. Une procédure d'étude écrite est nécessaire dans un contexte de certification.

La comparaison de différents objets ou noeuds de l'arborescence entre eux ainsi que la comparaison d'arborescence, permet de comparer des solutions par leur contenu ou leur décomposition et de valider celle-ci au cours de la démarche. Nous avons utilisé la comparaison de deux principes différents dans l'étude de découpe de mirabelle congelée, les documents sont en annexe. Nous avons également utilisé la comparaison de deux arborescences différentes dans l'étude d'accumulation de pièces en bois que nous présentons au paragraphe suivant.

11. L'amplification des contraintes

Nos travaux sur la faisabilité nous ont amené à un **constat** sur les contraintes rencontrées lors d'une étude:

- le **nombre** de contraintes croit avec les différentes activités,
- la complexité augmente également.

Nous représentons cette amplification par la figure ci-dessous où la somme des contraintes n'est pas uniquement arithmétique.

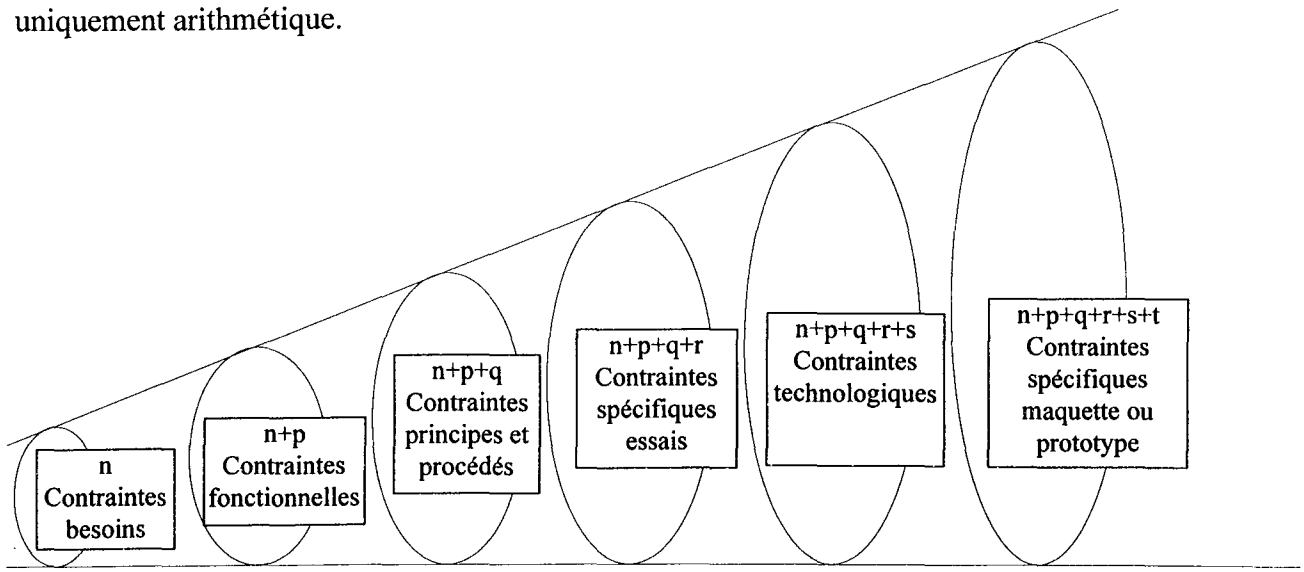


figure 4.23 : *l'amplification des contraintes*

L'augmentation des contraintes nécessite donc la **limitation** du nombre de contraintes ou de leur position hiérarchique dans l'évolution des différentes activités. La limitation doit entrainer une **simplification** de la technologie mise en oeuvre dans les solutions faisables.

Nous remarquons également qu'avec des activités menées le plus **parallèlement** possible, il est facile de maîtriser les conséquences de la mise en place des contraintes, par une **communication** simultanée aux différents acteurs du projet et donc une **décision** sur l'**impact** des contraintes. Cette communication est rendu possible par la structuration proposée par notre méthodologie.

Nous illustrons ce problème d'amplification de contraintes en reprenant une application **Bertand GARCIN** introduite au chapitre 3 sur la simulation de flux de produits. Cette exemple est aussi une application de la comparaison d'arborescence proposé au paragraphe précédent. Dans cette application, une fonction de base [GAR 90] : "*garder les surfaces de référence pendant le déplacement du produit entre deux machines A et B* " entraîne des contraintes nombreuses, les principes et les solutions proposées ont des contraintes spécifiques très complexes donc coûteuses.

Nous avons donc remonté l'arborescence jusqu'à la décision en cause et nous avons modifié la fonction de base incriminée en la remplaçant par:

- déplacer le produit sans maintient de références entre A et B,

et nous avons rajouté une fonction supplémentaire:

- positionner le produit suivant deux références avant de rentrer sur la machine B

Besoin:	Fonction:	Contrainte:	Principe:	Solution :	Contraintes technologiques:
Déplacer A > B	**Convoyer& Garder en référence**	**maintenir** pendant **déplacement + 2 références**	**2 cinématiques réglable** sur 2,5 mètres	**2 Taquets arrières+butées positionnables**	**Complexité Coût**

première démarche : *une seule fonction mais contraintes technologiques importantes*

Besoin:	Fonction:	Contrainte:	Principe:	Solution :	Contraintes technologiques:
Déplacer A > B	**Convoyer sans référence**		**bandes à plat**	**standard**	
	Fonction: Mettre en référence avant B	Contrainte: 2 références à faire à la cadence de tenonnage	Principe: **Mise en butée translation+ redressement**	Solution : **Vérin +extraction par vérins**	Contraintes technologiques: **cadence inférieure**

seconde démarche : *deux fonctions avec une réalisation moins complexe, moins onéreuse et plus fiable*

figure 4.24 : *un exemple d'atténuation des contraintes; la ligne flexible à l'ENSTIB*

12. L'estimation des performances de la méthodologie

Nous proposons les indicateurs suivants pour estimer ou mesurer la performance de la méthodologie. Les indicateurs sont mis en place et utilisés par les concepteurs et permettent d'évaluer les performances des phases et activités se déroulant en parallèle, en simultané ou séquentiellement.

12.1. Indicateur d'efficacité "solution" : Es

$$\text{Efficacité } E = \frac{\text{Nombre de solutions faisables}}{\text{Nombre de solutions envisagées}}$$

Cette indicateur doit être proche de 1 et ne pas être utilisé systématiquement seul. Ainsi en ayant soit de la chance soit du génie à chaque étude, il pourrait être souvent égal à 1.

12.2. Indicateur d'efficacité "temps total" : Ett

Le temps total correspond au temps passé en conception pour toutes les solutions **faisables**. Le temps global correspond au temps passé pour toutes les solutions **envisagées**.

$$\text{Efficacité Temps Ett} = \frac{\text{Temps passé pour les solutions faisables}}{\text{Temps global}}$$

12.3. Indicateur d'efficacité "temps individuel" : Ei

Le temps individuel correspond au temps passé en conception pour une solution faisable.

$$\text{Efficacité Temps Eti} = \frac{\text{Temps passé pour une solution faisable}}{\text{Temps global}}$$

Nous pouvons ensuite déterminer des ratios de "performance" par comparaison des temps individuels entre les solutions faisables. Le ratio Eti est complété de l'indice de la solution concernée, par exemple: Eti.s3 signifie que ce ratio est affecté à la solution 3.

12.4. Indicateurs de Robustesse

Les indicateurs de robustesse permettent d'apprécier l'efficacité de la conception en cas de "perturbation" dues :

- des changements d'acteur dans l'équipe
- des abscences
- des modifications dans les besoins, les fonctions, les contraintes, les choix de principes ou technologiques....

Nous proposons un indicateur pour l'ensemble des solutions et un indicateur pour chaque solutions faisable.

12.4.1. Indicateur de Robustesse global Rg

$$\text{Robustesse Rg} = \frac{\text{Temps avant Retour à la normale}}{\text{Temps passés pour les solutions faisables}}$$

12.4.2. Indicateur de Robustesse solution Rs

$$\text{Robustesse Rs} = \frac{\text{Temps avant Retour à la normale}}{\text{Temps passé pour une solution faisable}}$$

Nous pouvons ainsi déterminer des ratios de "performance" par comparaison des ratios de robustesse individuels de chaque solution faisable. Le ratio Rs est complété de l'indice de la solution concernée, par exemple: Rs.s2 signifie que ce ratio est affecté à la solution 2.

12.5. Indicateur de créativité Ic

Cette indicateur est la somme des solutions envisagées au niveau des principes, des solutions technologiques....Il permet de comparer la créativité entre plusieurs projets dans des domaines similaires.

Nous proposons d'autres indicateurs permettant d'apprécier les gains ou les apports que peut amener l'utilisation de la méthodologie. Ces indicateurs n'ont pas été mis en place à la date de rédaction de ce mémoire, et ne sont pas évaluables sans expérience.

12.6. Gain en Qualité "étude" et relations client-fournisseur

Cet indicateur permettrait d'évaluer le gain en qualité qu'apporte l'utilisation de la méthodologie. C'est un indicateur qualitatif qui a la forme d'une enquête "satisfaction" des relations entre client d'une étude de faisabilité et fournisseur de ce travail. A l'issue de sa mise en place, des mesures pourraient être faites sur le nombre de réclamations.

12.7. Gain en "sérénité"

Un gain est apporté par notre méthodologie au niveau de la sérénité de travail lorsque l'on aborde une étude de faisabilité. Il ne nous est pas possible pour l'instant de définir un indicateur sérénité, mais le fait d'avoir une démarche formalisée permet d'aborder une étude de faisabilité avec un maximum de sérénité.

12.8. Gain en "formation"

Un gain en formation est possible par la formalisation de la méthodologie employé et l'archivage des informations générées au cour d'une étude de faisabilité. Ce gain se retrouve en partie dans les indicateurs de robustesse.

13. Conclusions

La méthodologie que nous venons de présenter permet de situer clairement :

- les **besoins** du client et ceux de l'étude de faisabilité,
- les **fonctions** du problème,
- les **contraintes** associées à ceux-ci,
- la **recherche de principes** ou procédés,
- les **solutions technologiques** possibles,
- les **contraintes technologiques** de ces principes et solutions.

Elle les place dans un contexte **concourant** où le **parallélisme** est fortement présent dans un processus itératif et distribué. Ce parallélisme intervient dès le début de la démarche sur l'ensemble des activités depuis le besoin jusqu'à la solution faisable pour favoriser **l'émergence de solutions**.

La formalisation de la méthodologie fait appel à une **sémantique** simple apportant une structure à la démarche.

La sémantique est utilisée sous deux représentations possibles:

- une vue utilisant l'ensemble de la sémantique pour montrer les **liens** et la **communication** entre les activités, les validations, les outils-méthodes utilisées et les bases de données,
- une **vue décomposition descendante** intégrant une partie de la sémantique pour indiquer la décomposition du projet.

Cette dernière vue se décline suivant les projets sous les aspects:

- vue des besoins,
- vue des fonctions,
- vue des métiers,
- vue des contraintes,
- vue de principe, solution et contraintes technologiques,
- vue définition de maquette ou de prototype,
- vue réalisation de la maquette ou du prototype,

Ces différentes vues sont nécessaires pour :

- **suivre** le projet,
- rattacher la **documentation** aux différents objets de l'étude,
- associer les **outil** ou **méthodes** aux activités correspondantes,

- **décider** des orientations, des objectifs, des critères d'évaluation, de performance au moment opportun.

Dans les deux représentations, nous avons utilisé des repères ou des indices pour favoriser la réutilisation de l'acquis soit :

- pour la même étude en cas de bouclage,
- pour une étude similaire,
- pour les phases avales du même projet (conception, développement, industrialisation...).

Les vues servent également dans la suite du projet.

Dans les différents paragraphes , nous avons laisser volontairement de côté les transitions (figure 4.: la sémantique). Elles sont liées au point de validation ou de décision mais ne doivent pas séquencialiser la démarche. La démarche séquentielle est surtout présente dans l'ingénierie traditionnelle. Une partie de l'efficacité de notre méthodologie est liée à son parallélisme. Ces transitions sont donc mises en place en fonction des informations pertinentes pour être prise en compte par les différents membres de l'équipe. Les différentes phases de la démarche peuvent démarrer sans validation de la précédente.

Nous présentons deux applications dans le chapitre 5, qui valident nos propos dans un contexte de faisabilité avec réalisation d'une maquette pour l'une et avec la réalisation d'un prototype, ainsi que son exploitation pour l'autre.

Chapitre 5 Les études de faisabilité

1. Présentation page 119
2. Le projet du formeur de nappes page 119
2.1. Les produits page 119
2.2. Le processus global et le processus du formeur de nappes:situation actuelle page 120
2.3. La nécessité d'une méthode : la démarche utilisée page 121
2.4. L'expression des besoins d'Ascometal page 121
2.5. La définition des fonctions page 122
2.6. La mise en place des contraintes page 124
2.7. La hiérarchisation des contraintes page 125
2.8. La constitution de la vue fonctionnelle page 127
2.9. Le passage à la vue définition / réalisation de la maquette page 128
2.10. Les résultats, l'intégration des fournisseurs et le devis page 129
2.12 L'estimation des performances pour l'application du formeur de nappes page 131
2.13. Conclusions de l'application du formeur de nappes page 131
3. Le projet du système flexible de production page 133
3.1. Introduction page 133
3.2. Les démarches de conception des produits et du système de fabrication page 133
3.3. Description de l'étude du système page 133
3.3.1. Les activités Besoins-Fonctions-Contraintes page 134
3.3.1.1. Les besoins page 134
3.3.1.2. L'étude des fonctions et la vue fonctionnelle page 134
3.3.1.3. L'association des contraintes page 137
3.3.2. La recherche de principes et de solutions page 138
3.4. Les vues du système page 139
3.4.1. La vue logiciel page 139
3.4.2. La vue exploitation page 140
3.4.3. La vue réalisation page 142
3.4.4. La vue commande page 143
3.5. Bilan des évolutions de données technologiques sur l'application SFP page 145
3.6. Conclusions de l'application SFP page 147
4. Conclusions des applications page 148

Chapitre 5 Application à deux études de faisabilité de système de fabrication

1. Présentation

La première étude de cas présentée permet de mettre en application la démarche et de valider les concepts introduits dans ce mémoire, dans le cas d'un maquettage.

La seconde étude de cas présente une application réalisée sur un site universitaire à l'Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain (AIPLorrain). Cette application complète la validation précédente en introduisant le prototypage d'une solution jusqu'à son exploitation.

2. Le projet du formeur de nappes

L'étude que nous allons présenter s'est déroulée dans les bureaux d'études de l'Entretien Travaux Neufs (ETN) de la société Ascométal à l'usine de Hagondange. La société Ascométal fabrique des produits sidérurgiques longs en aciers spéciaux tels que des barres de différentes sections. Ces produits sont fournis par exemple à l'industrie automobile et sont transformés en pièces de sécurité pour les liaisons au sol. L'usine a des chantiers de parachèvement de ces barres et pour les opérations de traitements thermiques, les barres sont mises en nappes composées de plusieurs couches. Ces nappes sont formées manuellement.

Le service ETN nous a proposé d'étudier sur ces chantiers; la faisabilité de la **mécanisation** et de l'**automatisation** pour des raisons d'**ergonomie**, de **sécurité** et de **productivité**.

L'appel d'offre comprenait la fourniture de prix et délais pour:

1 - Etudes et réalisation de plans de sous-ensembles d'un équipement.

2 - Fabrication, montage, mise en service d'un équipement comprenant la formation.

Nous avons répondu au premier point de cet appel d'offre pour la fourniture de prix d'une étude de faisabilité de l'équipement en question permettant l'étude et la réalisation des plans souhaités par un **autre fournisseur**, qui sera **intégré** à l'équipe au moment voulu.

2.1. Les produits

Les barres rondes sont fabriquées à partir de la coulée continue. Leurs diamètres varient de 16 millimètres à 80 millimètres (caractéristiques produits en annexe). Leurs longueurs sont comprises entre 3 mètres et 9 mètres. Les barres sont livrées par paquets cerclés d'un lien métallique. La nuance de l'acier d'un paquet est identifiée pour une commande. Les barres dont la longueur est inférieure à 3 mètres sont éliminées.

Des barres quelconques (diamètre, nombre, nuance et quantité non connus) sont utilisées pour compléter la charge du four, lorsque la nappe constituée n'est pas suffisamment large pour un traitement donné en début ou en fin de lot. Ces barres sont appelées **fausses barres,** elles sont passées plusieurs fois dans le four, et sont très tordues. Les exploitants appellent ces barres : des **spaghettis.**

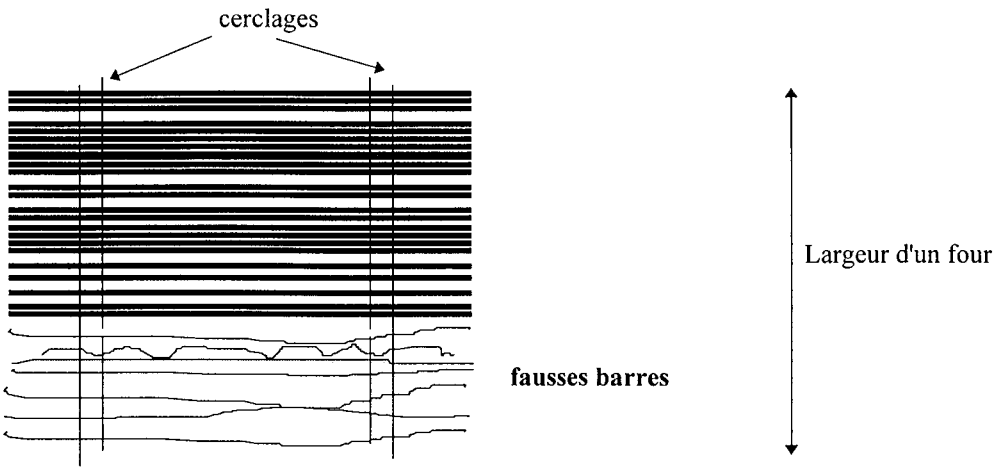


figure 5.1: *L'aspect d'une nappe*

2.2. Le processus global et le processus du formeur de nappes: situation actuelle

Les barres sont fabriquées à partir de l'aciérie par coulée continue et laminage à chaud dans une nuance donnée. Les barres sont ensuite découpées à la longueur demandée par le client et mises en paquet cerclé d'un fil de fer. Le nombre de barre dans un paquet est fonction du transport et du stockage intermédiaire entre la découpe et le formeur de nappes. Le nombre de barres par paquets n'est pas connu car diverses opérations sur les stocks interviennent après la coupe.

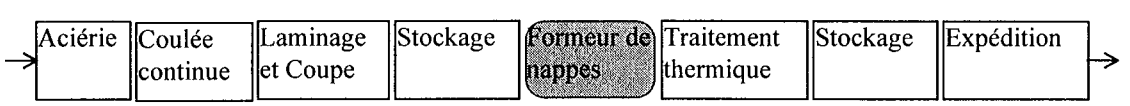


figure 5.2 : *Le processus global*

Les barres arrivent du stockage par lot constitué de plusieurs paquets, un lot pèse 18 tonnes maximum. Elles sont déposées sur une table de préparation. Les opérateurs enlèvent les liens et étalent les barres pour constituer une nappe. Une nappe est constituée de plusieurs paquets suivant le diamètre des barres, le traitement à effectuer et la largeur des fours. Toutefois un nombre entier de paquets constitue une commande client. Après la répartition des barres, ils ligaturent cette nappe

avec du feuillard pour éviter l'accrochage des barres dans le four. Ensuite la nappe est transférée devant le four en service et est enfournée par l'opérateur. Le temps, la qualité, la régulation du flux sont donc fonction de l'équipe de préparation de nappes.

2.3. La nécessité d'une méthode ; la démarche utilisée

Nous avons élaboré une partie de la démarche présentée au chapitre 4 en y ajoutant des spécificités liées aux besoins de cette étude de faisabilité et du client.

Des spécifications ont été mise en place au fur et à mesure de l'étude. Lors de la recherche de principes, nous aurions pu ne rien trouver et le maquettage dépend du choix de solutions faisables. Les objectifs et les activités après celles de recherche de principes dépendent donc des résultats et des décisions prises. Les résultats des essais sur maquette ont permis d'envisager les activités suivantes. Ainsi les études et réalisations de plans d'ensemble qui font partie d'un avant-projet sommaire permettant de valider un ensemble de solutions globales. Le devis est le résultat final, la traduction des plans en terme de réalisation.

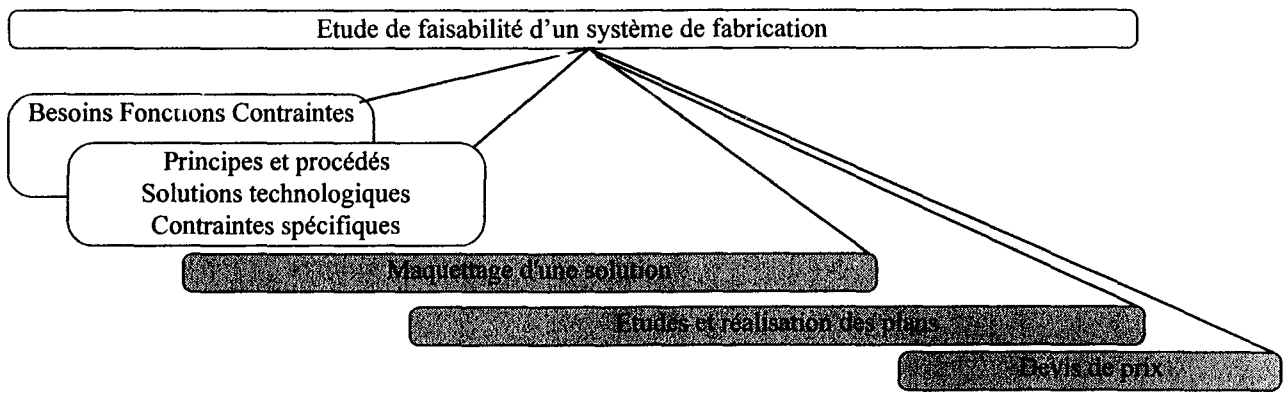


figure 5.3 : *La démarche appliquée à Ascométal*

2.4. L'expression des besoins d'Ascométal

L'appel d'offre et le cahier des charges initial étaient les documents de départ de l'étude demandée. Nous avons réalisé une mesure de l'existant sous forme d'un audit en 3x8 pour identifier et préciser les besoins. Ils ont été complétés et validés avec le client, entraînant des modifications des spécifications et des informations nécessaires au déroulement de l'étude. (annexe)

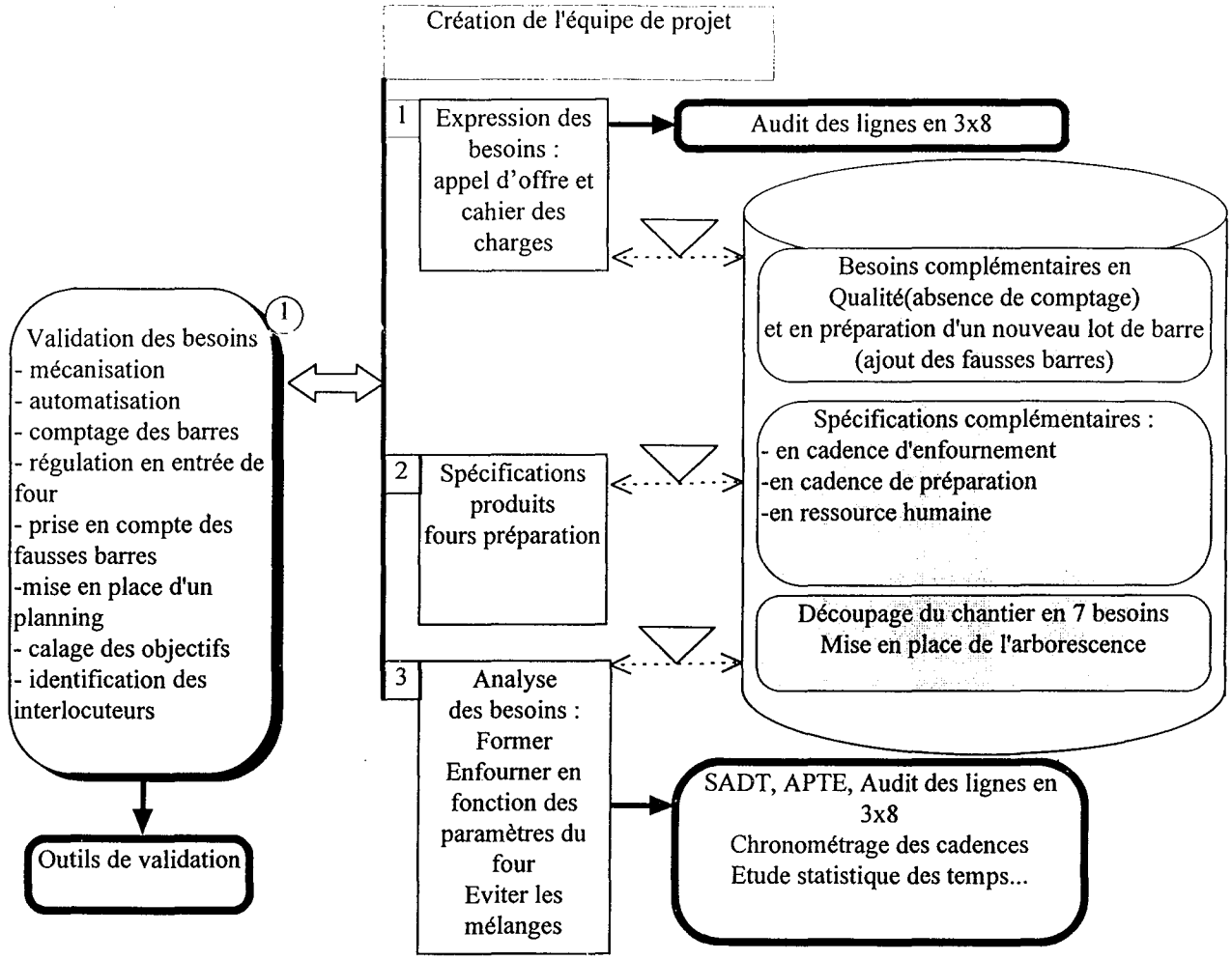


figure 5.4 : *L'expression des besoins du client*

Ces premiers travaux primordiaux ont permis de bien **cerner** l'existant, de le **formaliser**, de le **quantifier** par des moyens et des indicateurs donnant une image réelle de la situation; ces paramètres serviront de **référence** pour choisir les futures solutions.

Cette démarche nous a permis de prendre en compte l'**ensemble** des besoins de l'**ensemble** des demandeurs; les problèmes de **qualité** liés au mélange possible de différentes nuances d'acier et les problèmes de régulation de la **charge des fours** influant sur la qualité du traitement n'étaient pas spécifiés dans les besoins du client.

Cette phase a abouti à la détermination des fonctions principales demandées au futur équipement.

2.5. La définition des fonctions

A partir des besoins exprimés par l'équipe de projet, nous avons effectué l'analyse

fonctionnelle du système en utilisant en partie le formalisme SADT. La transformation des besoins du client en fonction est une difficulté, certaines décisions du type: **éviter** les mélanges, se transforment en **compter les barres sans erreur**, cela a une influence sur les choix technologiques futurs même si le principe de l'analyse fonctionnelle est de rester neutre face aux solutions.

Ensuite l'analyse de l'existant entraîne une validation de fonctions de base. Elles sont découpées en différents sous-ensemble ou métier du système (figure 5.5);

- sous-ensemble **former**,
- sous-ensemble **cercler** et métier du cerclage (des machines existent en catalogue),
- métier du **comptage**....

A ce stade de l'étude, le comptage est envisagé lors du formage pour intégrer les contraintes de conception de ces deux fonctions. Les interactions entre ces activités menés en parallèle ont permis d'obtenir une solution optimisée de ces deux fonctions.

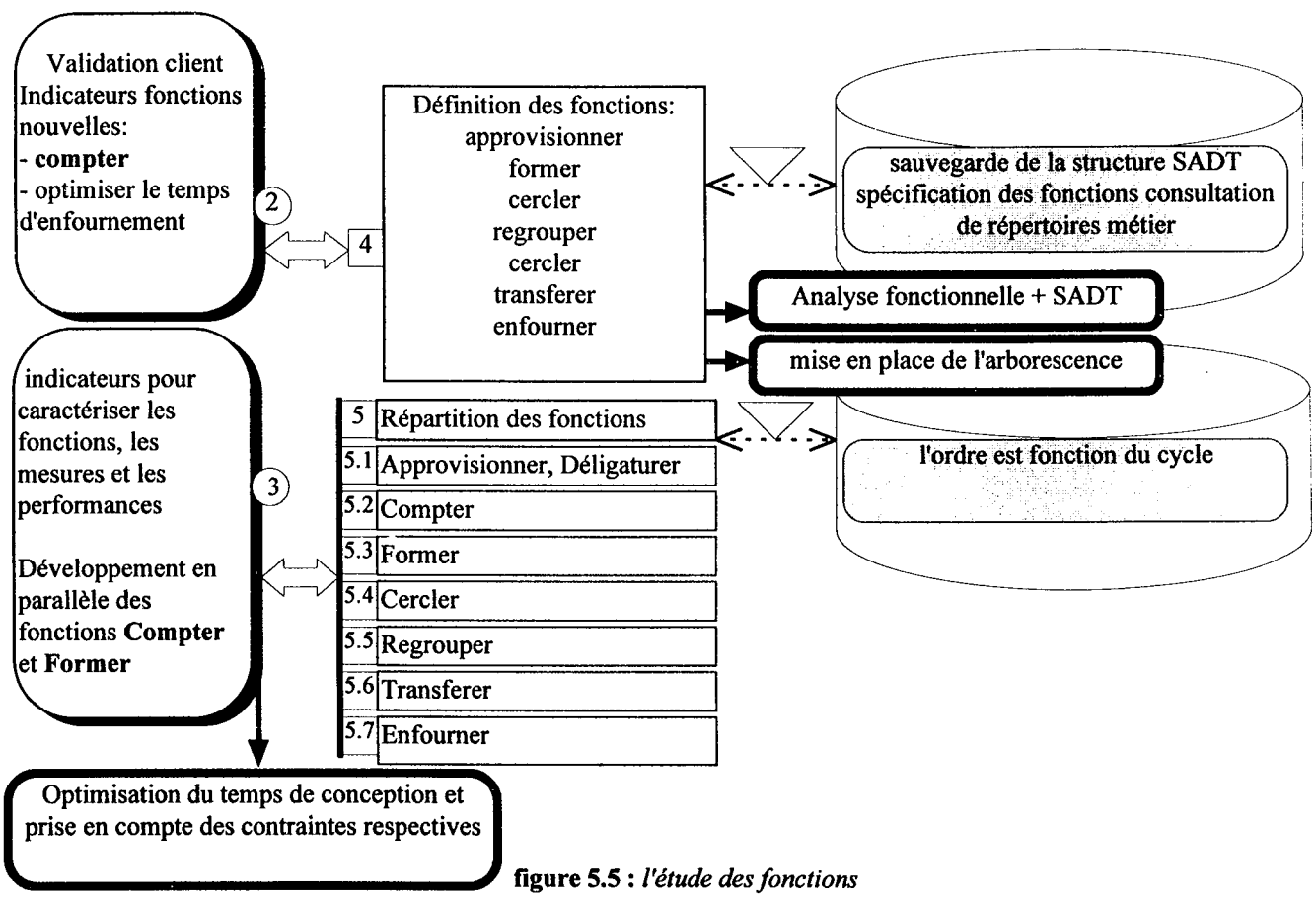


figure 5.5 : *l'étude des fonctions*

La répartition des fonctions peut engendrer directement un ou plusieurs métiers. Le cerclage est un métier avec ses fournisseurs de matériels. La fonction comptage fait appel à plusieurs métiers: un système physique permettant le comptage et un système de traitement associé à un capteur.

Nous allons détailler 2 fonctions: former et compter, qui sont identifiées comme nécessitant une étude de faisabilité respective, car il n'y a pas de solutions catalogues.

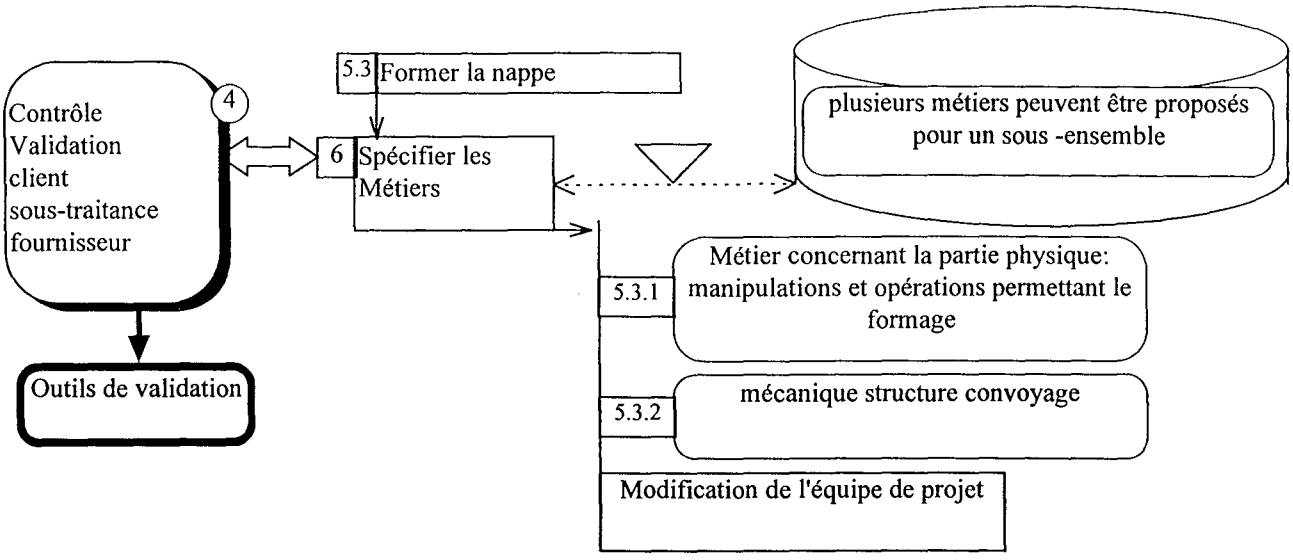


figure 5.6: *l'étude de la fonction former*

Le comptage fait appel à des compétences dans le domaine du contrôle-commande, de l'informatique industrielle, ainsi que de la mécanique pour l'intégration et d'autres domaines suivant les besoins.

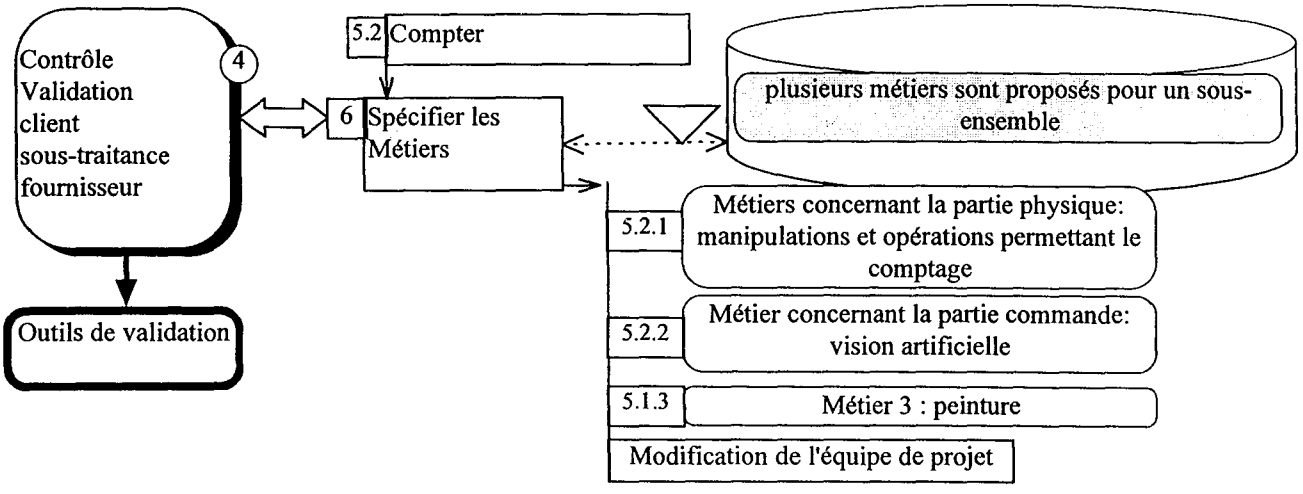


figure 5.7: *l'étude de la fonction compter*

2.6. La mise en place des contraintes

Chaque fonction ainsi mise en place va engendrer ses contraintes propres. La fonction de cerclage est prise en compte par un fournisseur de produit et de matériel de cerclage, il fournira ses contraintes et réciproquement nous lui indiquerons nos différents problèmes en fonction de

l'avancée de l'étude. L'appel à des compétences extérieures est nécessaire dans ce métier du cerclage. Par contre pour le formage de nappes, la compétence est dans l'entreprise.

