

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGUERRA – BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
SOUS DIRECTION DE LA POST-GRADUATION ET RECHERCHE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE MAGISTER
SPECIALITE : GENIE MECANIQUE

Présenté par

Fath-Eddine SEMMOUD

(Ingénieur en fabrication mécanique de l'Institut National de Génie mécanique)

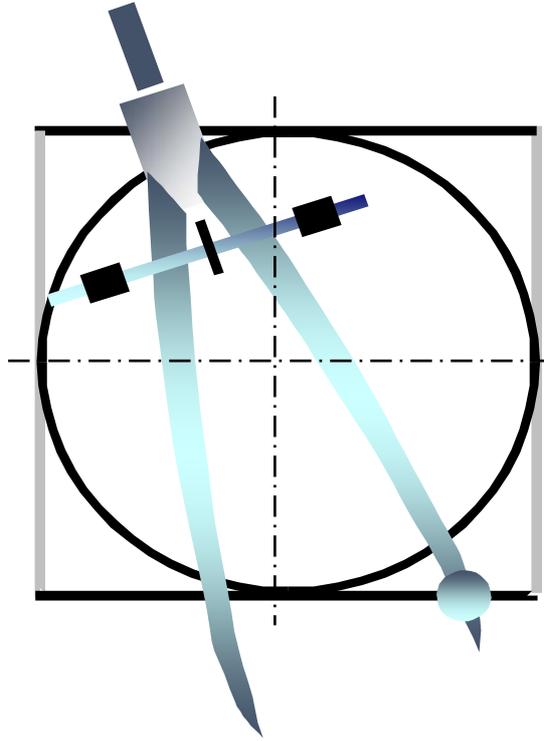
Thème :

MODELISATION D'UN SYSTEME C.A.O
POUR LA CONCEPTION MECANIQUE
ET
GESTION DE DONNEES TECHNIQUES.

Soutenu le : 24 avril 2001.

Devant la commission d'examen

Jury MM.	Soltane	LEBAILI	Prof. U.S.T.HB	<i>Président</i>
	Mohammed	AZZAZ	M.C U.S.T.HB	<i>Examineur</i>
	Abdellatif	ZERIZER	M.C U. B	<i>Examineur</i>
	Idir	BELAIDI	D ^r NT U.B	<i>Examineur</i>
	Abderrahmane	BELAIDI	Ph.D U.B	<i>Rapporteur</i>



A mon Père et ma Mère,
ma Femme et mes Soeurs.
Fath-Eddine

Remerciements.

Cette étude a été réalisée dans la cellule Robotique – **Département de Génie Mécanique, de la faculté des sciences de l'ingénieur de l'Université M'hamed BOUGUERRA BOUMERDES** et sous la direction de M. *Abderrahmane BELAIDI (Ph D)*. Je tiens à lui témoigner ma profonde gratitude de m'avoir accordé sa confiance, de m'avoir permis d'entreprendre cette recherche et pour son soutien moral durant la période de travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à M. *le Professeur Daniel PLAY* du laboratoire CASM de l'INSA de LYON – France - de m'avoir encouragé aussi à entreprendre ce travail et pour ses précieux conseils et orientations pendant le stage effectué dans son laboratoire.

Je tiens à remercier M. *le Professeur Soltane LEBAILI* (de *l'Université des Sciences et Technologies Houari Boumediène – BAB EZZOUAR*) pour avoir accepté examiner ce travail et à présider le jury de cette thèse.

Je suis aussi très honoré que M. *Mohammed AZZAZ (M.-C à l'U.S.T.HB – BAB EZZOUAR)*, M. *Abdellatif ZERIZER (M.-C. à l'Université de BOUMERDES)* et M. *Idir BELAIDI (Docteur NT - Université de BOUMERDES)* pour avoir accepté examiner et à participer au jury de cette soutenance.

Je ne dois pas oublier mes remerciements à mon collègue M. *Mohamed Bachir MAIZA* d'avoir bien voulu lire, rapporter des correctifs et me donner son avis sur cette thèse, à tout le personnel de l'ex. INGM (Enseignants, de la bibliothèque et les autres services) et de l'Université et à toute personne ayant collaboré par son soutien même moral.

قص الخ

بالوصول على كميات كبيرة من المنتجات، لقد سمح التطور التكنولوجي، منذ نشأته، وبأسرع الطرق، مما أضفي عليها طابعا أكثر شخصية، كقوت دورة التصنيع بالنسبة لهذا الطلب المتزايد.

Commentaire [SC1] :

فالتحضير. يسد نل ا م يم ص تتطلب هذه السرعة دورة وجود المنتج مكنة دورة الت المنتج و التكفل به من دورة التصميم إلى الصيانة مرورا بالتصنيع، يجب التوفر و استعمال و استعمال هذا. "المعطيات التقنية" التحكم في معلومات تقنية يطلق عليها اسم التدفق المعاماتي يتطلب تسيير المعلومات التقنية.

من الضروري اكتساب نظام يتكفل بدورة التصميم الذي يشمل على و بالتالي يصبح فرض الإشكال المطروح للمنتج، اختيار الحلول التكنولوجية و خلق نماذج لرسومات و في هذا المجال، تم اقتراح. للمنتج التي تستجيب للمقتضيات و المتطلبات الطلب للتصميم الهندسي - CAO - بوس حل ا موضوع يتعلق بتجسيم نظام التصميم بالة الميكانيكي و تسيير المعطيات التقنية.

بعد التقديم الوجيز لحلول التصميم الهندسي و نظمه، نقدّم خلاصة ببليوغرافية جدّ معمّقة تشمل كلّ الأشغال التي تمّ نشرها خلال العشرين للسنة الماضية، متبوعة بتحليل الطرق المستعملة و المحللة إلي يومنا هذا، و كذلك أساليب لمرحل التصميم و الرسومات البيانية للمجسمات.

كما قدّمنا دراسة لمختلف اللغات الموجّهة لاختيار لغة. نقدّم كذلك نظم المعطيات التقنية و يخصّص الجزء الأخير بتنفيذ منهجية ما بين الطرق لتجسيم. قس ان مل ا ة ج مر بال ا و يكون متنوع بخلاصة و آفاق تتعلق بهذا المجال "ذراع محرك".

Résumé

Avec son avènement, le développement de la technologie a permis d'avoir plus rapidement de plus en plus de produits qui sont devenus de plus en plus personnalisés. Le processus de production a été adapté pour répondre à cette demande croissante. La célérité dans le cycle de vie du produit nécessite une automatisation du processus de conception. La mise en œuvre d'un produit et sa prise en charge de la conception à la maintenance en passant par sa mise en production nécessite la disponibilité et la maîtrise d'informations techniques appelées aussi «données techniques». L'exploitation de ce flux d'informations qui est important exige une gestion de données techniques. Il est par conséquent requis de disposer d'un système permettant la prise en charge du processus de conception qui consiste en la formulation du problème, au choix de solutions technologiques adéquates ainsi que la génération graphique du modèle produit répondant aux fonctionnalités et exigences du produit demandé. Dans ce contexte, il est proposé un thème portant sur la *«modélisation d'un système C.A.O. pour la conception mécanique et gestion de données techniques»*.

Après un aperçu sur les systèmes de conception et la conception en générale en introduction, une synthèse bibliographique très approfondie couvrant tous les travaux publiés pendant ces vingt dernières années est présentée. Elle est suivie d'une analyse des phases de conception et des méthodes d'approches utilisées et développées à ce jour. Pour permettre la simulation d'un système mécanique, les modes de représentation graphique de solides sont présentés. Une étude des systèmes de gestion de données techniques qui permettent la gestion d'une quantité très importante d'informations techniques est aussi entreprise. L'étude sur les langages orientés objets (L.O.O) présentée permet le choix du langage de programmation adéquat. La dernière partie est consacrée à une implémentation d'une méthodologie par les méthodes d'approches pour la modélisation d'un bras manipulateur suivie d'une conclusion et des perspectives dans ce domaine.

Mots clés : modélisation, conception mécanique, C.A.O., C.M.A.O., gestion de données techniques, Base de données, base de connaissances, représentation des connaissances, systèmes experts, systèmes coopératifs, ingénierie concurrente, L.O.O.

Abstract

With its advent, the development of the technology permitted to have more rapidly more and more products that become more personalized. The process of production has been adapted to respond to this growing demand. The celerity in the cycle of life of the product requires an automation of the design process. The implementation of a product and its hold in charge of the conception to the maintenance as passing by its stake in production requires the availability and the mastery the technical information also called « technical data ». The exploitation of this flow of informations that is important requires a technical data management. It is required therefore to dispose a system enabling the hold in charge of the process of design that consists in the formulation of the problem, to the choice of adequate technological solutions as well as the graphic generation of the model product responding to functionalities and requirements of the product demanded. In this context, it is proposed a theme carrying on « *modélisation of a system C.A.D. (C.A.O) for the mechanical design and technical data management* ».

After a preview on systems of design and the conception in general in introduction, a bibliographic synthesis very deepened covering all works published during these last twenty years is presented. It is followed of an analysis of phases of conception and methods of approaches used and is developed to this day. To permit the simulation of a mechanical system, fashions of graphic representation of solid are presented. A research of systems of technical data management that permits the management of a quantity very important of technical information is also attempted. The research on languages oriented objects (L.O.O) introduced permits the choice of the adequate programming language. The final part is consecrated to an implémentation of a methodology by methods of approaches for the modélisation of an arm manipulator followed of a conclusion and perspectives in this domain.

Key words : Design, mechanical design, D.A.O, C.M.A.O., management technical data, Database, knowledge data, knowledge representation, experts system, cooperatives system, concurrent engineering, L.O.O.

Table des matières

REMERCIEMENTS.	3
TABLE DES MATIERES.	4
TITRE DES FIGURES.	8
LISTE DES NOTATIONS.	11
INTRODUCTION GENERALE.	12

CHAPITRE I

LE PROCESSUS DE CONCEPTION EN L'INGENIERIE MECANIQUE.	17
I – INTRODUCTION.	17
II – ANALYSE DU PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE MECANIQUE.	21
II.1 – Le cycle de vie d'un produit.	21
II.2 – Qu'est ce qu'un processus de conception mécanique.	23
II.3 – Les différentes phases de conception.	24
III – CARACTERISTIQUES D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION.	26
III.1 – Cahier des charges ou Spécifications.	26
III.2 – La phase conceptuelle et les méthodes d'approche.	27
III.3 – La conception préliminaire.	47
III.4 – La conception détaillée.	47
IV – CONCLUSION.	56

CHAPITRE II

LES SYSTEMES INTEGRES EN INGENIERIE MECANIQUE.	60
I – PREAMBULE.	60
II – CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME INTEGRE DE CONCEPTION MECANIQUE.	61
II.1 – Qualité logiciel.	62
II.2 – Système intégré de conception mécanique.	63

III – LE CAHIER DES CHARGES.	67
IV – LA PHASE CONCEPTUELLE.	70
V – MODELISATION DES DONNEES ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES DANS UN SYSTEME INTEGRE DE CONCEPTION.	71
V.1 – Modélisation des entités fonctionnelles.	71
V.2 – Modélisation filaire ou fil de fer.	73
V.3 – Modélisation surfacique.	74
V.4 – Modélisation volumique.	75
VI – MODELISATION ET REPRESENTATION DES COMPOSANTS STANDARDS.	81
VI.1 – Définition et représentation d’un composant standard.	82
VI.2 – Modélisation informatique d’un composant ou d’une famille simple.	84
VI.3 – Modèle général et modèle fonctionnel d’un composant.	85
VII – CONCLUSION.	87