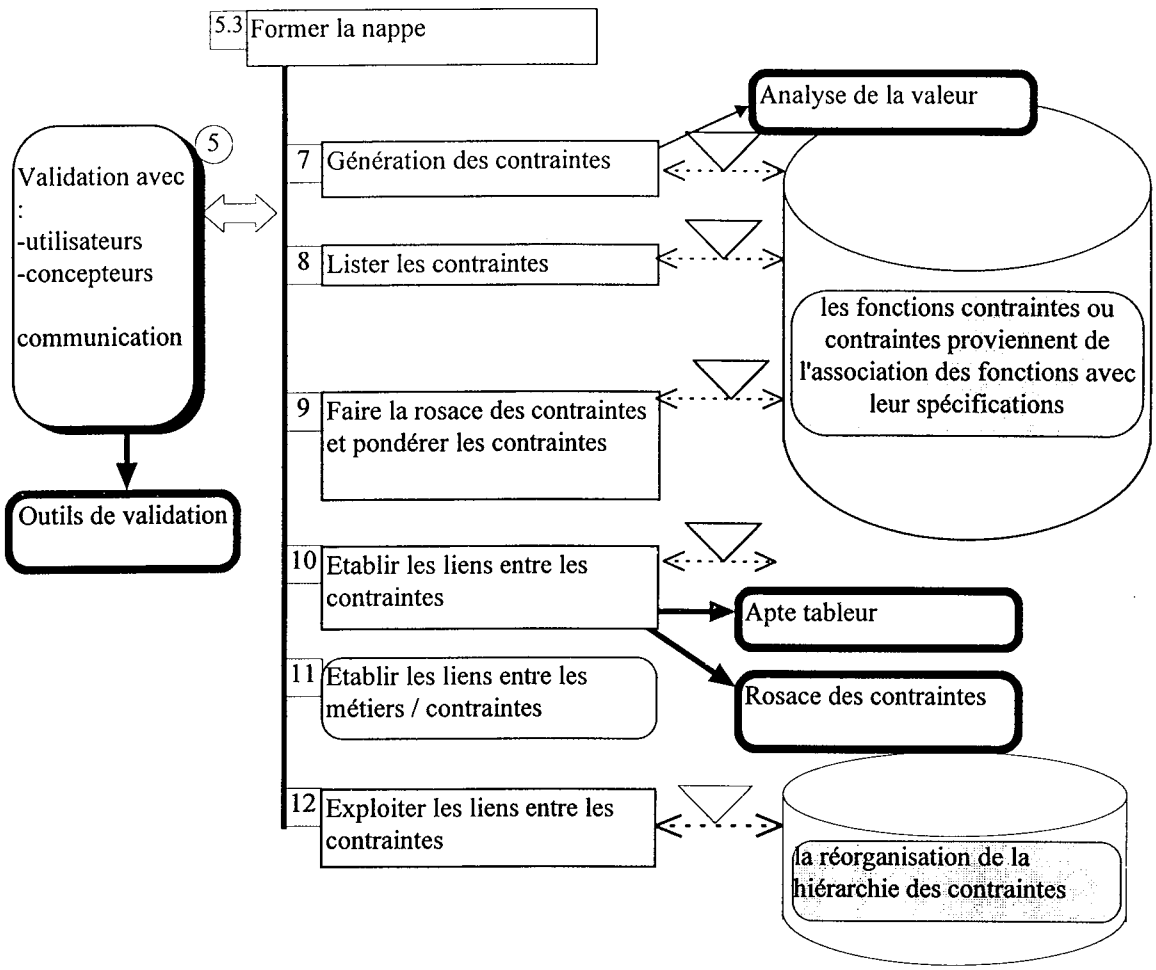


figure 5.8: *génération de contraintes du formage de nappes*

Les contraintes sont les fonctions contraintes Fc décrites en analyse fonctionnelle. L'intérêt se situe dans la possibilité de hiérarchiser les contraintes et ainsi de pouvoir renforcer les argumentations lors des décisions de choix, les demandes d'études complémentaires ou les besoins d'études de détail.

2.7. La hiérarchisation des contraintes

En utilisant la présentation des contraintes sous cette forme, le comptage et le formage nous sont apparus comme les deux contraintes les plus fortes de cette application. D'autres contraintes sont faibles du fait de leur disponibilité technologique sur le marché.

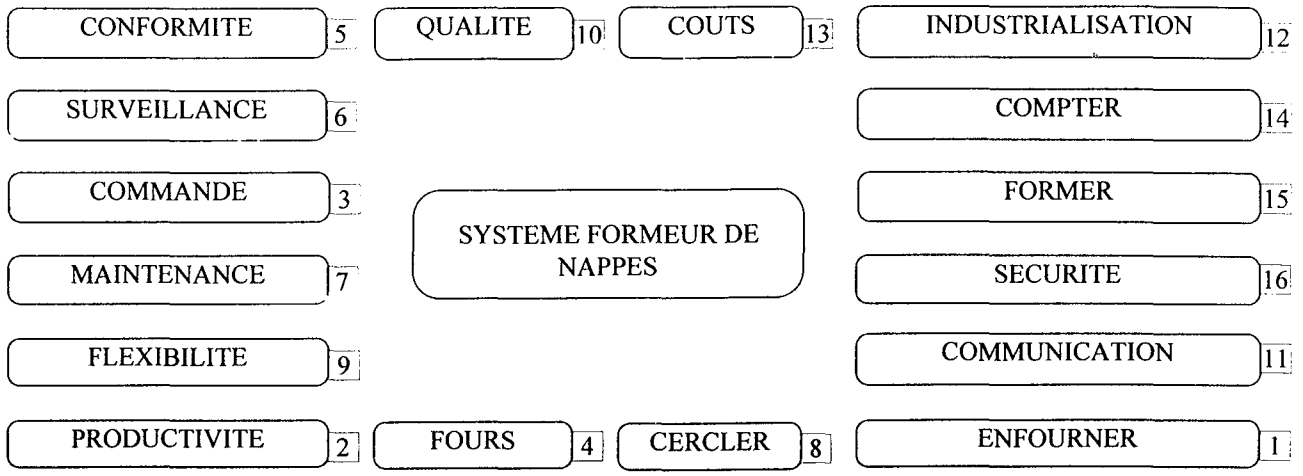


figure 5.9: *les contraintes du système*

Les chiffres indiqués correspondent à une priorité donnée à une fonction et sont proposés par les différents intervenants du projet, les concepteurs du comptage et du formage dans notre cas. Pour le formage, les contraintes maximales sont dans la flexibilité produit, l'acceptation des fausses barres.

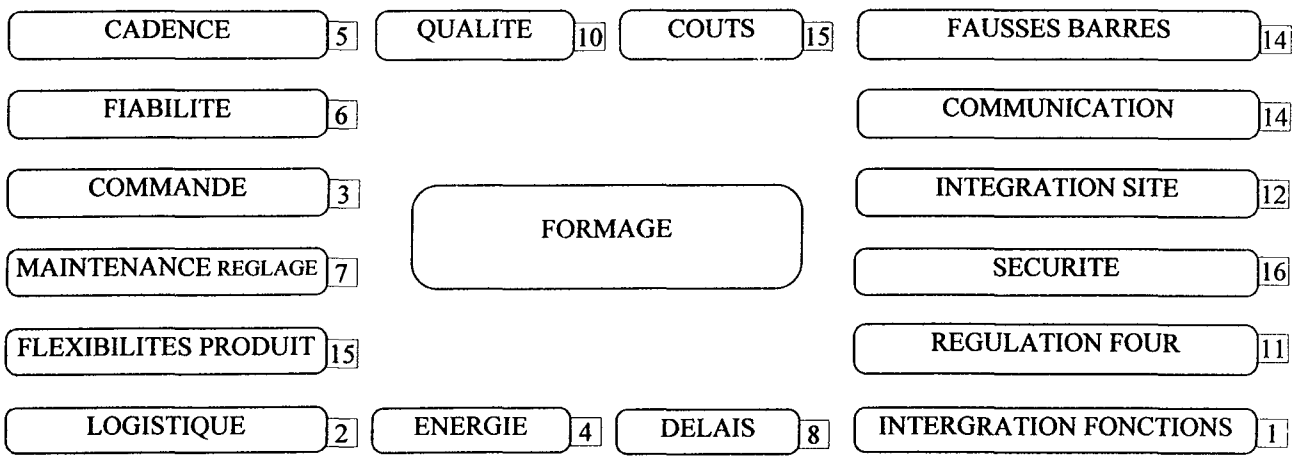


figure 5.10: *les contraintes du formage*

Dans le cas du comptage, les contraintes forts apparaissent avec ce métier spécifique tel que l'éclairage, la prise en compte des barres qui ne sont pas positionnées en extrémité de paquets, la cadence liée aux autres fonctions.

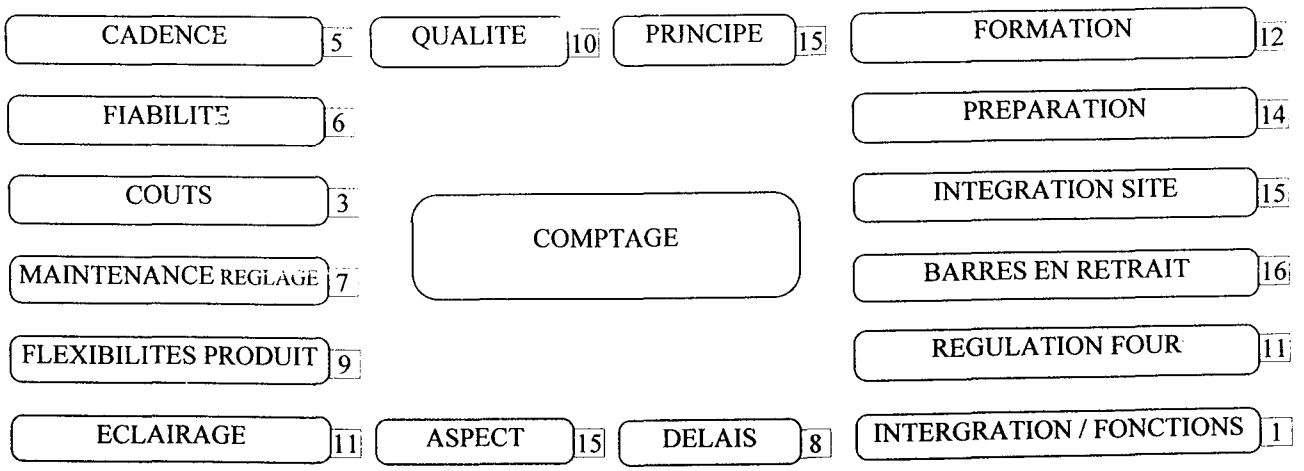


figure 5.11: *les contraintes du comptage*

La détection de toutes les barres quelque soit leur état de surface (calamine, rouille...) liée au barres en retrait a nécessité une recherche particulière et une modification du produit: peinture d'un bout de barre avant le comptage et élimination lors du traitement ,thermique.

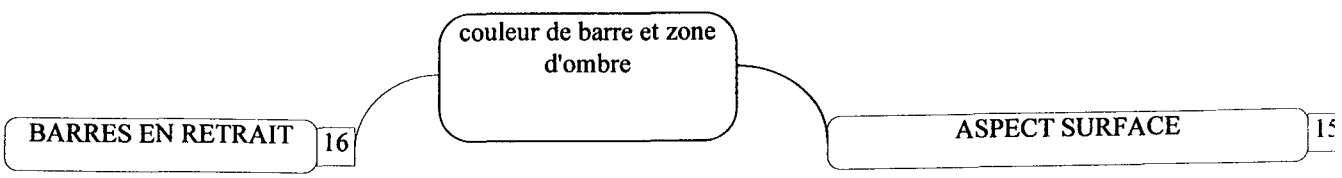


figure 5.12 : *le lien entre les contraintes spécifiées*

Cette contrainte introduit donc de nouvelles fonctions dans le comptage mais également dans le formage et la préparation, c'est là qu'intervient l'intégration entre métiers. Les vues correspondantes sont modifiées et les autres acteurs du projet prennent en compte ces évolutions.

2.8. La constitution de la vue fonctionnelle

Au fur et à de ces différentes activités, nous constituons la vue "faisabilité" de l'ensemble où les éléments sont représentés globalement. Par exemple la fonction former est représentée par une activité et est décomposée en plusieurs dans la vue fonctionnelle.

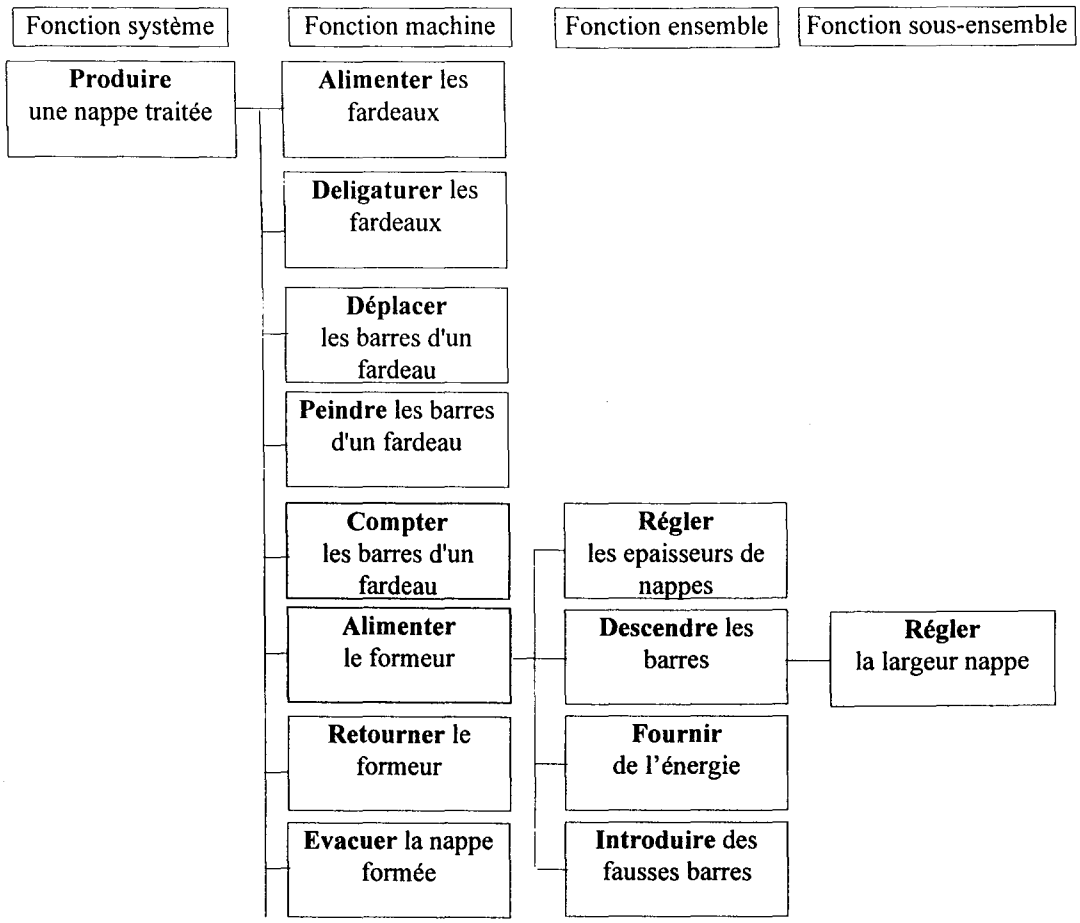


figure 5.13 : *La vue fonctionnelle de la maquette*

La fonction composant n'est pas détaillée à ce stade de l'étude de la maquette.

2.9. Le passage à la vue définition / réalisation de la maquette

La réalisation des 3 premières fonctions est faite par le processus actuel en manuel. La fonction peindre est faite en manuel pour les essais. Les fonctions compter et alimenter le formeur sont testées sur les maquettes de comptage et de formage de nappe. Nous détaillons la réalisation de la fonction alimenter à la page suivante.

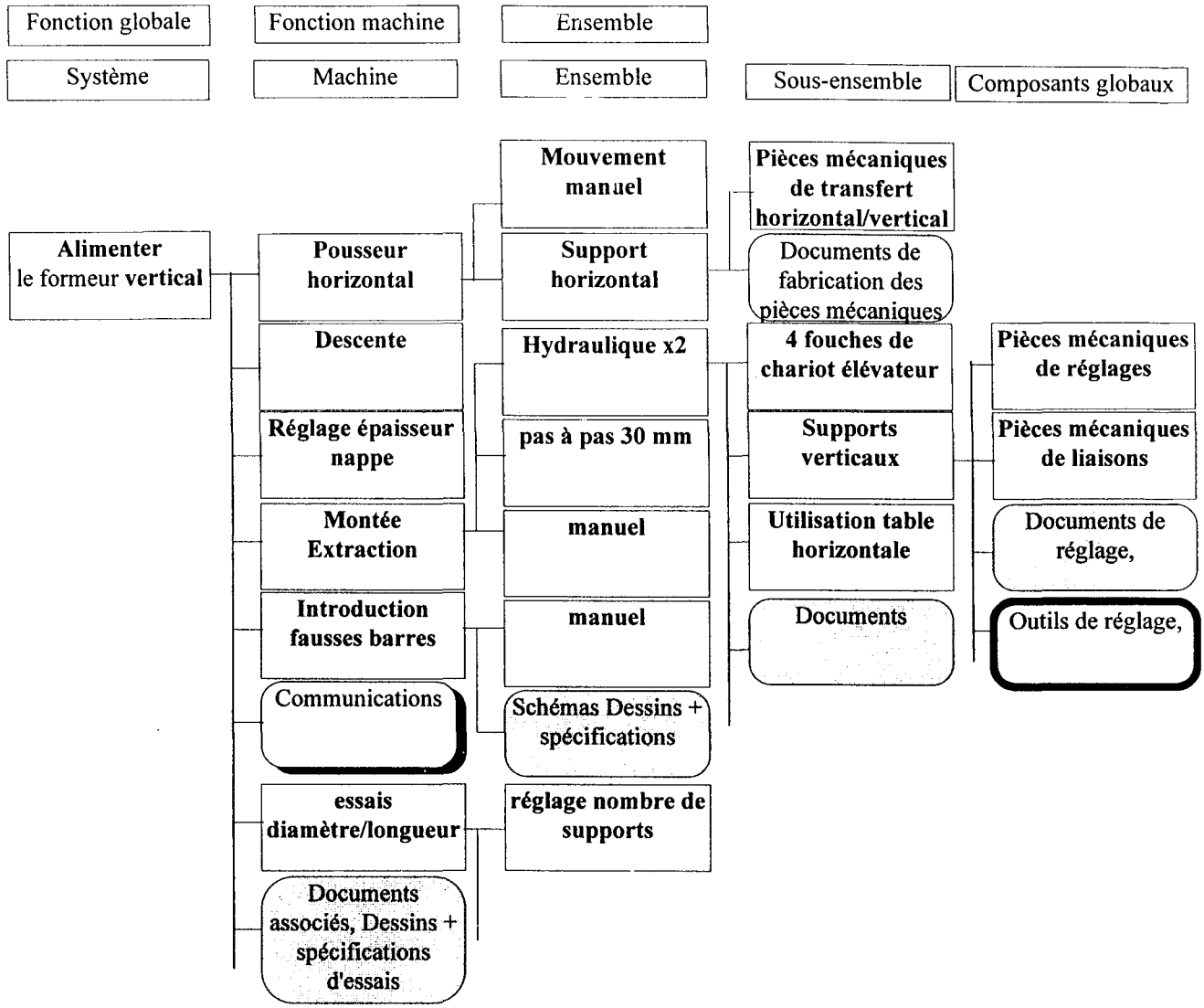


figure 5.14 : *La vue définition / réalisation de la maquette*

Cette vue permet de préciser les éléments réalisés et les documents associés à leur réalisation. Le nombre de niveaux pour cette maquette est faible. Les composants étant peu nombreux, la décomposition est courte.

La vue réalisation est quasiment identique étant donnée la simplicité des solutions mises en oeuvre pour réaliser les fonctions définies.

2.10. Les résultats, l'intégration des fournisseurs et le devis

Des essais ont été réalisés pour les deux fonctions principales à contraintes fortes: formage et comptage avec des paramètres indiqués dans le tableau ci-dessous. Le formage consistait en l'alimentation des supports verticaux en barre et désigné par formage.

Fonction	Types	Résultats
Comptage	diamètres 16, 20, 30, 50 paquet de 100 barres environs	0 erreur sur dix essais/diamètre oblige à peindre et à un alignement, écart 50 mm maximum = accord du service
Comptage	barre en retrait de 100 mm	limite d'application peinture
Formage	barres diamètres 16, 20 longueur 9 mètres	descente fonction du"débit" de barres pas de surveillance
Formage	barres diamètre le plus courant 30	détermination du temps de cycle le plus utilisé
Formage	épaisseur maxi et largeur maxi	détermination du temps de cycle le plus long
Formage	fausses barres uniquement et un seul diamètre testé sur maquette	cas extrême = la descente est plus lente, le temps de cycle est divisé par 2 surveillance nécessaire

Les essais ont été réalisés pendant deux semaines sur une maquette réalisée en deux jours (plan en annexe). Ils ont fourni les spécifications permettant de poursuivre l'étude.

L'intégration des fournisseurs et le devis

Le fournisseur du sous-système de cerclage avait été consulté très tôt dans la démarche et il a fourni les spécifications pour permettre la suite de l'étude avec une installation intégrable.

Un appel d'offre a été lancé pour la réalisation des plans d'ensemble et fourniture d'un devis. Un fournisseur a répondu favorablement pour faire ces activités et a poursuivi ce projet. Avec l'étude de faisabilité et les résultats de la maquette, il a fourni les plans permettant de définir le processus retenu ainsi que le système le réalisant , il a chiffré l'installation pour un prix total de 15 MF.

2.12. L'estimation des performances pour l'application du formeur de nappes

- Indicateur d'efficacité Es

$$\text{Efficacité Es} = \frac{\text{Nombre de solutions faisables}}{\text{Nombre de solutions envisagées}} \qquad \text{Efficacité Es} = \frac{1}{10}$$

Un grand nombre de solutions ont été envisagé pour ce projet, nous n'avions pas de méthodologie disponible et les différentes fonctions étaient abordées sans prioriser les contraintes et de nombreuses solutions n'étaient pas écartées suffisament tôt.

Nous estimons avoir étudié pendant un délai de quatre à cinq mois des solutions qui ne permettaient pas de prendre en compte toutes les contraintes. Ces solutions ont été envisagé mais n'ont pas abouti et le temps passé est perdu. Nos objectifs étaient de rechercher une méthode permettant donc d'arrêter une étude de solution le plus tôt possible, pour se concentrer sur la solution satisfaisant aux contraintes posées.

L'indicateur suivant permet de conforter les résultats du précédent.

- Indicateur de temps global Ett ratio en mois

Durée projet: 12 mois

Durée d'étude de la solution faisable: 5 mois

$$\text{Ett} = \frac{5}{12}$$

Nous avons effectivement une différence importante entre entre les deux durées et le ratio est faible.
Ce ratio sans l'étude des autres solutions aurait été de:

$$\text{Ett} = \frac{10}{12}$$

Les autres indicateurs n'ont pas été appliqués dans cette étude de faisabilité.

2.13. Conclusions pour l'application du formeur de nappes

La méthodologie en cours d'élaboration répondait à une demande d'Ascométal: quelles méthodes utilisez-vous? Nous avons réalisé un rapport pour la CECA (Communauté Européenne pour le Charbon et l'Acier) co-financeur de l'étude de faisabilité à la demande d'Ascométal.
Cette étude importante par sa durée (11 mois) et par sa taille nous a permis de structurer notre démarche afin de :

- prendre en compte les besoins **justes** nécessaires,
- déterminer les **fonctions** et leurs **contraintes** nécessitant des études de faisabilité particulières,

- travailler en parallèle sur les systèmes mécaniques et sur le comptage par vision,

- d'aborder les différents points de la méthode proposée simultanément,

- partager les informations provenant des différents sous-projets et métiers travaillant en parallèle,

- d'aborder les problèmes de communications entre plusieurs métiers ayant leurs spécifications et leurs vues.

La démarche parallèle utilisée entre les deux fonctions critiques nous a permis d'intégrer dès le départ les contraintes propres à chaqu'une d'elle.

Ce projet nous a montré la nécessité de travailler sur :

- la formalisation et la conservation du savoir et du savoir-faire,

- la structuration des données sur les activités d'une étude de faisabilité,

- la communication autour d'un projet d'étude de systèmes.

3. Le projet du système flexible de production : SFP

3.1. Introduction

Nous décrivons ici une application réalisée à l'Atelier Inter-établissement de Productique Lorrain localisé près de Nancy (AIP Lorrain). Cette réalisation remplace une installation de convoyage de palettes qui comportait deux boucles de circulation de palettes et trois postes de travail non indépendants simulants des opérations diverses sur des pièces "figées". Les besoins d'un nouveau système de production sont exprimés par rapport à cette ancienne installation.

3.2. Les démarches de conception des produits et du système de fabrication

Nous avons utilisé des démarches **parallèles** pour les études de faisabilité des produits et du système les réalisant (figure 5.18). Ensuite des évolutions ont été réalisées simultanément dans les deux conceptions, cela nous a permis d'avoir une concordance entre les objectifs produit et système.

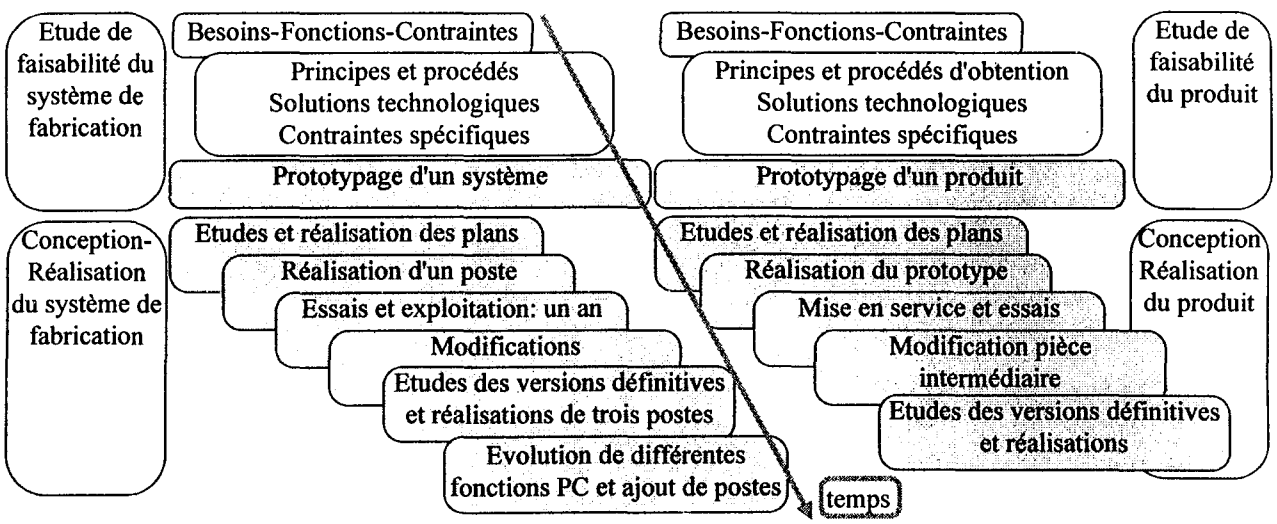


figure 5.15 : *La démarche de la conception-réalisation du SFP*

3.3. Description de l'étude du système

Les besoins issus de l'utilisation de l'installation précédente étaient multiples. Concernant le système physique, il nous fallait:

- une augmentation du nombre de poste de 4 à 6,
- une indépendance des postes,
- une polyvalence des postes,
- une circulation des palettes indépendante des postes,

- une robustesse et une sécurité face aux programmations d'apprentissage.

Concernant le produit, nous avons demandé:

- une identification des produits avant et après les opérations effectuées,
- une évolution physique des produits en fonction de leur passage sur les différents postes,
- une intégration de la notion de qualité.

Concernant le système de commande, nous voulions:

- une présentation pédagogique de la chaîne de commande, des capteurs, du pupitre opérateur, de l'automate programmable, des relais, des contacteurs, des distributeurs et d'autres appareils nécessaire au fonctionnement.

3.3.1. Les activités Besoins-Fonctions-Contraintes

3.3.1.1. Les besoins

L'aspect **intégration** de la commande dans la partie physique est tout à particulier dans cette étude et adaptée aux besoins spécifiés plus haut. La sécurité des utilisateurs est prise en compte dans la présentation des organes de commande.

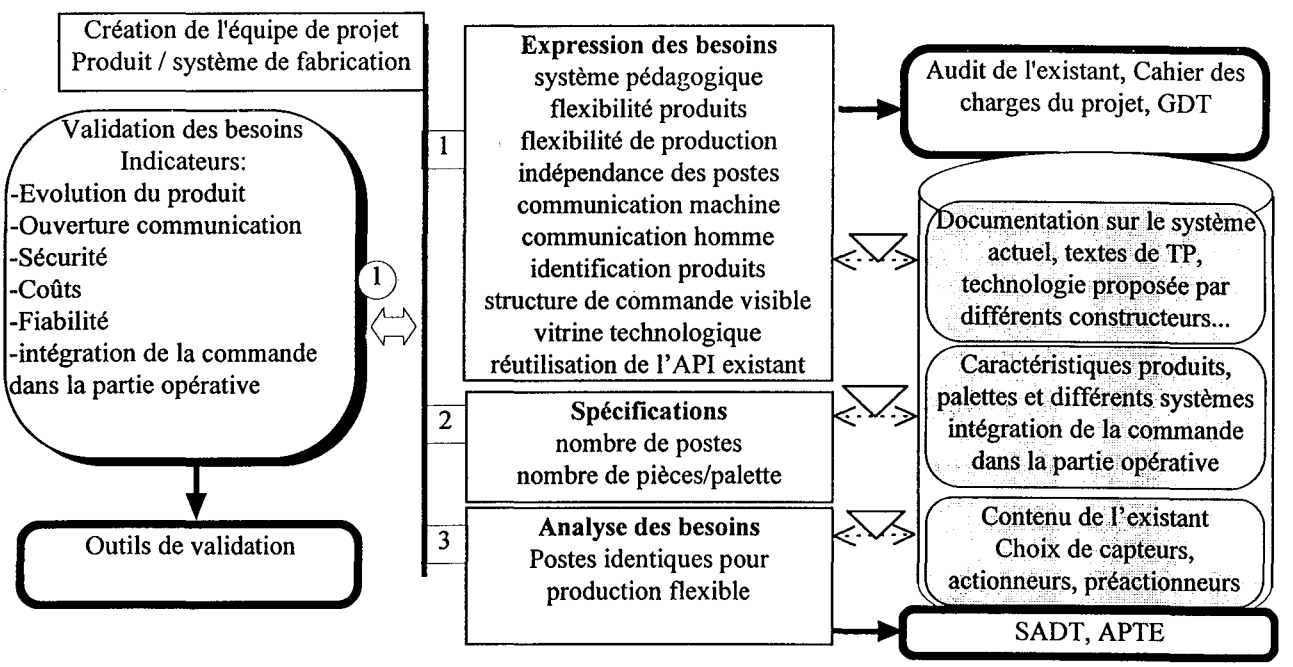


figure 5.16 : *L'expression des besoins du SFP*

3.3.1.2. L'étude des fonctions et la vue fonctionnelle

La détermination des fonctions à l'issue de l'analyse des besoins fait apparaître pour la partie circulation des produits, la possibilité d'acquérir un système catalogue avec paramétrage de la

longueur et de la disposition des postes. Un système modulaire construit sur mesure remplit les fonctions demandées.

Par contre l'assemblage des pièces composants le produit doit être fait à partir d'éléments conçus spécifiquement.

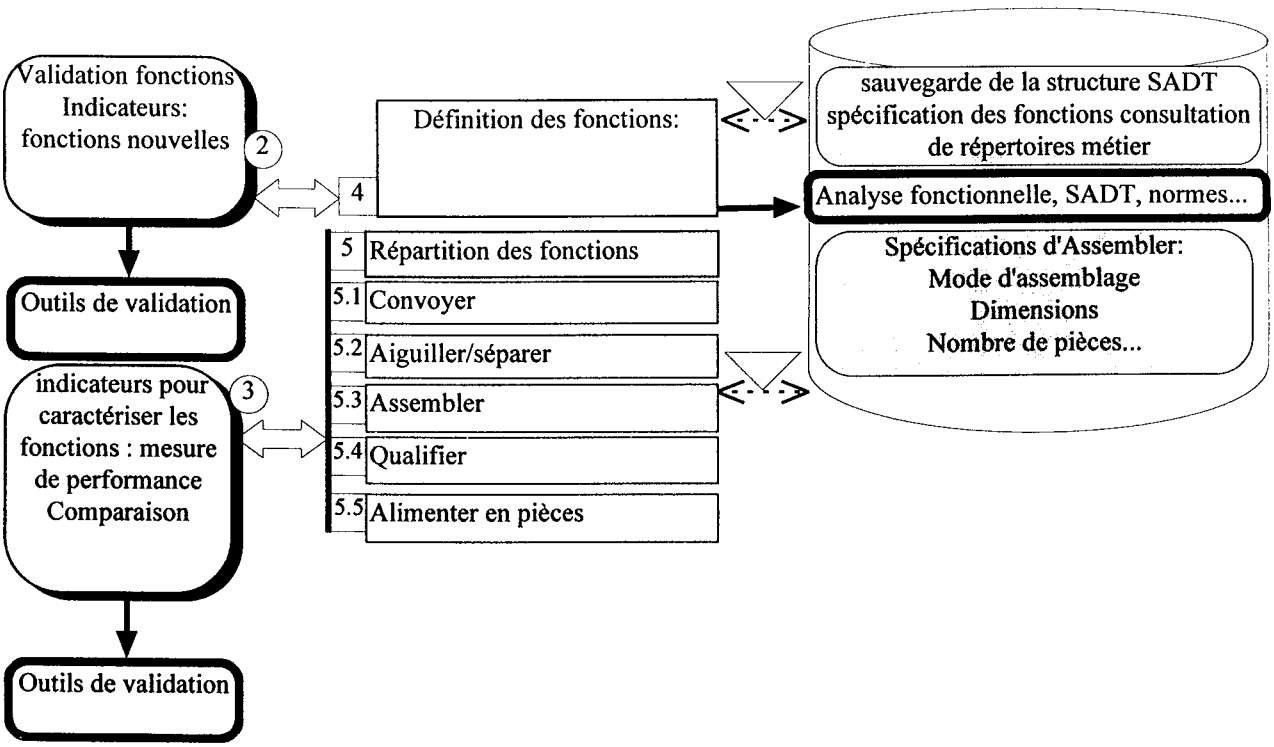


figure 5.17 : *L'étude des fonctions du SFP et spécifications d'assembler*

Les fonctions sont l'interprétation des besoins. De leurs justes évaluations dépendent le nombre des fonctions mises en place.

La vue fonctionnelle

Un certain nombre de points de vue sont nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système complexe tel que le SFP. Nous avons d'abord réalisé une vue fonctionnelle qui visualise la décomposition des fonctions du SFP réalisé, il s'agit de la **vue fonctionnelle réalisée**. Au début de l'étude cette vue s'appelait **vue fonctionnelle prévisionnelle.**.

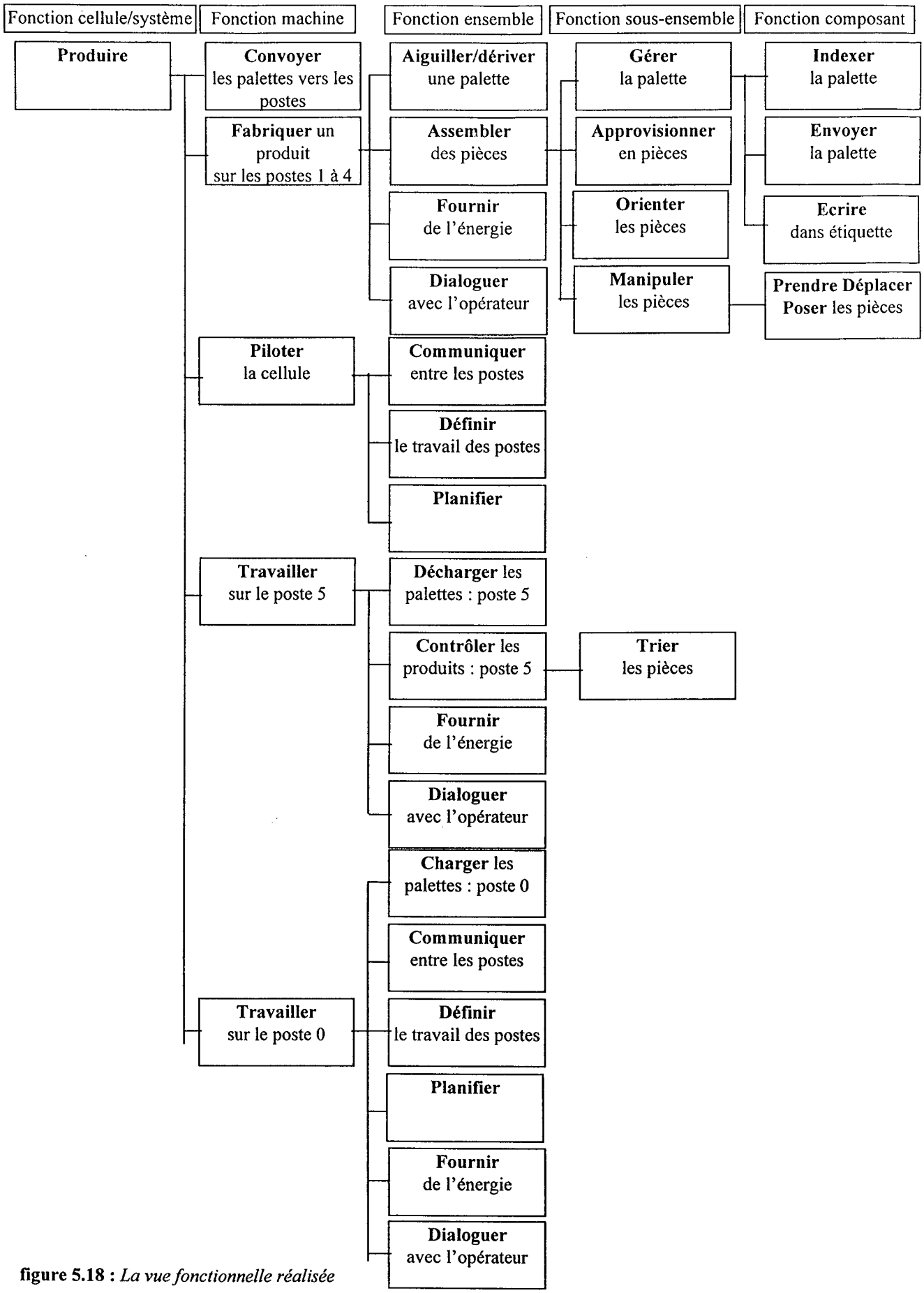


figure 5.18 : *La vue fonctionnelle réalisée*

Cette vue **fonctionnelle réalisée** est le résultat de l'évolution de la vue établie au début du l'étude de faisabilité en fonction des besoins-fonctions-contraintes, des recherches de principes, des choix technologiques et des essais réalisés sur le prototype. Nous citons en exemple, la fonction **Manipuler des pièces** qui s'est décomposée lors des différents choix technologiques en 3 fonctions : Prendre une pièce, Déplacer la pièce et Poser la pièce.

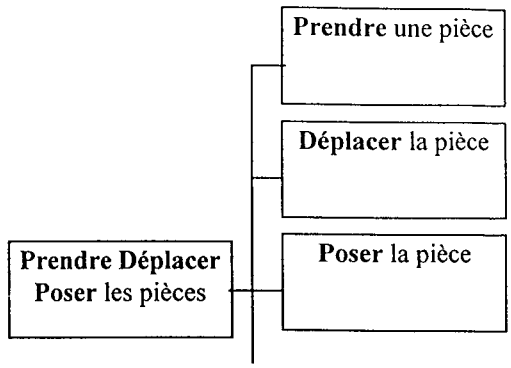


figure 5.19 : *L'évolution des fonctions*

3.3.1.3. L'association des contraintes

Pour chaque fonction, des contraintes sont associées, caractérisées par les spécifications de celle-ci. Par exemple : la fonction Assembler mécaniquement les différentes pièces du produit devient une contrainte dès lors que la spécification introduit des tolérances de positionnement, de vitesse, des caractéristiques physiques de produits. Ce sont des contraintes fonctionnelles. Nous les représentons sur un tableau ou une rosace.

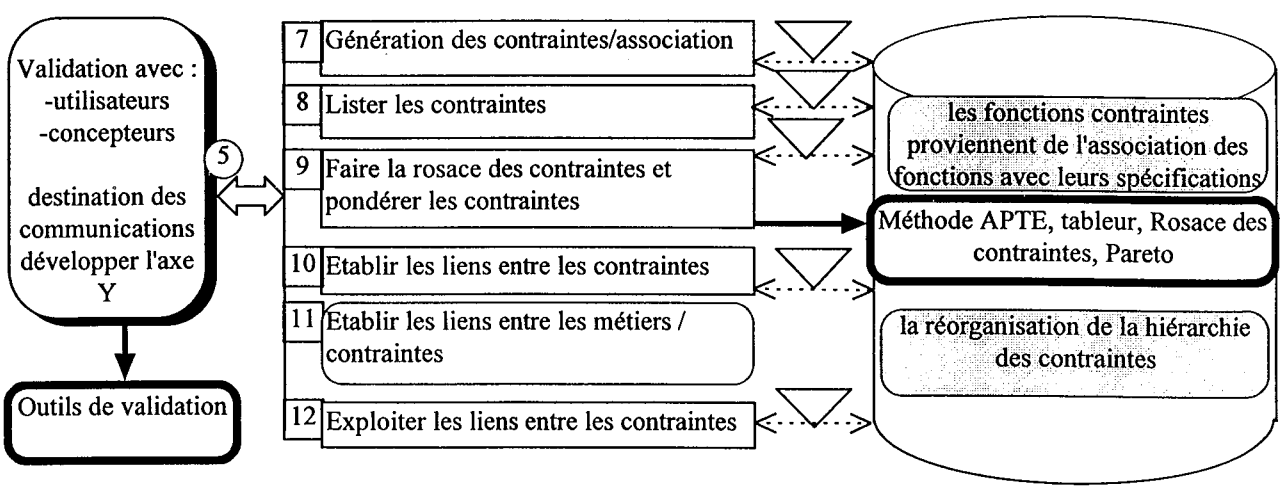


figure 5.20 : *La génération de contraintes*

La fonction Assembler mécaniquement deux pièces puis une troisième, devient une contrainte lorsque le système nécessite 8 positions de prise et pose avec une précision de quelques dixièmes de

millimètre et une hauteur variable des produits ou sous-produit réalisés. A l'issue de cette contrainte nous avons décidé:

- d'étudier et de réaliser un ensemble proposant 4 positions en X et 2 positions en Y,
- de concevoir un système de descente télescopique

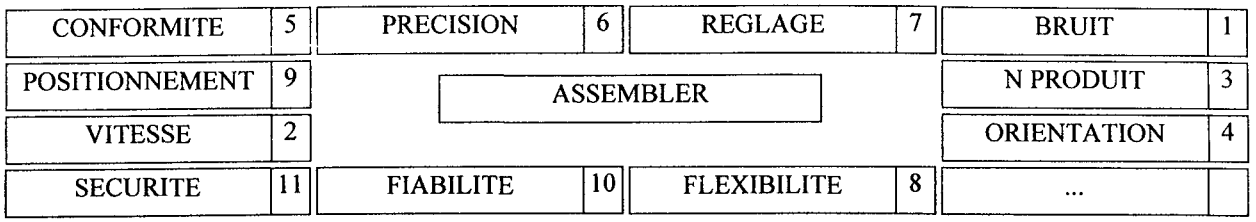


figure 5.21 : *La rosace des contraintes de la fonction assembler*

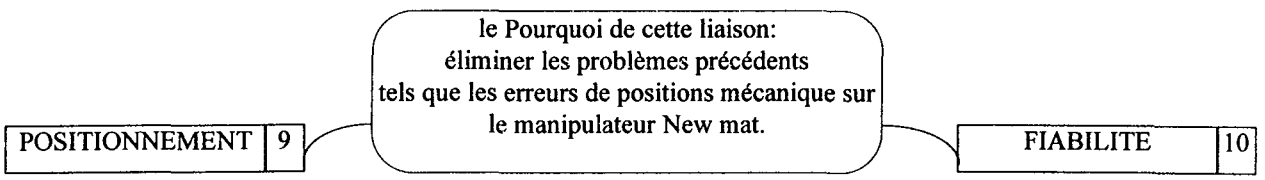


figure 5.22 : *Le lien entre contraintes*

3.3.2. La recherche de principes et de solutions

Nous avons recherché des solutions répondant aux différentes contraintes des besoins exprimés et nous avons voulu tester ces solutions sur un prototype restreint pour investir en connaissance d'expérience. Une figure de dessus est représentée en annexe. Ce prototype a été testé pendant un an et modifié pour les points suivant:

- réglage du manipulateur,
- pièce intermédiaire (voir annexe pièce) et magasin d'alimentation,
- fiabilisation de la prise et de la pose avec positionnement sur la ventouse,
- simplification du dispositif télescopique de prise et pose,

Ensuite les trois autres postes identique ont été réalisé, suivi par l'installation d'un système d'automate programmable d'actualité et enfin la réalisation de deux postes complémentaires réalisant des travaux différents des 4 autres.

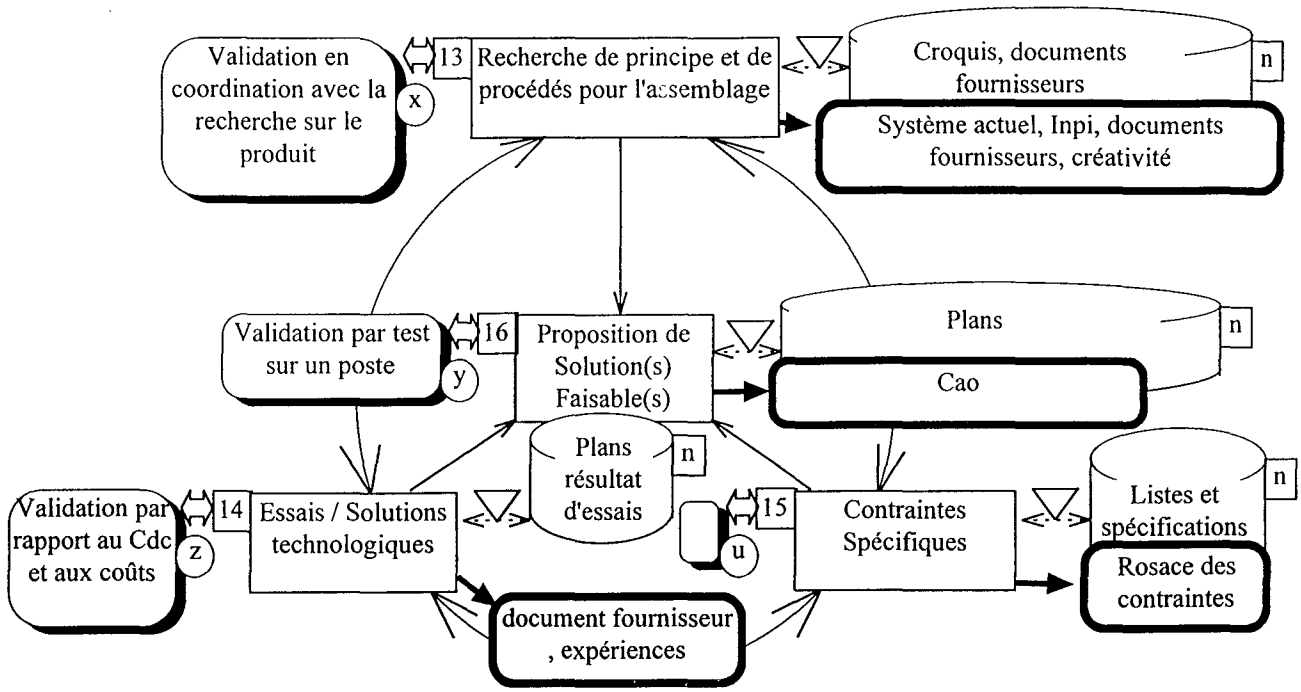


figure 5.23 : *Le principe du processus distribué et itératif*

Cette arborescence permet de suivre les études et de visualiser à un instant donné, l'état des différentes activités menées en parallèle et en simultané.

Dans le projet SFP, le système est constitué de deux parties :

- la partie physique avec le convoyage des pièces, leur acheminement vers les quatre postes de travail indépendants,
- les systèmes de commande, de communications et d'identification des produits.

Le **prototype physique** comporte la partie **opérative** et les éléments de la partie **commande**. Ces éléments de commande sont disposés de façon à être visible dans un but **pédagogique**.

Ce prototype a été testé durant une année pour vérifier et améliorer son fonctionnement. Des composants sont changés, des pièces sont reconçues, les outillages de réglages sont réalisés. Les systèmes de sécurité ont été conçus et réalisés.

3.4. Les vues du système

3.4.1. La vue logiciel

Dans la vue logiciel, sont représentés les éléments modélisés dans le logiciel de programmation des automates. Un certain nombre d'objets sont instanciés.

Les temporisations sont repérées ainsi que les fonctions, les blocs fonctionnels et leur données associées.

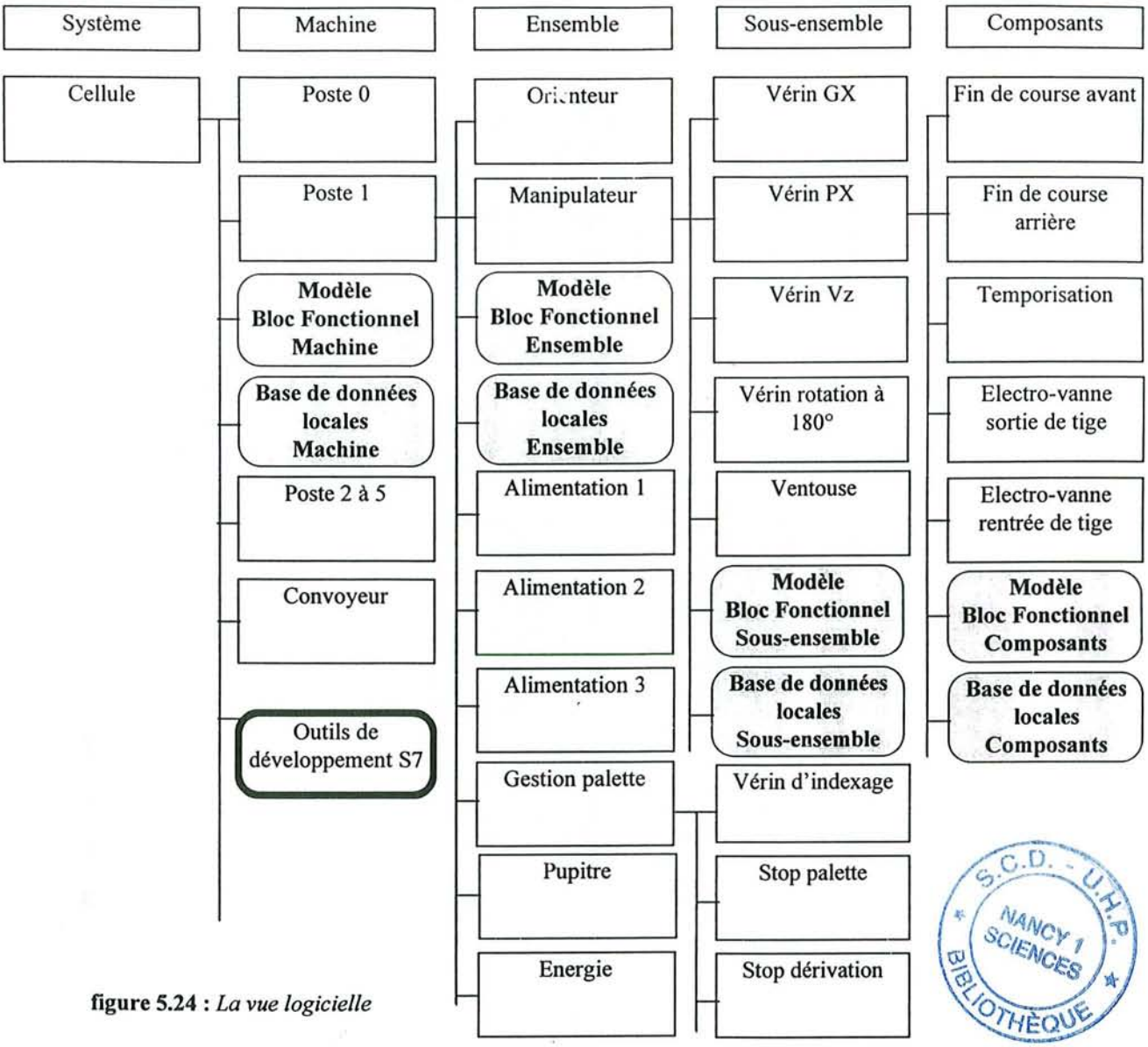


figure 5.24 : *La vue logicielle*

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

3.4.2. La vue exploitation

Pour le SFP, nous avons 5 niveaux dans cette vue elle représente la décomposition de l'installation pour l'exploitation.

- Système,
- Machine,
- Ensemble,
- Sous-ensemble,
- Composant.

Les pièces mécaniques sont regroupés sans décomposition puisqu'elle forme un tout sur cette installation. De même, les différents composants de types actionneurs ne sont pas entièrement détaillés pour être identifiables plus facilement.

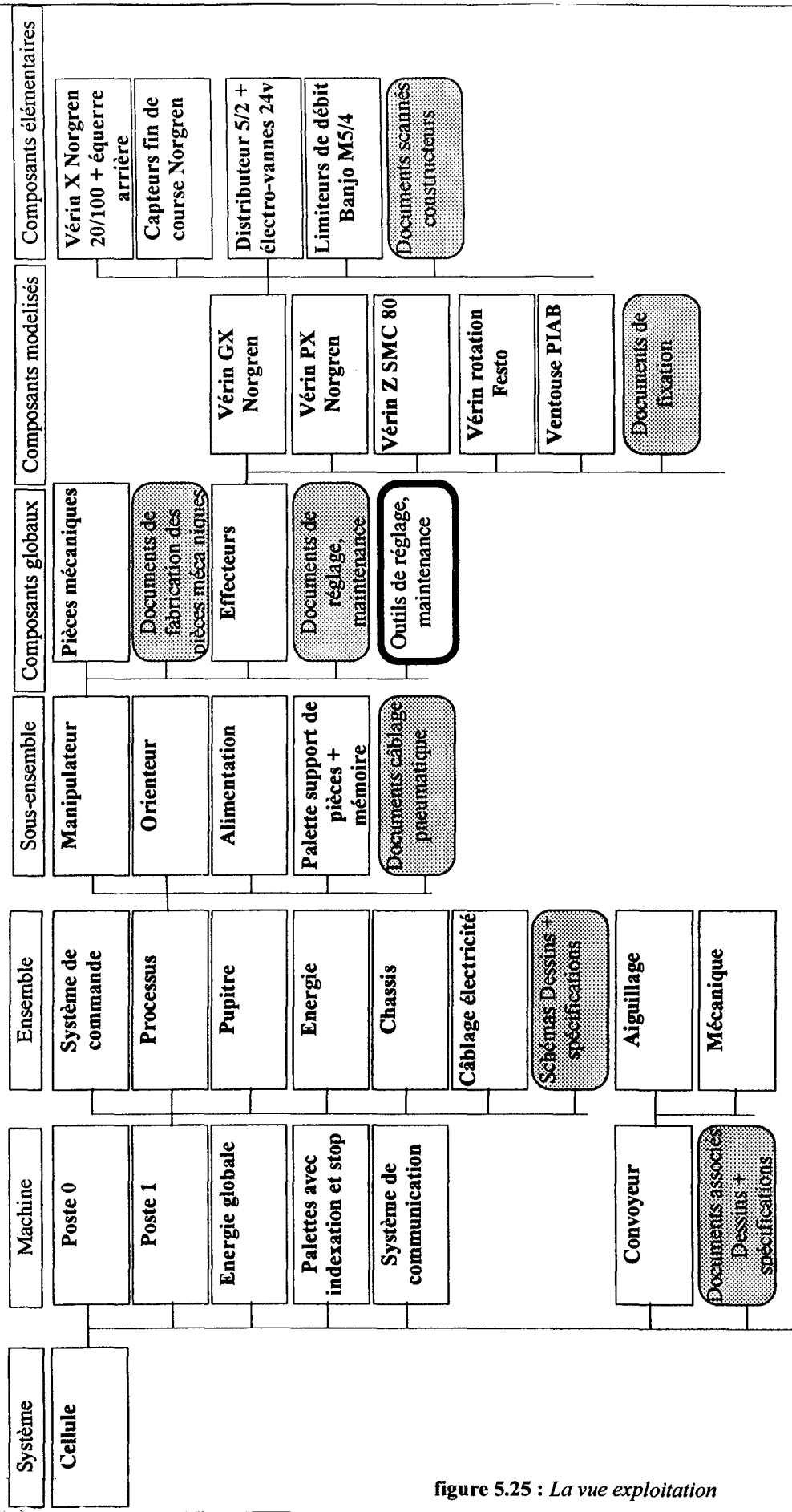


figure 5.25 : *La vue exploitation*

La vue exploitation permet un repérage des éléments pour :

- des actions de maintenance
- des réglages réalisés lors de mise en route ou lors d'un changement d'outil...

3.4.3. La vue réalisation

Cette vue est construite à partir de la vue **fonctionnelle** et **exploitation** pour indiquer les objets de types composant, sous-ensemble réalisant physiquement les fonctions.

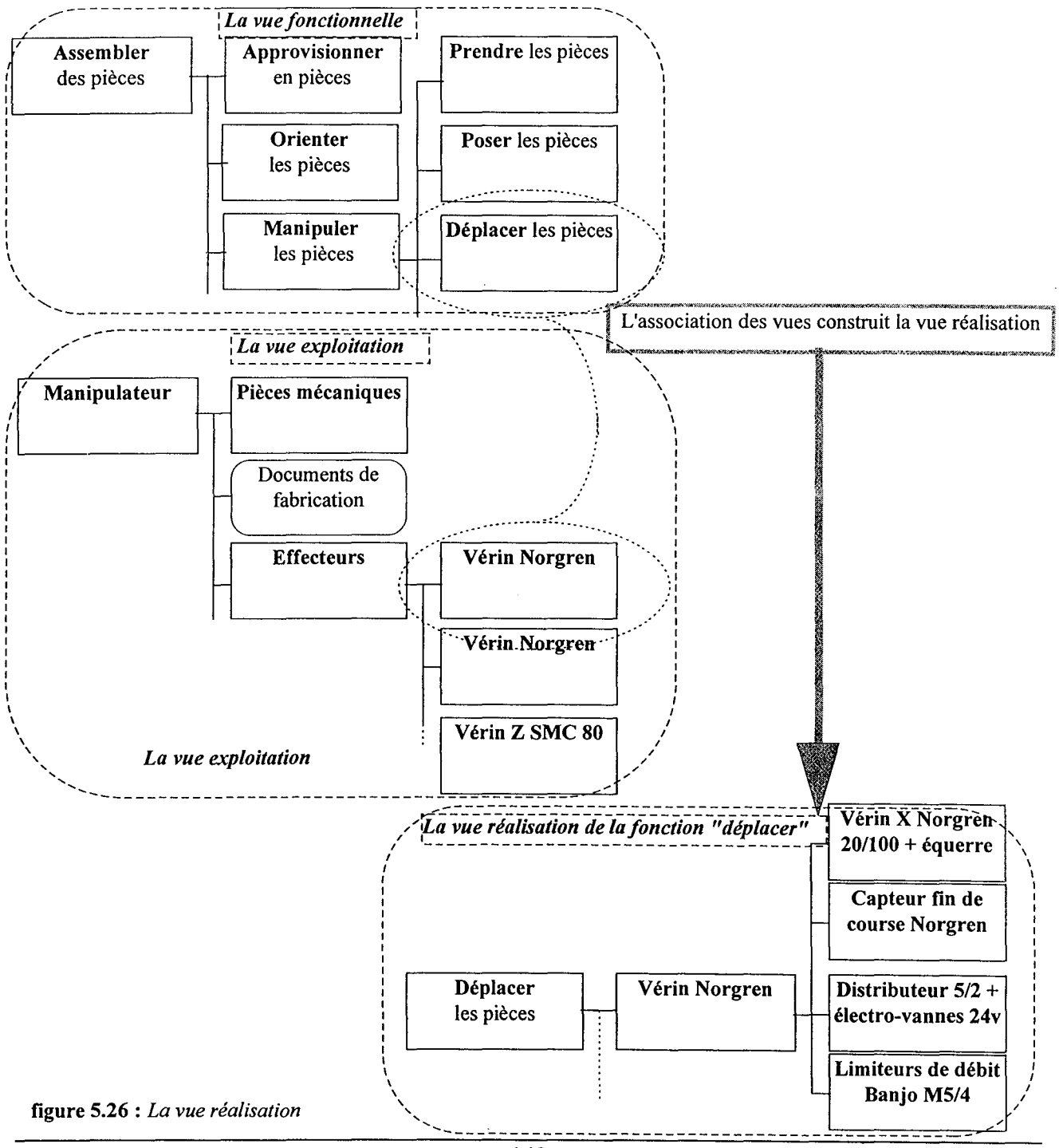


figure 5.26 : *La vue réalisation*

3.4.4. La vue commande

La vue commande est établie à partir de la vue logiciel et de la vue exploitation pour indiquer les liens entre les objets fonctionnels modélisés dans le système de commande et les composants de la partie opérative. Nous prenons comme exemple le vérin logiciel GX avec ses éléments de modélisation qui commande le vérin physique Norgren. Cette vue permet de repérer qui commande quoi, et quels sont les éléments modélisés dans le modèle logiciel.

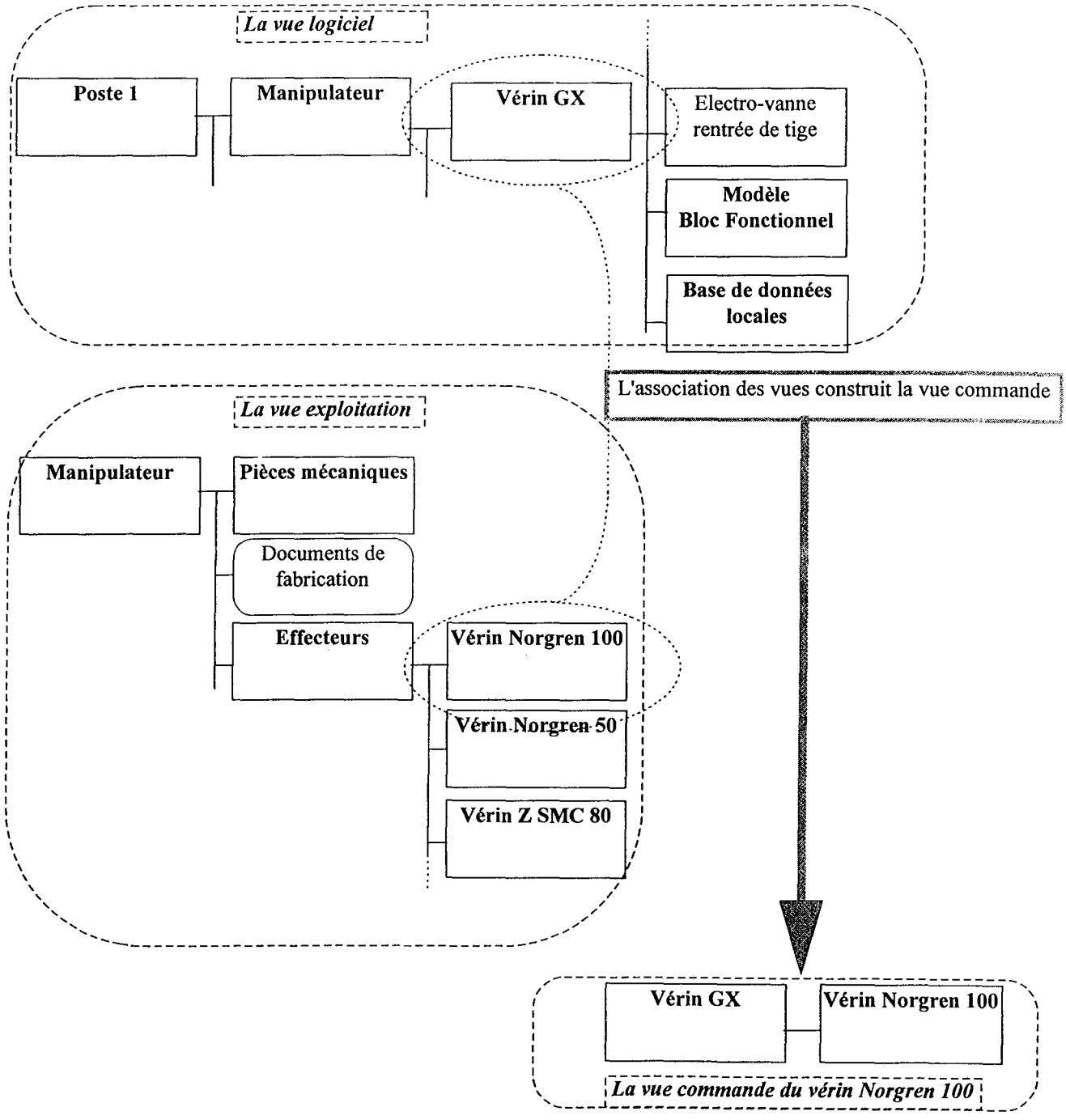


figure 5.27 : *La constitution de la vue commande*

A la suite de la réalisation de ces vues, nous sommes passé à la phase "informatique". Nous avons cherché, avant de développer un outil informatique, les offres existantes conformément à nos objectifs:

- adaptation à des PME-PMI

- secteur étude en phase préconception et faisabilité donc une offre sur micro-ordinateur personnel.

Nous avons ciblé les objectifs de cette recherche sur les critères supplémentaires suivants:

- co-temporalité du logiciel permettant l'utilisation en collecticiel et donc le fonctionnement des équipes de recherche et développement en ingénierie concourante (avec mise à jour des informations, export vers d'autres sites ....),

- traçabilité des informations techniques, des choix, des décisions, et notamment des méthodes choisies pour travailler, des outils envisagés ou utilisés, et des documentations associées, avec une possibilité d'avoir accès à des fichiers exécutables pour fiabiliser les informations mises à disposition, notamment en formation initiale.

- comparaison des objets de pré-conception pour une aide à la décision par une meilleur visibilité lors de la conduite d'une étude,

- indication de l'impact des décisions prises lors des analyses des besoins, des fonctions et des contraintes sur les principes et la technologie employée et vice-versa,

- adaptation aux besoins des équipes via leurs métiers, leurs habitudes, leurs niveaux actuels...

Nous nous sommes donc tournés vers les domaines de la gestion de configuration, la gestion de données techniques et les systèmes de gestion de bases de données techniques et nous avons trouvé fin 96, un logiciel **Progman** commercialisé à l'époque par **Win Technology International**. Cette société a fusionné pour devenir **LASCOM Technologies** et le produit s'appelle actuellement **Win PDM** (Product Data Management) [LASCOM 97].

C'est un logiciel pré-paramétré que nous avons en partie fait développer pour s'adapter aux demandes particulières des études de faisabilité. Ce produit fonctionne sur PC en environnement DOS ou Windows et sur station en environnement Unix, en standard autour d'une base Oracle, produit dont nous disposons à l'ESSTIN et à l'AIP Lorrain.

Nous présentons au paragraphe suivant 3.6, l'architecture de paramétrage et la structuration des informations techniques que nous avons eu besoin pour la gestion de configuration orientée **"Système de fabrication"**.

3.6. Bilan des évolutions de données technologiques sur l'application SFP

Nous venons de voir la constitution des différentes vues du système SFP, et nous présentons la synthèse des données techniques sur les phases de faisabilité (préconception) et de conception. (figure 5.28)

Nous avons 2 niveaux de vue dans la phase de faisabilité:

- le niveau **envisagé**,
- le niveau **validé**.

Ces niveaux correspondent à différents états de l'évolution du projet. Le second niveau est atteint lorsque toutes les activités du premier niveau sont validées.

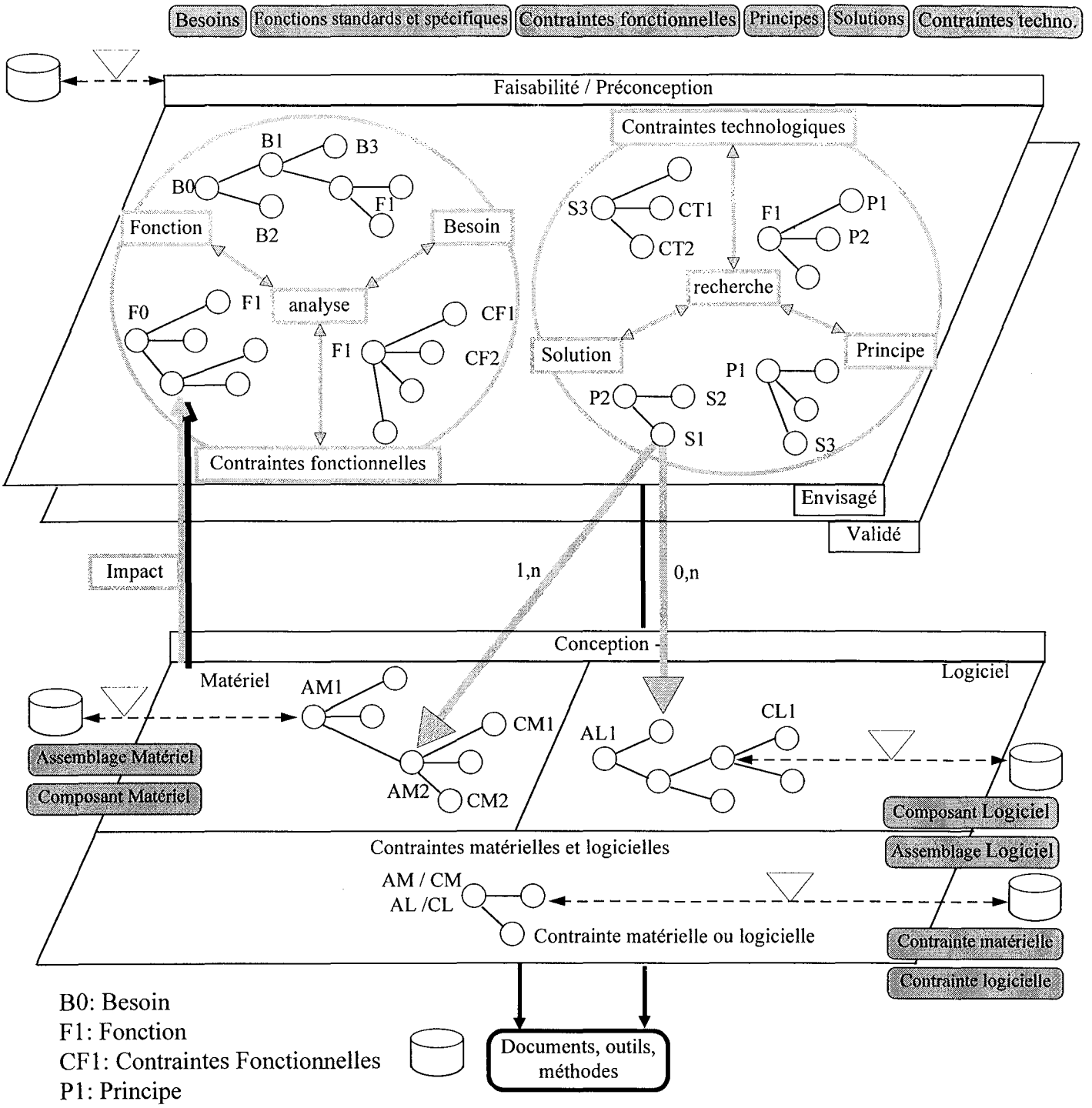
Nous retrouvons les activités d'analyse (besoin/fonction/contraintes fonctionnelles) et de recherche (principe/solution/contraintes technologiques) avec leurs différentes vues. Celles-ci sont construites à partir de données **standards** ou bien sont apportées par les concepteurs et sont alors des données **spécifiques** qui deviennent éventuellement un standard pour la suite du projet ou les projets futurs.

Ces données sont les objets techniques du projet et sont stockées dans une base de données d'un SGBD. Nous avons actuellement 13 objets techniques paramétrés avec Win PDM:

- Les besoins
- Les fonctions standards et spécifiques
- Les contraintes fonctionnelles
- Les principes
- Les solutions
- Les contraintes technologiques
- Les composants matériels
- Les composants logiciels
- Les assemblages matériels
- Les assemblages logiciels
- Les contraintes matérielles
- Les contraintes logicielles
- La documentation.

Ces objets ont des liens qui ne sont pas tous représentés sur la figure 5.28. Ces liens sont du type:

- documenté par...
- supporté par la méthode...
- réalisé par l'outil...



B0: Besoin
F1: Fonction
CF1: Contraintes Fonctionnelles
P1: Principe
S2: Solution
CT1: Contraintes Technologiques
AM: Assemblage Matériel
CM: Composant Matériel
AL: Assemblage Logiciel
CL: Composant Logiciel

figure 5.28 : *Les données technologiques et la configuration du système en faisabilité et conception*

Le lien impact représente l'interaction entre une fonction et un principe, une solution dans le même niveau ou un composant, un assemblage dans le niveau conception.

Nous avons présenté pour les phases de faisabilité et de conception, les activités, les évolutions entre ces activités, les besoins en contenu de bases de données (composants, assemblages, matériel, logiciel....)et les outils associés.

Nous proposons en annexe (page 191) un document réalisé par J.P. Drapier de l'AIP Lorrain, qui permet de situer la structuration des informations techniques dans les phases suivant la faisabilité; les études de conception, les études de réalisation et l'exploitation. Ce document de présentation contient 16 pages (192 à 207) qui sont mis à disposition des utilisateurs du SFP et qui permettent de comprendre le paramétrage qui a été réalisé sur le logiciel Win PDM.

3.6. Conclusions pour l'application SFP

Le SFP comporte maintenant quatre postes de travail indépendants qui réalisent les opérations d'**assemblage** de pièces correspondant à n produits possibles et deux postes en ligne destinés au chargement de pièces, au déchargement de produits et au contrôle.

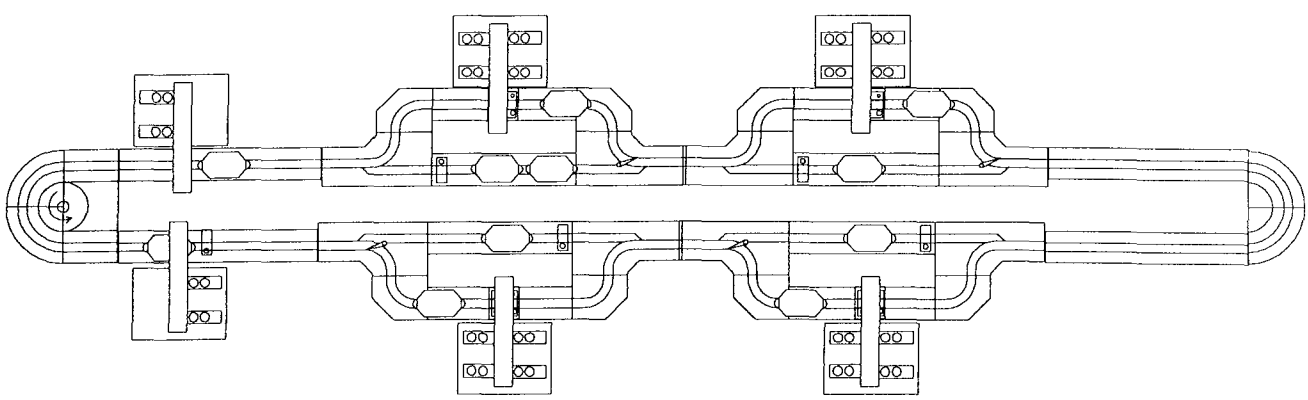


figure 5.28 : *Vue du système flexible de production*

Pour **valider** les besoins des utilisateurs en exploitation, la démarche de faisabilité a été prolongée par le **prototypage** d'un poste d'assemblage de produits couplé à une dérivation.

L'aspect **intégration** de la partie matérielle de la commande dans la partie physique est spécifique dans cette étude et adaptée aux besoins spécifiés.

La **sécurité** des utilisateurs est réalisée par la structure environnant la cinématique.

La **sécurité** du matériel est assurée par des protections **câblées** verrouillant la descente du préhenseur lors des déplacements horizontaux. Les erreurs de programmation n'ont pas d'effet .

Les différents **apports** de la méthodologie se concrétisent dans :

- le **gain de temps** dans la phase faisabilité par rapport à une démarche séquentielle; ce gain est évalué à 20% obtenu par un recouvrement des tâches,

- la **mise en place** de solutions faisables prototypées, réutilisées à 100% sur le système final qui entrainent un **coût** de la réalisation de la **faisabilité nul** (coût total consolidé: ~3MF actuels),

- la **mise en service** de solutions prototypées sans perturbation de l'exploitation,

- la possibilité de **réutiliser les démarches** sur d'autres projets, c'est notamment le cas pour l'extension à six postes sur cette installation,

- l'utilisation des **vues** depuis l'étude de faisabilité jusqu'à l'exploitation et la maintenance du système à travers la **gestion de configuration** et des documents **techniques** (travaux en cours),

- la mise en place de cette gestion de configuration avec le logiciel Progman de Win Technology International,

- la **communication** réalisée sur l'étendue du projet pour convaincre, converger, décider, et faire utiliser cette installation par les différents partenaires universitaires.

Nous proposons d'autres indicateurs qui n'ont pas été mis en place à la date de rédaction de ce mémoire:

- Indicateur Qualité "étude"

Cet indicateur permettrait d'évaluer le gain en qualité qu'apporte l'utilisation de la méthodologie. C'est un indicateur qualitatif qui a la forme d'une enquête "satisfaction" des relations entre client d'une étude de faisabilité et fournisseur de ce travail. A l'issue de sa mise en place, des mesures pourraient être faites sur le nombre de réclamations.

Un gain est apporté par notre méthodologie au niveau de la sérenité de travail lorsque l'on aborde une étude de faisabilité. Il ne nous est pas possible pour l'instant de définir un indicateur sérenité, mais le fait d'avoir une démarche formalisée ...