CHAPITRE III

GESTION DE DONNEES TECHNIQUES, LES SYSTEMES EXPERTS ET LES SYSTEMES COOPERATIFS.	89
I – INTRODUCTION.	89
II – GESTION DE DONNEES TECHNIQUES.	90
II.1 – La gestion de données technique dans le développement de produits.	92
II.2 – Fonctionnalités des SGDT existants.	92
II.3 – Mise en place d’un système de gestion de données techniques.	94
III – LES SYSTEMES EXPERTS (S.E.).	95
III.1 – Représentation et manipulation des connaissances dans les S.E.	96
III.2 – Domaines d’application des systèmes experts.	97
IV – SYSTEMES DE CONCEPTION COOPERATIFS.	98
IV.1 – systèmes centralisés ou multi-experts.	98
IV.2 – Systèmes multi-agents.	102
V- CONCLUSION.	107

CHAPITRE IV

LES LANGAGES ORIENTES OBJETS ET LEURS APPLICATIONS EN CONCEPTION MECANIQUE.	109
I – INTRODUCTION.	109
II – LES LANGAGES A OBJETS.	111
III – LES LANGAGES DE CLASSES.	111
III.1 – Instanciation.	112
III.2 – L’héritage.	113
IV – REPRESENTATION DES CONNAISSANCES.	114
V – LES LANGAGES DE FRAMES.	114
VI – CONCLUSION.	117

CHAPITRE V

METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE BRAS MANIPULATEURS.	119
I – INTRODUCTION.	119
II – LE PROCESSUS DE CONCEPTION.	121
EXEMPLE D’ANALYSE DU PROCESSUS.	126
III – ANALYSE DE CONCEPTION D’UN BRAS MANIPULATEUR.	130
III.1 – Un peu d’histoire.	130
III.2 – Composition de bras manipulateurs.	131
2.1 – La structure mécanique.	131
2.2 – La source d’énergie.	132
2.3 – Les actionneurs.	133
2.4 – Les transmissions.	133
2.5 – Les capteurs internes.	134
2.6 – Les capteurs externes.	134

2.7 – Le système de commande.	134
III.3 – Analyse conceptuelle d’un bras manipulateur.	135
III.4 – Méthodologie de décomposition et implémentation sous AutoCAD.	136
IV – IMPLEMENTATION D’UN EXEMPLE DE GUIDAGE EN ROTATION SOUS ENVIRONNEMENT VISUAL C++.	139
V – CONCLUSION.	143
<u>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.</u>	144
BIBLIOGRAPHIE.	145
Annexe	146
Résumé.	163

INTRODUCTION GENERALE

Figure 1 : Représentation schématique d'un système C.M.A.O.

CHAPITRE I

LE PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE MECANIQUE

Figure 2 : Les deux voies de la connaissance

Figure 3 : Démarche CMAO : LE PROJET PRIMECA

Figure 4 : Product Life-cycle ou cycle de vie d'un produit

Figure 5 : Les phases de conception

Figure 6 : Approche axiomatique, concept des domaines dans un système de conception

Figure 7 : Processus de conception Itératif

Figure 8 : Approche ascendante pour la génération automatique des gammes de fabrication

Figure 9 : Structure par niveaux de conception d'une machine : Analyse partielle d'un hélicoptère

Figure 10 : Le processus de conception : Approche descendante et ascendante

Figure 11 : Forme tabulaire du S.I.D – Mécanisme à attacher des tubes flexibles en paquets.

Figure 12 : La représentation graphique des principaux éléments du S.I.D

Figure 13 : Les principaux éléments du protocole S.I.D vu par un dessinateur A.

Figure 14 : Les principaux éléments du S.I.D vu par un dessinateur B.

Figure 15 : Diagramme fonctionnel ou fonction principale d'un produit participant à la transmission d'un flux entre un émetteur et un récepteur

Figure 16 : Diagramme fonctionnel de la bielle d'un compresseur

Figure 17 : Décomposition en parallèle d'une connexion.

Figure 18 : Décomposition en série d'une connexion interne avec décomposition en sous-systèmes.

Figure 19 : Décomposition en série DANS LE CAS GENERAL.

Figure 20 : Symbolique graphique des liens et des relations

Figure 21 : Décomposition

Figure 22 : Substitution.

Figure 23 : Représentation multi-vues

Figure 24 : Représentation d'un modèle nominal et de son modèle physique

Figure 25 : Tolérancement paramétrique

Figure 26 : Tolérancement de position implicite

Figure 27 : Tolérancement de position explicite

Figure 28 : Convention de représentation

Figure 29 : Dessin de la pièce avec sa cotation.

Figure 30 : Structuration en S.A.T.T. et E.R.G.M. de la pièce.

CHAPITRE II

LES SYSTEMES INTEGRES EN INGENIERIE MECANIQUE

- Figure 31** : Schéma général de l'étude
Figure 32 : Evidemment d'une pièce
Figure 33 : Représentation en fil de fer
Figure 34 : Modélisation surfacique de surfaces gauches, d'un tore et d'un prisme
Figure 35 : Exemple de représentation C.S.G
Figure 36 : Modélisation par les frontières B-Rep
Figure 37 : Paramétrage d'une vis CHc
Figure 38 : représentation d'entités : a) par rotation ; b) par extrusion
Figure 39 : les références pour une bibliothèque de composants standards
Figure 40 : table de définition associée à une famille
Figure 41 : Description d'une table virtuelle
Figure 42 : Relation is_view_of entre modèle de représentation et modèle général.
Figure 43 : Modèle de référence d'une bibliothèque multifonctions et multi-fournisseurs : Hiérarchie de classes reliées par des mapping.

CHAPITRE III

GESTION DE DONNEES TECHNIQUES, LES SYSTEMES EXPERTS ET LES SYSTEMES COOPERATIFS

- Figure 44** : Le projet PISA – structure développé par ADEPA et BMW sur les principes de la norme STEP.
Figure 45 : Database-centred system
Figure 46 : Executive-centred system
Figure 47 : Spécification du problème avec le système
Figure 48 : Solution du problème avec le système
Figure 49 : Architecture générale de l'environnement de conception en ingénierie mécanique.

CHAPITRE IV

LES LANGAGES ORIENTES OBJETS ET LEURS APPLICATIONS EN CONCEPTION MECANIQUE

- Figure 50** : Le concept d'objet
Figure 51 : les concepts de base des langages orientés objets
Figure 52 : A) un frame représentant l'image d'un cube,
B) un système de frames représentant différentes vues du cube
d'après un exemple de Minsky en 1975.

CHAPITRE V

METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE BRAS MANIPULATEURS

Figure 53 : Cycle de vie d'un produit.

Figure 54 : Le cahier des charges

Figure 55 : Le processus de conception.

Figure 56 : Modes de représentation et les liens

Figure 57 : Les liaisons en conception.

Figure 58 : schéma de principe du touret à meuler

Figure 59 : représentation et complément de connaissances

Figure 60 : organigramme de décomposition

Figure 61 : schéma cinématique d'un bras manipulateur

Figure 62 : Robot de simulation à 6 degrés (R6)

Figure 63 : Représentations sous Autocad du bras manipulateur pédagogique

Figure 64 : Bras manipulateur pédagogique (Vues)

Figure 65 : Environnement de conception élaboré sous Visual C++

Les 4 schémas de principe considérés de guidage en rotation

Tableau de données et dimensionnement de l'arbre

Tableau de données et dimensionnement des roulements

Tableau de données et dimensionnement d'engrenages

Figure 66 : Dessins en 2D des 4 cas de guidages considérés

Abréviations :

C.A.O. : Conception Assistée par Ordinateur.

F.A.O. : Fabrication assistée par ordinateur

C.A.D/C.A.M. : Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing.

C.M.A.O. : Conception Mécanique Assistée par Ordinateur.

C.F.A.O. : Conception et fabrication assistées par ordinateur

E.G.R.M : Elément Géométrique de Référence Minimum (DATUM en anglais)

S.A.T.T. : (surfaces Associées Technologiquement et Topologiquement).

I.A. : Intelligence Artificielle

S.E : Système expert

GDT : Gestion de données techniques

SGDT : Système de gestion de données techniques

GED : Gestion électronique des documents

GEDT : Gestion électronique des documents techniques

EDM : engineering Data management

PDM : Product Data management

PIM : Product Information management

SGBD : Système de gestion de bases de données.

DIDE : Distributed Intelligent Design environment

K.R.L. : Knowledge Representation Language.

F.R.L. : Frame Representation Language.

Projets : Américains, européens

I.I.S.S. : Integrated Information Support System

E.I.F. : Entreprise Integration Information Framework

I.I.C.E. : Information Integration for Concurrent Engineering

CALS Industrie Steering Groups

PRIMECA : Pôle de Ressources Informatiques pour la MECAnique

Logiciels :

AutoCAD : Logiciel de conception

SolidWorks : Logiciel de conception

CATI et CATIA des avions de Marcel Dassault

SolidDesigner

Studio 3D Max

INTRODUCTION GENERALE

« L'évolution s'explique par le
désir d'exécuter de plus en plus vite. »
Dictionnaire LAROUSSE.

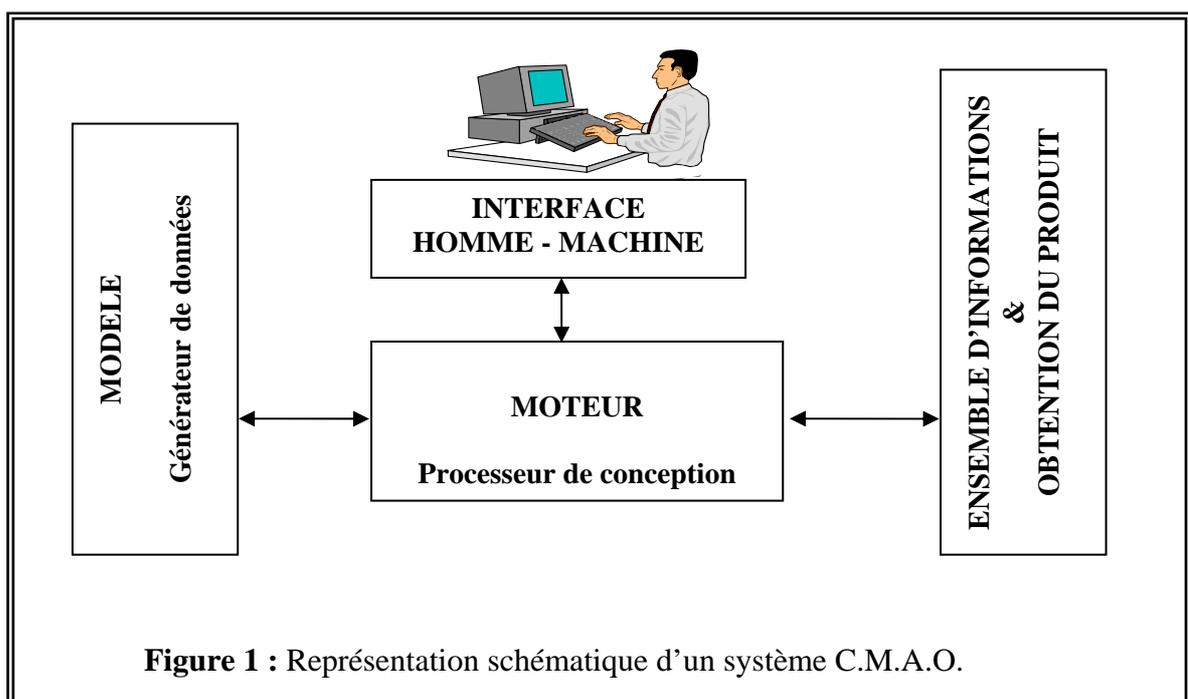
Durant la deuxième moitié de notre siècle, le monde a eu à faire face de multiples transformations et grandes réalisations dans tous les domaines ; parmi elles, la demande de plus en plus accrue de produits nouveaux. La compétitivité de mise pousse les industriels à développer sans cesse de nouveaux produits et dans des temps de plus en plus courts. Le développement et la mise sur le marché d'un produit exigent à ce que les prix soient les plus bas possibles. Les études ont toujours coûté chères ce qui a poussé les chercheurs à développer les moyens nécessaires pour réduire les coûts donc les temps alloués aux études.