4. Conclusions des applications

L'application sur le formeur de nappes ainsi que d'autres non détaillées dans ce mémoire nous ont permis de mettre en évidence les actions à réaliser pour conduire une étude de faisabilité :

- perception et analyse de la demande du client exprimée sous différentes formes,

- audit, analyse et validation des besoins,

- analyse fonctionnelle des processus, procédés et systèmes existants,
- évaluation des problèmes traduits en contraintes,
- évaluation des ressources nécessaires,
- identification des métiers et de leurs interdépendances,
- structuration des données et des informations à partager,
- structuration des activités à mener,
- besoins, fonctions, contraintes du futur système avec leurs études de faisabilité à mener.

Ces éléments nous ont conduit à établir une **sémantique** pour aider les acteurs d'une étude de faisabilité à conduire leur projet. La description des activités permet de définir la faisabilité et **plusieurs vues** sont alors nécessaires pour documenter les différentes activités. La poursuite de l'étude par la réalisation d'une maquette dans le cas d'Ascométal ou d'un prototype pour le projet SFP demande des vues complémentaires sur la **définition**, la **réalisation** et l'**utilisation** de ces outils de validation. Nous avons ainsi montré dans l'application SFP que les différentes vues réalisées en phase de définition sont réutilisées pour l'exploitation physique du système, pour le contrôle-commande et la structuration des données dans les logiciels. Ces vues font l'interface en la partie opérative et la partie commande. Les différentes vues aident les acteurs du projet pour :

- la **présentation** des modèles de comportement des composants (vue logiciel)
- la **formation** initiale; en décomposant les différentes parties, la compréhension est plus facile (vue fonctionnelle et vue réalisation)
- **structurer** les données suivant les utilisations en :
    - commande
    - exploitation
- l'**évolution** du système en réutilisant les modèles génériques
- suivre les modifications apportées physiquement
- suivre les utilisations des variables en contrôle-commande.

Différents services d'une PMI-PME ont besoin de ces vues :

- les services étude mécanique et étude automatique,
- le service après-vente avec la documentation, formation, Gestion de pièces détachées...,
- le service maintenance....,

et suivant le type d'activités, d'autres vues de décomposition pourraient être créées.

Ces applications ainsi que d'autres passées et en cours ont montré qu'en fonction du nombre de besoins, de fonctions et de contraintes, la **formalisation** des différentes étapes et de l'**arborescence** des liens sont **contraignantes** en l'absence d'aide informatique. L'intérêt de la méthodologie résidait alors dans la mise au point des syntaxes, graphismes et structures de la démarche ainsi que la validation de cet ensemble par la phase **papier**.

En perspective, il s'agit maintenant de réaliser un **cahier des charges** pour le **développement** d'outils informatiques, de développer la communication entre les différentes activités et entre les différents partenaires d'un projet. Nous avons engagé des actions dans ce sens avec la société LASCOM Technologies.

D'autre part nous envisageons une **diffusion** dans le domaine de l'enseignement, du **système SFP**, de son environnement de commande et des données associées. Il nous faut étudier la faisabilité économique. Cette étude porte sur les aspects :

- simplification pour l'industrialisation de ce prototype avec des contraintes de coût, de modularité et d'évolutivité, reconception de pièces pour fiabilité, facilité d'assemblage,
- définition de la modularité pour les commandes clients et étude de marché,
- réalisation en petite série du système à la commande,
- adaptation à d'autres systèmes de commande (API),
- formation sur les concepts de modèles de commande, sur la gestion des données techniques d'un tel système.

Nous avons jusqu'à présent travaillé en poste autonome pour valider le paramétrage de nos applications ainsi que les besoins en utilisation depuis la faisabilité jusqu'à l'exploitation. Aux termes de ces travaux étalés sur l'année 1997, nous avons obtenu des résultats satisfaisants nous permettant la mise à disposition de la méthodologie et de son support informatique.

Il nous faut maintenant réfléchir à l'installation d'une base sous Oracle pour exploiter le travail en concourance et pour cela travailler sur l'analyse et la **modélisation des données**, définir un modèle conceptuel pour notre système d'information, cette tâche sera abordée au deuxième trimestre 1998.

En parallèle, nous avons engagé une application sur la gestion de configuration orientée **"Produit"**.

Chapitre 6 Le bilan

1. Les limites de la méthodologie page 152
1.1. Les facteurs humains page 152
1.2. Les critères de performances page 152
1.2.1. Indicateur d'efficacité Es page 152
1.2.2. Indicateur de temps global Ett page 153
2. Les perspectives page 153
3. La conclusion générale page 155

1. Les limites de la méthodologie

1.1. Les facteurs humains

La méthodologie possède une syntaxe et un graphisme qui nécessite une formation pour que les acteurs d'un projet l'utilisent.

Il est difficile de **mesurer** les **performances** acquises avec cette méthodologie. Les gains apportés sont plus **qualitatifs** que quantitatifs. Nous proposons et les utilisateurs disposent.

Il est également **difficile de formaliser** ce qui est **informel**, car "*cela fonctionne donc pourquoi formaliser*". Il sera nécessaire de **sensibiliser** les acteurs, de les **former**, de mettre en oeuvre la méthodologie sur des **études pilotes** et enfin de **capitaliser** l'expérience acquise pour poursuivre les actions.

Nous envisageons une application permettant de comparer et de mesurer l'apport de notre méthodologie:

1- dans le cadre pédagogique de l'AIP Lorrain et du SFP, nous ferions un enseignement habituel sans utiliser la méthodologie sur un groupe de volontaires hors programme universitaire, nous mesurerions le degré et la vitesse de compréhension des interlocuteurs à travers un TP de développement en automatisme et gestion de production,

2- pour la même application et avec le même environnement sur un second groupe de volontaires, nous proposerions notre démarche, avec les figures et les différentes vues ainsi que les outils et méthodes utilisés.

Il nous reste à écrire le scénario et à s'entourer de spécialistes de la communication pour valider cette expérience.

1.2. Les critères de performances

L'application de découpe de mirabelle présentée au chapitre 3

1.2.1. Indicateur d'efficacité Es

$$\text{Efficacité Es} = \frac{\text{Nombre de solutions faisables}}{\text{Nombre de solutions envisagées}}$$

$$\text{Efficacité Es} = \frac{1}{2}$$

Dans cette étude, nous avons abordé 2 familles de procédés pour la découpe de fruit. Un seul est entièrement faisable au regard des différentes contraintes des 2 procédés.

1.2.2. Indicateur de temps global Ett

Le ratio est exprimé en semaines.

$$Ett = \frac{5}{8}$$

En utilisant notre méthodologie nous avons obtenu un ratio dans ce projet, supérieur à celui du projet formeur de nappes.

$$Ett = \frac{5}{12}$$

Cette différence permet d'avancer l'hypothèse d'un gain de temps, même si les deux applications ne sont comparables ni en terme de secteur, d'industrie, de système et de produit.
Les autres indicateurs n'ont pas été utilisés dans cette étude de faisabilité.

Nous avons également évalué les gains dans l'étude pour les brasserises Kronenbourg mais les renseignements chiffrés et les sources conduisant à ces renseignements sont confidentiels. Néanmoins les résultats vont dans le sens de l'étude précédente et renforce l'intérêt d'utiliser notre méthodologie en étude de faisabilité.

2. Perspectives

Nos travaux sur la méthodologie d'aide à la conduite d'études de faisabilité sont en phase de maquettage informatique. En effet, les présentations graphiques ne sont réalisables qu'aidées par l'ordinateur, sinon la surcharge de travail intervient en contre performance.

Nous avons commencé des développements sur Progman, un outil commercialisé de Gestion de configuration orienté Gestion de Données Techniques. Nous l'avons choisi pour ses possibilités de paramétrage sur PC pour pouvoir s'adapter à notre demande de base et à nos applications mais également à celles de PMI-PME d'où nous avons tiré notre expérience. Nous souhaitons une ouverture à tout type de faisabilité. Le délai de paramétrage est de quelques jours à quelques semaines et donc compatible avec nos budgets et ceux de PMI-PME.
Ces **développements** particuliers consistent en:

- la mise en oeuvre de la sémantique exposée au chapitre 4,

- la gestion des données chiffrées au cours du projet, avec les repères des activités, les temps associés aux activités prévues et les temps passés effectivement dans ces activités. L'utilisation des

résultats doit pouvoir se faire sous forme de tableau ou graphiquement. Pour cela nous rajoutons aux activités une case pour l'évaluation du temps et le chiffrage à posteriori.

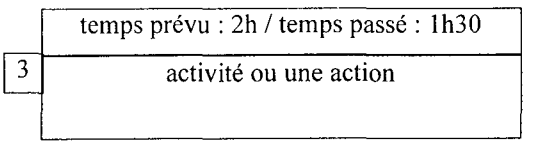


figure 6.1: *ajout des temps prévu et passé à la sémantique*

- l'association d'objets dédiés aux outils, méthodes, communications ou validations avec des représentations graphiques en corrélation avec notre sémantique. Actuellement, le logiciel ne propose qu'une forme de représentation graphique.

Pour pouvoir distinguer les besoins ou les fonctions nécessitant une étude particuliere de faisabilité, nous proposons de les visualiser par une couleur ou une police de trait différente (figure 6.2).

Un rectangle à bord carré en pointillé représente une tâche ou une action nécessitant une étude de faisabilité

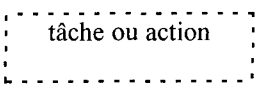


figure 6.2 : *ajout des besoins et fonctions nécessitant une faisabilité*

Nous avons encore à essayer la comparaison des vues, intéressant notamment la comparaison de plusieurs solutions technologiques possibles dans notre démarche ainsi que la comparaison de plusieurs réalisations possibles de maquettes ou prototypes et d'aider ainsi à la prise de décision.

L'application SFP nous a permis d'étendre à des phases avales des parties de notre méthodologies, mais un grand nombre d'étapes en conception, en développement n'ont pas été abordés. Dans le cas de la conception, il serait intéressant de poursuivre le développement en utilisant les travaux en cours sur la sémantique utilisée pour la mémorisation des tâches de conception [OUA 96], avec des outils-méthodes comme SAGEP [OUA 97] pour l'aide à la formalisation lors de ces phases de développement.

D'autre part, il est intéressant de prendre en compte ultérieurement les travaux sur l'utilisation de base de données de composants pour les parties opératives [DEG 97].

Nous avons démarré une étude de faisabilité de système de fabrication avec notre méthodologie. Cette étude fait partie d'un projet de développement technique et économique de valorisation de produits régionaux dans le secteur agro-alimentaire.
Un équipe pluridisciplinaire travaille sur ce projet et comporte des compétences dans les métiers de la biochimie, de l'industrie alimentaire, de l'automatisme et de la mécanique.

3. La conclusion générale

Le travail exposé représente notre contribution à une aide pour la conduite d'étude de faisabilité de système de fabrication. Nous répondons en cela à l'attente d'industriels de PMI-PME et nous offrons un terrain de recherche dans le domaine de l'ingénierie concourante par nos choix de méthodes de travail.

Le parallélisme proposé dès le début du projet apporte des résultats qui ont été validé dans les applications citées et peut s'appliquer aux phases suivantes de la conception-réalisation.

L'intégration nécessaire à l'efficacité d'un projet d'études est réalisée principalement par :

- la formalisation et la réutilisation de la connaissance,
- la structuration de l'information et du processus d'étude,
- l'accès par les différents acteurs aux informations autorisées.

Avec les applications que nous avons menées lors du développement de notre méthodologie, nous contribuons à la constitution d'une base de structuration de d'organisation de données techniques.

La sémantique décrite au chapitre 4 offre la possibilité de réaliser deux systèmes de vues complémentaires:

- une vue sur l'organisation de la communication structurée autour des activités,
- une vue sur la décomposition descendante de ces activités.

Ces vues sont également utilisées par la suite et constituent le pilier de la réutilisation possible de la démarche :

- dans la suite du même projet
- dans une étude analogue
- dans une remise en cause éventuelle de fonctions, de contraintes ou de solutions dans une étude de faisabilité.

Nos travaux complètent l'offre de méthodes et d'outils proposés pour la conception de produits et de systèmes de production en s'intégrant dans les phases amonts des cycles de vie de ceux-ci.

D'autre part, au travers des réflexions menées sur les vues pour l'élaboration de la méthodologie et des applications déjà réalisées, nous contribuons à la mise en place de systèmes d'informations réutilisables dans les phases avales des processus de conception-réalisation.

Les vues :

- définition,
- réalisation,
- exploitation,
- commande,

sont des supports pour les activités réalisées en développement, en industrialisation et en exploitation de systèmes de fabrication. Ces points de vue rassemblent les informations nécessaires aux différents métiers qui jalonnent le cycle de vie d'un système depuis sa faisabilité jusqu'à son démantèlement.

Les applications citées dans cette thèse nous ont permis d'aborder le problème de l'évaluation de la méthodologie. Par leur subjectivité certains points sont difficiles d'abord. Par exemple la pondération des contraintes nécessite une préparation adaptée pour fixer les contraintes des fonctions à évaluer, ensuite déterminer les échelles de notes puis s'accorder sur les résultats. Nous avons réalisé la notation avec un tableur dont le contenu est ensuite gérer par Progman, le suivi de cette pondération entraîne des décisions au plus tôt sur la nécessité d'une étude de faisabilité pour une ou plusieurs fonctions à contraintes élevées.

Différentes voies sont à l'étude à la suite de ces travaux :

- il faut augmenter la validité de notre méthodologie avec les points de vue réalisés dans ces phases avales, pour aborder le problème de la mise en place d'informations pertinentes lors de la phase de faisabilité.

- il est nécessaire de réaliser une application en réseaux avec une base de données techniques unique, nous avons l'intention d'utiliser Oracle avec le logiciel Win PDM de LASCOM Technologies pour la gestion de la configuration et de la documentation associée.

- l'application sur la faisabilité de découpe de mirabelles est réalisée en version monoposte avec ce logiciel et nous voulons l'étendre à trois sites en réseau :

- AIPL pour la conception et réalisation des pièces de la maquette et la base de données Oracle,

- ESSTIN pour les études d'agencement et l'assemblage de la maquette,

- ENSAIA pour les métiers de la bio-industrie et les projets connexes de développement de l'utilisation des oreillons et les études de marché associées.

L'application SFP doit être étendue à l'ensemble des postes de l'AIPL fonctionnant en réseau. Cela doit permettre de gérer les informations nécessaires aux développements de programmes avec les logiciels de SIEMENS, et de réaliser une base d'enseignement pédagogique autour de la gestion de données techniques et la gestion de configuration.

Ce travail devraient également se compléter:

- par la diffusion de notre méthodologie dans les PMI-PME à travers l'outil informatique qui est maintenant le support de la méthodologie.

- en utilisant la comparaison entre différentes vues dans la phase de définition d'un projet.

- par la rédaction du cahier des charges de développement et de paramétrage de Win PDM à partir du besoin. Les deux applications SFP et Mirabelle nous ont montré la difficulté d'exprimer notre besoin face aux développeurs de logiciel.

- par l'association de la gestion du temps aux activités pour une estimation prévisionnelle du temps et ensuite un suivi par rapport au temps réellement passé n'est pas réalisé à ce jour.

Bibliographie

[AKA 90] **Y. Akao**, *Quality Function Deployment*, Productivity Press, Cambridge MA, 1990.

[ALQ 95] **A.M. Alquier**, *Management du système d'information dans un contexte CALS*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p.895-904, 1995.

[AUT 91] **AUTOFACT'91,** *Design for Manufacturing Work Shop*, Chicago, novembre 1991.

[BAB 95] **HA. Baboli, D. Brun Picard**, *Proposition d'une méthodologie de conception intégrée de système flexible de fabrication*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p.437-446, 1995.

[BAN 91] **L.J. Bannon, K. Schmidt**, *CSCW: Four Characters in Search of a Context, Studies in Computer Supported Cooperative Work-Theory, Practices and Design*, Ed North Holland, Amsterdam, p.3-16, 1991.

[BEL 94] **P. Belloy**, *Intégration de connaissances métier dans la conception : un modèle pour les pièces mécaniques. Application à l'usinage et à l'estampage,* Thèse de l'Université de Grenoble, 1994.

[BOC 94] **JL. Bochatay**, *ORME-DFM Organisation and Methodology in Design For Manufacture*, Suisse, 1994.

[BOCa 95] **JC. Bocquet, A. Vassiliu, Y. Tang**, *Méthodes pour le développement différentiel et simultané de produits,* Colloque A2RP, Ministère Education Nationale,Paris, Juin 95.

[BOCb 95] **JC. Bocquet, A. Vassiliu,** *Une mémoire pour le processus de conception pour la reconception : une couche de l'historique QFD,* Colloque Confère, 11-12 juillet 1995, ENSGI Nancy.

[BOU 93] **P. Bourdichon, P.Morin**, *L'ingénierie simultanée dans le cycle des projets et ses répercutions sur le management*, Ingénierie simultanée et cycle de vie, 1993.

[BRU 93] **J. M. Brun et all**, *IPDES: an approach to the integration of design and manufacturing, in Realizing CIM's Industrial Potential*, IOS Press, p. 190-200, projet IPDES, 1993.

[CAZ 83] **C. Cazalot**, *Spécifications de commande d'automatismes complexes par association de Grafcet, langage et chaîne de CAO associée*, Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier, 1983.

[CHA 91] **P. Charpentier, O. Garro, L. Lossent, P. Martin**, *Démarche de conception de système automatisé de production; application à la transitique*, Revue d'Automatique et de Productique Appliquées, ISSN 0990 7009, Volume 4 - n°2/1991, Hermes, 1991.

[CHA 92] **P. Charpentier**, *Contribution à la conception d'une cellule flexible d'usinage dédiée à l'industrie de seconde transformation du bois*, Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, UHP. 17 décembre 1992.

[CHA 97] **E. Chapa Kasusky, S. Tichkiewitch**, *Modèle produit multi-vues pour une démarche intégrée de conception,* Rapport interne, p. 339-346, colloque PRIMECA, La Plagne, Avril 1997.

[CHE 92] **P. Chedmail, E. Dombre**, *CAO et Robotique: conception et programmation des cellules robotisées*, Revue d'Automatique et de Productique Appliquée (RAPA), vol.5, n°2, pp.27-38, 1992.

[CHE 95] **P. Chedmail, P. Wenger**, *Conception optimale d'un site robotisé de nettoyage d'avions*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p367-375, 1995.

[COH 86] **B. Cohen, W.T. Harwood, M.I. Jackson**, *The specification of complex systems*, Addison-Wesley publishing company, 1986.

[COO 84] **T.F. Cook**, *Welcoms to value analysis and value engineering*, Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol.19, p75-82,1984.

[COR 85] **F. Corbier**, *Simulation pour la validation des processus discontinus*, contrat CIFRE, CRAN LACN/SPIE TRINDEL n°313/85.

[COR 89] **F. Corbier**, *Modélisation et émulation de la partie opérative pour la recette en plateforme d'équipement automatisés,* Thèse de doctorat de l'université de Nancy 1, 28 Janvier 1989.

[COY 93] **P. Coy. & all**, *In the labs the fight to spend less get more*, Businees Week, June 1993

[DAS 89] **S. Dasgupta**, *The structure of Design Processes,* Advances in computer,vol.28, 1989.

[DAV 91] **B. T. David, C. Marty, D. Vandorpe**, *Environnement informationnel pour le CIM: Projet CIM-ONE,* 23ème CIRP, Séminaire International sur les Systèmes de Production, Nancy, juin 1991

[DAV 96] **B. T. David, C. Vial, F. Tarpin Bernard, G. Bordiec**, *Travail coopératif en conception: organisation et architecture*, Rapport Priméca, Nancy, p. 67-76, mai 1996.

[DEG 97] **Y. Degre, P.A. Yvars**, *Un modèle de données pour l'aide à la conception de la partie opérative des systèmes automatisés de production*, Rapport interne, p. 131-137, colloque PRIMECA, La Plagne, Avril 1997.

[DEL 91] **G. Delafolie**, *Analyse de la valeur*, éditions Hachette Technique, 1991.

[DJE 95] **Djeapragache, P. Spozio**, *Mise en oeuvre d'une méthode de conception intégrée: Outil et base de données techniques*, La productivité dans un monde sans frontières, vol. 1, Montréal, Québec, p.63-76, 1995.

[DOU 84] **G. Doumeingts**, *Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique*, Thèse d'état en Automatique, Université de Bordeaux I, novembre 1984.

[EVE 91] **W. Eversheim, M.Grob**, *Trends and experiences in applying simultaneous engineering*, CIM Europe Conference, Turin, mai 1991.

[FRA 90] **J.P. Frachet**, *Le concept PTA : première mise en oeuvre,* , 1990.

[FUR 96] **B. Furet**, *Une mode ou de véritable enjeux stratégiques pour les entreprises*, Colloque Priméca, La réorganisation de la conception dans un contexte concourant, Nancy, p. 21-28, mai 1996.

[GAL 90] **P.M. Gallois**, *La conduite de l'évolution : vers un management industriel synchronisé et intégré*, CIM90 productique et intégration, Bordeaux, juin 1990.

[GAM 90] Groupe **GAMA**, *La gamme automatique en usinage*, Editions Hermès, ISBN 2-86601-255-0, 1990.

[GAR 92] **O. Garro**, *Conception d'éléments physiques de systèmes de production. Application aux machines-outils à architecture parallèles*, Thèse de doctorat de l'université de Nancy 1, 1992.

[GAR 93] **O. Garro, L. Lossent, P. Charpentier, P. Martin**, *Aide à la conception d'architecture de machine-outil,* Revue d'Automatique et de Productique Appliquées, Hermes, ISSN 0990 7009, Volume 6 - n°2, p. 145-158, 1993.

[GAR 95] **O. Garro**, *Une expérience en conception distribuée,* 01 Design' 95, Aspects communicatifs en conception, Autrans, p. 231-243, Janvier 1995.

[GAR 96] **O. Garro, I. Salaü, P. Martin, S. Mer, R. Allera**, *Un modèle de conception distribuée,* Colloque Priméca, La réorganisation de la conception dans un contexte concourant, Nancy, p. 21-28, mai 1996.

[GHA 95] **A. Gharbi, C. Olivier, M. Tétreault**, *Environnements flexibles de production: intégration des outils de conception,* Actes du congrès international de génie industriel La productivité dans un monde sans frontières, vol3, Montréal, Québec, p. 1583-1592, 1995.

[GOU 92] **P. Goubertier, J.C. Bocquet, Y. Tang**, *Un outil d'aide au choix pour la conception orientée assemblage*, MICAD'92, Paris, janvier 1992.

[GRA 95] **B. Grabot, P. Huguet**, *Conception simultanée de l'atelier et de son système de pilotage*, Concurrent Engineering and Technical Information Processing, Proceedings of third international conference ILCE 95, Paris, p. 205-218, 1995.

[HEI 93] **B. Heit, L. Lossent**, *Contrôle d'aspect sur tôles en blanc par vision,* Rapport d'expertise industrielle, partenaire: PSA Peugeot Citroën, Mulhouse, Contrat n°SF23481060, de février à juillet 1993.

[HUE 95] **M. Hueber**, *L'ingénierie concourante: des projets opérationnels voient le jour*, Concurrent Engineering and Technical Information Processing, Proceedings of third international conference ILCE 95, Paris, p. 273-284, 1995.

[IMP 90] **IMPACS**, Milestones 1&2 deliverables, Esprit 2338 project, April 1990.

[IMP 91] **IMPACS**, Milestones 3&4 deliverables, Esprit 2338 project, April 1991.

[IMP 92] **IMPACS**, Milestones 5&6 deliverables, Esprit 2338 project, April 1992.

[LER 95] **R. Leroy, P. Gaffie, TQ. Jia, D. Gourc, C. Pourcel**, *De l'atelier flexible vers un système intégré de production*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p. 447-456, 1995.

[LHO 85] **P. Lhoste**, *Exploitation assistée par ordinateur, EX AO : Proposition d'une approche Méthodologique et d'Outils d'Assistance,* Thèse de doctorat de l'université de Nancy 1, 18 Décembre 1985.

[LOM 94] **M. Lombard Gregori**. *Contribution au génie productique: prototypage d'une architecture d'ingéniérie concourante des systèmes intégrés de fabrication manufacturière*. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, UHP. Février 1994.

[MAN 96] **J.P. Manata**, *Conception d'outil de production,* Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, UHP. Décembre 1996.

[MAR 95] **S. Marier, A. El Mhamedi, Z. Binder**, *Modèle de synchronisation des activités en ingénierie simultanée*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p.1979-1988, 1995.

[MEA 96] **P.L. Meausone**, *Approche de l'ingéniérie concourante pour les industries du bois,* Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, UHP. Novembre 1996.

[MER 95] **S. Mer, A. Jeantet, S. Tichkiewitch**, *Les objets intermédiaires de la conception : Modélisation et Coordination,* 01 Design' 95, Aspects communicatifs en conception, Autrans, p. 27-40, Janvier 1995.

[MIL 95] **O. Million**, *Analyse multicritères,* Rapport de DEA de l'Université de Nancy 1, UHP, Juillet 1995.

[MON92] **C. Mony**, *Un modèle d'intégration des fonctions conception et fabrication dans l'ingéniérie de produit*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale deParis, 1992.

[MON 93] **C. Mony,** *Séminaire productique 93, la gestion des données techniques : enjeux et perspectives*, novembre 1993.

[MONa94] **C. Mony**, *DFM:enjeux, tendance et état de l'art*, -RAPA v7 n1/1994.

[MONb94] **C. Mony & all**, *Ingénierie simultanée en conception Production- Design for manufacturing* - séminaire CAO/FAO solutions, Hermès RAPA - ISSN0990 7009.

[MON 95] **C. Mony**, *Des outils et méthodes pour de nouveaux enjeux en développement de produit*, Actes du congrès international de génie industriel, La productivité dans un monde sans frontières, vol.1, Montréal, p. 47-62, Québec, 1995.

[MOR 93] **G. Morel, P. Lhoste**, *Outline for Discrete Part Manufacturing Engineering, Invited Paper*, 7th Annual European Computer Conference, COMPEURO'93, IEEE/SEE, 24-27 Mai 1993, p.146-155, Paris-Evry.

[MOS 89] **JM. Moser**, *Méthodologie de conception d'une cellule flexible d'usinage*, thèse de docteur en automatique et informatique, Université de Franche-Comté, 1989.

[ORT 95] **J. Orty-Hernandez**, *Les systèmes de production automatisés : une approche socio-technique*, Thèse de l'Université de Franche-Comté, Novembre 1995.

[O'SU 92] **D. O'sullivan**, *Integrated manufacturing systems design procedure*, Thèse de l'university College Galway, Irlande, 1992.

[OUA 96] **A. Ouazzani, A. Bernard, J.C. Bocquet**, *Ensuring competitive advantage with semantic design process management,* Integration Design Process and Technology, Austin, Texas, USA, 1996.

[OUA 97] **A. Ouazzani, A. Bernard,J.C. Bocquet**, *Proposition d'un outil d'aide à la gestion des processus et d'intentions de conception : la méthode SAGEP,* Rapport interne, p. 1-8, colloque PRIMECA, La Plagne, Avril 1997.

[PAI 91] **M.K. Painter, R.J. Mayer, T.P. Cullinane,** *The many face of concurrent engineering*, AUTOFACT'91, Chicago, novembre 1991.

[PAL 94] **M. Pallot,** *L'approche Concurrent Engineering ou concourrir au développement d'un produit global*, Génie Industriel, n°206, p.32-36, decembre 1994.

[POM 93] **J.C. Pomerol, S. Barba-Romero**, *Choix multicritère dans l'entreprise,* Editions Hermès, 1993.

[PRI 86] **AA. Pritsker**, *Introduction to simulation and SlamII*, John Wiley and sons, New York, USA, 1986.

[RIF 95] **S. Riffi Temsamani, M. Karmouche, B. Heit, J. Bremont, L. Lossent**, *Analyse statistique du signal vidéo pour la détection de défauts sur des surfaces métalliques*, 2ème conférence internationale sur l'Automatisme Industrielle,ISBN:2-980 2946-1-6, p. 677-683, Nancy 7-9 juin 1995.

[ROB 88] **M. Roboam**, *Modèle de référence et intégration des systèmes de production*, Thèse de doctorat Automatique, Université de Bordeaux 1, Juillet 88.

[ROY 93] **B. Roy, D. Bouyssou**, *Aide multicritère à la décision : méthode et cas*, éditions Economica, 1993.

[SAL 95] **I. Salaü**, *La conception distribuée: théorie et méthodologie*, Thèse de l'université de Nancy 1, Mars 1995.

[SHE 91] **L. Sheldon, G.Q. Huang, R. Perks**, *Design for cost- Situation Report,* Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 91, Zurich, 27-29 August, p. 1509-1520, 1991.

[SHE 95] **W. Shen, JP. Barthes**, *Systèmes coopératifs pour la conception: état de l'art,* Design01, Autrans, 1995.

[SOH92] **G. Sohlenius**, *Concurrent Engineering*, Keynote paper, Annals of the CIRP, 1992

[SUH 88] **N.P. Suh**, *The principe of design*, Massaschusetts Institute of Technology, Oxford University Press, 1988.

[SYA94] **S.C. Syan, U. Menon**, *Concurrent Engineering - Concept, Implementation and practice*, Chapman & Hall, ISBN 0-412-58130-2, 1994.

[TAY 13] **F.W. Taylor**, *The principles of scientific management,* New York Harper, 1913.

[TIC 95] **S. Tichkiewitch, E. Chapa, P. Belloy**, *Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée*, Actes du congrès international de génie industriel, la Productivité dans un monde sans frontières, Montréal, p.1989-1998, 1995.

[TIG 95] **H. Tiger**, *L'établissement du cahier des charges des équipements automatiques : une procédure complexe qui doit faire appel à de nouveaux concepts*, Références d'Actes en cours de recherche, p. 29-49, 1995.

[TIX 89] **JM. Tixador**, *Une contribution au génie automatique; la Spécification Exécutable des machines et systèmes automatisés de production,* Thèse de doctorat de l'université de Nancy 1, 10 Juillet 1989.

[VAS 96] **A. Vasiliu, JC. Bocquet**, *Un modèle de représentation du processus de conception: l'historique de QFD*, Journée Priméca Nancy, p. 38-43, Mai 1996.

[WIL 88] **L.G. Williams**, *Software process modelling : A behavioral approach*, 10th International Conference on Software Engineering, Singapore, April 88.

[WIN 88] **R.I. Winner, J.P. Pennell, H. Bertrand, M.M.G. Slusarezuk**, *The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition*, Institute for Defense Analyses, Alexandria VA, IDA Report R-338, 1988.

[ZAN 93] **M. Zanettin**, "*Contribution à une démarche de conception des systèmes de production*", Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux 1, 1993.

Documentation techniques

[ADA 85] **B. Adam**, *Mener une étude Analyse de la valeur*, éditions Afnor, 1985.

[ADE 92] **Adepa**, *Guide méthodologique : recommandations pour l'élaboration des cahiers des charges*, rapport interne de la commission nationale "Cahier des charges", 1992.

[AFA 89] **Association Française de l'Analyse de la Valeur**, *Exprimer le besoin- Application à la démarche fonctionnelle*, AFNOR Gestion, 1989, ISBN 2-12-476-911-1

[AFN 84] **AFNOR**, *Analyse de la valeur-Guide pour l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel- Expression fonctionnelle du besoin*, NF X50-151.

[AFN 92] **AFNOR**, *Représentation des systèmes de contrôle et de commande des systèmes automatisés de production*, Modèle conceptuel Base PTA, NF Z 68-901, sept. 1992.

[NAK 89] **S. Nakajima**, *La maintenance productive totale (TPM) : mise en oeuvre*, Afnor gestion, 1989.

[PED 91] **D. Pedgen**, *The SIMAN Users Manual*, Systems Modeling Corp.,USA 1991

[PEG 87] **C. Pegden**, *Introduction to SIMAN*, Systems Modeling Corp.,USA 1987

[TAS 95] **Tassirani**, *L'analyse fonctionnelle*, éditions Afnor, 1995.

Documentation pédagogique, de vulgarisation et Revues

[BAL 94] **G. Balm**, *Evaluer et améliorer ses performances*: Le Benchmarking, Afnor, 1994.

[BAR 95] **L. Bardou**, *De la maintenance au Soutien Logistique Intégré: bientôt un outil pour les PME-PMI ?,* Maintenance et Entreprise, n°484, p.24-27, octobre 1995.

[BEL 90] **S. Bellut**, *La compétitivité par la maitrise des coûts CCO et analyse de la valeur*, éditions Afnor- Gestion, 1990.

[BOU 94] **P. Bourdichon**, *L'ingénierie simultanée et la gestion d'informations*, éditions Hermès, 1994.

[CAL 90] **J.P. Calvez**, *Spécification et conception des systèmes, une méthodologies*, éditions Masson, 1990.

[CAM 92] **R.C. Camp**, *Le Benchmarking pour atteindre l'excellence et dépasser vos concurrents*, éditions d'Organisation, 1992.

[CAU 95] **S. Caulier**, *SGDT fédérer et gérer l'information dans l'entreprise*, Harvest, juin 1995.

[COR 95] **F. Corbier**, *MAXSIM, un émulateur de partie opérative pour les tests et la recette en plate-forme des systèmes automatisés*, Support de cours, T.N.I. Nancy, Juin 1995.

[CXP 94] **Gestion industrielle / Gestion de projets**, *Offre logiciel*, 670/CXP/1175, 1994.

[DER 86] **X De Roquemaurel**, *Expression des besoins, Simulateur de machines commandées par automate programmable*, Citroën Industries DMI/RTN/COR, 1986.

[FRO 89] **B. Froment, J.J. Lesage**, *Les techniques de l'usinage flexible*, Edition Dunod, Collection Productique, 1989.

[JAG 93] **P. Jagou**, *Concurrent Engineering, la maitrise des coûts, des délais et de la qualité*, Editions Hermes, 1993

[JAU 90] **P. Jaulent**, *SADT un langage pour communiquer*, Editions Eyrolles, 1990.

[JIM 96] **M. Jimenez, J. Bricout**, *Le SGDT suit la vie d'un produit de A à Z*, Industries et techniques, n°770, p. 35-36, avril 1996.

[JUB 91] **M. Jubin, R. Malosse**, CETIM, *Evaluation économique de projets d'investissements en productique*, Rapport d'étude, Annexe 3, p.3, Juillet 1991.

[LAC 87] **J. Lachnitt**, *L'analyse de la valeur*, éditions presses universitaires de France, 1987.

[LAR 87] Dictionnaire **LAROUSSE**, 1987.

[LIS 90] **M. Lissandre**, *Maitriser SADT*, éditions Armand Colin, ISBN 2200-42022-6, 1990.

[MEM 94] **Memotech**, *conception produits*, Editons, 94.

[MON 90] **C. Mony**, *Etat de l'art sur les bases de données et leurs système de gestion*, Formation ADEPA, janvier 1990.

[MONc 94] **C. Mony**, *Méthodes de reconception DFM, un pas vers un rajeunissement des produits*, Veille et Innovation en Productique, ADEPA n° 5 1994 p.5-14.

[MONd 94] **C. Mony, Djeapragache**, *Gestion des documentations techniques*, Veille et Innovation en Productique, ADEPA, n° 5 1994 p. 27-34.

[PET 91] **C. Petitdemange**, *La maitrise de la valeur, gestion de projet et ingénierie simultanée*, Edition AFNOR, ISBN 2-12-475021-6,1991.

[PON 93] **J. Pons, P. Chevalier**, *La logistique intégrée*, Editions Hermès, 1993.

[POU 86] **C. Pourcel** , *Système de fabrication automatisé de production*, Cepadues Editions, 1986.

[PRE 94] **M. Prevost, C. Waroquier**, *L'analyse du soutien logistique et son enregistrement*, Technique et documentation - Lavoisier, 1994.

[PRI 90] Rapport pédagogique **PRIMECA**, Avril 1990.

[PRO 88] **PROSYST**, *Simulateur de machine commandée par API*, documentation société PROSYST, Valanciennes, 1988.

[REY 92] **M. Reynier**, *Assurance qualité en conception*, Editions Masson, 1992.

[SAD 89] **SADT**, *Un langage pour communiquer*, IGL Technologie, Eyrolle 89.

[SMA 96] **Projet SMART**, *SMART les limites de l'originalité* , L'Usine Nouvelle, n° 2552, p. 79-86, mars 1996.

[TEI 95] **C. Teixido, Dardy**, *La compétitivité industrielle, Tome 1 : Démarche de conception*, Collection "Plein pot", éditions Foucher, 1995.

[VIG 92] **M. Vigier**, *La pratique du QFD (Quality Function Deployement),* Les éditions de l'organisation, 1992.

[ZAI 90] **A. Zaidi,** *QFD : une introduction,* Technique et documentation- Lavoisier, *1990.*

Applications ou sociétés citées :

[CHAMBON 90] - étude de faisabilité de l'assemblage de châssis de fenêtre avec un robot.

[DUPLICATION 90] - étude de faisabilité et réalisation de l'encaissage de cassettes vidéo pour la société Duplication France.

[PEUGEOT 93] - étude de faisabilité du contrôle de carrosserie en tôles blanches.

[COVERLAND 96] - étude de faisabilité de l'empilage de tuiles.

[VEGA FRUIT 96] - étude de faisabilité de la découpe de mirabelle congelée.

[LASCOM 97] LASCOM Technologies, 92 , Clamart, Tel: 01-41-07-94-00

Sommaire des annexes

L'application du formeur de nappe ; le résumé du rapport CECA	page 172
Le rapport sur le système actuel	page 173
Les photos du processus actuel	page 174
Le chronométrage	page 177
Les résultats des chronométrages d'étalement des nappes	page 178
L'étude du déligaturage	page 179
La solution pour le formeur de nappe	page 180
Le système de cerclage	page 181
L'étude du comptage	page 182
Le traitement et conclusion	page 183
La mise en peinture	page 184
Le formeur vertical	page 185
Le système SFP	page 186
La vue en perspective du manipulateur	page 187
La vue des 6 postes	page 188
La commande d'un poste	page 189
Le pilotage du poste 0	page 190
La présentation de la gestion de configuration et de données techniques	page 191
Le projet de découpe de mirabelle congelée ; Introduction	page 208
Le traitement des oreillons	page 209
La mise en oeuvre de la découpe	page 213
La vue en perspective de la maquette	page 220
La vue de face	page 221
La vue de bout	page 222
La définition de l'alvéole	page 223
L'étude de marché	page 224
Conclusion et analyse financière	page 228
Tableau d'analyse	page 229

L'application du formeur de nappe ; Rapport CECA (Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier Durée de l'Etude : Mai 1989 à Décembre 1989

Objectifs de l'Etude :

Améliorer les conditions de travail des opérateurs formant et chargeant les nappes dans les fours. Elles doivent entrainer la suppression des accidents survenant lors de ces opérations et l'amélioration de la régularité de chargement des fours.

Méthode de l'Etude :

La méthode suivie pour cette étude a été la suivante :

1- Analyse de la situation actuelle : personnel , matériel

2- Description des tâches : personnel , gamme opératoire

3- Contraintes : cadence , charges

4- Etudes de la mécanisation des différentes tâches

5- Etudes du système de comptage de barres

6- Réalisations effectuées

Objet de l'étude :

-Evaluation quantitative des conditions de travail (observations , chronométrages ...)

-Proposition de faisabilité pour les différentes tâches

-Réalisation d'une maquette pour valider les principes de l'étude

Conclusions

- Suppression des accidents : les opérateurs n'ont plus de contact mamuel avec les barres.

- L'automatisation du poste permet de réduire la distance entre nappes dans le four et donc d'envisager un gain de production de 8 à 10 %.

- Le système de comptage de barre fonctionne sur micro-ordinateur de type PC.

- Essais programmés en Février pour contrôler la validité de l'étude avant réalisation.

Le rapport sur le système actuel

ASCOMETAL
Hagondange

Rapport sur Systeme formeur de nappes

Buts des travaux réalisés

Evaluation de la situation actuelle

1-Analyse fonctionnelle du système actuel de formeur de nappes

L' analyse fonctionnelle du système formeur de nappes est destinée à préciser :

- les différentes tâches effectuées par les opérateurs ainsi que l'enchaînement de ces tâches
- les moyens humains nécessaires à l'exécution de chaque tâche
- les supports techniques utilisés (machines , matériels , outils)
- les opérations de contrôle effectuées lors des différentes tâches
- les différentes informations spécifiques et leurs circulations

Cette analyse permet également de spécifier les caractéristiques liés au fonctionnement des fours (intervalles entre nappes , disposition des barres dans la nappe)

2- Mesure des temps

Utilisant le découpage de l'analyse fonctionnelle , la mesure des temps permet de quantifier la durée des tâches .
Les tâches pénibles ou faisant l'objet d'une mécanisation ou automatisation sont chronométrées .
La classification des temps est chronologique .Elle permet ainsi des comparaisons entre les différents postes et donne l'évolution des durées de tâches entre postes .

Résultats obtenus

1- Analyse fonctionnelle

Pour l'analyse de la situation actuelle la **méthode SADT** (Structured Analysis and Design Technic) est employée pour permettre un échange d'idées entre les opérateurs , les observateurs et les concepteurs de l'automatisation . Cette méthode sera donc également utilisée pour l'étude du prototype et de sa réalisation (le pilotage du système pouvant être décrit en Grafcet à partir de l'analyse SADT).

Les remarques suivantes complètent l'analyse SADT de la situation actuelle .

- La formation de nappes est constituée de **douze tâches** regroupées en **trois fonctions** principales .

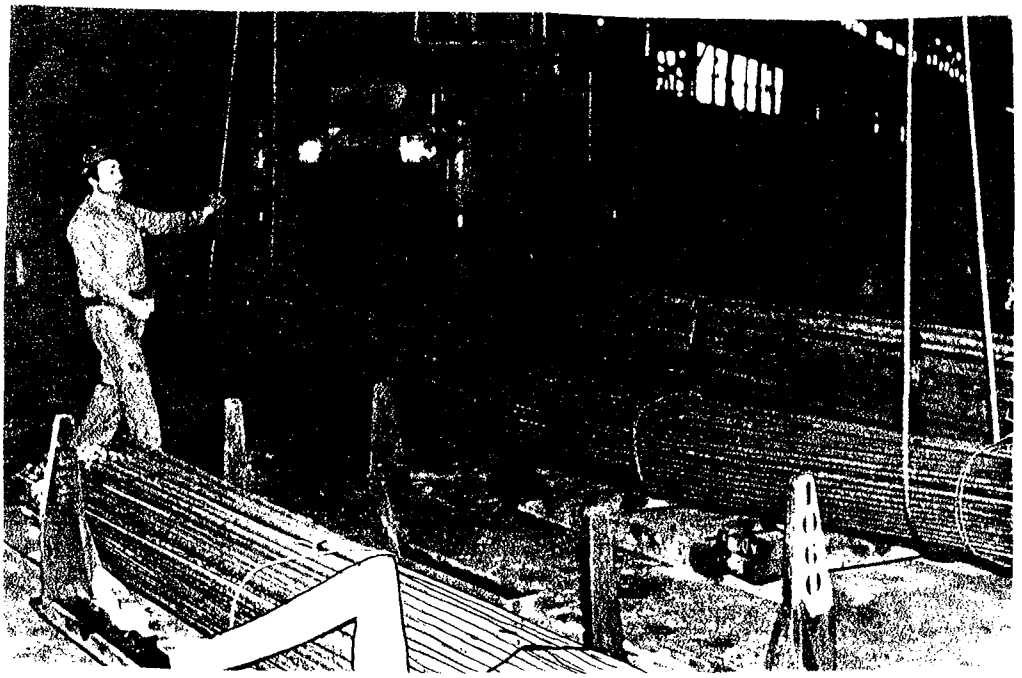
- Suivant la cadence imposée par le nombre de fours en service et la vitesse de ceux-ci , le nombre d'**opérateurs** nécessaires est compris entre **trois et quatre** . La cadence d'enfournement est liée à la longueur des barres donc le nombre d'opérateurs également (longueur charnière cinq à six mètres).

- La formation de nappes nécessite toujours deux personnes qui **alternent** leur travail toutes les deux nappes avec les autres opérateurs .

- La manipulation des barres lourdes (poids supérieur à 40 kg) nécessite l'empoi d'un pied de biche pour la formation de couche .

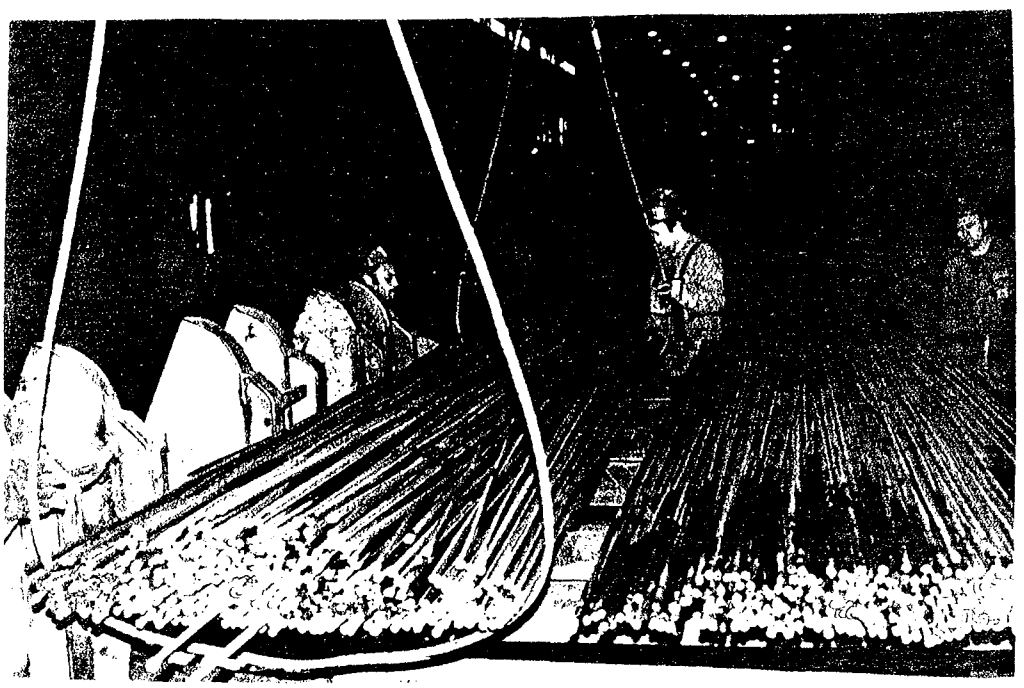
- Le positionnement longitudinal des barres est fait sans butée et entraîne des écarts entre nappes provoquant une **brûlure** des bouts de barres .

Les photos du processus actuel



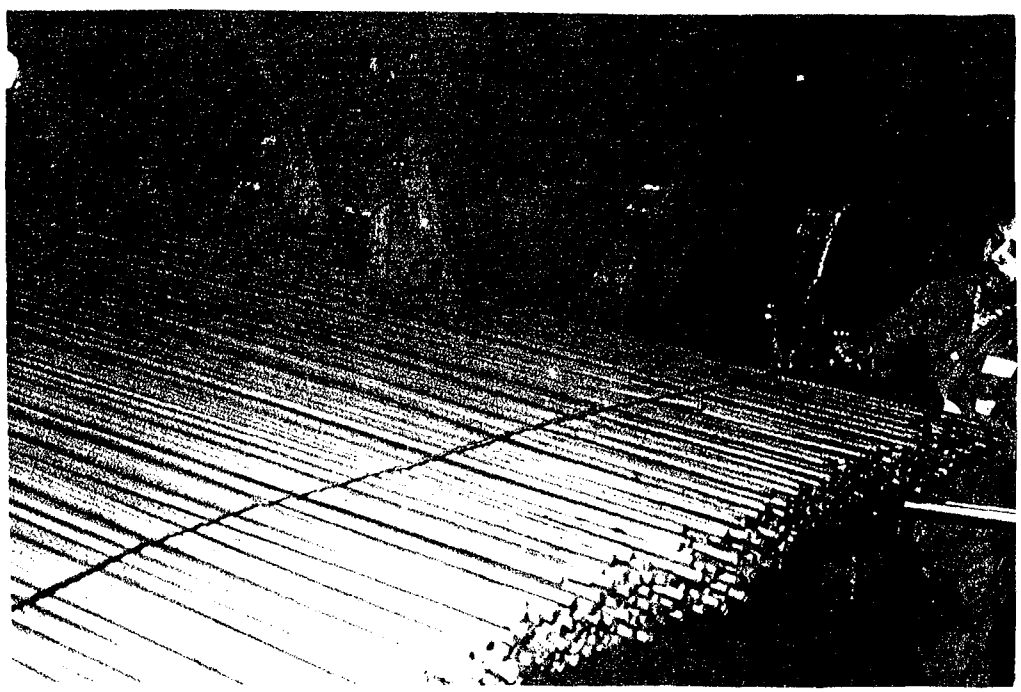
Extraction d'un fardeau depuis le parc de stockage par un ou deux opérateurs et le pont roulant.

Déligarurage pendant le maintient par les élingues et dépose du fardeau sur la table de préparation de nappe.



Préparation de la nappe par étalement manuel des barres par deux opérateurs, les barres de diamètre supérieur à 30 mm occasionnent de nombreux accidents du travail du au poids et à la synchronisation aléatoire des opérateurs.

Cerclage de la nappe en plusieurs points suivant la longueur des barres.



- Les **écarts moyens** entre nappes varient de **0,06m à 2m** . Une augmentation importante des écarts a lieu dans les tranches horaires correspondantes aux heures de "casse-croûte" (écarts supérieurs à 0,7m).Les écarts décroissent en cours de poste (meilleur appréciation des intervalles)

- Le cerclage des nappes est effectué en deux points par certaines équipes et en trois points par d'autres équipes et cela quelque soit la longueur des nappes .

2- Mesure des Temps

Les mesures des temps ont été réalisées par le chronométrage de certaines tâches . Deux élèves-ingénieurs ont pris les chronomètres des tâches s'effectuant en parallèle .

Les chronométrages ont eu lieu au cours des **trois postes** en effectuant d'abord des observations continus . Après dépouillement de ces observations , des observations instantanées ont complété la campagne de mesures en fonction du planning de production (cas intérèssants : deux fours en activité ou un des fours ayant une vitesse de nappe supérieure à dix mètres par heure).

Les fonctions de préparation des barres et d'enfournement des nappes n'étant pas modifiés pour la période de référence , seule la tâche de constitution de nappes incluant **l'étalement , le rangement , l'élimination des barres courtes et le cerclage** ont été chronométrés .

Le diamètre des barres n'a pas d'influence significative sur les temps mesurés .

Les observations sont classées par **tranche horaire** de deux heures pour réaliser une exploitation informatique . Un logiciel spécifique a été créé pour classifier et pour calculer les temps moyens par tâche , les temps moyens cumulés par tâche , les écarts - types par tâche en prenant les temps soit par tranche soit sans distinction de tranche .

- Pour l'**étalement , le rangement et le tri des barres courtes** les temps varient de **quatre** minutes à **dix huit minutes** . La tranche horaire incluant la période du "casse - croûte" comprend le plus grand nombre d'observations ayant des temps supérieurs à dix minutes .Une **diminution des durées moyennes** a lieu au cours de la première tranche horaire (période " d'adaptation des opérateurs) . Ensuite il y a une **augmentation** des durées liée à la fatigue jusqu'en fin de poste . L'allure de la courbe est la même pour les trois postes .

- Pour le **cerclage** les temps varient de **une minute à cinq minutes** et la même remarque est faite concernant la période du "casse - croûte".Les temps moyens évoluent de la même manière entre postes . Une **augmentation importante** des temps moyens de cerclage a lieu dans la dernière tranche horaire (changement de poste) .

Le chronométrage

FORMEUR DE NAPPES

ASCOMETAL 1989

I.3 CHRONOMETRAGES

I.3.1. PRINCIPE

Observations continues, plus particulièrement sur un poste, et observations instantannées sur tous les postes .

I.3.2. CHOIX DES CRITERES

Parmi les cinq opérations élémentaires qui constituent la mise en nappe des fardeaux, deux ont été retenues pour le chronométrage . En effet les étapes les plus dangereuses et les plus pénibles pour les opérateurs sont :

- l'étalement des fardeaux déligaturés :qui se fait manuellement et nécessite la synchronisation de deux opérateurs ; chacun situé à une extrémité, il doivent placer les barres une par une .

- le cerclage : l'opérateur doit se glisser, accroupi, sous la nappe pour récupérer l'extrémité du feuillard .

De plus le rendement production du systeme dépend plus particulièrement du temps d'exécution de ces deux tâches (les autres étant automatisées ou semi-automatisée) et de l'intervalle qui sépare deux nappes successives . Ce dernier facteur étant primordial pour le pilotage du four et la qualité du traitement, a également été mesuré

I.3.3. RESULTATS

Pour une exploitation plus aisée, les résultats sont présentés sous quatre formes :

- tableau quantitatif : en nombre de mesures par grandeur
- diagramme relatif : en pourcentage du nombre total de mesure (150) par grandeur
- graphe des fréquences cumulées
- graphe des moyennes relatives par rapport à la moyenne réelle et en fonction de l'heure.

I.4 RESULTATS

I.4.1. TEMPS D'ETALEMENT DES NAPPES

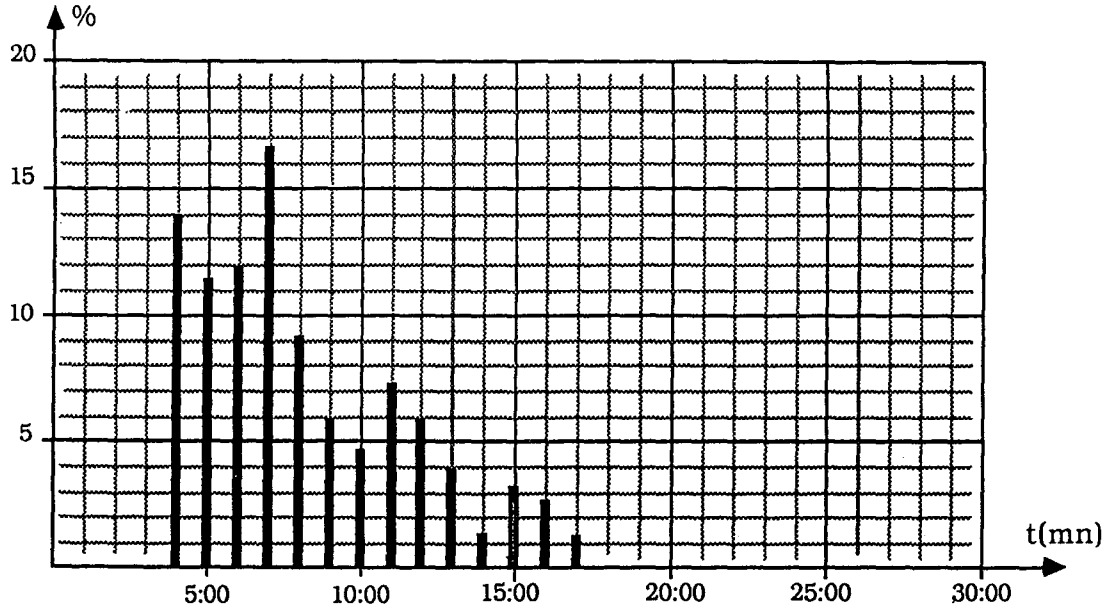
Temps relevé (mn)	nombre de mesures	fréquences cumulées (%)
4:00	21	14
5:00	17	25,33
6:00	18	37,33
7:00	25	54
8:00	14	63,33
9:00	9	69,33
10:00	7	74
11:00	11	81,33
12:00	9	87,33
13:00	6	91,33
14:00	2	92,67
15:00	5	96
16:00	4	98,67
18:00	2	100

150 mesures

moyenne : 7:46

écart type : 4:16

Les résultats des chronométrages d'étalement des nappes



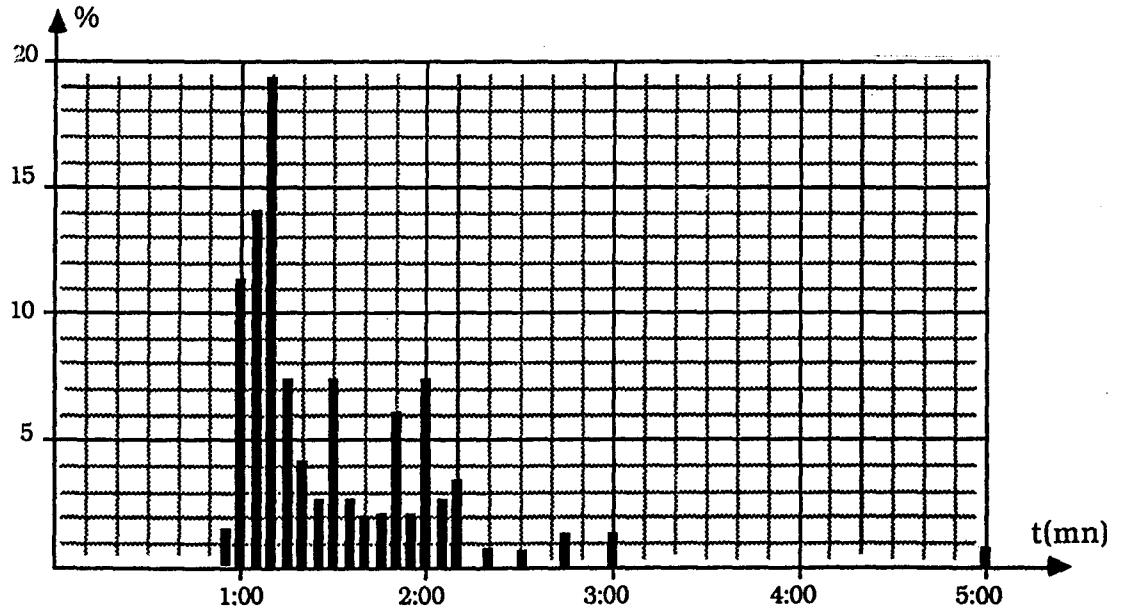
I.4.2. TEMPS DE CERCLAGE DES NAPPES CONSTITUEES

Temps relevé (mn)	nombre de mesures	fréquences cumulées (%)			
0:55	2	1,3	1:50	9	80
1:00	17	12,7	1:55	3	82
1:05	21	26,7	2:00	11	89,3
1:10	29	46	2:05	4	92
1:15	11	53,3	2:10	5	95,33
1:20	6	57,3	2:20	1	96
1:25	4	60	2:30	1	96,66
1:30	11	67,3	2:45	2	98
1:35	4	70	3:00	2	99,33
1:40	3	72	5:00	1	100
1:45	3	74			

150 mesures

moyenne : 1:28

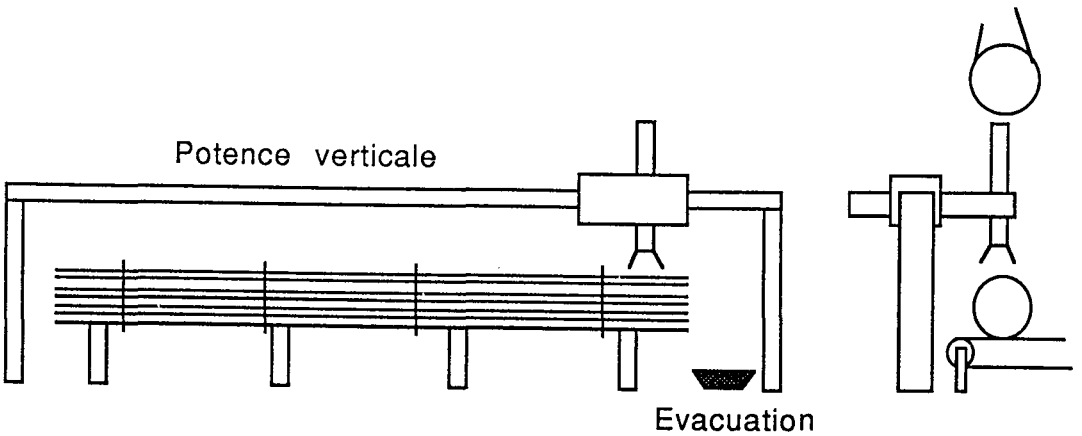
écart type : 0:32



L'étude du déligaturage

1.Schéma de principe :

Situation de la potence avec pince et cisaille télémanimulées



2. Cycle de fonctionnement

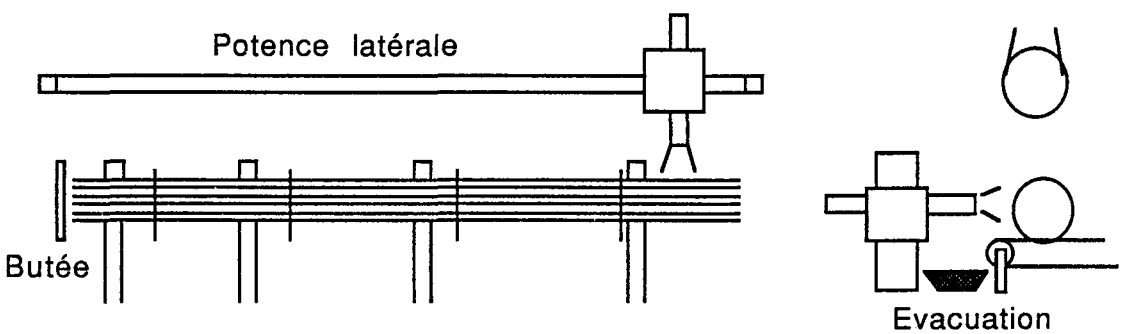
Le pont roulant dépose le fardeau sur la table à chaînes et le positionne contre la butée.

L'opérateur approche la tête de travail avec la pince et la cisaille ouverte, du premier lien de ligature (mouvement vertical, transversal et longitudinal).

Il commande la fermeture de la pince puis la coupure du lien.

Après cisaillement du lien, l'opérateur recule la pince et lâche le lien au-dessus de l'évacuateur.

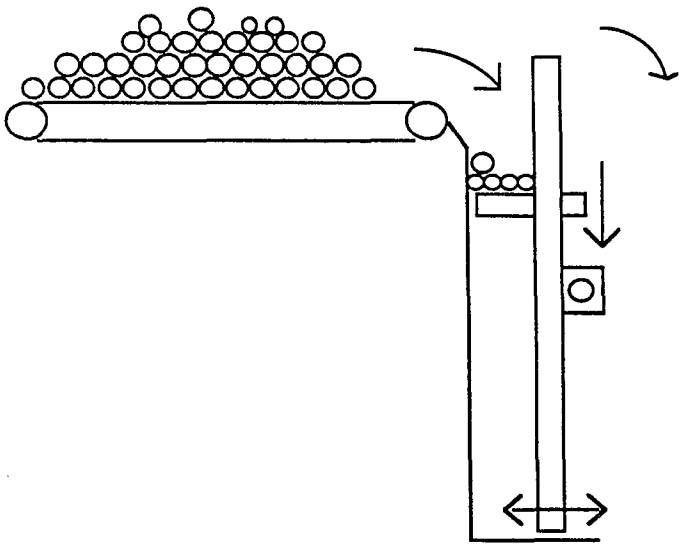
Il déplace la tête vers le second lien et recommence les opérations, ainsi de suite, jusqu'au dernier lien.



La solution pour le formeur de nappe

FORMEUR VERTICAL

1. Schéma de principe



2. Cycle de fonctionnement

Le fardeau déligaturé est amené par une table à chaînes T vers une goulotte G de remplissage du formeur en position verticale.

Les barres sont déversées dans la goulotte dont la largeur est déterminées par l'épaisseur de la nappe à constituer.

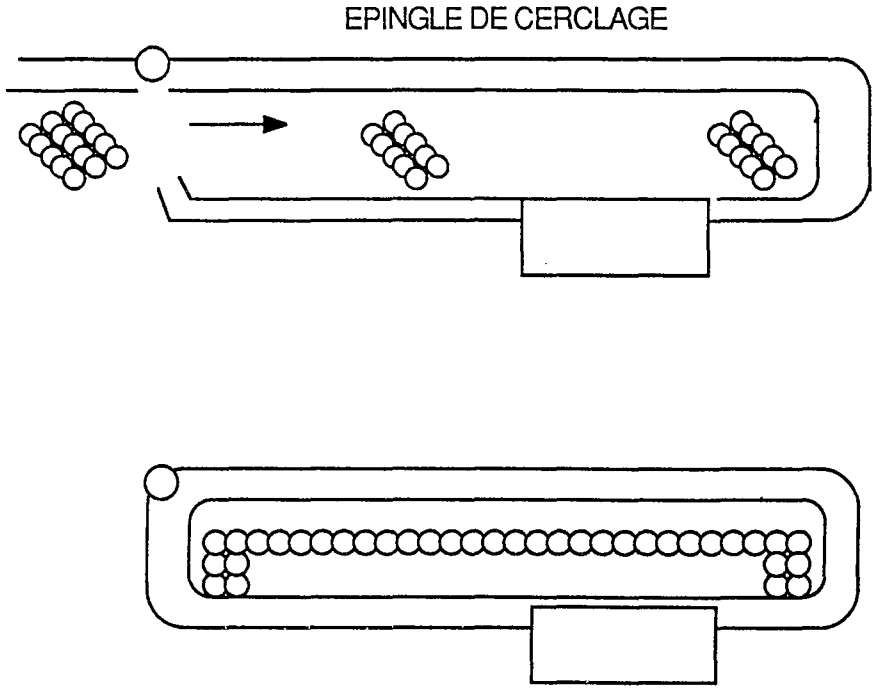
Les butées B descendent au fur et à mesure de l'introduction des barres pour une largeur de nappe déeterminée.

Le cerclage est effectué lot par lot (voir fonctionnement du système de cerclage). La nappe étant constitué, le formeur pivote autour de l'axe A.

La nappe est évacuée par des rouleaux R vers l'aire de chargement des fours.

Le système de cerclage

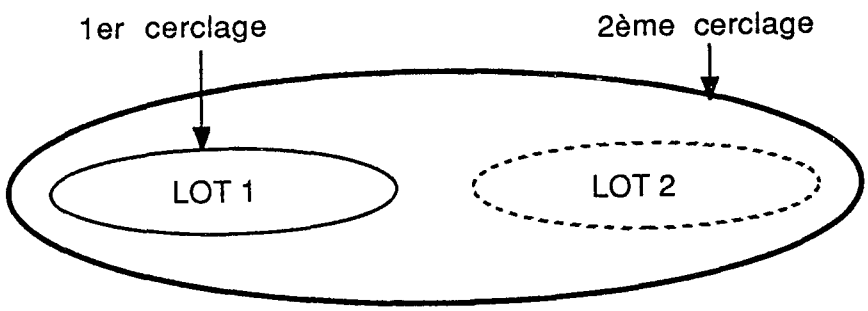
1. Schéma de principe.



2. Cycle de fonctionnement.

La nappe constituée horizontalement ou verticalement, est cerclée en 2, 3 ou 4 points suivant sa longueur par un feuillard mis en place pour les épingles de cerclage.

Lors de la constitution d'une nappe comportant 2 lots de barres différents, un premier cerclage est effectué (lot 1), puis le second maintient la nappe (lot 1 + lot 2).

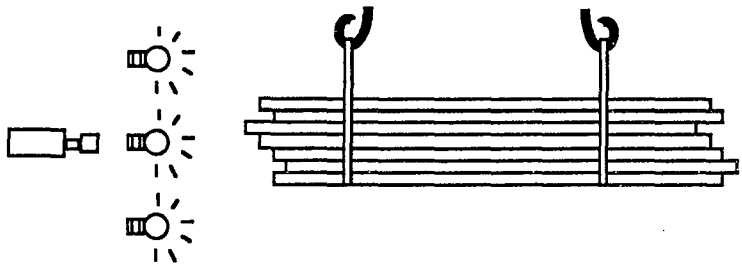


L'étude du comptage

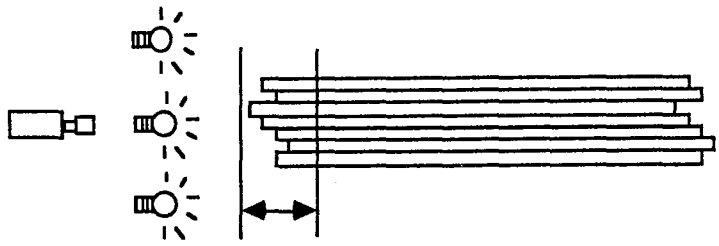
V.1 COMPTAGE PAR SYSTEME DE VISION

OBJECTIF : Comptage automatique, à partir d'une observation vidéo, du nombre de barres contenues dans un fardeau ligaturé . Le diamètre des barres est constant dans un fardeau et peut varier de 20 à 80 mm d'un paquet à l'autre.

CONDITION DE PRISE DE VUE : L'observation se fera en bout de paquet et parallèlement à la longueur. Afin d'éviter les problèmes d'ombres portées qui déforment les surfaces observées, l'éclairage sera constitué de plusieurs sources puissantes (halogènes). Ces surfaces devront présenter un aspect homogène et très contrasté; pour cela, elles seront peintes en jaune par un système diffusant un nuage de peinture . Le fardeau devra avoir un contour convexe, afin de ne pas déformer les barres à la prise de vue.



vue de côté



vue de dessus

Le traitement de l'image et la conclusion

TRAITEMENT :

- Digitalisation : la numérisation de l'image au format 512 x 512 x 256 constitue un échantillonnage optimal.

- Algorithmes : plusieurs algorithmes ont été testés, donnant des résultats variables par rapport au temps de calcul et à l'erreur de comptage et ceci en fonction du diamètre des barres. Nous avons retenu un algorithme de type morphologique . Celui-ci utilise un élément structurant représentant une section de barre d'un diamètre donné. Nous recherchons dans l'image la plus forte corrélation (pondérée) en surface entre l'élément structurant et une portion de l'image. L'analyse s'effectue en se déplaçant ligne à ligne et en supprimant la surface détectée. Le comptage d'une barre se fait pour un maximum local de la corrélation. Le calcul s'opère en deux passes sur l'image. A la deuxième passe, la pondération sur la corrélation est moins importante afin de compter les barres déformées par la connexité ou par une ombre . Cet algorithme donne des résultats satisfaisants au niveau de l'erreur pour tout diamètre mais devient très lent pour des diamètres supérieurs à 30 mm. Pour pallier ce problème, un sur-échantillonage fonction du diamètre permettra d'obtenir une image plus petite, donc plus rapide à traiter.

- Calculateur : Sur un calculateur type 386 à 20 Mhz nous obtenons un temps d'exécution de l'ordre de 5mn. Avec optimisation de l'algorithme et implantation sur carte CPU rapide, la solution entièrement "logicielle" est envisageable avec un temps d'exécution inférieur à 1mn.

- Statistique : Pour valider complètement l'étude il est indispensable d'effectuer une campagne de mesures comportant plusieurs échantillons pour tous les diamètres. Cette campagne sera utilisée pour déterminer les tailles optimales des éléments structurants.

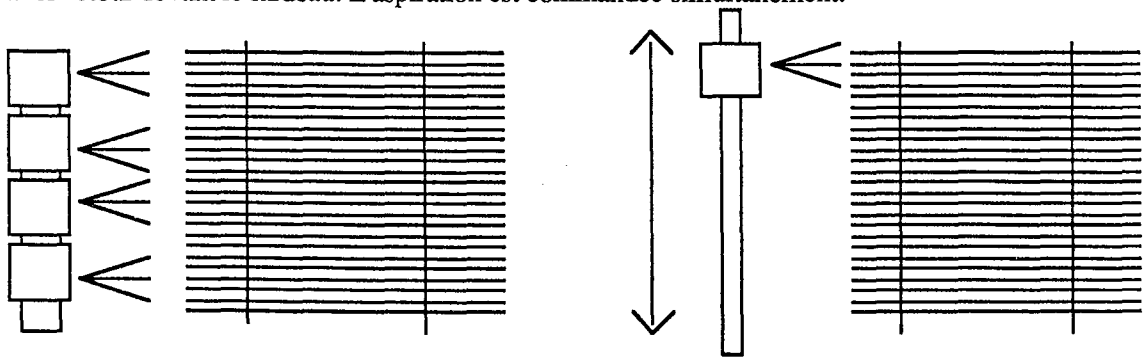
CONCLUSION : L'étude montre que le problème est soluble avec un logiciel implanté sur un calculateur, type industriel, rapide . La campagne de mesure, l'optimisation de l'algorithme et son implantation demandent 4 mois de réalisation . Le coût du matériel (Carte CPU standard VME + mémoire + console + carte d'acquisition d'image + caméra) et du développement (Logiciel + implantation + campagne de mesures) s'élèverait à 200 000 F.

La mise en peinture

V.2 MISE EN PEINTURE DES BOUTS DE BARRE

1er système : le fardeau n'est pas déligaturé.

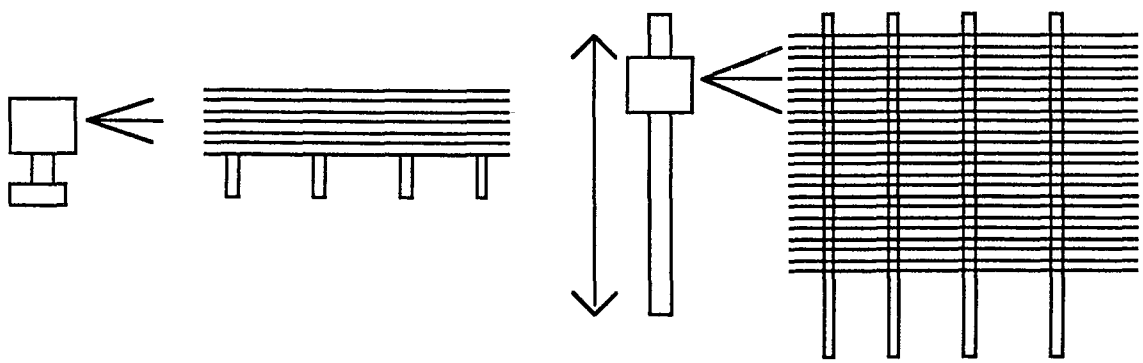
Pendant que l'opérateur coupe les liens, quatre pistolets de peinture effectuent un aller-retour devant le fardeau. L'aspiration est commandée simultanément.



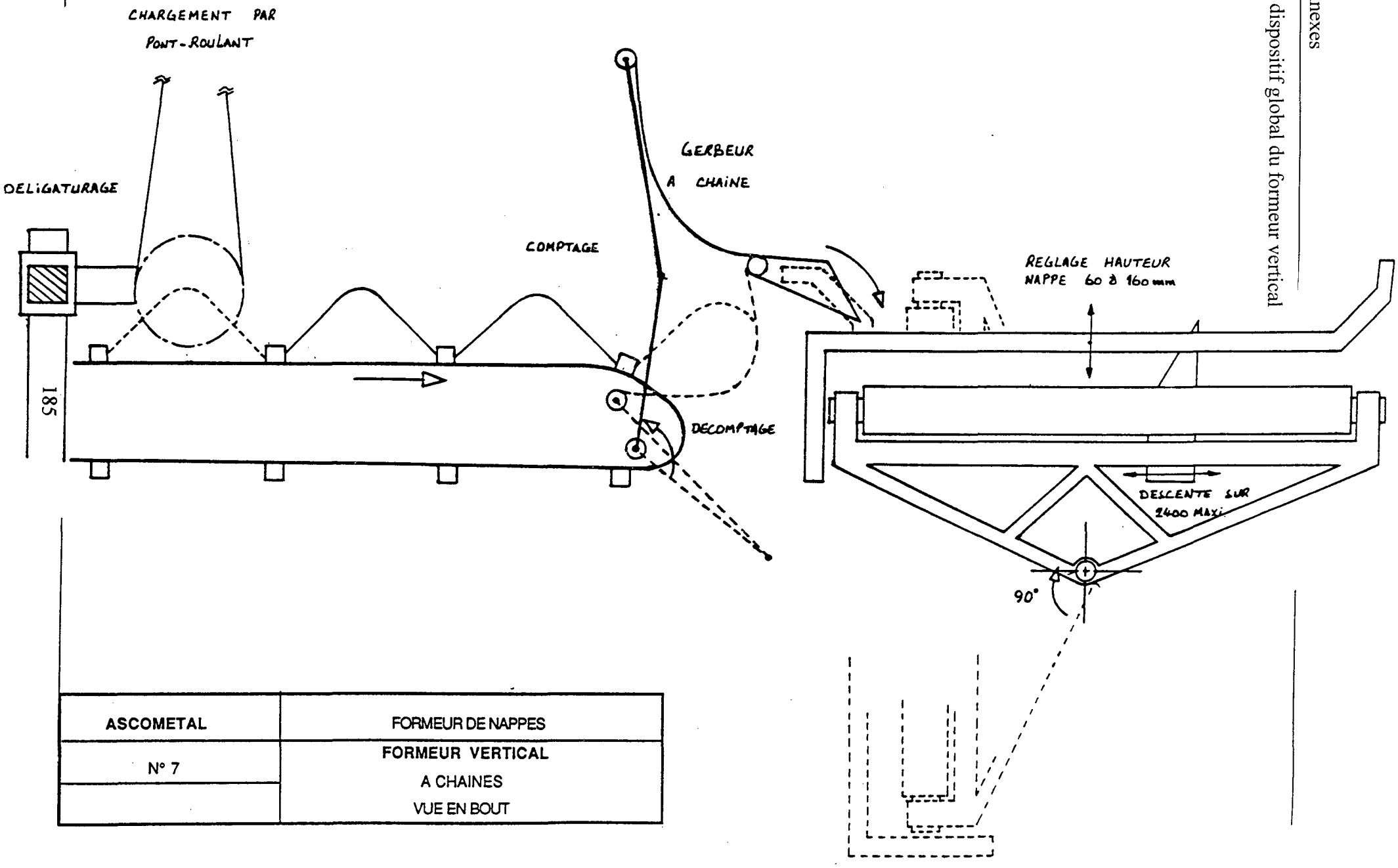
2ème système : le fardeau est déligaturé auparavant.