L'idée de modélisation d'un système C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur) adaptée à la conception mécanique (entendu par-là, la méthodologie d'analyse de conception) vient du fait que les moyens informatiques, de calculs et les procédés de réalisation dans le domaine de la mécanique (Automobile, aéronautique, architecture navale ...) ont vu une très grande avancée. Une précision, nécessaire dans ce cas, est que les systèmes ou logiciels C.A.O. existants sont très adaptés au dessin de pièces (2D, 3D), à l'architecture, à la conception de circuits électroniques, etc. Par exemple, les systèmes de conception proposés prenaient en charge la modélisation de pièces utilisant des primitives de solides et les courbes de Béziérs chez DASSAULT (logiciels CATI, CATIA). Un système qui prend en charge le problème de conception, l'analyse et le choix de solutions technologiques, est l'un des sujets qui est en cours de développement dans les laboratoires de recherche à travers le monde [MEH 95], [TRO 89], [PRU 93].

La réflexion sur le sujet de conception mécanique a commencé à travers le monde aux années 1970 aux Etats Unis et au Japon par TOYOTA [RAM 96], à la Air Force (IISS : Integrated Information Support System) aux Etats Unis en 1990, (E.I.F. : Entreprise Integration Information Framework en 1990), (I.I.C.E. : Information

Integration for Concurrent Engineering en 1990), (CALS Industrie Steering Groups en 1991); en EUROPE, le projet ESPRIT en 1989, le projet PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la MECAnique) en 1990 et autres ont été lancés à la suite et en conformité avec ISO 9000 (Recueil de normes Internationales qui présente la stratégie des années 90 et la vision 2000 dans le domaine du management 'Norme 9000-1', de la gestion 'Norme 9000-2' ..., de la qualité en conception 'Norme 9001', et l'assurance de la qualité dans les différents domaines incluant la mécanique...).

Un nouveau domaine a été ouvert au monde de la recherche la CMAO (Conception Mécanique Assistée par Ordinateur). La démarche CMAO (figure 1) est d'intégrer tout le processus de conception dans un système qui sera défini comme un processeur de conception activant des générateurs de données (des modèles), passant par l'interactivité Homme - Machine jusqu'à l'obtention du produit (virtuel dans un premier temps assurant la fonctionnalité), sa réalisation, sa maintenabilité et son recyclage à la fin de son cycle de vie. Par exemple, les constructeurs automobiles recyclent un certain nombre d'éléments à partir de la récupération de ce qu'on appelle communément «la casse» soit pour leur intégration dans un nouveau produit, soit en tant que pièces de rechanges ou aussi comme matière première pour la fonderie et le recyclage de matière.



L'idée était fort saisissante et séduisante mais la validation d'une telle démarche restait encore futuriste malgré les travaux qui sont faits à ce jour. Des travaux ont été initiés depuis abordant ce thème. Les moyens de conception assistée par ordinateur existants permettent le dessin de pièces, donc l'idée de la solution et de son choix est établie en tant que croquis et la conception de l'ensemble est faite par assemblage de pièces définies.

L'idée actuelle est d'avoir un système d'aide à la conception (analyse de conception) entre l'utilisateur et l'ordinateur afin de modéliser le produit à réaliser, de faciliter la conception et le choix de la solution la plus satisfaisante.

La conception des machines mécaniques repose sur une double activité qui peut être résumée-en :

- **Activité analytique** : comprendre, expliquer, quantifier les comportements mécaniques ;
- **Activité synthétique** : innover, créer de nouveaux arrangements de pièces, c'est le développement du produit.

La modélisation d'un système C.A.O. revient à développer un système qui permet la prise en charge de la formulation du problème, le choix de solutions technologiques ainsi que la génération du modèle produit graphique répondant aux fonctionnalités et exigences du produit demandé. Le système C.A.O. doit aussi assurer une cohérence spatiale et temporelle des données du modèle.

Dans notre cas, il s'est avéré judicieux de commencer par positionner le problème par : la définition du cahier de charges et le respect de l'environnement (encombrement) dans un cadre global ; et, du fait que nous avons à étudier la conception d'un bras manipulateur ou robot, d'une proposition de solution pour un produit donné et mener une réflexion sur la gestion de données techniques qui s'avère être d'un flux très important dans un projet de conception mécanique.

La problématique de ce thème est de cerner le processus de conception mécanique (le besoin utilisateur et la phase de conception). Dans ce cadre, l'objectif a

été de formaliser les modes de représentation du produit par les différents acteurs et à tous les stades de développement du processus de conception.

Dans le premier chapitre, nous présenterons le processus par l'analyse de la phase de conception et les méthodes d'approche utilisées et développées à ce jour. Dans un second chapitre, nous discuterons les systèmes intégrés et les modes de représentation graphique. Dans un troisième chapitre, nous présenterons ce que peut être la gestion de données techniques et les systèmes de gestion associés, des systèmes experts et des systèmes coopératifs. Dans un quatrième chapitre, nous présenterons des langages à objets ou orientés objets (L.O.O), de l'abstraction des données et de leurs structurations. Dans un cinquième chapitre, nous présenterons une méthodologie par les méthodes d'approche pour la modélisation de bras manipulateurs. A travers un simple exemple, nous présenterons comment peut être la décomposition et que sera l'objet en conception mécanique à un haut niveau d'abstraction. Nous présenterons aussi une première analyse des bras manipulateurs utilisés en pédagogie et dans l'industrie. Dans ce même chapitre, nous montrons une implémentation de cas de guidage en rotation d'arbre et de deux engrenages portés par des roulements. Nous terminons par une conclusion générale et les perspectives de développement de bases de connaissances, de bases de données et d'un environnement pour introduire le cahier des charges.

CHAPITRE I

LE PROCESSUS DE CONCEPTION EN L'INGENIERIE MECANIQUE

I – INTRODUCTION.	17
II – ANALYSE DU PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE MECANIQUE.	21
II.1 – Le cycle de vie d'un produit.	21
II.2 – Qu'est ce qu'un processus de conception mécanique.	23
II.3 – Les différentes phases de conception.	24
3.1 – La conception créatrice.	25
3.2 – La conception innovatrice.	25
3.3 – La conception routinière.	25
III – CARACTERISTIQUES D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION.	26
III.1 – Cahier des charges ou Spécifications.	26
III.2 – La phase conceptuelle et les méthodes d'approche.	27
2.1 – Approche axiomatique.	28
2.2 – Approche Itérative.	30
2.3 – Approche descendante « <i>top-down</i> » et ascendante « <i>bottom-up</i> ».	31
2.4– Approche par niveaux.	32
2.5 – Le Diagramme d'Instances Structuré S.I.D (Structured Instance Diagram).	33
2.6 – Le diagramme fonctionnel.	42
III.3 – La conception préliminaire.	47
III.4 – La conception détaillée.	47
4.1 – Modèle de données.	48
4.2 – Le concept S.A.T.T.	51
IV – CONCLUSION.	56

CHAPITRE I

LE PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE MECANIQUE

I – INTRODUCTION

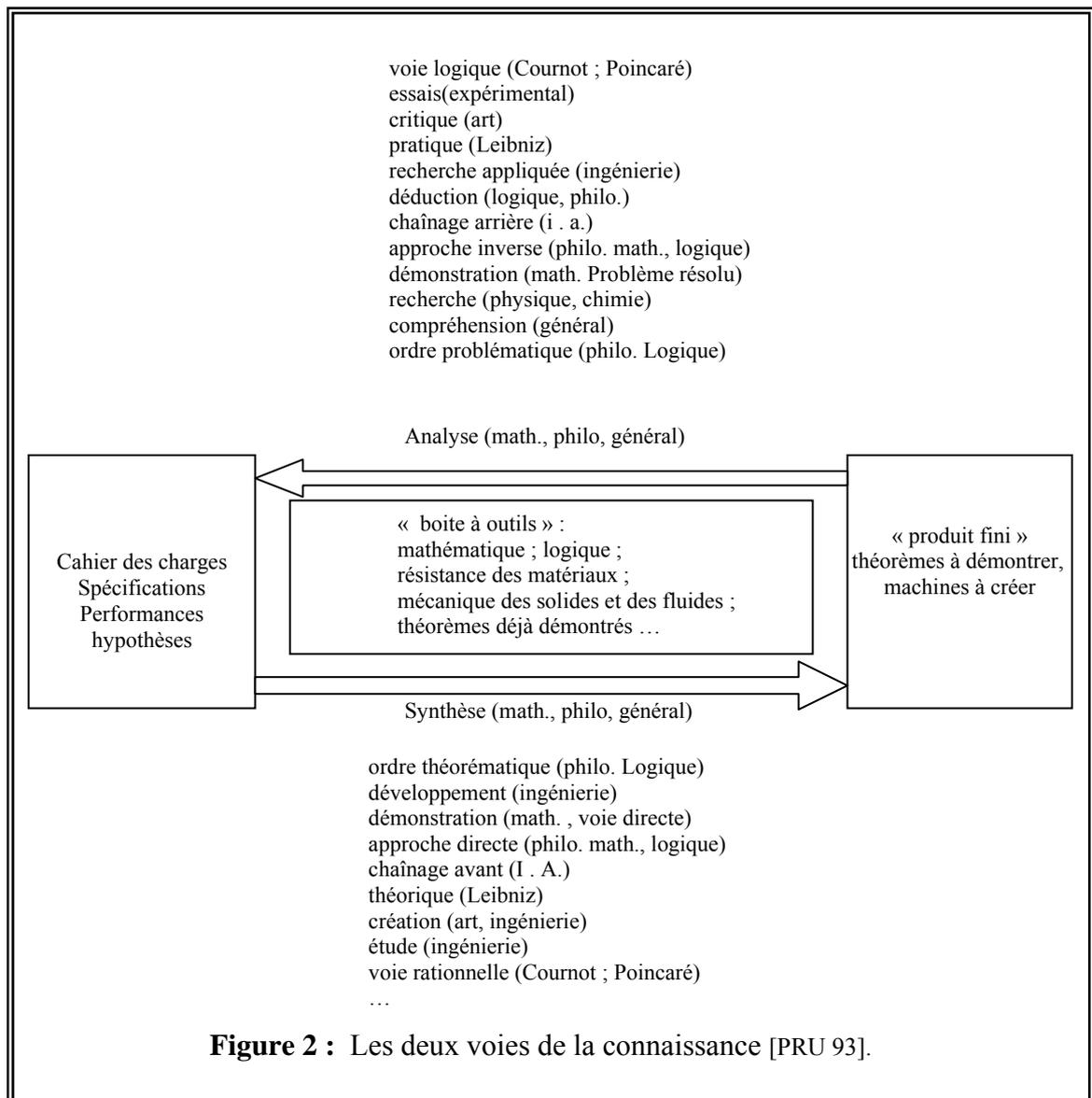
L'objectif de ce chapitre est de faire une analyse du processus de conception mécanique, de ses caractéristiques et de présenter l'état de l'art dans ce domaine à partir de l'étude bibliographique.

Dans un premier temps, il me paraissait très abordable comme thème ; des lectures faites et de la réflexion menée, je me suis retrouvé confronter non seulement à un seul thème qui est la modélisation d'un système C.A.O pour la conception mécanique - la phase d'analyse et de choix de solutions technologiques pour automatiser le processus de conception - mais, en réalité, à plusieurs domaines auxquels il est fait appel à tous les niveaux d'analyse. Dans ce qui suivra, on remarquera que la conception mécanique est un processus et aussi un ensemble de processus. Elle est en fait la synthèse de nombreuses sciences et techniques. J'en citerai bien quelques-unes des plus anciennes des sciences : l'anthropologie, la sociologie, la philosophie et autres (les méthodes d'approche relèvent de ces domaines) ; ainsi que de plus récentes : l'informatique, la C.A.O, la synthèse d'images, l'intelligence Artificielle, les bases de données, les bases de connaissances ...

Dans le domaine des sciences et de la recherche, il existe deux voies de la connaissance l'*analyse* et la *synthèse* (figure 2 présentée par F. PRUVOT [PRU 93]). La première voie est celle de l'analyse qui permet de comprendre, d'explicitier, d'expliquer et de quantifier un phénomène donné ; l'autre voie est celle de la synthèse. Elle est du domaine de la création de la connaissance. Chez beaucoup de philosophes et scientifiques, cette voie était comme un acte hautement inexplicable et, c'est plus la voie de l'analyse qui était développée. Ce qui a permis d'approcher et comprendre les phénomènes naturels. Un objet tel qu'une machine simple ou complexe n'était pas contenu dans l'ensemble des principes, axiomes et théorèmes démontrés dans les

sciences précédemment reconnues, ni ses spécifications non plus. Elle n'a jamais fait l'objet de travaux écrits. Une définition de ces deux termes est donnée par le Pr. F. PRUVOT [PRU 93] pour mettre en évidence une symétrie entre l'analyse et la synthèse :

- *L'analyse consiste donc à créer, construire des outils qui permettent la compréhension d'une chose ou de son comportement.*
- *La synthèse consiste à créer, à construire une chose à partir d'outils, de règles et d'éléments existants, portés au jour par l'analyse.*



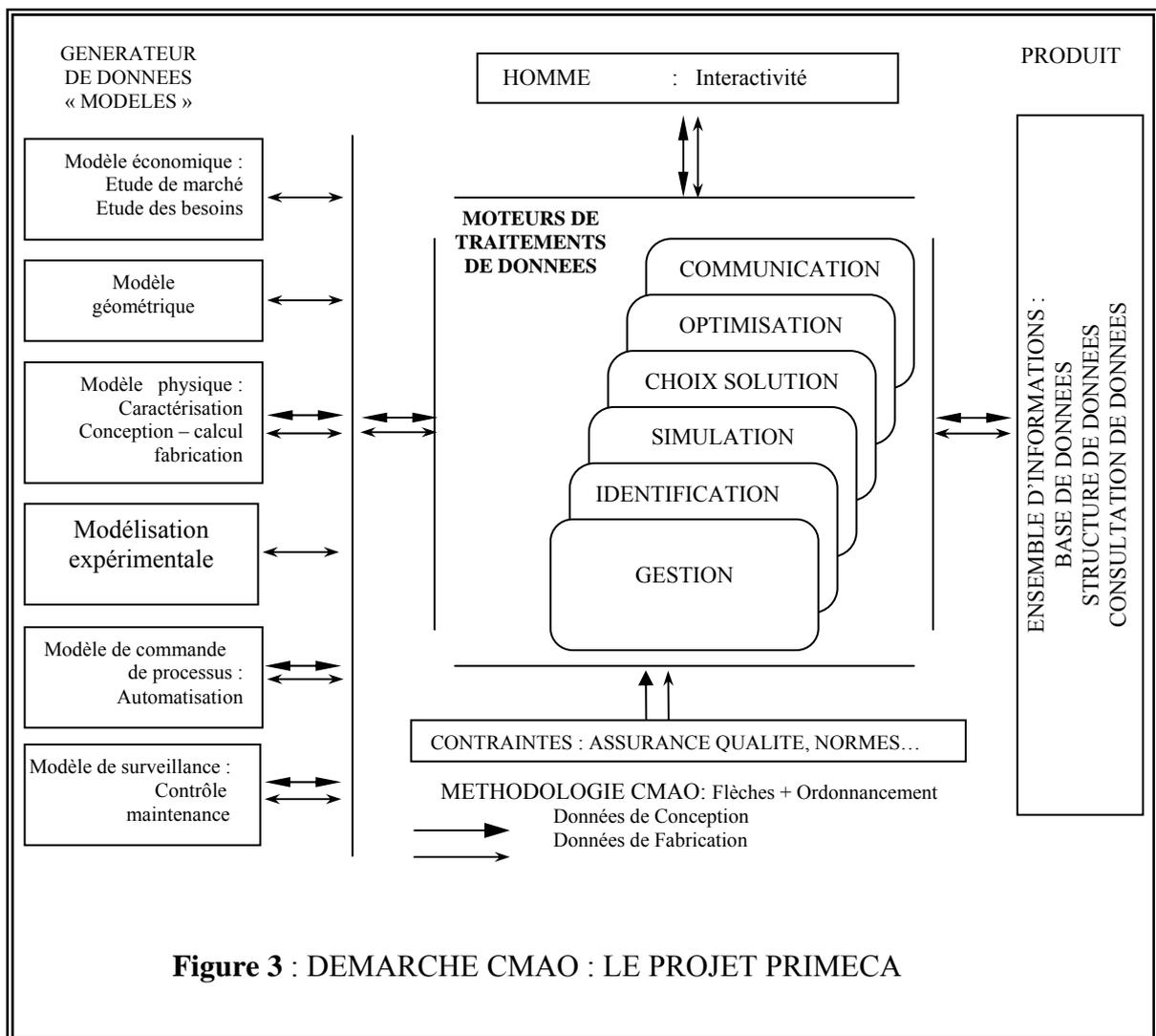
Le domaine de la conception mécanique est plus un problème de création de la connaissance *ex nihilo* ; il est donc de synthèse. La réflexion qui porte directement sur la synthèse – produit à concevoir généralement inexistant et de la lecture du Pr. F. PRUVOT [PRU 93] et de A. ESTERLINE et Al [EST 96] – doit nécessairement passer par l’analyse de l’existant en machines et autres mécanismes pour créer une base de connaissances qui servira d’aide aux concepteurs/ projeteurs de projets.

Le domaine de la conception mécanique intégré a commencé à être pris en charge d’abord par les Américains et les Japonais aux débuts des années 80 (parution des articles) et en Europe à partir des années 90. Il a été élaboré sous forme de projets nationaux et internationaux [RAM 96], [PRU 93]. Les premiers travaux sur l’analyse de la conception mécanique ont commencé aux années 70 aux Etats Unis par de grandes firmes et au Japon par TOYOTA [RAM 96]. JAY RAMANATHAN [RAM 96] rapporte dans son article quelques entreprises ayant pris part aux développements du processus de conception dans sa globalité (l’intégration de la conception du produit à sa commercialisation et même plus loin) :

- la Air Force (IISS : Integrated Information Support System) aux Etats Unis en 1990,
- (E.I.F. : Entreprise Integration Information Framework en 1990),
- (I.I.C.E. : Information Integration for Concurrent Engineering en 1990),
- (CAL S Industrie Steering Groups en 1991).

En Europe, le processus de conception qui permettait de modéliser la pièce et, par assemblage de ces pièces l’ensemble, a été introduit aux années 70 mais réservé aux grandes entreprises telles que l’Aérospatial, l’automobile et l’armement ; il y a par exemple, les systèmes CADAM de Martin Marietta, CATIA des avions de Marcel Dassault, et autres logiciels qui sont à leurs N^{ième} générations toujours non utilisables par les moyennes entreprises. Le projet ESPRIT a été lancé en 1989 ainsi que le projet PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la MECAnique) en 1990 (figure 3) dans l’objectif de faire participer les universités et grandes écoles au développement pour une plus large exploitation et d’intégrer la conception mécanique aux différents niveaux pédagogiques et industriels (même au niveau des PME, PMI). Je tiens à

préciser que ce domaine se rapporte au développement et au choix des mécanismes non à la modélisation de pièces (par les éléments finis ou autres) tel qu'entendu de nos jours par la C.A.O, ni aux assemblages de pièces modélisées une à une et améliorées par des rendus réalistes pour le «Design ». Les systèmes C.A.O. permettaient de dessiner la pièce (les études dans ce domaine ont commencé bien avant les dates citées plus haut) alors que l'analyse et l'étude de choix de la ou des solutions étaient faites sur papier.

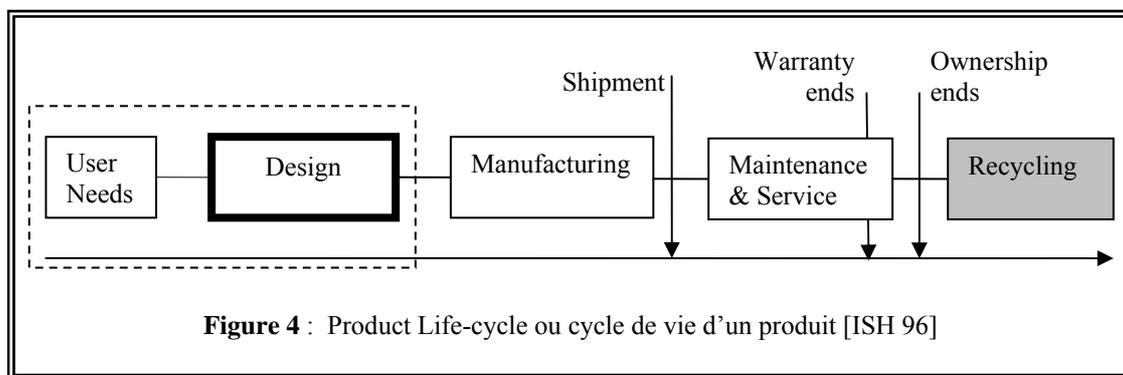


Dans un premier paragraphe, nous présenterons l'analyse du processus de conception avec une présentation du cycle de vie d'un produit, du positionnement du processus dans le cycle de vie et des différentes phases de conception. Dans un second paragraphe, nous présenterons les caractéristiques d'un processus de conception à commencer par le cahier des charges, les différentes méthodologies développées dans le domaine de la conception en ingénierie mécanique, la conception préliminaire et les concepts utilisés pour la conception détaillée. Et nous terminerons ce chapitre par une conclusion.

II – ANALYSE DU PROCESSUS DE CONCEPTION EN INGENIERIE MECANIQUE

II.1 – Le cycle de vie d'un produit

La représentation du cycle de vie du produit peut être schématisée comme le montre la figure 4 (schéma proposé par K. ISHII [ISH 96]). D'une manière très succincte, les différentes étapes sont :



- La formulation du besoin de l'utilisateur ou du problème (**User Needs**) qui est souvent très générale, textuelle et accompagnée de schémas, le tout souvent très imprécis du point de vue technologique. Il est à remarquer que dans cette phase, les hypothèses et les autres informations (la puissance, les efforts développés, l'environnement dimensionnel et physico-chimique, les coûts, le marché...) concernant le produit sont notées dans un document avec des schémas explicatifs qui peuvent être considérés du premier ordre faisant ressortir le(es) mouvement(s) ou fonction(s) principal(aux/les) du mécanisme. Un schéma de principe est établi

par l'ingénieur pour mieux cerner le problème posé.