Après déligaturage, le fardeau partiellement étalé est positionné devant 2 pistolets de peinture superposés.

La mise en peinture est réalisée par un aller-retour des 2 pistolets.



Le dispositif global du formeur vertical



ASCOMETAL	FORMEUR DE NAPPES
N° 7	FORMEUR VERTICAL A CHAINES VUE EN BOUT

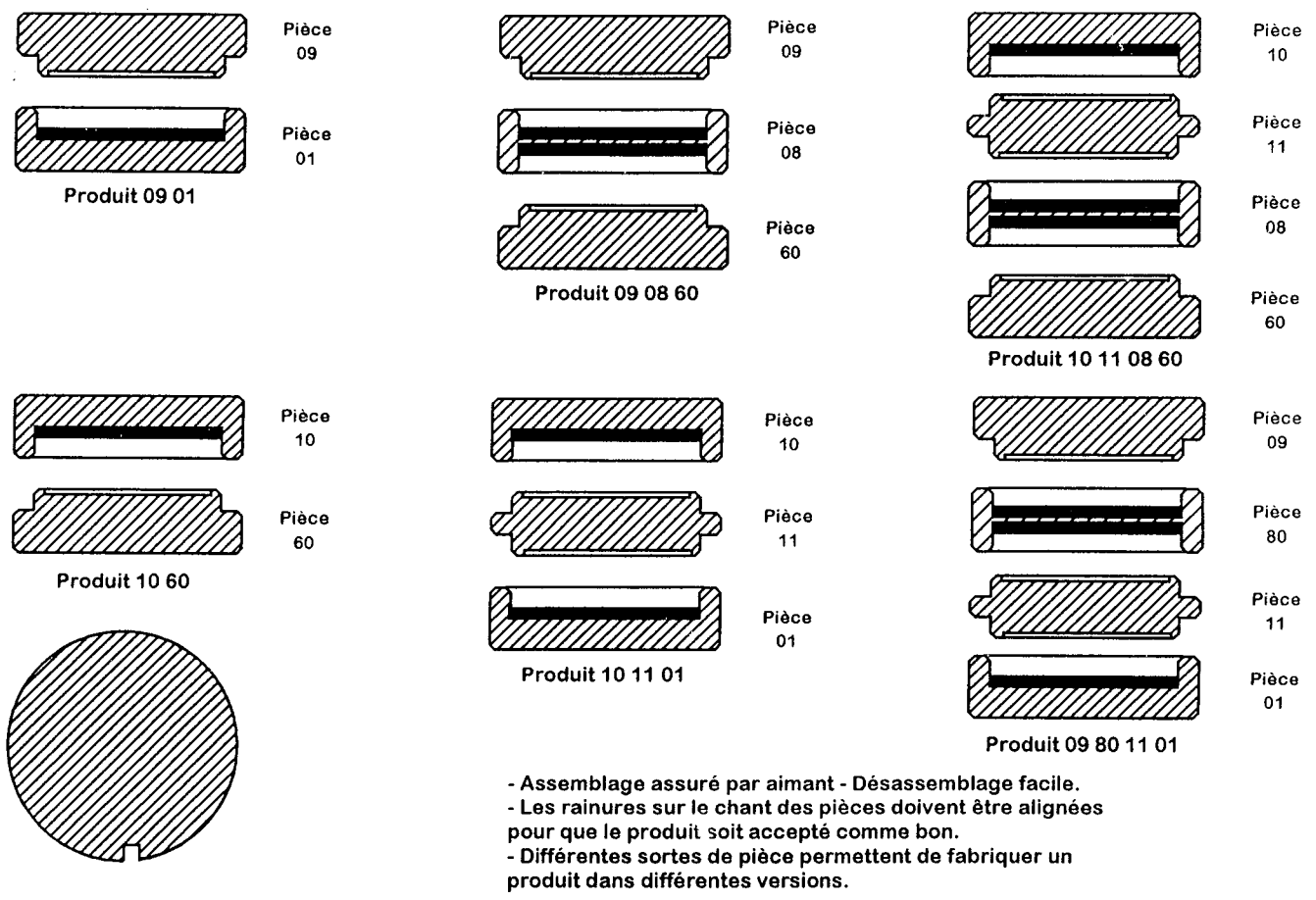
Le système SFP

Le système permet l'assemblage de différentes pièces possibles sur les postes 1 à 4 constituant 6 produits différents.

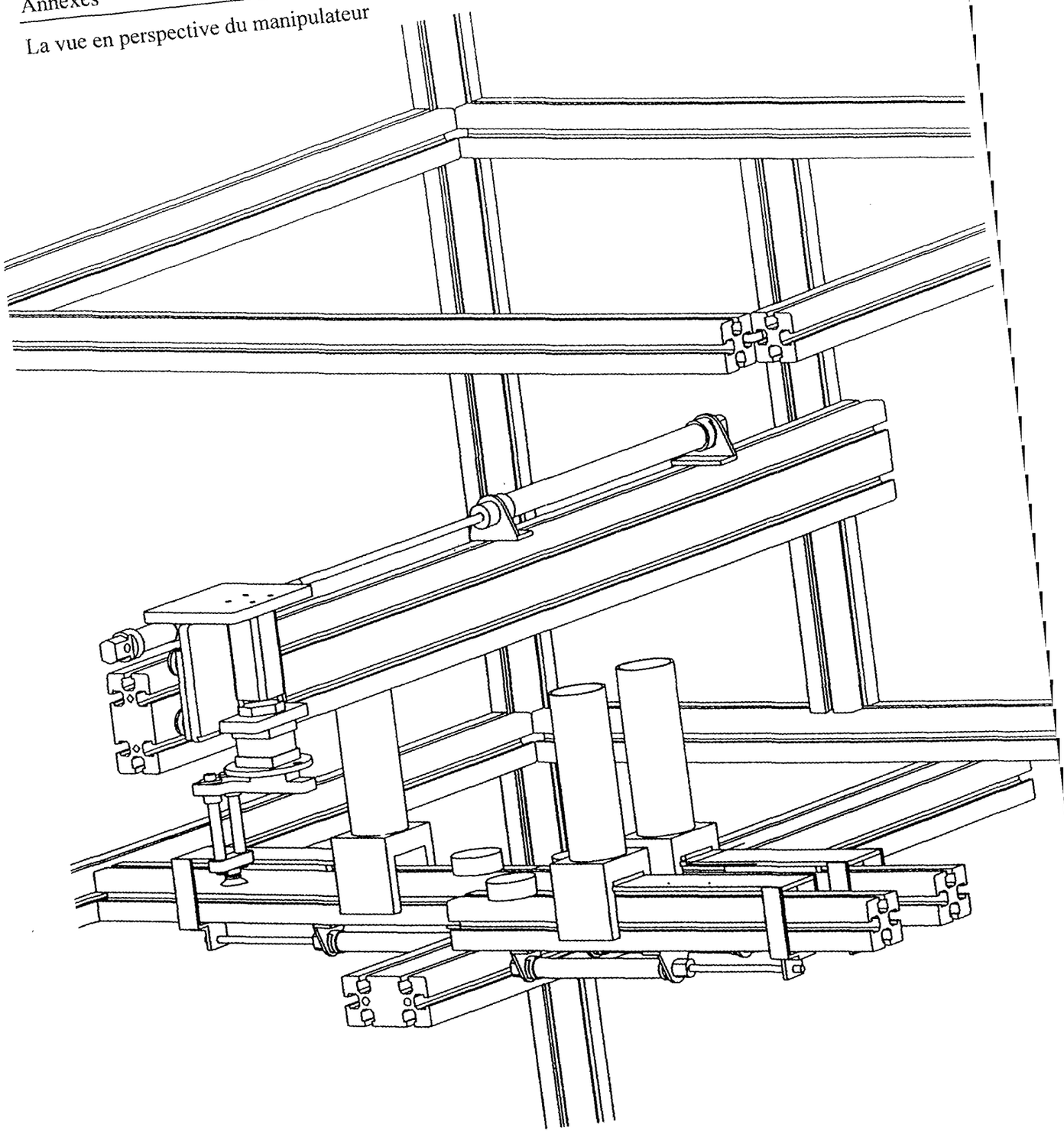
Les pièces entrant dans les capacités des différents sous-ensemble sont représentées ci-dessous.

L'assemblage se fait par magnétisme entre les plaques représentées en noir des pièces 01, 10 et 08, qui sont des aimants et les zones claires des pièces 09, 60 et 11 qui sont des plaques d'acier galvanisé.

Chaque pièce est muni d'une rainure qui permet sur le poste d'orientation de qualifier l'assemblage.



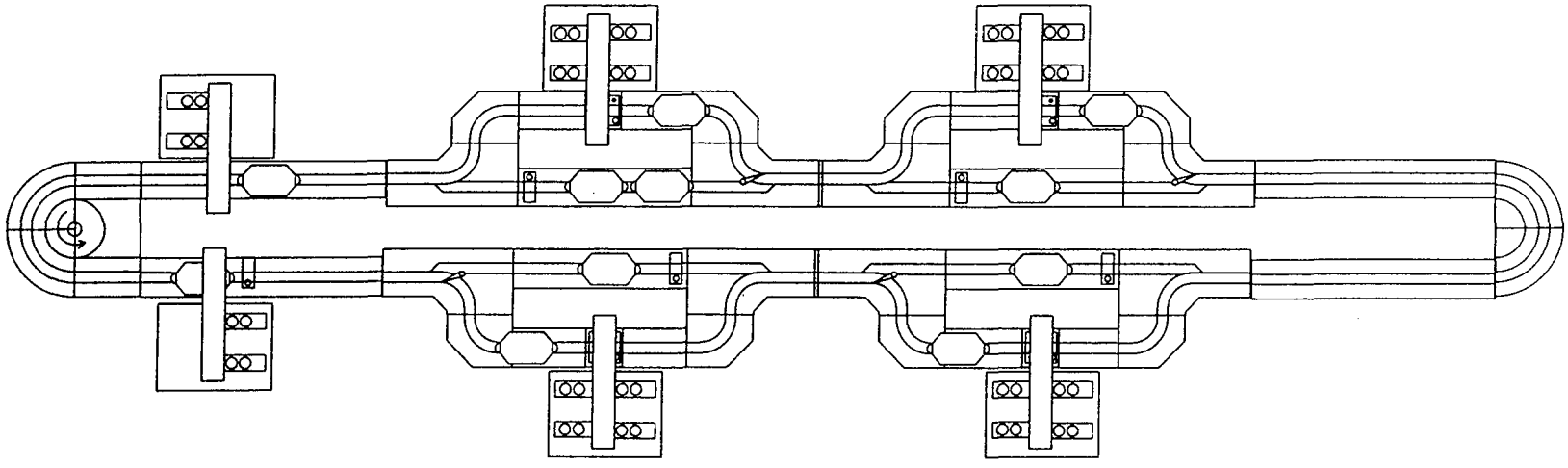
La vue en perspective du manipulateur



POST_5
Contrôle Qualité
et
Déchargement

POST_ 4
Poste de Travail

POST_3
Poste de Travail



POST_0
Chargement
et
Pilotage

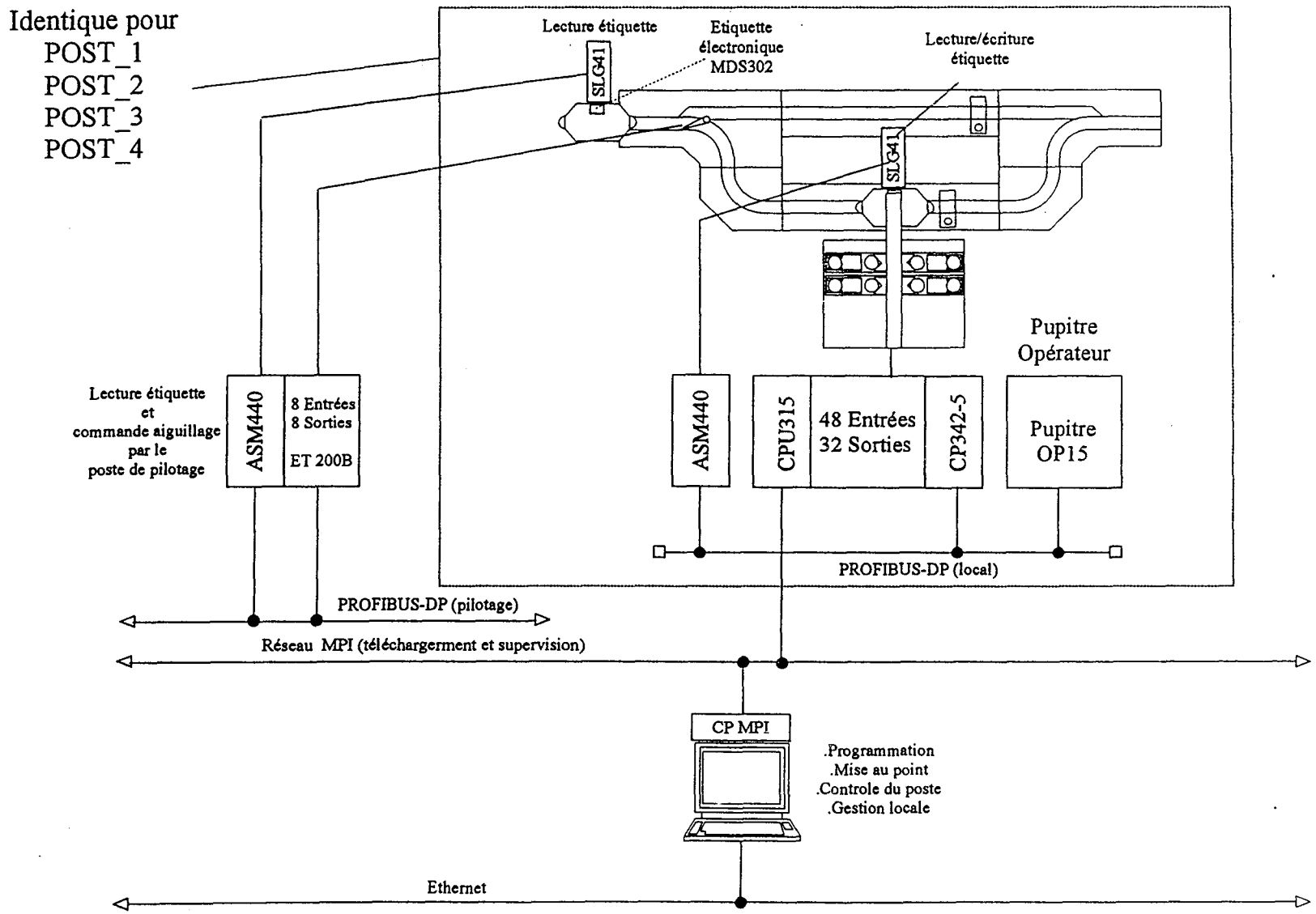
POST_1
Poste de Travail

POST_2
Poste de Travail

S.F.P.

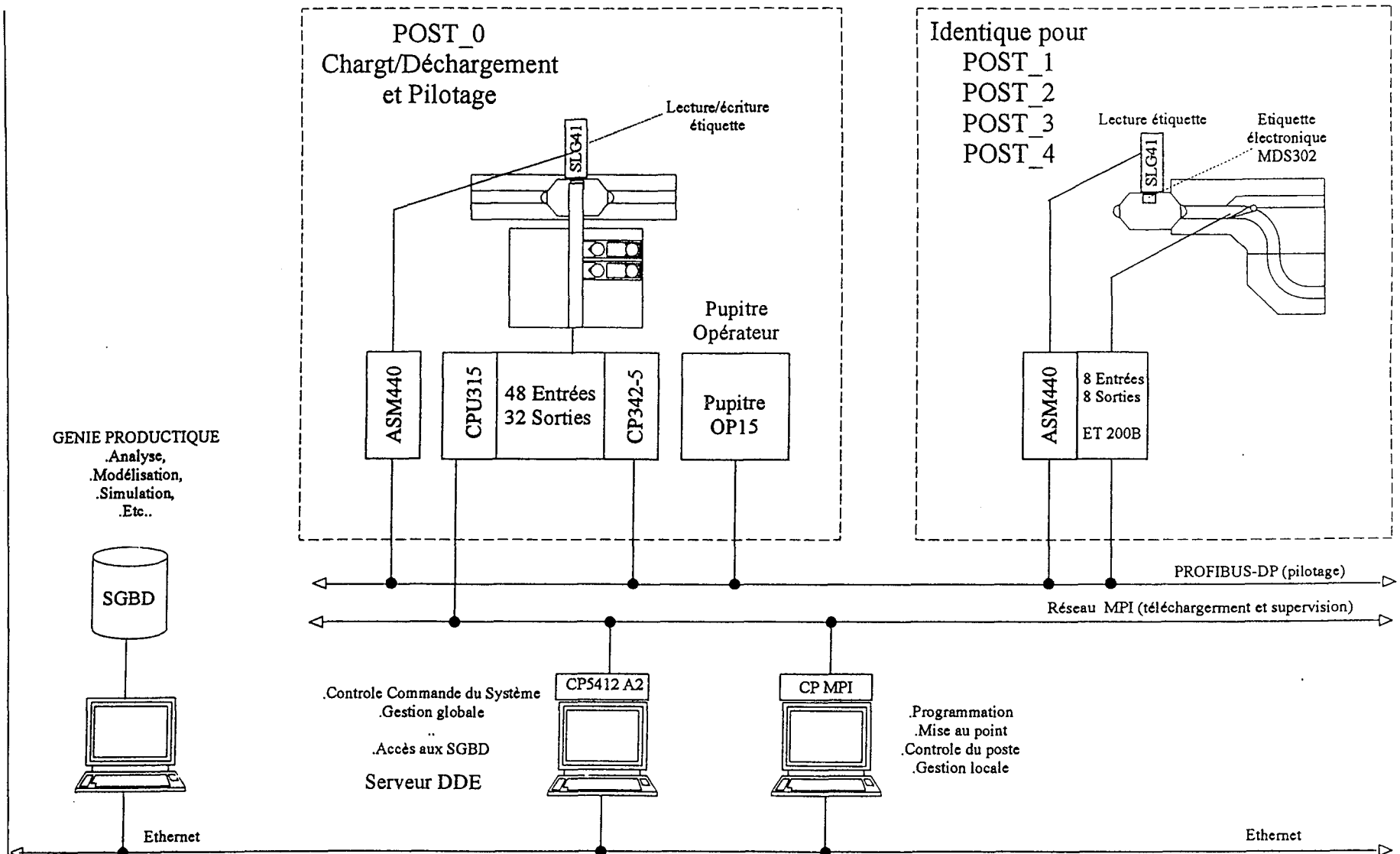
SYSTEME FLEXIBLE DE PRODUCTION (S.F.P.)

SFP/archi1.drw 31 oct 96



S.F.P. COMMANDE d'un POSTE de TRAVAIL

SFP/archi1.drw 17 sept 96



S.F.P. PILOTAGE du SYSTEME et COMMANDE du POST_0

SFP/archi1.drw 17 sept 96

La présentation de la gestion de configuration et de données techniques

Un document nommé PGM permet de présenter en 16 pages les éléments qui ont conduit au paramétrage de l'application SFP sur le logiciel Win PDM de LASCOM Technologies. Cette présentation est axée sur la conception d'un système de fabrication se réalisant **sans** phase de préconception ou **étude de faisabilité**.

Page 192 - En partant des besoins, le client et les concepteurs établissent un cahier des charges permettant l'analyse fonctionnelle du système puis de démarrer l'étude du système. Une base de fonction est utilisée ou constituée. La vue étude est créée sous la forme d'une décomposition arborescente de fonctions.

Page 193 - La base de fonction fournie des fonctions standards utilisées antérieurement. Des fonctions spécifiques sont créées et archivées dans la base.

Page 194 - Ces fonctions renseignent le cahier des charges et les documents techniques sont gérer par le logiciel.

Page 195 - Au fur et à mesure de l'étude, la définition des matériels et des logiciels est possible et la vue définition est créée avec une vue transversale où une **fonction est réalisée au moins par un matériel (1,n)** et éventuellement par un logiciel (0,n). Des bases de données comportant des matériels et des logiciels sont utilisées. Les bases contiennent des composants ou des assemblages de composants.

Page 196 - Plusieurs matériels peuvent convenir pour réaliser une fonction, un choix est nécessaire.

Page 197 - Des composants matériel et logiciel standards sont utilisés.(Composants commercialisés)

Page 198 - Lorsque les composants n'existent pas, il faut les étudier et les réaliser, nous les appelons composants spécifiques.

Page 199 - Les composants standards ou spécifiques sont assemblés et archivés dans les bases.

Page 200 - En parallèle à la conception physique, la conception de de la commande est abordée.

Page 201 - Une vue transversale "**Commande**" est construite.

Page 202 - A partir de la définition, le matériel est installé et donne naissance à la vue "**réalisation**".

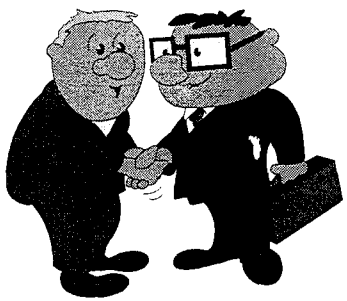
Page 203 - La documentation est générée dans les vues, les études, les réalisations et l'exploitation. Les documents sont rattachés dans l'arborescence et accessibles par Win PDM.

Page 204 - Les objets créés sont gérés et réutilisable par la suite.

Page 205 - La **traçabilité de la conception** est faite par le paramétrage dans Win PDM et permet :

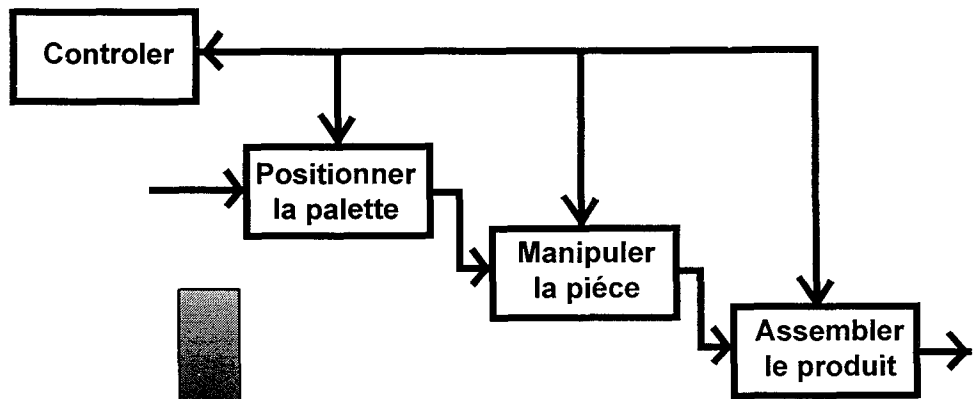
Page 206 - la **recherche d'objets** et **l'impact** des objets,

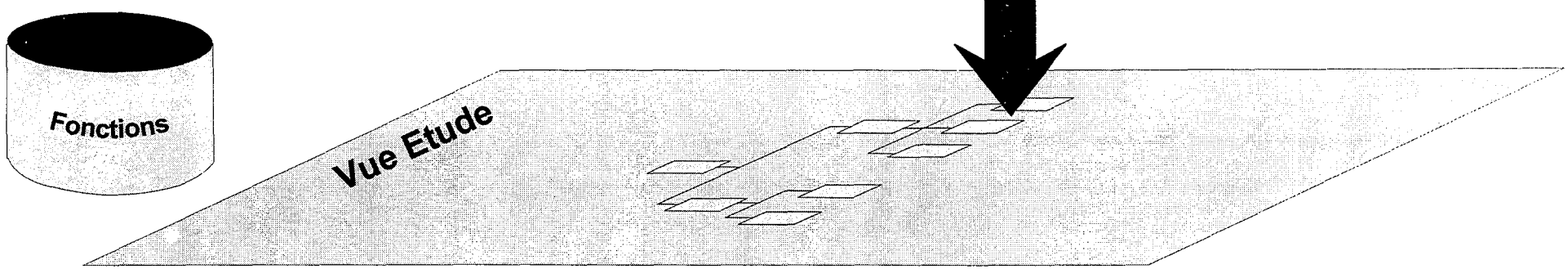
Page 207 - la **comparaison** d'objets.



A partir des besoins exprimés par l'utilisateur...

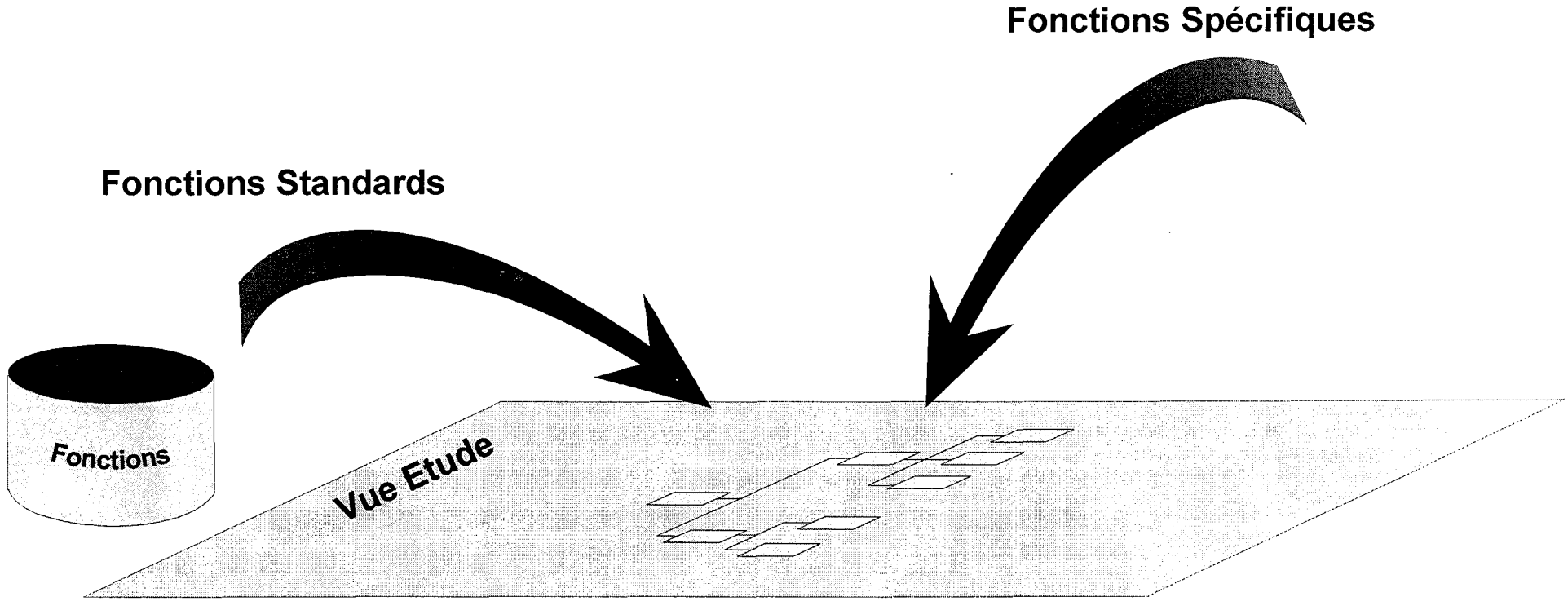
...le concepteur définit des fonctions (activités) qui traduisent le fonctionnement du process.
Il peut s'aider d'outils d'analyse (SADT, FAST, ..)



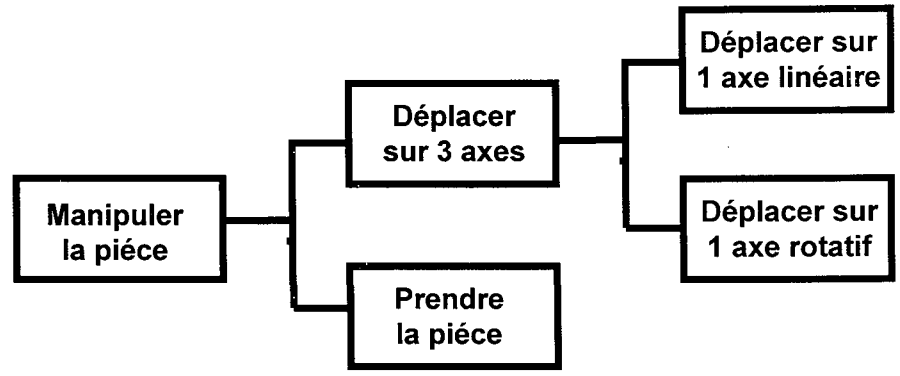


Si certaines fonctions ont déja été étudiées dans un autre projet, on importe tout le savoir-faire...

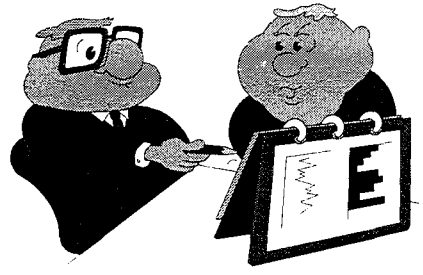
... sinon, on étudie les fonctions spécifiques à ce projet.



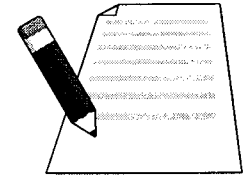
Ces fonctions sont affinées, modifiées, acceptées par les différents acteurs



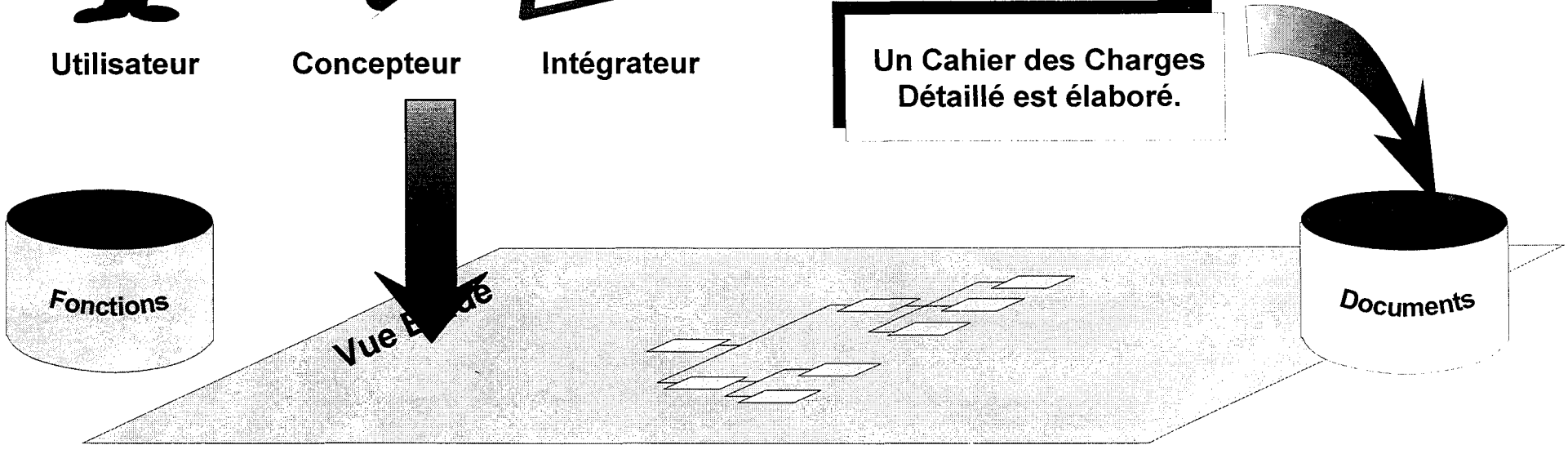
Utilisateur



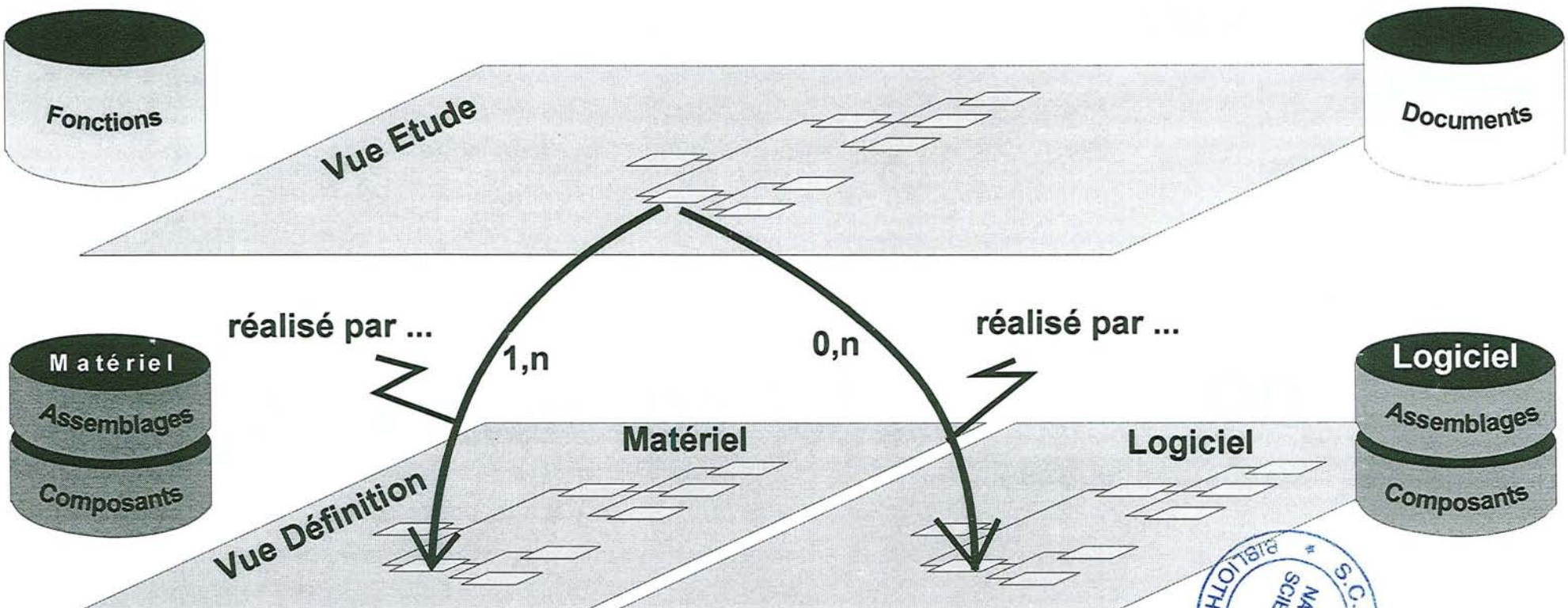
Concepteur Intégrateur



Un Cahier des Charges Détaillé est élaboré.



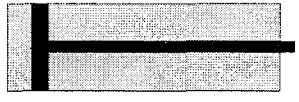
La mise en oeuvre matérielle de ces fonctions et leur commande se fait dans la "Vue de Définition"



S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

Des choix technologiques et d'implémentation sont faits pour réaliser les fonctions

Déplacer sur 1 axe linéaire ?

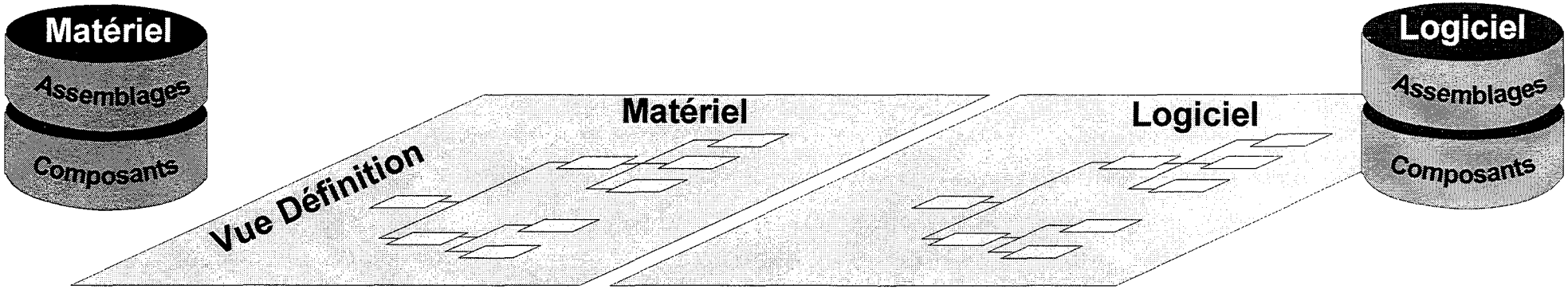


OU

Asservissement vitesse/position

OU

Commande tout ou rien



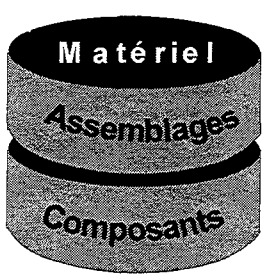
Au fur et à mesure que des choix sont faits, la définition du matériel s'affine...

Caractéristiques

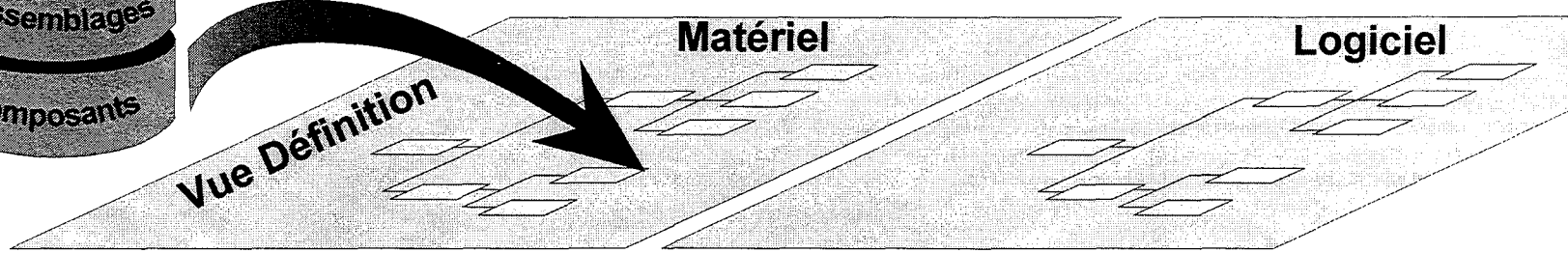
Constructeur

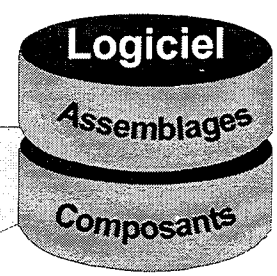
Référence

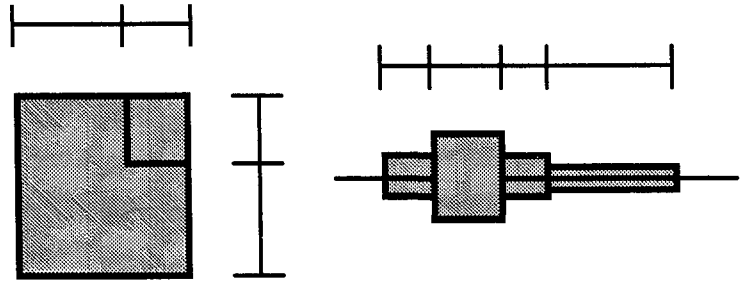
... pour aboutir à des choix de composants disponibles chez un fabricant...