- La phase de conception (**Design**) regroupe la décomposition des contraintes et exigences du cahier des charges en des solutions technologiques approchant le résultat (le mécanisme) à obtenir. Un schéma cinématique (ou schéma en barres) est développé par le technicien chargé de l'étude faisant ressortir d'autres fonctions possibles à combiner afin d'atteindre le résultat escompté. Des solutions fonctionnelles sont donc développées en dessins d'ensemble. Une décision de la solution la plus probante aux exigences est prise pour une étude détaillée. Donc dans cette partie, un dessin d'ensemble est élaboré en 2D avec deux ou plusieurs plans – appelés vues – (plans principaux et/ou de coupe) faisant ressortir les détails les plus élémentaires des éléments du mécanisme. La réalisabilité des formes des pièces et des calculs préliminaires de résistance des pièces sont entreprises assurant une cohérence du mécanisme étudié avec son environnement et ses conditions de résistance. Les dessins des pièces composant l'ensemble (appelés Dessins de définitions) sont réalisés à partir ce dessin d'ensemble tout en vérifiant les conditions et contraintes de fonctionnement (appelé jeux, contraintes ou ajustements).
- La phase de fabrication (**Manufacturing**) des éléments à réaliser peut être lancée et les éléments standards – appelés aussi normalisés – (de commerce) commandés si la réalisation du produit est décidée. Elle peut concerner la réalisation d'un prototype de la machine comme celle d'une série. Elle s'étend jusqu'au montage de l'ensemble et à son contrôle.
- La «**Maintenance et Service**» permettent d'assurer la commercialisation, la fidélité client, le service après-vente, un historique du produit pour une amélioration future ...
- Ces dernières années, le recyclage (**Recycling**) est un problème qui est posé aux ingénieurs et chercheurs pour l'inclure dans le processus de développement d'un produit pour la récupération de pièces (non-maîtresses) jugées encore utiles et assurer la protection de l'environnement (notre planète devient une sorte de

poubelle, plusieurs articles d'associations ont été publiés dans ce sens). L'impact est très grand dans le sens où il est généralement suivi de la réduction du prix du produit et incite le client à acquérir un nouveau produit au lieu de réparer ...

Notre étude porte sur les premières phases du processus «encadré en pointillé » qui sont les phases de formulation du problème et de conception «User needs and Design ».

II.2 – Qu'est ce qu'un processus de conception mécanique

J. C. TANG [TAN 96] considère que le processus de conception est une activité complexe qui est à l'étude depuis très longtemps. Comme le processus de conception est un travail de groupe, les approches d'analyse du processus sont basées sur les méthodes expérimentales utilisées en sociologie et en anthropologie. A. ESTERLINE [EST 96] révèle que le dessin conceptuel est très mal défini par les mathématiques de l'ingénieur. Les outils d'approche sont ceux utilisés en intelligence artificielle. P.N. KOHN et Al. [KOH 96] fait ressortir que la conception qui utilise des moyens disponibles et les éléments de catalogues est plus un état de recherche qu'un exercice. D. CONSTANT [CON 97] rapporte qu'il n'y a aucun système actuellement qui gère les aspects fonctionnels de produits conçus ou à concevoir. Les modèles d'analyse fonctionnelle ne sont pas suffisamment formalisés pour une implémentation dans un système. Pour B. TROUSSE [TRO 89], la conception a des significations très variées selon les individus et les domaines et qu'il n'existe aucun modèle universel pour cette activité. Pour J. GUILLOT [GUI 83], concevoir un objet passe par la recherche de la meilleure solution technologique du moment à définir en tenant compte des contraintes posées. Pour P. GHODOUS [GHO 97], le développement d'un produit s'appuie sur la communication entre les différents acteurs agissant sur le projet (les personnes impliquées dans l'étude de marché, la recherche, le développement, la fabrication ...).

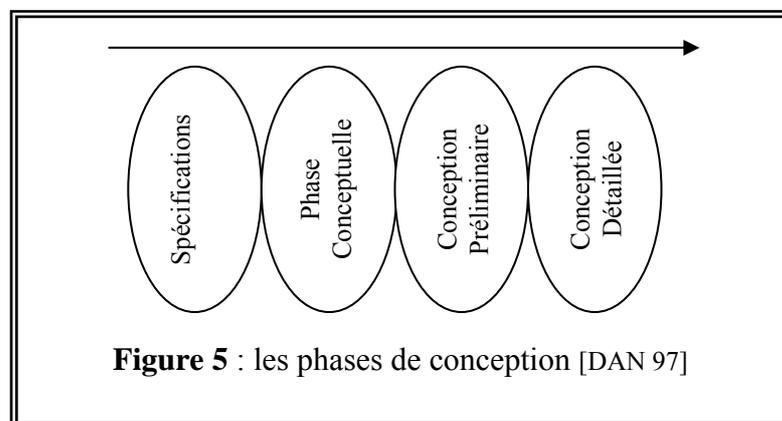
A partir de ces définitions très diverses, il ressort que la conception d'un système mécanique ou d'un mécanisme nécessite une plus grande réflexion et une analyse minutieuse des exigences. Quant à ses phases de spécification et de conception des fonctionnalités et du choix des solutions techniques, cela nécessite une base de

connaissance et une base de données qui permettent à l'utilisateur de pouvoir interpréter la formulation du problème posé, les enrichir en fonction de ses besoins et les exploiter pour des travaux futurs.

Du côté des chercheurs, la complexité du problème réside dans la difficulté à formaliser celui-ci en des termes mathématiques et informatiques ce qui rend le système souvent plus lourd et plus lent alors qu'il doit être plus souple, plus accessible et doit répondre aux exigences de l'utilisateur en des temps de plus en plus court. Il doit se présenter sous forme de support d'aide à un apprentissage plus simple et plus aisé pour son exploitation. L'analyse de la phase conceptuelle nécessite une analyse dans son fond et sa forme ce qui permettra d'établir une méthodologie d'approche à ce problème et de pouvoir l'implémenter.

II.3 – Les différentes phases de conception

La conception d'un mécanisme est classiquement décomposée en quatre étapes fondamentales [MIN 97], [DAN 97], [DEN 97] : la spécification du produit, la phase conceptuelle, la conception préliminaire et la conception détaillée (figure 5). Ce qui permet à l'équipe de concepteurs d'établir une « hiérarchie fonctionnelle », une traduction très progressive des fonctions très générales du cahier des charges en solutions techniques réalisables et répondant aux exigences demandées jusqu'à la réalisation du projet. Dans l'élaboration d'un projet de conception, la connaissance et l'expérience du projecteur sont les clés de la conception.



Chandrasekaran [CLE 97] distingue 3 classes de problèmes de conception : la conception créatrice, la conception innovatrice et la conception routinière.

3.1 – La conception créatrice

Dans le cas de la conception créatrice, le produit à développer est nouveau. La recherche de décomposition fonctionnelle fait partie intégrante du travail de conception. Les résultats conduisent généralement à la création de nouvelle entreprise.

3.2 – La conception innovatrice

Pour la conception innovatrice, la structure fonctionnelle du produit est connue mais certains éléments font intervenir des solutions innovantes. L'introduction de ces innovations nécessite quelquefois une refonte globale du processus de conception et de fabrication.

3.3 – La conception routinière

La structure de décomposition de la conception routinière est connue, les solutions technologiques utilisées aussi. Généralement, une nouvelle variante d'un produit est construite à partir d'une modification plus ou moins substantielle de l'ancienne version et de laquelle on conserve les spécificités fonctionnelles. Le concepteur prend en compte un nouveau cahier des charges pour chaque variante du produit. L'objectif de la conception routinière est de profiter du capital compétence existant pour procéder le plus rapidement possible aux modifications préconisées.

Dans le domaine de la conception mécanique, 60 à 80% des tâches relèvent de la conception routinière [KOH 96], [BAR 92], [CLE 97]. Le dessin est l'incarnation de la connaissance des fonctions et des interactions des composants impliqués dans le mécanisme. Ainsi, l'utilisation des atouts disponible n'est pas qu'une simple procédure mais une philosophie pour approcher la conception [KOH 96].

Les systèmes de conception CFAO (CAD/CAM) ou récemment appelés CMAO [MEH 95] - Conception Mécanique Assistée par Ordinateur – pour la différencier de la CAO ou de la CFAO – doivent fournir des outils, le langage et la base de données nécessaires à la modélisation de la structure du produit (aspect statique) et à la modélisation de son comportement (aspect dynamique de la simulation).

Donner une définition au processus de conception n'est donc pas si évidente vu la différence des types de problèmes posés. Une sémantique est nécessaire pour une généralisation de la formulation des exigences et des conditions à remplir par le produit à réaliser. L'étude de l'existant (mécanismes déjà fonctionnels) de manière plus approfondie permettra d'asseoir une épistémologie dans le sens du processus de conception.

Dans le paragraphe suivant, nous allons voir les caractéristiques du processus de conception qui sont le cahier des charges et les différentes approches utilisées pour satisfaire les exigences du produit.

III – Caractéristiques d'un processus de conception

En ingénierie mécanique, la méthodologie d'approche est celle qui caractérise le processus de résolution du problème. Ainsi, plusieurs méthodes ont été étudiées et présentées par les chercheurs depuis que l'on s'intéresse au processus de conception. Ce qui est primordial est le cahier des charges et sa décomposition en des fonctions techniques.

III.1 – Cahier des charges ou Spécifications

La première phase de conception débute par l'élaboration d'un cahier des charges qui doit fournir un ensemble d'informations se rapportant au problème. Le cahier des charges est le document qui permet de recenser les exigences et les contraintes du produit ainsi que le service rendu placé dans son contexte économique

[GAB TI]. Il doit contenir les objectifs à atteindre par et pour le produit, donc une description détaillée qualitative et quantitative du produit (ce sont les performances techniques), des informations sur les taux d'utilisation et de production (ce qu'on peut appeler les performances économiques) et l'environnement dans lequel il va fonctionner, des performances de gestion qui précisent la fiabilité et la gestion des pannes (prévision des arrêts) (par exemple, la gestion des copeaux et du liquide de coupe pour une machine-outil ... [PRU 93]). Le cahier des charges est ensuite étudié et détaillé par l'équipe du bureau d'études en termes techniques (schémas normalisés et textes) remplissant les fonctions attendues.

A partir de ces données, le développement des phases conceptuelles, préliminaire et de détail du produit pourront être étudiées et développées dans le respect des contraintes exigées. Des schémas et toutes les annotations nécessaires peuvent y être rapportés précisant un (ou des) détail(s) ou l'ensemble du produit à concevoir.

Il est à remarquer que, pour les cahiers de charges de machines-outils, les grands constructeurs les établissent avec des listes exhaustives de caractéristiques ou performances mais ils sont spécifiques à chacune des machines-outils sans qu'il y ait une prise en considération des outils et autres matériels disponibles auprès des utilisateurs. Généralement, les machines sont d'abord réalisées en prototypes ou en unitaires à partir d'une demande unique et spécifique ; par la suite, le constructeur finit par réaliser une série de machines qu'il propose à la vente avec ses propres caractéristiques et à l'utilisateur de l'intégrer dans son parc de production en fonction de ses besoins.

III.2 – La phase conceptuelle et les méthodes d'approche

La phase conceptuelle peut être considérée comme étant l'ensemble des actions à mener pour décomposer le cahier des charges en des solutions techniques assurant ainsi le fonctionnement demandé et les contraintes exigées. Des méthodes d'approches ont été développées dans ce sens, nous allons voir quelques-unes dans ce qui suit.