Composants Standards







... ou à la conception et réalisation de piéces spécifiques au projet.

Caractéristiques

plan

réalisation

Composants Spécifiques

Matériel

Assemblages

Composants

Logiciel

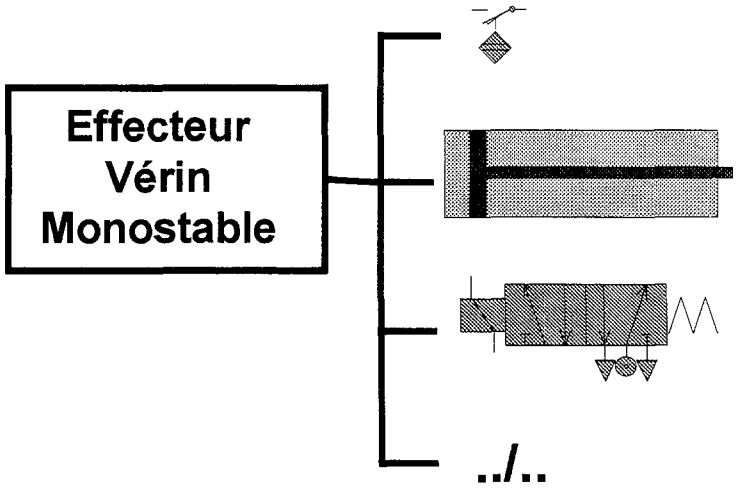
Assemblages

Composants

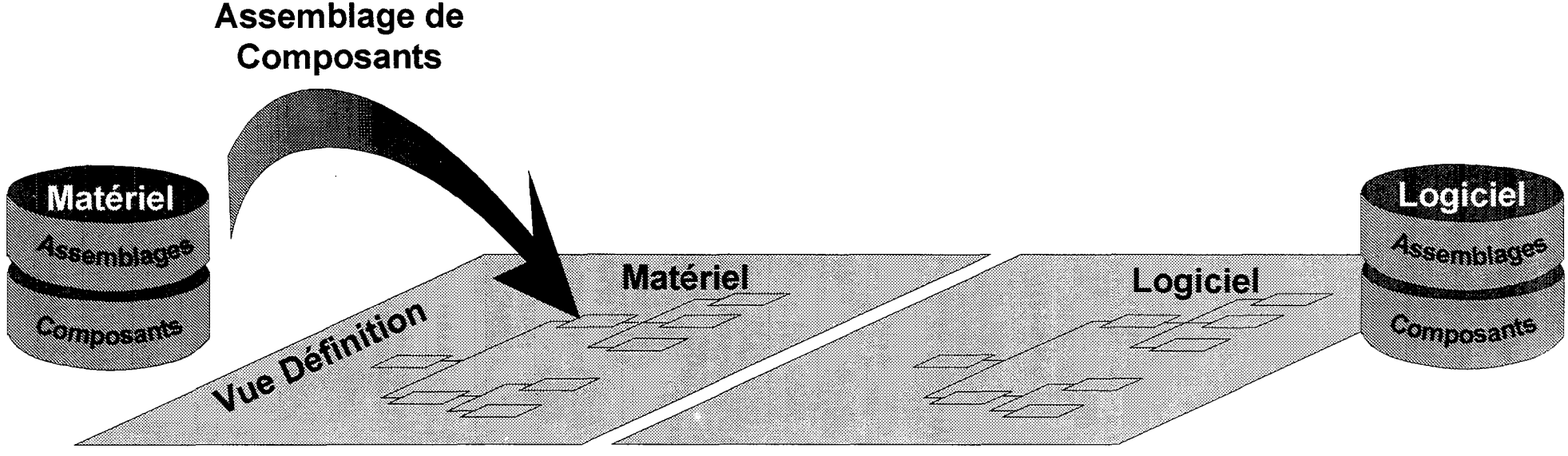
Vue Définition

Matériel

Logiciel



L'assemblage de composants permet d'obtenir un objet répondant aux spécifications mécaniques du cahier des charges.



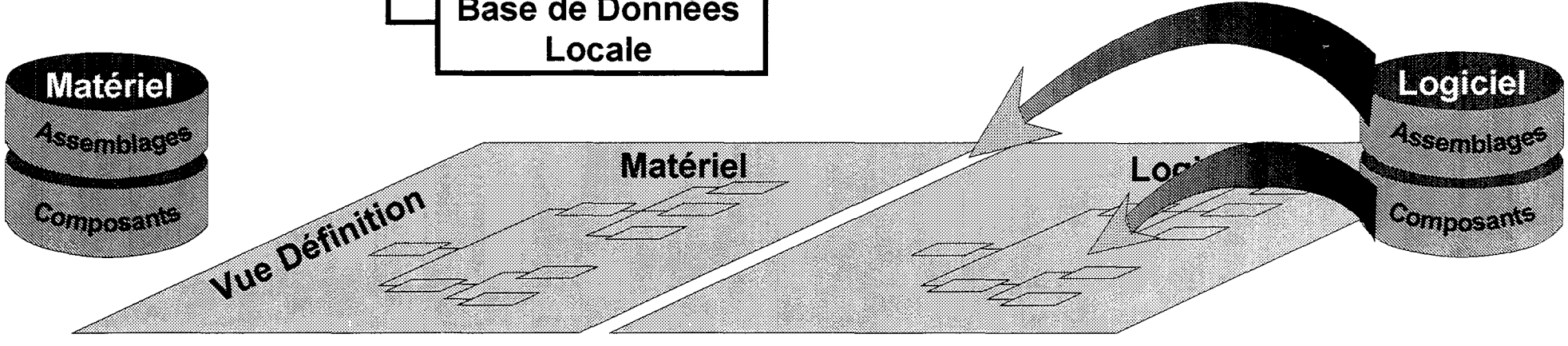
Parallèlement aux choix technologiques, la commande de l'objet est définie ...

Commande Effecteur Vérin Monostable

- **Modéle vérin**
- **Communication**
- **Position de la tige**
- **Préactionneur**
- **Base de Données Locale**

... en utilisant un modéle standard en bibliothéque ...

... ou en étudiant un modéle spécifique dont les fonctionnalités sont clairement définies.



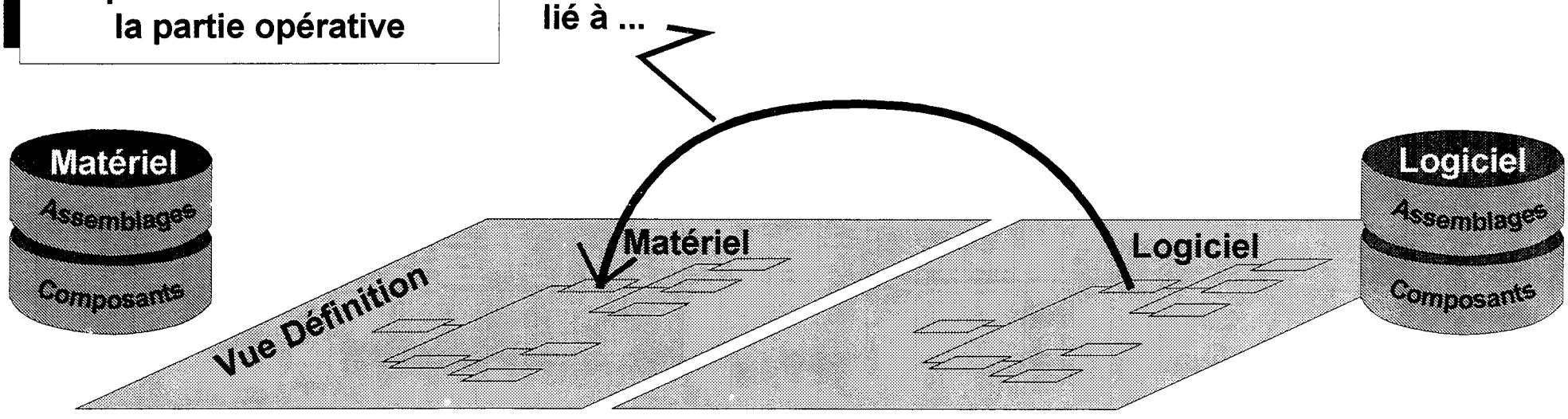
L'ensemble matériel et logiciel doit satisfaire les différents utilisateurs du systéme.

Controle Commande

Maintenance

Gestion Technique

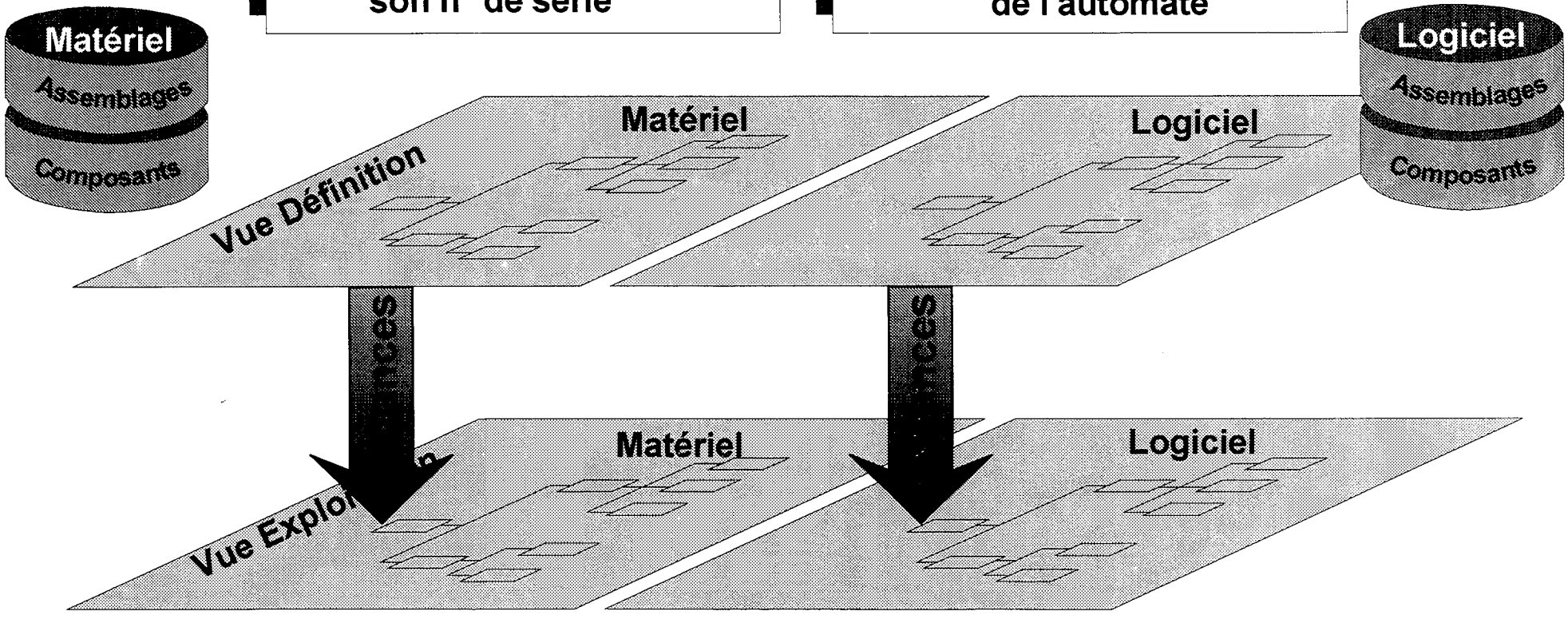
Un lien permet d'associer la partie commande à la partie opérative



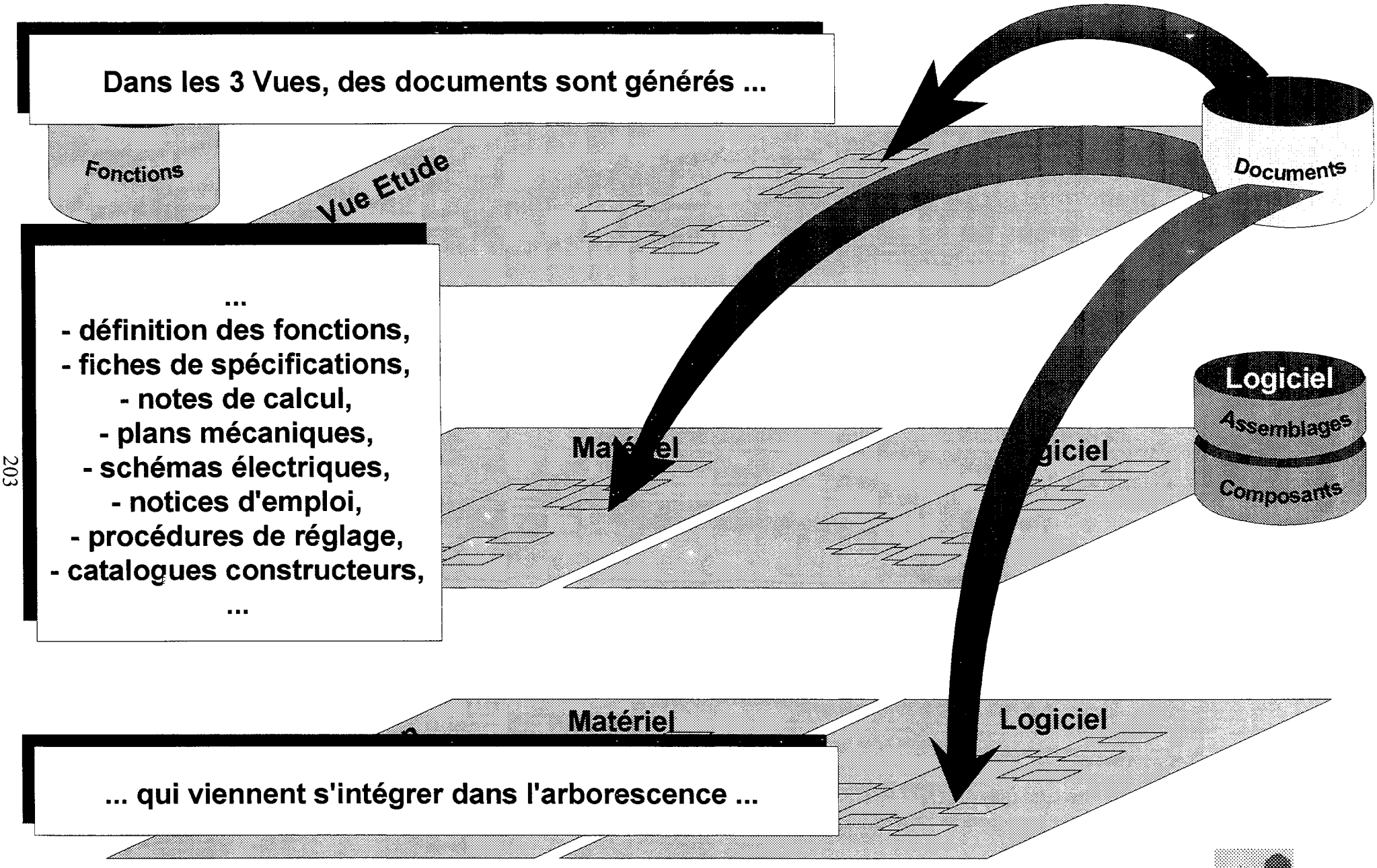
La "Vue Exploitation" correspond au matériel et au logiciel réellement installés

L' individualisation d'un composant ou d'un ensemble se fait par son n° de série

Ici, on définit que le mnémonique "FCGXR" est connecté à l'entrée "I 2.3" de l'automate



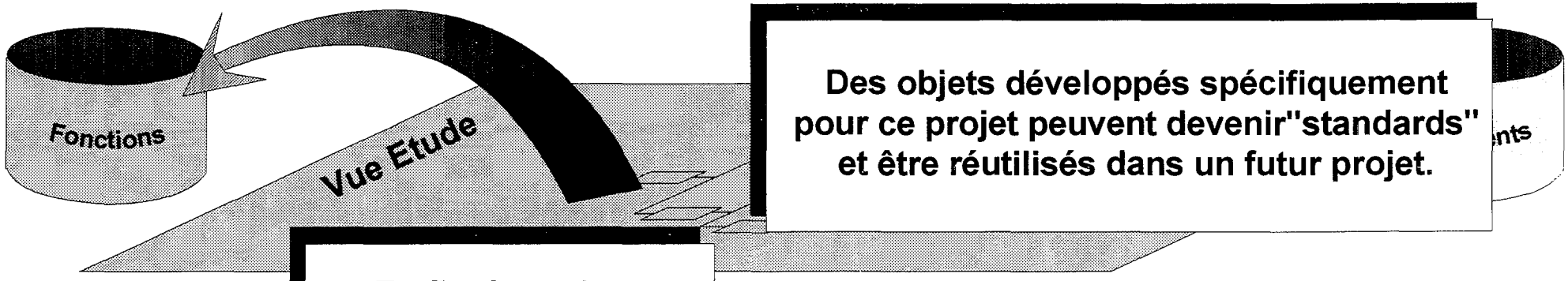
Dans les 3 Vues, des documents sont générés ...



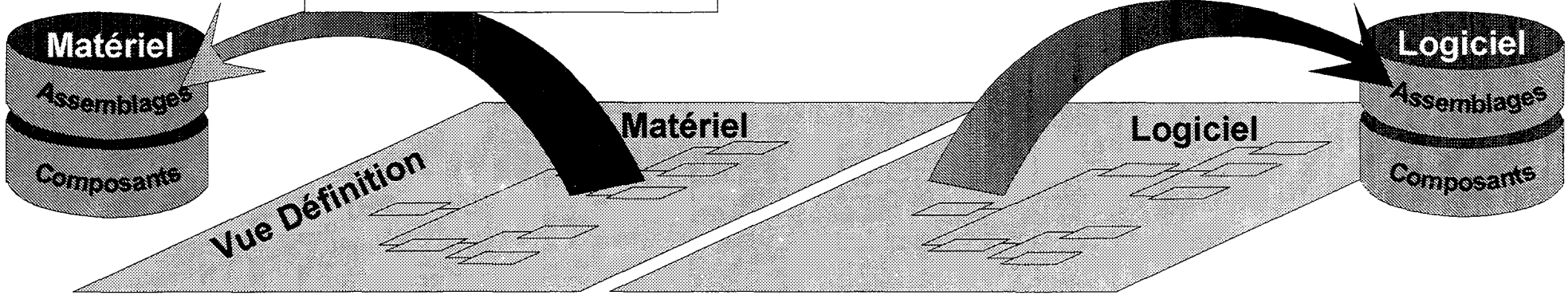
...
- définition des fonctions,
- fiches de spécifications,
- notes de calcul,
- plans mécaniques,
- schémas électriques,
- notices d'emploi,
- procédures de réglage,
- catalogues constructeurs,

...

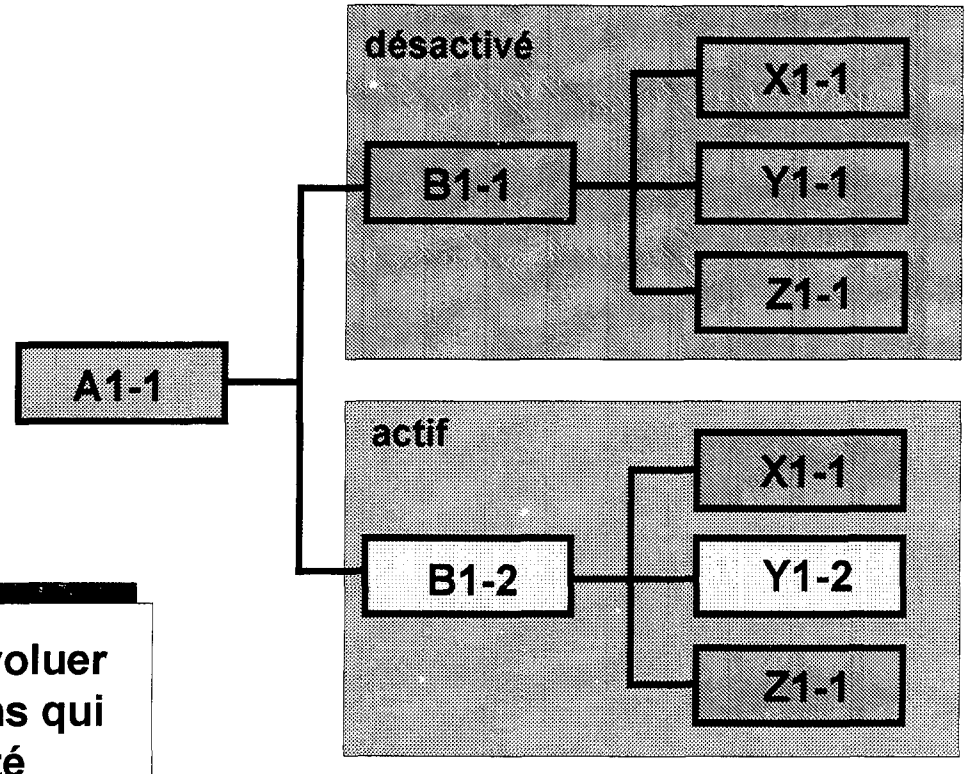
... qui viennent s'intégrer dans l'arborescence ...



En fin de projet...



Tout au long du cycle de vie...



début / fin validité
début / fin application
crée par ..
désactivité par modif n° ..

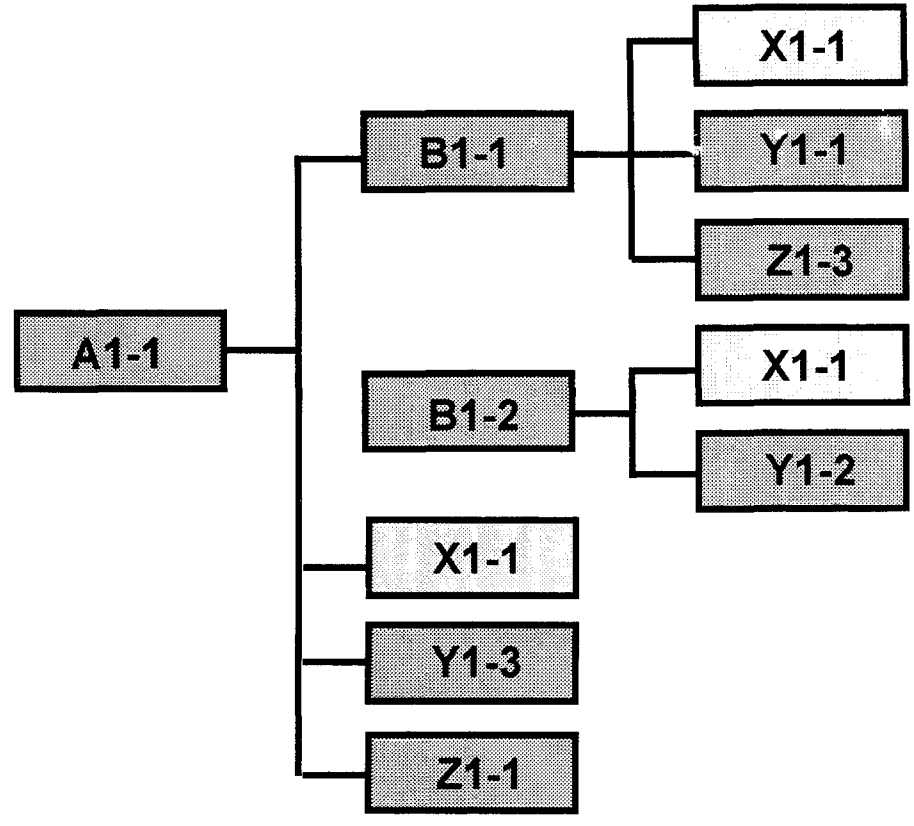
début / fin validité
début / fin application
crée par modif n° ..

La configuration pourra évoluer en créant des modifications qui assureront la traçabilité et l'historique

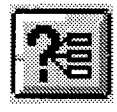
l'attribut " indice " permet de créer une nouvelle arborescence

Tout au long du cycle de vie...

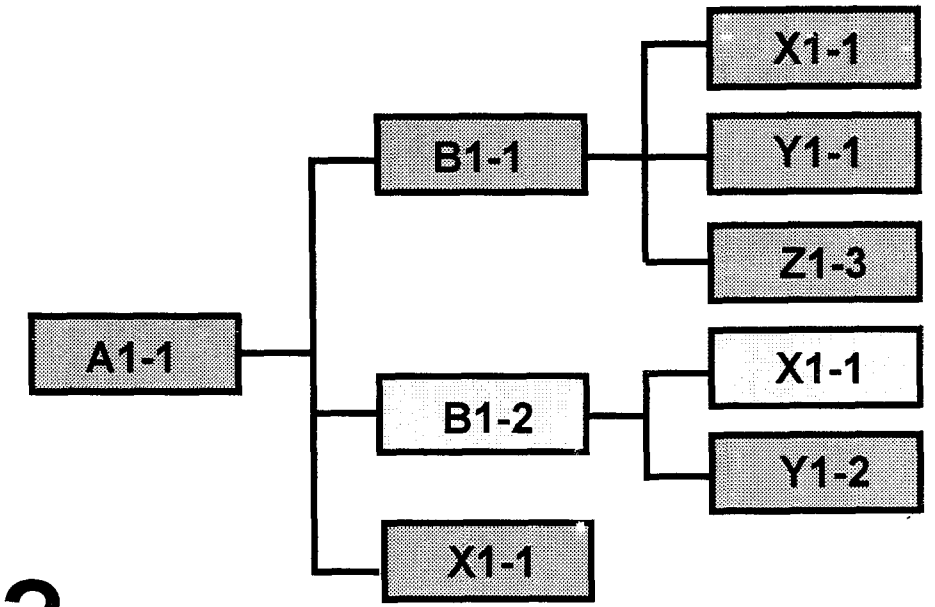
X1-1 ?



L'outil de recherche de " Cas d'emploi " permet de retrouver où est utilisé un objet.

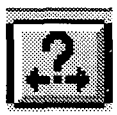


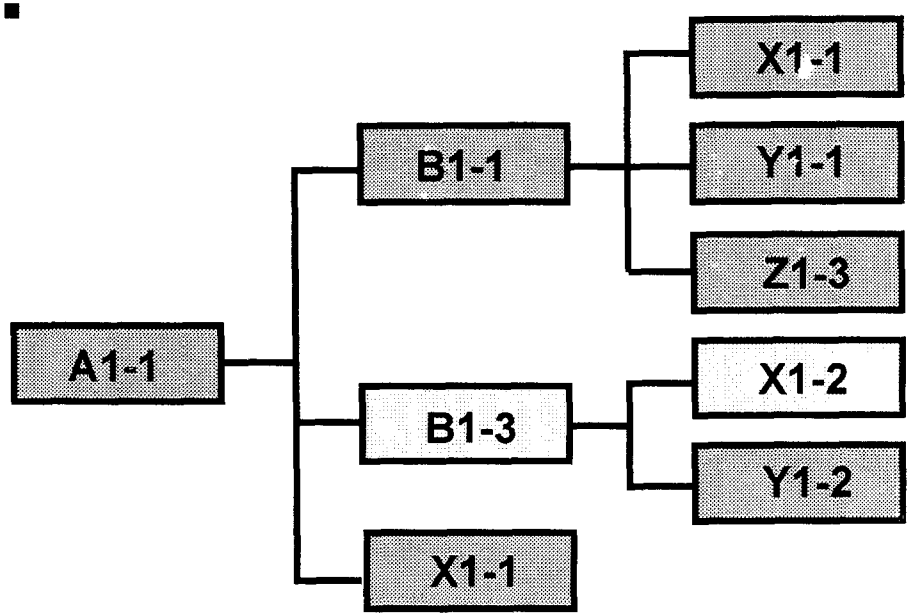
Tout au long du cycle de vie...



≡ ?

L'outil de " Comparaison d'Objet " permet de mettre en évidence les différences entre 2 objets ou 2 vues d'un objet.





Le projet de découpe de mirabelle congelée ; Introduction

INTRODUCTION - POSITIONNEMENT DU SUJET

Dans le cadre du projet de production d'oreillons de mirabelle congelés trois types de problème ont été identifiés :

- le premier en liaison avec le marché de cette catégorie de nouveau produit : quel marché peut raisonnablement se créer dans les toutes prochaines années ? une activité industrielle fondée sur cette production est-elle économiquement viable ?

- le second en relation avec la qualité du produit recherché : peut-on produire des oreillons de mirabelle congelés sans apparition de brunissement et d'exsudation au cours de la cuisson ?

- le troisième par rapport à l'outil de découpe à développer pour assurer des oreillons morphologiquement acceptables.

Afin de solutionner ces problèmes, 300 kg de mirabelles entières provenant de Végafruit ont été surgelés et conditionnés au Centre de Recherche de l'Air Liquide à Jouy-en-Josas puis stockés en congélateur à l'ENSAIA en septembre 1996.

D'octobre 1996 à février 1997, huit élèves de la spécialisation « Génie Industriel Boisson Brasserie » ont alors réalisé l'étude présentée ci-après.

1. TRAITEMENT DES OREILLONS DE MIRABELLE

L'objectif de cette partie est de mettre en œuvre des traitements physiques et/ou physico-chimiques permettant de limiter l'exsudation et le brunissement des oreillons de mirabelle pendant la cuisson.

1.1. Influence du traitement thermique et du conditionnement des mirabelles entières

Deux types de froid ont été testés : le froid mécanique et le froid cryogénique ; le conditionnement s'est effectué sous atmosphère d'azote ou sous air.

L'évaluation de l'évolution du brunissement au cours du temps se fait visuellement en comparant les couleurs des différents sacs. Le niveau 0 correspond à la couleur la plus proche de la couleur jaune initiale de la mirabelle.

Le tableau 1 montre les résultats obtenus :

Durée (mois)	Froid mécanique sous azote	Froid mécanique sous air	Froid cryogènique sous azote	Froid cryogènique sous air
0	0	0	0	0
1	+	++	0	+
2	++	+++	0	++

Tableau 1 : Evolution du brunissement des mirabelles selon le procédé de traitement de la mirabelle entière

Par ailleurs des essais de fabrication de tarte à partir d'échantillons provenant de mirabelles traitées par froid mécanique et par froid cryogènique ont été réalisés ; il s'avère qu'une forte exsudation est constatée lorsque les mirabelles ont été soumises à un froid mécanique.

Conclusion : Un froid cryogènique suivi d'un conditionnement sous azote permet de limiter le brunissement et l'exsudation des mirabelles.

1.2. Influence du traitement physicochimique des mirabelles découpées

Les essais ont été conduits à partir des mirabelles entières surgelées par froid cryogènique et conditionnées sous azote; le dénoyautage et la découpe des mirabelles ont été réalisés manuellement. La figure 1 montre la séquence des essais effectués :

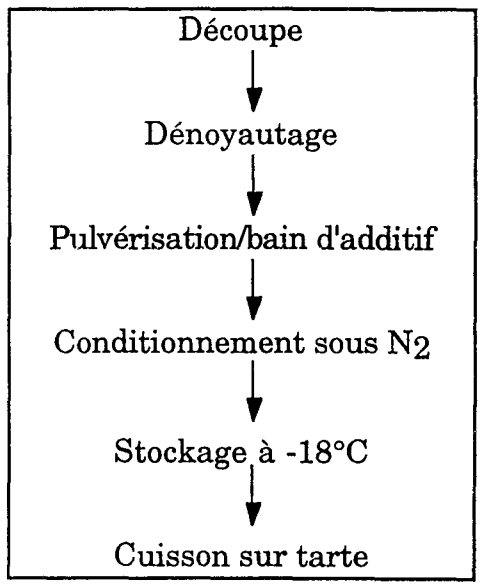


Figure 1 : Protocole des essais de traitement physicochimique

Le rôle de l'additif dans ce protocole est de former une barrière au transfert de matière :

- de l'eau de la mirabelle vers l'extérieur pour limiter l'exsudation
- de l'oxygène de l'air vers la mirabelle pour limiter le brunissement

Les produits tels que carraghénanes, pectines et gélatine n'ont pas été testés car ce sont des gélifiants thermolabiles.

L'étude a porté sur 3 autres additifs : alginate, saccharose, glucose.

Des essais préliminaires ont été effectués sur ces trois additifs :

- essai d'aspersion de saccharose ou glucose à 700 g/l:
  Avant cuisson : aspect "marron glacé" peu présentable
  Après cuisson : aspect très convenable, mais exsudation importante

- essai d'aspersion d'alginate à 15 g/l :
  Avant cuisson : aspect glacé peu présentable
  Après cuisson : aspect correct

- essai d'aspersion d'alginate à 15 g/l, de glucose à 350 g/l et de saccharose à 350 g/l :
  Avant cuisson : aspect moins glacé
  Après cuisson : aspect correct

Ces résultats ont conduit à un protocole d'analyse sensorielle fondé sur des essais triangulaires à choix élargi (NF V 09-013).

Un jury de 10 personnes entraînées a été constitué ; 6 séries de 3 échantillons de tartes ont été réalisées puis goûtées par le jury.

5 lots d'oreillons de mirabelle ont été préparés :

- un lot témoin sans traitement physico-chimique (**T**)
- un lot traité par une solution de saccharose à 250 g/l (**S**)
- un lot traité par un mélange d'alginate à 10 g/l, de glucose à 350 g/l et de saccharose à 350 g/l (**A1**)
- un lot traité par un mélange d'alginate à 15 g/l, de glucose à 350 g/l et de saccharose à 350 g/l (**A2**)
- un lot traité par un mélange d'alginate à 20 g/l, de glucose à 350 g/l et de saccharose à 350 g/l (**A3**)

Les 6 séries d'échantillons ont été constituées de la manière suivante :

- S, S, T ;
- A1, T, A1 ;
- A2, T, T ;
- T, A3, T ;
- S, A1, A1 ;
- A3, A3, S

Le jury fut interrogé sur l'appréciation visuelle et gustative des mirabelles.

Les conclusions de ces tests montrent que le jury relève une différence significative de couleur (9/10) entre T, S et (A1,A2, A3) au profit des mirabelles traitées par alginate qui paraissent plus jaunes après cuisson.

Par contre le jury ne détecte pas de différence significative de flaveur et de texture entre les 5 types d'échnatillons.

Conclusion : le traitement par alginate en solution sucrée permet de limiter le brunissement des mirabelles en cours de cuisson sans altération significative de flaveur et de texture des mirabelles.

2. MISE EN ŒUVRE D'UN PROTOTYPE DE DECOUPE DES MIRABELLE

Lors de la préétude menée début 1996, il a été établi différentes technologies potentielles permettant la découpe des mirabelles en oreillons : il s'agissait des découpes lasers, ultrasons, jet deau et mécanique.

Le coût de mise en œuvre des trois premières technologies nous a incités à nous diriger vers la solution mécanique.

A cet effet, un partenariat a été établi avec l'Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de l'Ingénieur de Nancy (ESSTIN).

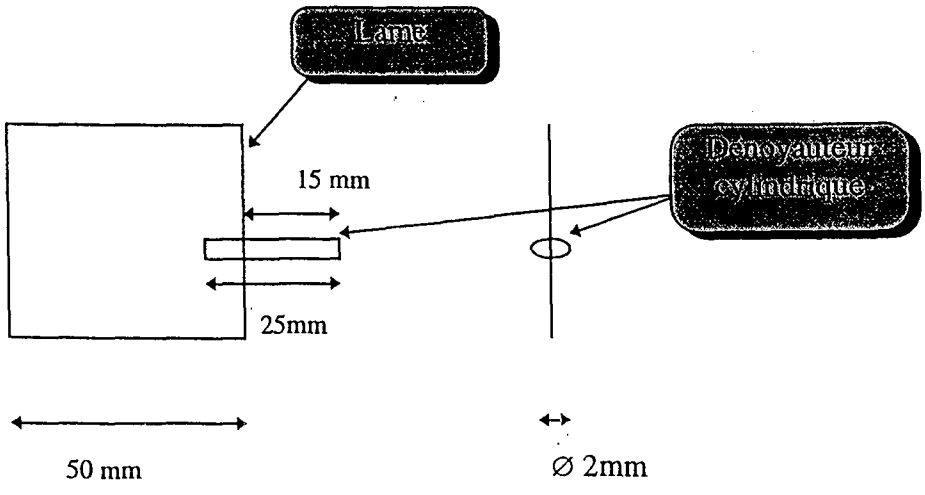
2.1. Caractéristiques du produit

Les mirabelles ont une forme ovoïde de longueur comprise entre 30 et 35 mm de largeur comprise entre 25 et 28 mm.

Le noyau , en forme d'amande, possède une longueur comprise entre 13 et 17 mm, une largeur minimale entre 5 et 8 mm, une largeur maximale entre 11 et 15 mm.