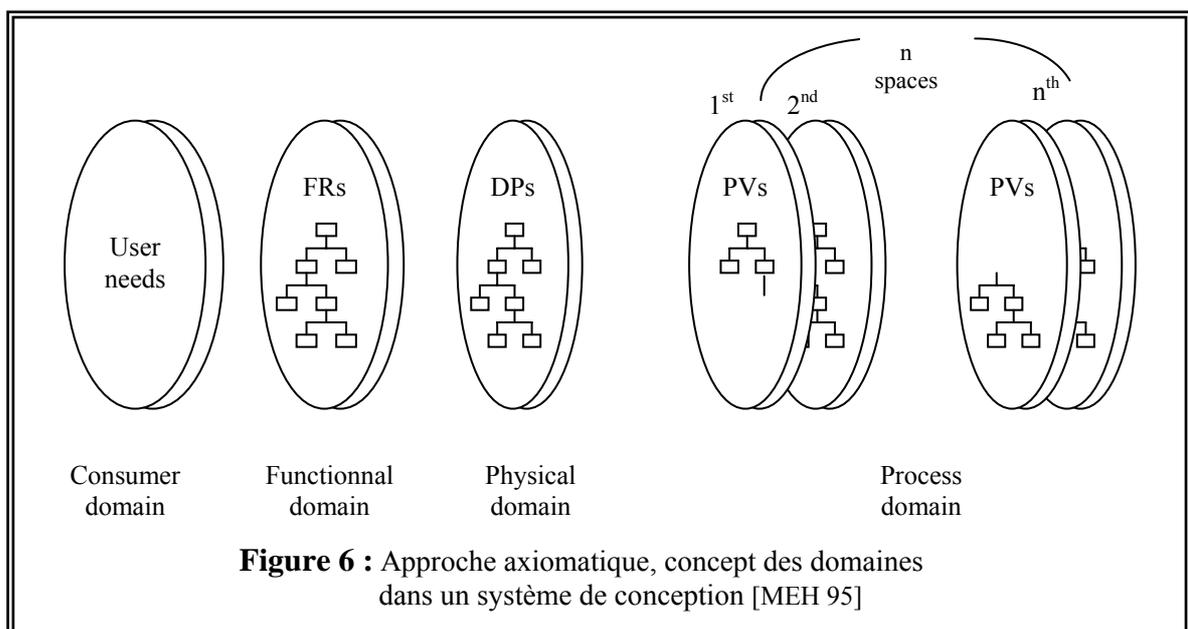
2.1 – Approche axiomatique

L'approche axiomatique a été utilisée dans toutes les sciences comme une première base d'approche depuis les Grecs de l'antiquité. Elle est très utilisée en mathématique et en logique et est fondée sur des propositions admises sans démonstration, nettement formulées et avec des raisonnements rigoureux. Un certain nombre d'axiomes sont émis pour qu'une bonne construction soit souscrite. Un de ces axiomes est l'indépendance fonctionnelle. Chaque fonction élémentaire doit être traduite par ses organes propres. Cette approche peut être un outil très puissant dans la phase d'analyse [utilisée par R. Descartes dans le «Discours de la méthode» en 1637]. L'approche axiomatique est nouvelle dans la conception des systèmes [MEH 95], [PRU 93] ; des travaux ont été entrepris par SUH en 1991 [MEH 95] ainsi que par d'autres chercheurs.

La méthodologie de l'approche axiomatique consiste à :

- 1 - Etablir les buts du concept pour satisfaire une série de besoins ;
- 2 - Analyser la solution proposée ;
- 3 - Sélectionner le meilleur concept parmi les concepts proposés ;
- 4 - Implémenter le concept.

Proposée par SUH [MEH 95], cette approche est basée sur une méthodologie de décomposition par domaines d'applications et est donnée en figure 6.



Le domaine utilisateur (en anglais : consumer domain) est celui dans lequel on indique les besoins du consommateur de produit.

Ces besoins seront organisés dans un domaine physique sous forme d'une série d'exigences fonctionnelles (FRs : functional requirements).

Ces FRs seront organisés dans un autre domaine appelé domaine physique (physical domain) dans lequel les paramètres de conception (DPs : Design parameters) seront choisis et contrôlés pour satisfaire les FRs.

Enfin, les DPs seront organisés dans le domaine processeur en termes de variables du processus (PVs : Process variables). Le domaine processeur sera constitué à partir de sous programmes qui traitent des PVs. Il peut être partagé en plusieurs sous domaines qui constituent un espace de travail. La relation entre les domaines est que le domaine «consommateur» est l'expression de 'ce que nous voulons' (en anglais, «what we want ?»); et le domaine «processeur» représente 'comment y satisfaire ce que nous voulons' (ou «how we will satisfy we want).

Chaque domaine peut être décomposé selon une hiérarchie. Les concepts sur lesquels repose l'approche axiomatique sont l'axiome de l'indépendance et l'axiome d'information. Le premier axiome maintient l'indépendance des exigences fonctionnelles (FRs) et le second axiome minimise le contenu des informations. La relation entre le domaine fonctionnel et le domaine physique est traduite par l'équation :

$$\{FRs\} = [A]\{DPs\}.$$

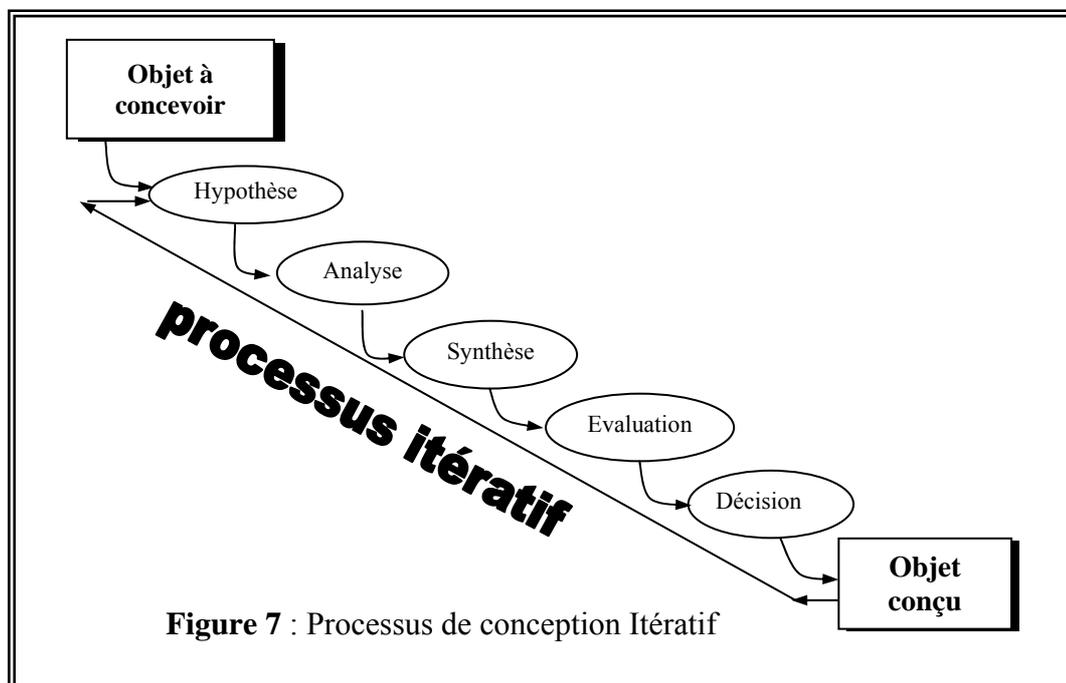
Dans cette équation, {FRs} représente le vecteur des exigences fonctionnelles du produit à concevoir et {DPs} représente le vecteur des paramètres de conception. La matrice A représente la matrice de conception du produit ; et les éléments A_{ij} de cette matrice sont donnés par :

$$A_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$$

Cette approche n'est pas encore très développée. Le premier axiome s'avère puissant comme dans la phase d'analyse ; quelques exemples simples ont été entrepris par cette méthode. La réalité dans la conception mécanique est que cette indépendance fonctionnelle est quasi impossible pour le moment [PRU 93] car le mécanisme, même décomposé en des fonctions indépendantes, est en réalité un seul ensemble à étudier pour ses performances statiques et dynamiques.

2.2 – Approche Itérative

L'approche itérative est la plus utilisée dans la conception des systèmes mécaniques (figure 7). Dans la conception d'un produit mécanique, l'ingénieur a besoin de se fixer des hypothèses de départ pour commencer son processus de conception. Il les analyse, en fait des synthèses, ensuite les évalue et enfin prend des décisions afin d'aboutir à l'étape finale «le produit à concevoir». Cette phase finale peut ne pas être satisfaisante si les hypothèses prises par le concepteur ne sont pas suffisantes pour répondre à toutes les exigences du cahier des charges.



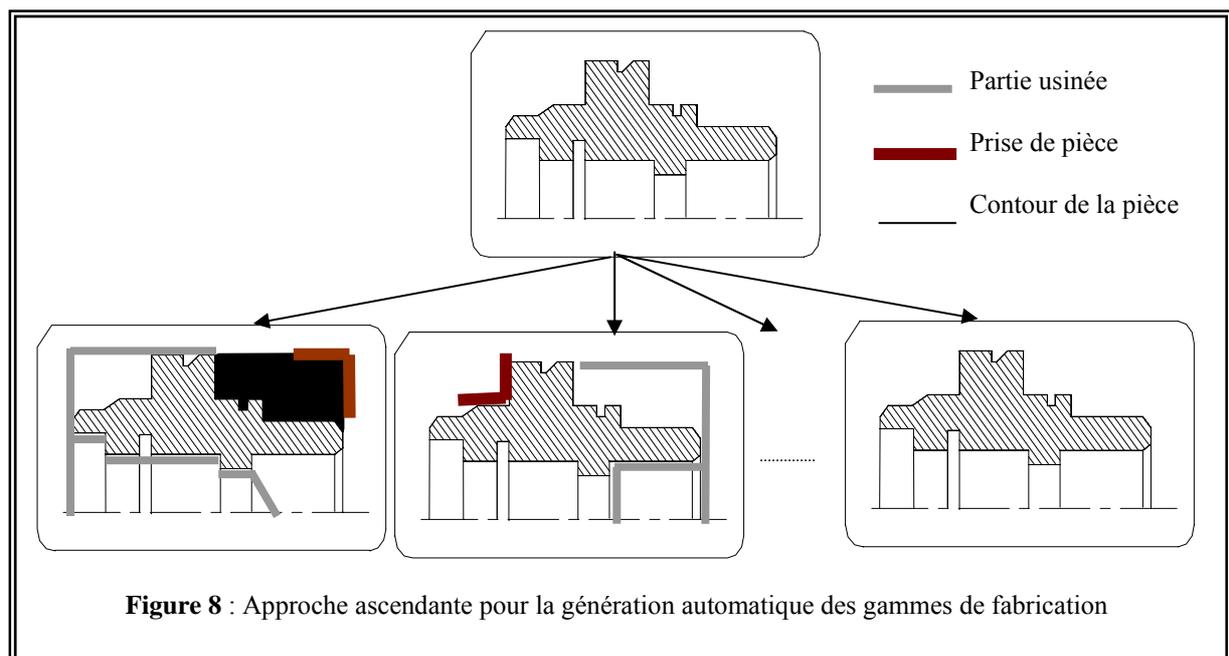
Ainsi, le processus de conception est considéré par des chercheurs comme une suite itérative de décisions. La solution d'un problème est le résultat d'une longue série de prises de petites et grandes décisions qui appartiennent à deux catégories majeures :

1. Les décisions d'organisation ou de planification qui déterminent le chemin du processus de conception, référencé par « process decision » ;
2. Les décisions techniques qui déterminent la solution actuelle du problème de conception, référencé par « technical decision ».

Dans la littérature des systèmes experts, ces termes sont définis par « meta-decision » une décision qui concerne la prise de décision et « domain-decision » une décision dans un champ technique du problème.

2.3 – Approche descendante «top-down» et ascendante «bottom-up»

L'approche descendante « top-down » est utilisée dans les premières phases de la conception. Elle sert à la construction ou la décomposition d'un problème en sous problèmes. Quant à l'approche ascendante, elle permet l'évaluation du processus de conception où la représentation fonctionnelle sert de modèle sémantique pour comparer une variété de systèmes aux différents domaines de la conception. Dans le cas de l'élaboration d'une gamme d'usinage (figure 8), on prend la pièce finie et par ajout des épaisseurs de copeaux enlevés, on définit la pièce brute en caractérisant les états intermédiaires pour chaque phase d'usinage (thèse de doctorat de P. Mognol à l'ENS – CACHAN).



2.4– Approche par niveaux

L'analyse d'une machine de type connu peut être décomposée suivant différents niveaux (figure 9) [MEH 95], [GUI 83]. De même, on peut procéder de cette manière à la décomposition d'une machine exprimée par un cahier des charges. Cette décomposition en niveaux permet de traiter et de développer les niveaux séparément et de vérifier la cohérence et la concordance des sous-ensembles entre eux. Cette décomposition se fait selon deux étapes (figure 10) :

- La première étape permet d'avoir une définition fonctionnelle globale descendante allant des caractéristiques les plus générales aux caractéristiques particulières des éléments constitutifs.
- La deuxième étape est obtenue par la définition technologique remontante donc des solutions technologiques de base, on remonte à la conception de la solution globale.

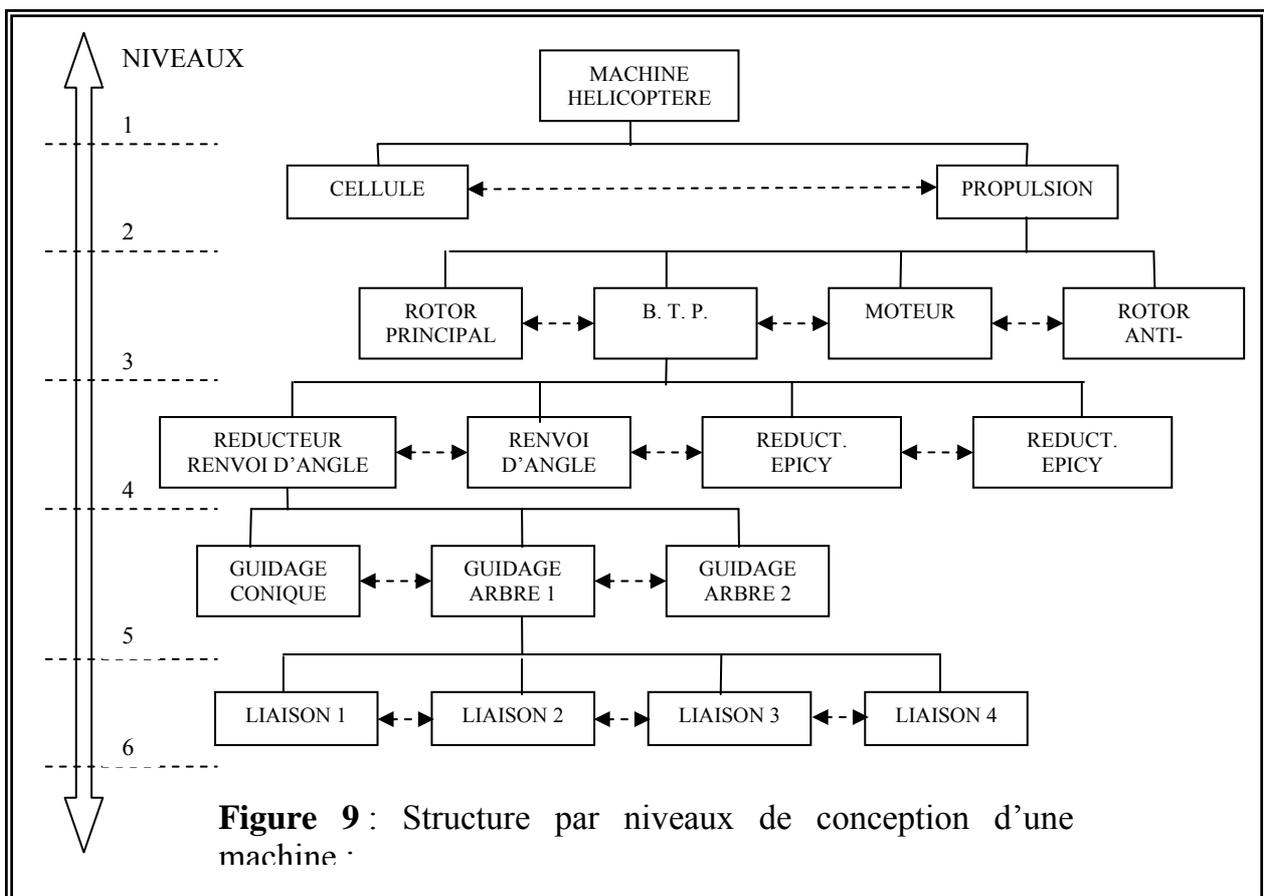
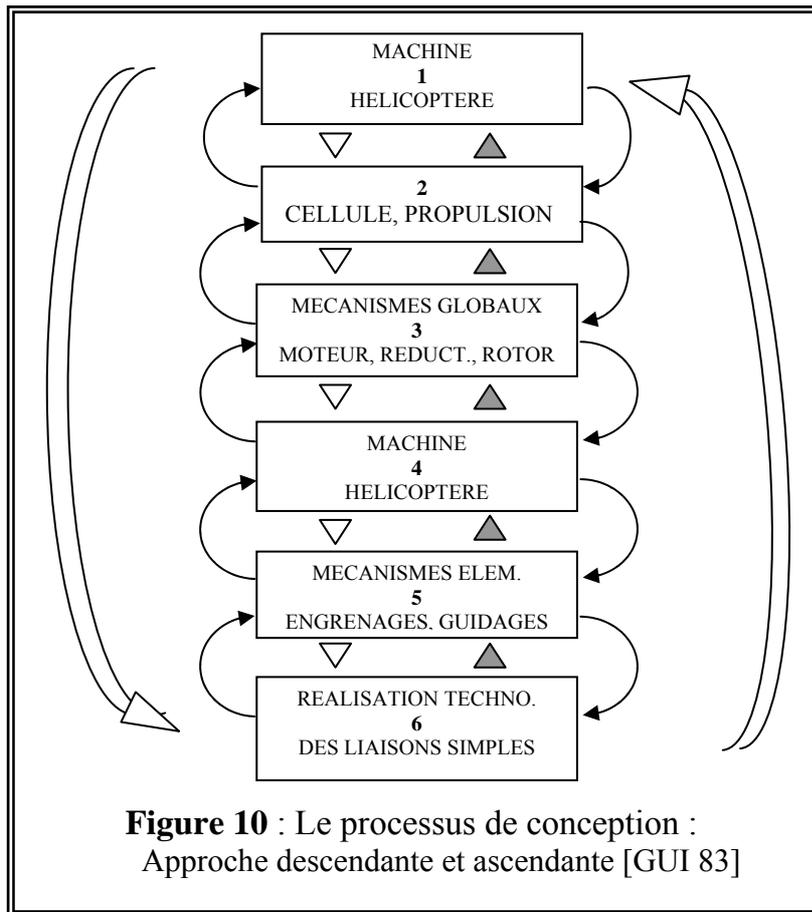


Figure 9 : Structure par niveaux de conception d'une machine :



Cette approche paraît très logique dans le domaine de conception mécanique ; elle est en fait très utilisée dans un bureau d'études. Seulement, son implémentation telle que présentée par J.GUILLOT [GUI 83] est figée de part la représentation d'objets et des liaisons entre objets qui semble assez limitée et le processus est imposé à l'utilisateur.

2.5 – Le Diagramme d'Instances Structuré : S.I.D (Structured Instance Diagram)

ESTERLINE [EST 96] présente dans son article une méthodologie qui permet la représentation de la phase conceptuelle en mécanique. Il rappelle la nécessité des bases de connaissances – KBSs (Knowledge based systems). Les formalismes des sciences théoriques informatiques introduites sont la dénotation sémantique, la théorie de langage formel ainsi que les réseaux de pétri. L'objectif du travail est la recherche d'algorithmes efficaces qui peuvent être maniés à partir et par des bases de données simples.

Le Diagramme d'Instances Structurées (S.I.D : Structured Instance Diagram) est une représentation figurative construite à partir de l'analyse du protocole [EST 96]. La méthodologie S.I.D permet la représentation de la phase conceptuelle en mécanique en utilisant des bases de connaissances (KBSs : Knowledge Based Systems). La compréhension du concept du problème est primordiale dans l'étude de conception ce qui permet de définir les stratégies de résolution qui ne sont généralement pas connues à l'avance. Le S.I.D représente la perspective du dessinateur et l'évolution du problème dans le temps. Il est spécifique à un protocole particulier.

Le S.I.D. comporte des tâches, des entités, des relations et des propriétés en rapport avec les entités. La méthode permet de rassembler les informations relatives au concept général sous forme d'un tableau d'éléments (figure 11) et une représentation graphique (figure 12) permettant d'explicitier les liens entre les entités et les tâches. Ces éléments sont des éléments formels caractérisés dans le domaine d'équation de dénotation sémantique. Chaque élément est déclaré dans l'ontologie statique. La structure du SID doit être compatible avec les contraintes types imposées par l'ontologie statique. Les aspects évolutifs sont déclarés dans l'ontologie dynamique. Cette méthode est appelée le développement limite en mécanique conceptuelle.

1. Compact-typing (task) [0.1]
 - Operand(1,(2,5): the operands of 1 are 2 and 5 [0.1, 0.4]
 - $(WR(1) \cap R(2))_{\text{some}} \neq \emptyset [0.1]$
 - $(WR(1) \cap R(5))_{\text{some}} \neq \emptyset [0.4]$
2. Bundle (of flexible plastic tubes) (entity)[0.1]
 - Rel-loc (2,5): the relative location of 2 to 5 [0.4]
 - Initial: 2 distant from 5 [0.4]
 - * 1 [0.4]
 - final: 2 tied to 5 [0.4]
 - a (2) : orientation of 2 (quality) [0.fig]
 - value: he axis of 2 is horizontal and is normal to the direction 2 moves to and from the device realizing 1.
 - b (2): compactness of 2 (accident) [0.2]
 - initial: no [0.2]
 - * 1 [0.2, 0.3]
 - final: yes [0.2, 0.3]
 - collection (2) [0.2]
 - collection (2) . cardinality (quality); value: 12
 - collection (2) . type (quality); value: tube
 - collection (2) . type . a : flexible (accident)
 - collection (2) . type . b : material (quality); value: plastic
 - collection (2) . type . length (quality); value: 12''
 - collection (2) . type . c : inside diameter (quality); value: ½''
 - length (2) [0.2] (quality); value: 12''
3. Returning (task) [0.3]
 - Operand (3, (2)): the operand of 3 is 2 [0.3]
 - end (1) ≤ end (3) [0.3]
 - Postrequisite (3,1): 3 is Postrequisite of 1 [0.3]
4. Receiving (task) [0.3]
 - Operand (4, (2)): the operand of 4 is 2 [0.3]
 - begin (4) ≤ begin (1) [0.3]
 - Prerequisite (4, 1): 4 is a prerequisite of 1 [0.3]
5. Twist-on { tie } (entity) [0.4]
 - a (5): composition of (quality) [0.4]; value: paper enclosed wire
 - dimensions (5) [0.4]; value:
 - (> the perimeter of the cross section of $2_{\text{final}(1)}$, ≤ 1-2'', negligible)
 - deformed-shape (5) (quality)
 - initial:
 - * 1 [0.4]
 - final: the largest dimension is deformed to follow the perimeter of a cross section of $2_{\text{final}(1)}$.[0.4]
 - b (5): tied (accident) [0.4]
 - initial: no [0.4]
 - * 1 [0.4]
 - final: yes [0.4]

Figure 11 : Forme tabulaire du S.I.D [2]
 Mécanisme a attacher des tubes flexibles en paquets.