2.2. Présentation du prototype de découpe

Lame avec dénoyauteur :



Epaisseur de la lame : 1.5mm et 2 mm

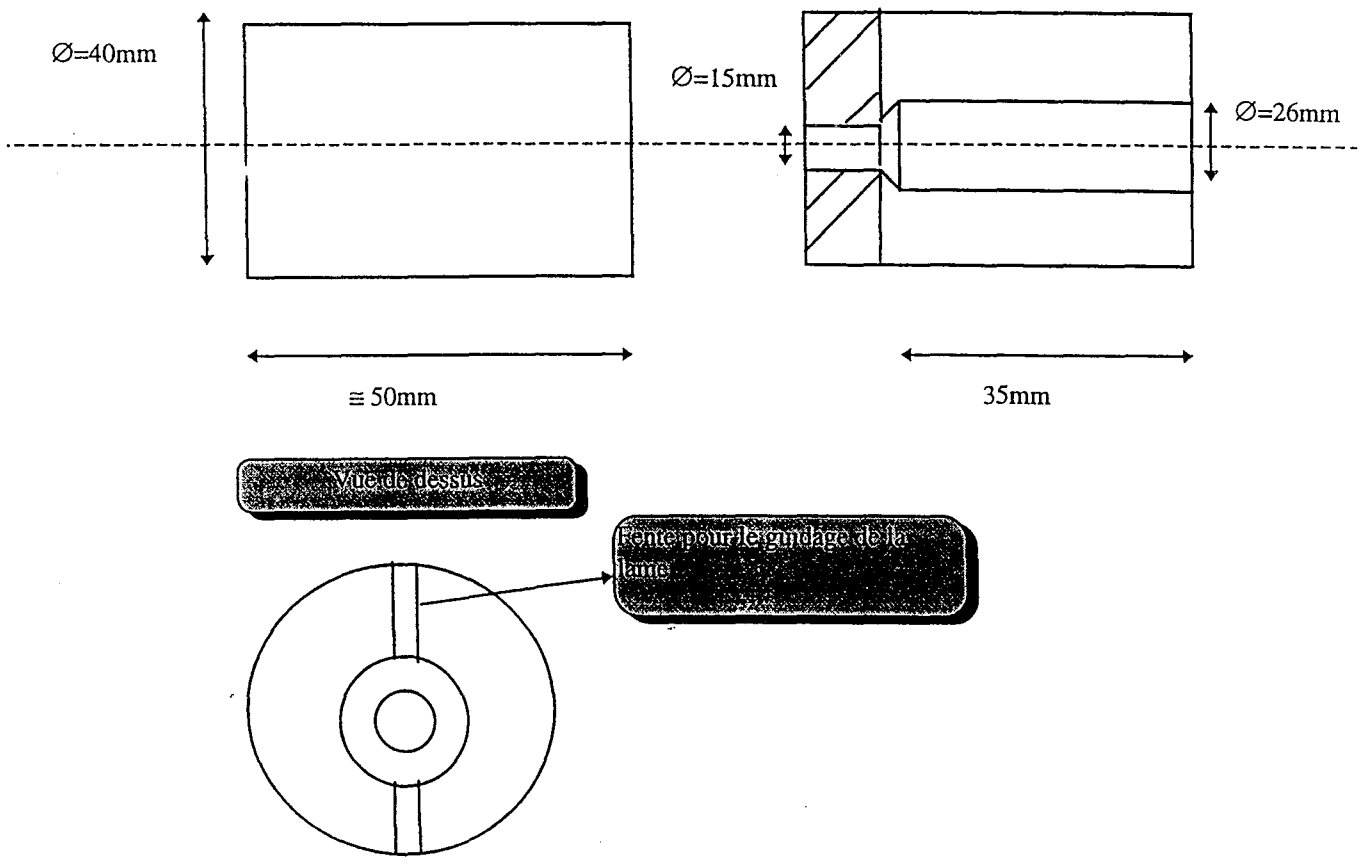
Diamètre du dénoyauteur : 2mm,3mm,4mm

Angle de coupe de la lame : 90°

Seuls les couples suivants ont été utilisés:

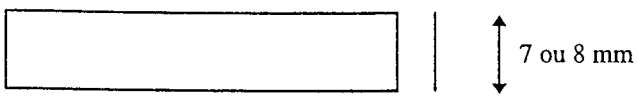
épaisseur	diamètre
1.5 mm	2 mm
1.5 mm	3 mm
2 mm	3 mm
2 mm	4 mm

Alvéoles : support de la mirabelle

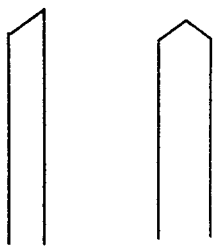


Outil pour l'entaille

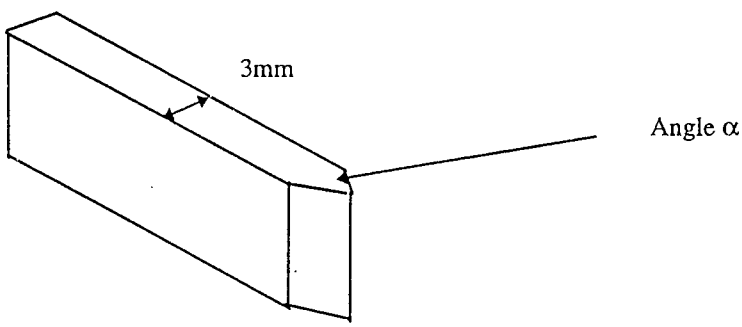
4 lames avec :



Epaisseur :2mm,3mm
avec biseau à 45 °
ou deux biseaux à 45 °



3 lames pour la découpe par choc sans entaille:
Angle α de 40,90 et 120 degrés.



2.3. Cycle des essais

Sept opérations élémentaires doivent être conduites pour assurer la découpe de la mirabelle. Il s'agit de :

I. Approvisionnement

II. Répartition

III. Maintien supérieur

IV. Entaille

V. Découpe - Dénoyautage

VI. Ejection

VII. Récupération des oreillons

1 et 2. Les mirabelles sont placées manuellement dans les alvéoles.

3 et 4. Le maintien supérieur est effectué manuellement tout en entaillant la mirabelle.

5. La découpe et le dénoyautage sont exécutés avec les lames usinées.

6. Le dénoyauteur éjecte le noyau.

7. Les oreillons sont récupérés par la gravité ou poussés à l'aide d'un outil cylindrique.

La figure 3 schématise ces différentes opérations.

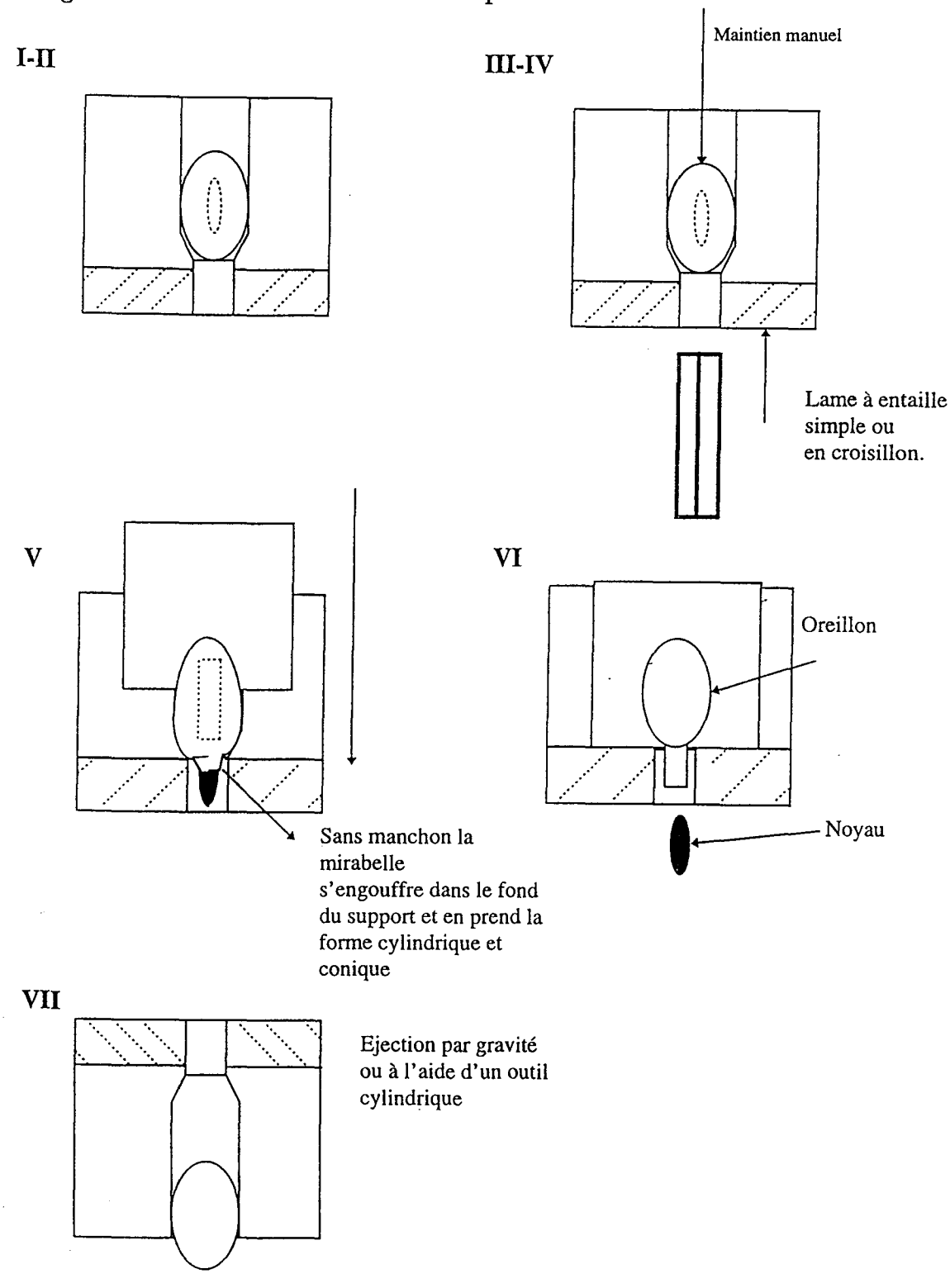


Figure 3 : Opérations élémentaires de fabrication des oreillons de mirabelle

2.4. Essais sur prototype

Deux types d'essais ont été effectués : par choc sur mirabelle congelée ou par pression après dénoyautage par une entaille ; le tableau 3 résume les résultats obtenus :

Différents types d'essais	Résultats
Avec choc sur mirabelles non dénoyautées Différentes lames : • Lame à 30 ° • Lame à 45°	• Problème de positionnement de la mirabelle (différent aspect suivant celui-ci) • La mirabelle ne se fend pas en deux car la pulpe de celle-ci est trop tendre même à -30°C.
Par pression Dénoyautage avec entaille • par emporte pièce • par une croix Découpe	• Trop de matière enlevée par l'emporte pièce • Bon aspect • Peu de perte de la pulpe • Bon aspect • Bon positionnement de la mirabelle • découpe propre

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des résultats de découpe obtenus sur le prototype

Conclusion

Après une série d'essai, il a été constaté que la découpe par choc n'est pas la solution la plus adéquate pour ce problème, car le positionnement de la mirabelle joue un rôle important dans l'aspect final de celle-ci ; de plus aucun moyen n'a été concluant pour son dénoyautage.

La solution retenue est la découpe par pression avec la mirabelle déjà dénoyautée. Pour cela, on réalise une entaille avec un outil en forme de croix, la mirabelle se trouvant maintenue dans un « cylindroconique ». Une fois l'entaille réalisée on éjecte le noyau et l'on découpe la mirabelle en même temps avec une lame éjecteuse.

2.5. Proposition de maquette industrielle

Au vu des résultats obtenus, une maquette est proposée ; le cycle de découpe sera :

I .Approvisionnement

II Répartition

III. Maintien supérieur

IV Fendage

V Maintien supérieur et inférieur

VI Découpe - dénoyautage

VII Ejection du noyau

VIII Récupération des oreillons

1 : Les mirabelles arrivent sur le plateau alvéolé par l'intermédiaire de la glissière.

2 : Une brosse rotative réglable refoule les mirabelles qui n'ont pas trouvé d'alvéoles.

3 et 4. Le plateau est coiffé de manchons pour maintenir les mirabelles lors du fendage qui est assuré par des lames circulaires rotatives placées sous le plateau.

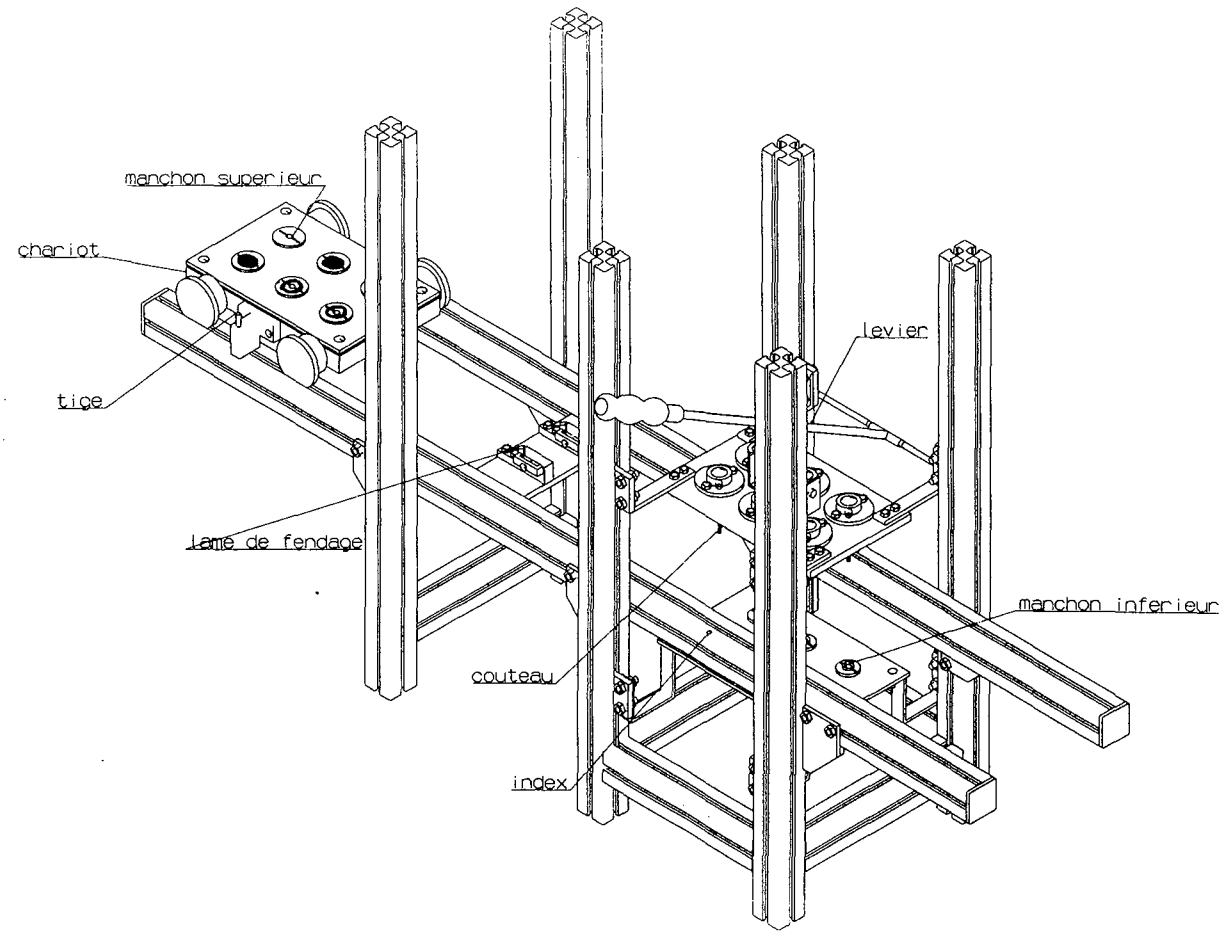
5. Une deuxième plaque de manchons vient se placer sous le plateau afin de maintenir à nouveau les mirabelles lors de la découpe, les plateaux sont alors immobiles.

6 : Des lames descendent découper et dénoyauter les mirabelles.

7 : Les noyaux sont alors éjectés par la lame et sont ensuite évacués.

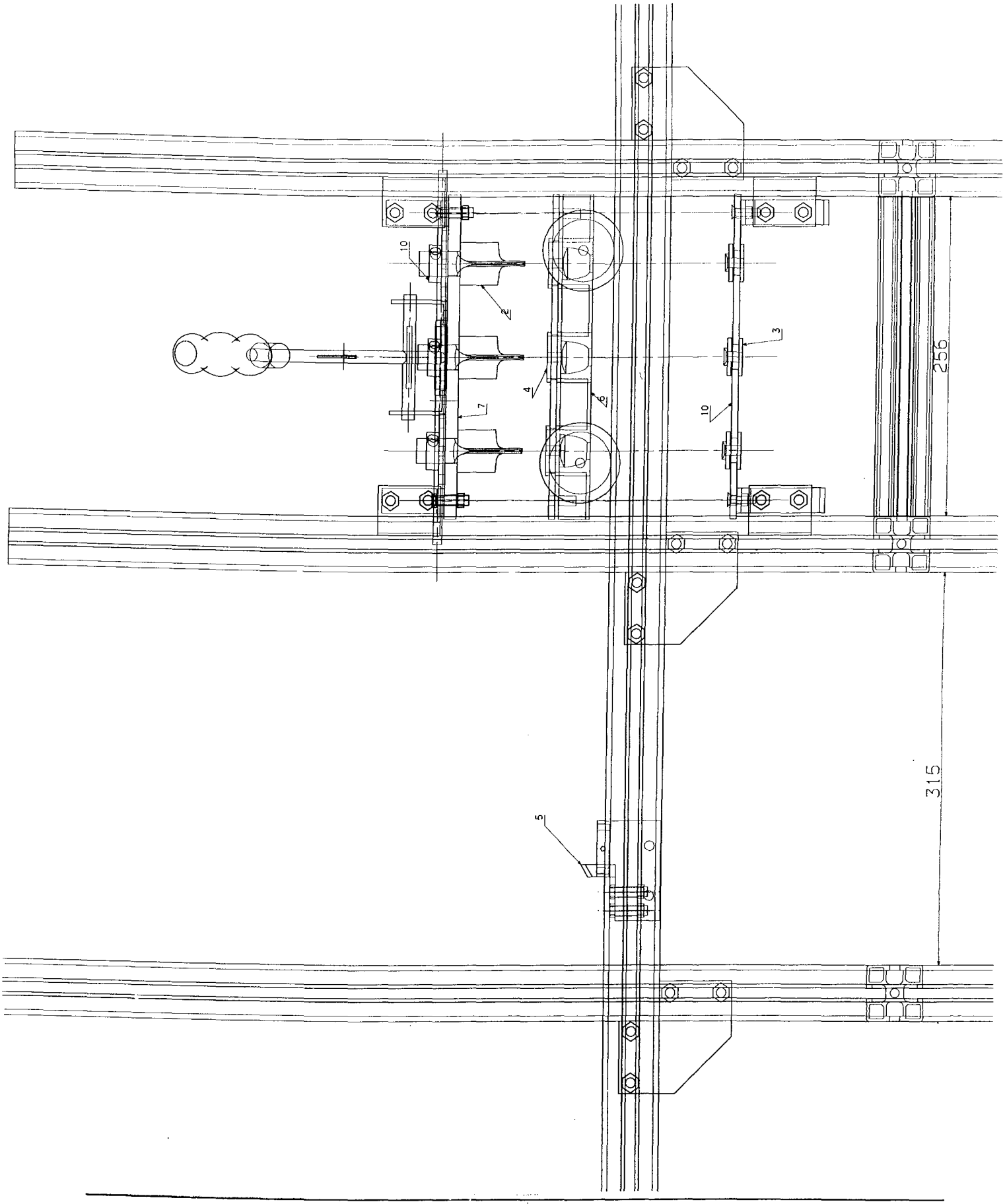
8 : Les oreillons sont récupérés en bout de chaîne grâce à des éjecteurs.

La vue en perspective de la maquette

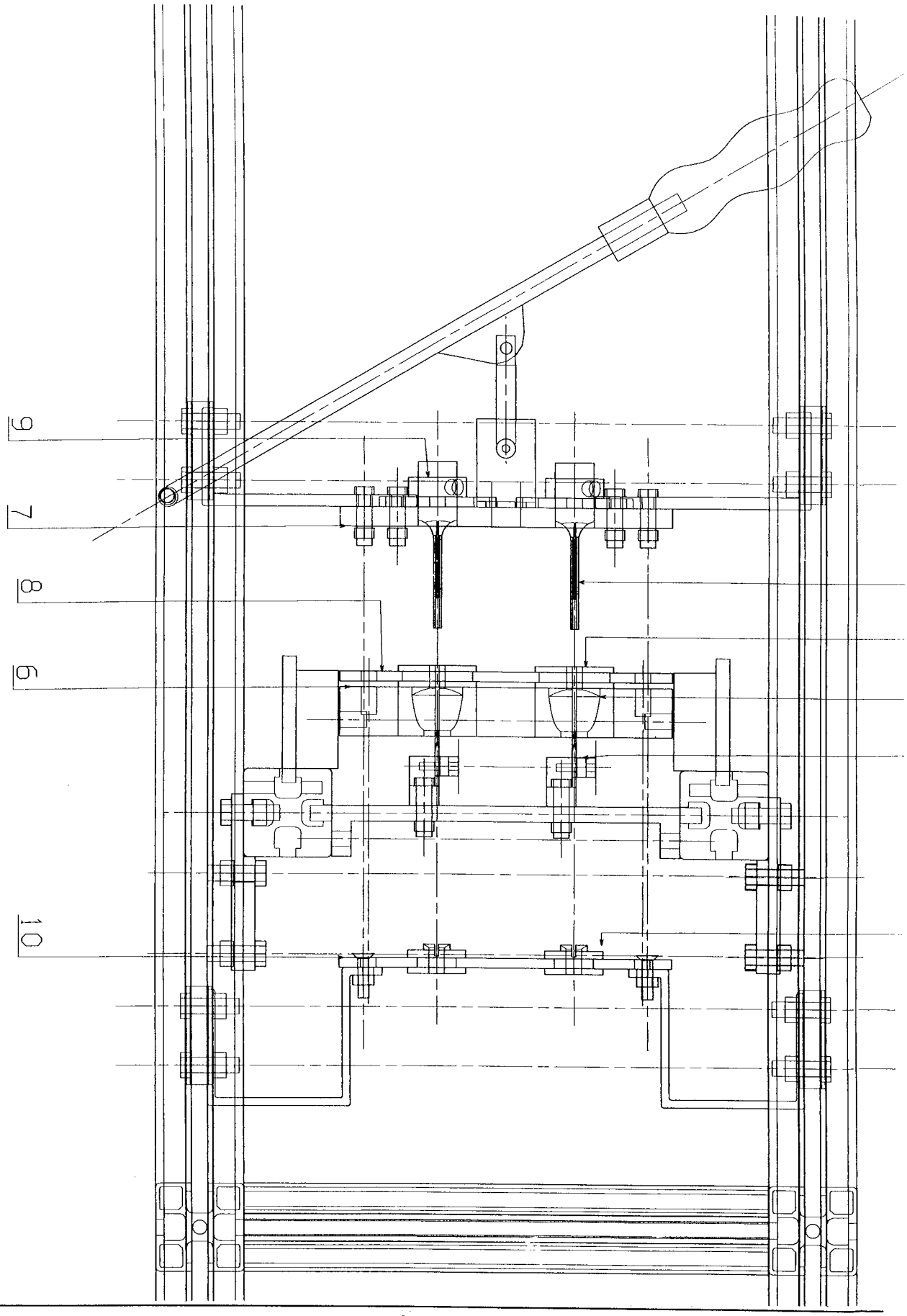


- Les mirabelles sont déversées sur le chariot en position gauche en ayant enlevé les manchons supérieurs, leur rentrée dans les alvéoles est fonctions de leur position et le surplus de mirabelle est enlevé à l'aide d'une brosse.
- Les manchons supérieurs sont remis en place.
- Le chariot passe au-dessus des lames de fendage et est indexé au dessous des couteaux.
- La plaque avec les manchons inférieurs est remontée et bloquée.
- Le levier est abaissé et les mirabelle sont coupées et dénoyautées.
- Les couteaux sont remontés et les oreillons restent dans les alvéoles grâce aux manchons.
- Les manchons inférieurs sont descendus, les manchons supérieurs sont enlevés et le chariot est retourné manuellement pour récupérer les oreillons.

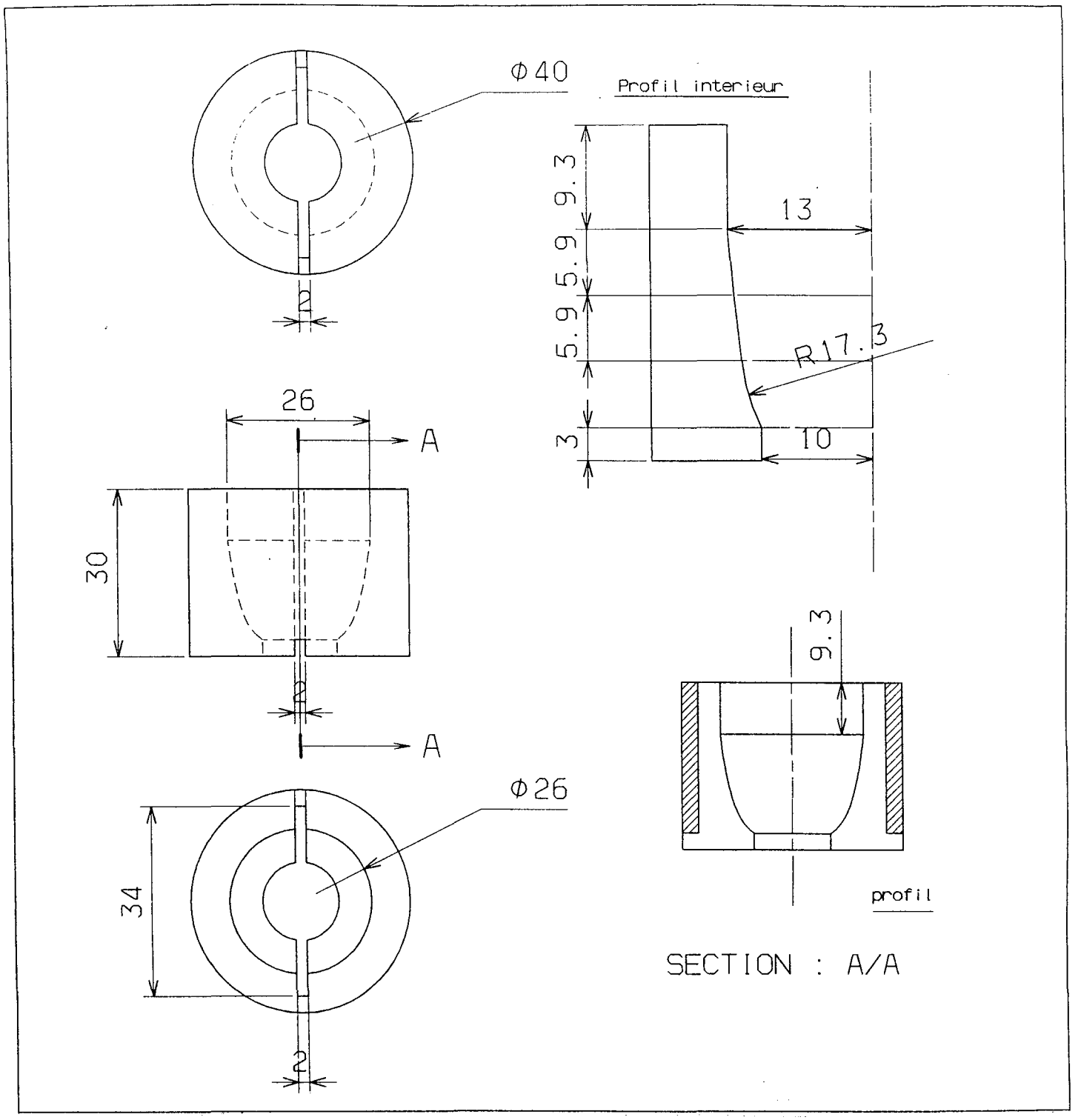
La vue de face



La vue de bout



La définition d'une alvéole



3. ETUDE DE MARCHE

Une technologie adaptée à la réalisation d'oreillons de mirabelle surgelés de qualité ayant été élaborée, il est nécessaire de quantifier le marché potentiel de ce type de produit.

La mirabelle de Lorraine est actuellement vendue sous quatre formes :

- Le fruit de bouche.
- La distillation.
- Les produits en conserve ou semi-conserve.
- Les confitures.

La production de mirabelles surgelées sous différentes formes (entières, dénoyautées ou en oreillons) a déjà été effectuée par diverses entreprises en France sans grand succès du fait de la qualité du produit fini.

La réussite de ce projet repose donc sur quatre points :

- La bonne notoriété de notre partenaire VÉGAFRUITS sur la marché des mirabelles, qui peut apporter la matière première (approximativement 300 tonnes).
- La quasi absence de concurrence sur le marché français.
- La qualité du produit qui pourra être obtenue afin de justifier le surcoût par rapport aux conserves.
- Le positionnement des fruits surgelés entre les conserves et les fruits de bouche en terme d'image qualité auprès du consommateur.

3.1. Objectifs de l'étude de marché.

La première partie de l'étude de marché a consisté à recueillir des informations sur le marché des fruits surgelés afin de connaître toutes les voies possibles de distribution des fruits surgelés en Lorraine puis sur toute la France.

La seconde partie de l'étude de marché ayant pour objectif de déterminer dans ces voies de distribution lesquelles sont utilisables pour les oreillons de mirabelles surgelés avec une approximation du prix de vente possible.

3.2. Résultats de l'étude de marché.

Identification des voies de distributions des fruits surgelés.

Ces voies peuvent être classées en deux catégories :

- Vente directe au consommateur :

  - Les distributeurs de produits surgelés.
  - Les rayons surgelés des grandes et moyennes surfaces.

- Vente indirecte pour la transformation :

  - Les rayons pâtisserie des grandes et moyennes surfaces.
  - Les pâtisseries industrielles.
  - Les boulangeries et pâtisseries.
  - Les distributeurs de fournitures pour boulangeries et pâtisseries.
  - Les restaurants pour collectivités.
  - Les restaurants.

Choix des voies possibles pour les oreillons de mirabelles surgelés.

- Les distributeurs de produits surgelés :

Les fruits surgelés représentent une part non négligeable des linéaires des distributeurs de produits surgelés de plus le choix est plus important que dans les linéaires des grandes et moyennes surfaces.

Sur les neuf distributeurs de produits surgelés contactés, deux sont intéressés si la qualité du produit est excellente avec une quantité annuelle pouvant aller jusqu'à 60 tonnes.

- Les rayons surgelés des grandes et moyennes surfaces :

Les fruits surgelés ne sont pas porteurs des rayons surgelés des grandes et moyennes surfaces car ils ne représentent qu'une partie infime du linéaire. Il

n'y a pas de demande importante en fruits surgelés nouveaux et la gamme actuelle reste restreinte.

- Les rayons pâtisserie des grandes surfaces :

Les personnes contactées sont prêtes à faire des essais. Cependant il n'est pas possible d'estimer une quantité.

- Les pâtisseries industrielles :

Une entreprise sur quatre contactées serait intéressée par le produit, cette entreprise ayant déjà fait des essais non concluants avec des mirabelles surgelées. Il n'est pas possible d'estimer une quantité.

- Les confituriers :

Sur les confituriers contactés certains utilisent déjà des mirabelles surgelées en provenance de Belgique et de Hollande. Les confituriers ayant un positionnement haut de gamme ne sont pas intéressés par le produit surgelé qui pourrait nuire à cet image. Une quantité pouvant aller jusqu'à trois tonnes à été identifiée, toutefois les confituriers peuvent être une voie de distribution des fruits de qualité insuffisante après les étapes de découpe et de dénoyautage.

- Les restaurants pour collectivités :

Les sociétés auxquelles nous nous sommes adressés ne sont pas intéressées.

- Les boulangeries et pâtisseries et les distributeurs de fournitures pour boulangeries et pâtisseries.

La chambre syndicale des patrons pâtissiers, confiseurs, glaciers est très intéressée par des oreillons de mirabelless surgelés car les fruits au sirop utilisés actuellement (4000 tonnes par an) ont une qualité trop irrégulière. Une étude du marché des boulangeries et pâtisseries étant difficilement réalisable de fait du nombre d'établissements, il a été décidé de travailler au travers des distributeurs de fournitures pour boulangeries et pâtisseries qui connaissent bien le marché.

Un essai est prévu avec la société Charles Méon qui, à la suite de l'essai répartit chez plusieurs boulangers et pâtissiers, se prononcera sur une quantité annuelle sachant qu'au travers de la marque Back-Europe (75 entreprises), la société Charles Méon peut couvrir tout le marché français.

Choix à l'issue de l'étude de marché.

L'estimation de marché se situe entre 100 et 300 tonnes par an selon les résultats de l'essai en cours.

Nous évaluons un prix de vente de l'ordre de 10 à 12 francs par kilogramme sur les marchés des distributeurs de produits surgelés et des pâtisseries industrielles, un prix de vente sur le marché boulangeries pâtisseries sera évalué en fonction des essais en cours.

Devant ces résultats, il a été décidé de développer un second partenariat en aval de l'activité de transformation des mirabelles avec la société AFI spécialisée dans le commerce national et international des fruits sous toutes les formes (surgelés, aseptiques, déshydratés, appertisés,...). Cette société à une excellente connaissance des marchés de distributions des fruits. De plus un des dirigeants de la société AFI a déjà produit des mirabelles dénoyautées surgelées mais avec une qualité (brunissement enzymatique) insuffisante ce qui apparait aujourd'hui comme résolu. D'après cette société le marché connu à l'exportation serait de l'ordre de 600 tonnes d'oreillons de mirabelles surgelés par an.

4. CONCLUSION - ANALYSE FINANCIERE D'UNE ACTIVITE DE SURGELATION - DECOUPE DE FRUITS EN LORRAINE

L'étude a globalement répondu aux objectifs du projet puisque :

- un procédé de fabrication d'oreillons de mirabelle congelés a été mis en œuvre
- la qualité du produit obtenu est correcte (des essais chez dix patissiers nancéiens est en cours)
- un prototype de découpe a été imaginé et semble répondre au cahier des charges désiré
- l'étude de marché montre un potentiel de ventes compris entre 100 et 300 tonnes annuellement.

Afin de montrer la faisabilité économique d'une activité de fabrication d'oreillons de mirabelles congelés, nous avons procéder à une analyse financière.

Un exemple de cette analyse est donné en annexe.

Il apparaît que la seule activité « fabrication d'oreillons surgelés » n'est pas rentable ; afin de rentabiliser les équipements il est nécessaire de rechercher d'autres activités complémentaires de celle de la fabrication d'oreillons.

A cet effet, une démarche prospective est en cours.

			Durée d'amort.				
Chiffrage numéro :	5	Investissement		Coût annuel fixe	Coût annuel variable	Coût au kg	Coût total au kg
Coût achat mirabelles	Végafruits				1 200 000 F	4,00 F	**4,00 F**
Transport						0,00 F	
						0,00 F	
Surgélation (matériel)		500 000 F	5	100 000 F		0,33 F	
Surgélation (location)						0,00 F	
Surgélation (Sous-traitance)						0,00 F	
Surgélation (consommables)						1,10 F	
	Total surgélation						**1,43 F**
Conditionnement (machine)	multuvac db cloche	110 000 F	5	22 000 F		0,07 F	
Conditionnement (location)	multuvac db cloche				6 600 F	0,02 F	
Conditionnement (consommables)	Cryovac 10kg 33000p 7f/m2				90 000 F	0,30 F	
Conditionnement (gaz)	N2					0,00 F	
	Total conditionnement phase 1						**0,40 F**
Transport						0,00 F	
						0,00 F	
Découpe (machine)	prototype	150 000 F	5	30 000 F		0,10 F	**0,10 F**
Découpe (manuelle)						0,00 F	
						0,00 F	
Conditionnement (machine)							
Conditionnement (location)						0,00 F	
Conditionnnement (consommables)	Cryovac 10kg 33000p 7f/m2				90 000 F	0,30 F	
Conditionnement (gaz)	N2					0,00 F	
	Total conditionnement phase 2						**0,30 F**
Transport						0,00 F	
	Total transport				50 000 F		**0,17 F**
Stockage (manutention)						0,00 F	
Stockage (entrepôt)	1F/kg/an				300 000 F	1,00 F	
Stockage (achat)							
Stockage (énergie)						0,00 F	
	Total stockage						**1,00 F**
Batiment	500m2 * 800f/an/m2			400 000 F		1,33 F	**1,33 F**
Main d'oeuvre				500 000 F		1,67 F	**1,67 F**
Divers	20% des coût annuels				**557 720 F**	1,56 F	**1,56 F**
	Totaux	**760 000 F**		**1 052 000 F**	**1 736 600 F**		**11,95 F**

S.C.D. - U.H.P.
NANCY 1
SCIENCES
BIBLIOTHÈQUE

Nom : LOSSENT

Prénom : Luc

DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARE, NANCY-I

en PRODUCTION AUTOMATISÉE

VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER

Nancy, le - 2 DÉC 1997 n° 111

Le Président de l'Université

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1
LE PRESIDENT
FINANCE

3C-F9

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ · NANCY 1
24-30, rue Lionnois B.P.3069 54013 Nancy cedex
Tél : 83 32 81 81 Fax : 83 32 95 90
Adresse électronique : _____ @presn1.u-nancy.fr

Titre: **Contribution à la conduite d'études de faisabilité de systèmes de fabrication**

L'ingénierie des systèmes de fabrication nécessite de l'innovation, de la créativité et de la recherche technologique, les études de faisabilité y sont nombreuses et se déroulent dans un environnement concourant. Les outils et les méthodes utilisés dans la conception de produit apportent peu de solutions pour conduire ces études surtout dans les PMI-PME.

Nous proposons une méthodologie articulée autour de sept démarches dont six sont simultanées, elle utilise une syntaxe associée à une représentation graphique permettant une approche distribuée et itérative intégrant les acteurs internes et externes ainsi que le matériel nécessaire. Ses objectifs sont de formaliser les démarches, d'indiquer les outils et les méthodes pertinents, de coordonner les partenaires dans la conduite de l'étude, de structurer et de mémoriser les données techniques suivant les spécificités du système.

Un projet de réalisation de système flexible de production nous a permis de valider la méthodologie avec une application informatique en gestion de configuration et de données techniques qui est actuellement en cours d'expérimentation. La réutilisation des structures de notre méthodologie sur l'ensemble du cycle de vie du système jusqu'à la phase d'exploitation a enrichi les représentations proposées initialement et nous a ouvert d'autres champs d'applications.

Mots clés: **étude de faisabilité, gestion de configuration, gestion des données techniques, ingénierie concourante, formalisation, conception de système.**

Title : **Contribution to conducting feasibility studies of manufacturing systems**

Manufacturing systems engineering needs innovation, creativity and technological research. Feasibility studies concerning this engineering field are numerous and take place in a concurrent environment. Tools and methods used in the field of product design bring too little solutions in order to conduct these studies, especially in small and medium companies.

We propose a methodology articulated around seven processes, from which six are simultaneous ones. It uses a syntax associated to a graphical representation that allow a distributed and iterative approach integrating internal and external factors, as well as the necessary material. Its objectives are to formalise processes, to indicate pertinent tools and methods, to co-ordinate partners in conducting the study, to structure and memorise technical data following the system specifications.

A realisation project of a flexible production system has enabled us to validate the methodology through a computerised application dealing with configuration and technical data management, which is now in an experimentation step. The reusability of our methodology structures to the entire life-cycle of the system up to the exploitation step has enriched the representations initially proposed, and has opened other investigation fields.

Keywords: **feasibility study, configuration management, technical data management, concurrent engineering, modelling, system design.**