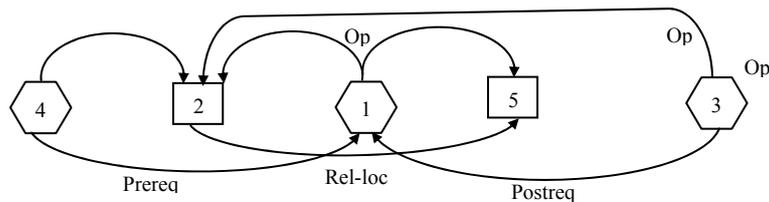


Figure 12 : la représentation graphique des principaux éléments du S.I.D

Les notions de base :

Le SID est composé d'entité, de relations, de propriétés et aussi de tâches avec une représentation des éléments comme suit :

Entités : (des nœuds rectangulaires) incluent des dispositifs et des opérateurs (opérands), des obstacles à résoudre et plus ;

Tâches : (des nœuds hexagonaux) sont les fonctions requises par le dessin ;

Relations distinguées : (des arcs spéciaux) sont parmi les tâches ou entre les entités et les tâches ;

Relations non distinguées : (un losange connecté par un arc aux éléments relatés) sont rattachées typiquement aux entités mais pas toujours.

Les propriétés : (un nœud ovale connecté par un arc à l'élément dont il est la propriété) sont des propriétés typiquement des entités mais pas toujours.

L'exemple traité est une représentation simplifiée de l'étude d'une machine pour attacher en paquets des tubes flexibles. La forme tabulaire (figure 11) représente une partie des tâches et des entités de la machine. Les relations et propriétés sont inscrites sous chaque tâche ou entité auxquelles elles s'y rapportent. Et les tâches ou entités sont à inscrire sur des pages séparées afin de pouvoir y rajouter des propriétés ou des relations additionnelles à tout moment.

De la forme tabulaire (figure 11), l'élément 1 est la tâche principale du problème «attacher en paquets des tubes flexibles». L'entité 2 est l'alimentation en tubes, la tâche 3 est pour la sélection et le retournement du paquet, la tâche 4 reçoit le paquet - nombre de tubes sélectionnés - et l'entité 5 est le mécanisme de torsade pour attacher le paquet. La référence entre parenthèses indique la justification. Les références entre crochets sont de la forme [0.X] ou [0.X, 0.Y] où « 0 » indique la spécification du problème et X - Y indiquent la(es) spécification(s) (de 1 à 5) ou bien la figure (fig.) dans la spécification. Une tâche peut avoir une ou plusieurs opérateurs (Operands), des entités sur lesquelles elle agit. Par exemple, sous 1, l'Operand

(1,(2,5)) indique que l'Operand de 1 sont 2 et 5. En général, le second argument est le n-tuple indiquant les n éléments possibles. Les propriétés sont qualifiées par qualité – cas fortuit «en anglais : quality – accident » ainsi que les relations. La relation de l'opérateur Operand peut être une relation de cas fortuit (accident) : Operand(I, L), où I est une tâche et L une liste d'entité, est vrai ou fausse et aucune valeur n'est indiquée même si c'est vrai. En contraste, Rel-loc(I, J), où I et J sont des entités, est vrai s'il y a une relation d'emplacement entre I et J ; si la relation existe alors on peut demander la valeur associée (par exemple, une direction, une distance...).

Plus explicitement, une qualité f peut être considérée comme une relation binaire $f(-,-)$ qui est une relation fonctionnelle. Si on admet i – de type approprié – alors on a un seul v pour qu'on ait $f(i, v)$. Donc elle peut être représentée comme une fonction explicite et on peut l'écrire $f(i) = v$. Les valeurs de i – de type approprié – constituent le domaine de définition de f . Si on admet que i n'est pas de type approprié alors $f(i)$ peut être défini ou ne pas l'être (f serait alors une fonction partielle sur le domaine). Si $f(i)$ indique une propriété, elle est prise en terme vrai/faux dépendant de i – de type approprié – du domaine de f , alors on peut demander la valeur de $f(i)$ et la traiter comme une fonction. Dans les termes de la base de données f est un attribut, i est une clé (ou code) et v est la valeur de f pour i unique.

Les propriétés qui ne sont pas distinguées sont données consécutivement par des lettres minuscules comme noms (par exemple $a(2)$, $b(2)$). Les propriétés des propriétés sont représentées par les structures collection(I) (par exemple, collection(2) qui la tient de l'entité 2). Ces propriétés ont la propriété de cardinalité (dont la qualité est le nombre de parties répétées) et du type. Elles peuvent même avoir leurs propres propriétés (par exemple, $a(\text{type}(\text{collection}(2)))$) - ou bien notée : $\text{collection}(2).\text{type}.a$ - où l'on a 3 niveaux de propriétés) qui ne change pas dans le protocole.

Les changements que certains éléments subissent sont représentés par ($\longrightarrow 1$), (par exemple, la relation Rel-loc(2, 5) dans la figure 11) qui change de valeur quand la tâche est exécutée. Lorsque la tâche est suffisamment spécifique un profil temps est inscrit dessous ; et il a la forme de :

initial : <description> [Ref₀]
e₁ : <description> [Ref₁]
.....
e_n : <description> [Ref_n]
final : <description> [Ref_{n+1}]

Les éléments e_i sont les événements tels qu'ils se produisent et les [Ref_i] sont des références aux segments du protocole qui y fait référence.

La notation WR(I) indique l'espace de travail où la tâche opère, avec une référence I. De la même manière, si J est le nombre de référence d'une entité alors R(J) indique la région occupée par l'entité. Pour représenter l'intersection d'une section temporelle d'un élément A – de la forme A_T – où T est une référence temporelle de la forme Initial(I), final(I) et e_i(I) avec I le numéro de référence d'une tâche. La notation des relations entre les régions et l'espace de travail est exprimée en notation de la théorie des ensembles. L'indication 'some' est utilisée comme une souscription aux intersections entières (par exemple, la formulation $(WR(1) \cap R(2))$ de la figure 11) et indique que l'espace de travail de la tâche 1 et la région occupée par la tâche 2 s'entrecroisent. La notation *Prerequisite(4,1)* indique que la tâche 1 ne peut être faite à moins que la tâche 4 le soit ; et que *Postrequisite(3,1)* affirme que la tâche 3 est réalisée avant la tâche 1. Pour exprimer les implications temporelles avec les relations, les propriétés ou les entités, on utilise la relation distinguée Causes(I, X) où I est la tâche et X peut être (la valeur) d'une relation, d'une propriété ou d'une entité. Les relations temporelles des ordres totaux sont représentées par des symboles usuels (\leq) et sont inscrits comme elles se présentent dans le temps par introduction des expressions *begin(Int) - end(Int)*. La représentation graphique retrace l'évolution et les liens entre les tâches et les entités.

Une des voies pour la progression d'un dessin est la décomposition du problème en sous tâches par l'introduction de relations distinguées qui seront déclarées dans l'ontologie dynamique. Cette décomposition apparaît dans plusieurs travaux de recherche du domaine de la conception mécanique. Si I est une tâche et I₁, ..., I_n sont

des sous tâches (en anglais : *Subtask*) de I, alors $Subtask(I_i, I)$ est considérée pour tout i ($1 \leq i \leq n$). Les relations distinguées mentionnées sous les sous tâches comme $Realizes(E_1, T_1)$, $RealizesE(E_1, E_2)$, $RealizesT(T_1, T_2)$ et les $Sustains(T_1, E_1)$ où les T_1 et T_2 sont des tâches et les E_1 et E_2 sont des entités. Pour fixer T_2 , il y a au plus un T_1 tel qu'on ait $RealizesT(T_1, T_2)$; s'il y a plusieurs tâches réalisant T_2 alors ces tâches seront prises comme des sous tâches.

Les deux graphes (figures 13 et 14) montrent le codage du protocole pour résoudre le problème de la figure 11 par deux ingénieurs. Le premier (appelé A) est universitaire et propose le graphe de la figure 13. Le second (appelé B) est un ingénieur d'entreprise avec 20 ans d'expérience industriel et a proposé le graphe de la figure 14. La structuration des deux diagrammes fait ressortir le fait que la relation Rel-loc de la figure 13 est ignoré et on trouve une relation A (detached-part-of) et la propriété *tied* dans la figure 14. Les relations qui donnent l'historique du dessin sont montrées par des flèches à double tête.

Le dessinateur A décompose la tâche principale 1 en tâches (figure 13) : une tâche de compactage (6 : compacting) et une autre d'attache du paquet (11 : tying) ; avec la condition de la tâche de compactage en pré-requis à la tâche «attache du paquet». Il décompose ensuite le compactage en sous tâches : une tâche pour rassembler les tubes (8 : gathering) et une autre pour les secouer (9 : jiggling). Il préconise de réaliser les deux tâches en une simple entité. Et, enfin, il prévoit la relation (RealizesE) comme un dispositif à 2 effecteurs en forme de « C ».

Le S.I.D est constitué de tâches, d'entités et de relations évolutives. Il peut y avoir des fonctions de partage (par exemple, la tâche 10 dans la figure 13 et la tâche 11 dans la figure 14). Dans ce cas, on ne peut avoir de chemins directs constitués d'arcs évolutifs et des cycles qui reviennent sur eux-mêmes. Le squelette du diagramme est appelé une tâche D.A.G – graphe acyclique direct (en anglais : Directed acyclic graph). Donc, si deux nœuds dans le S.I.D sont sur un même chemin alors une tâche survient en premier dans le chemin avant l'autre ce qui impose un certain ordre (partiel) sur les nœuds du D.A.G.

Dans le S.I.D, les nœuds sont considérés comme des nœuds AND. La réalisation d'une tâche exige la réalisation de toutes les sous tâches puisqu'elles sont en rapport avec les conjonctions des nœuds qui sont à rechercher à partir de l'évolution des arcs. Si on a n alternatives de réalisations d'un élément (avec $n > 1$) alors on crée n copies de l'élément et ces copies seront connectées par un arc à l'article d'origine ; l'arc représente un chemin alternatif. Dans ce cas, le nœud est considéré comme un nœud OR puisqu'il relate la disjonction des nœuds. Dans le tableau S.I.D, les n solutions alternatives seront assignées d'un nombre J ($1 < J < n$), listées et numérotés $I . J$ (où I est le nombre correspondant à l'origine). L'alternative est annotée d'un résumé auquel elle s'y rattache.

Le S.I.D est comparé aux réseaux. Il est approximatif pendant la saisie des séquences ; la tâche D.A.G prend un ordre partiel sur les tâches et les entités articulées qui sont concrètes mais inscrites avec une description approximative. L'identification des propriétés (spatio-temporelles) appropriées à la conception mécanique et spécialement les relations est la majeure partie de l'abstraction. La progression de la conception, avec le nombre de tâches et d'entités en croissance, s'élève parfois jusqu'au détail.

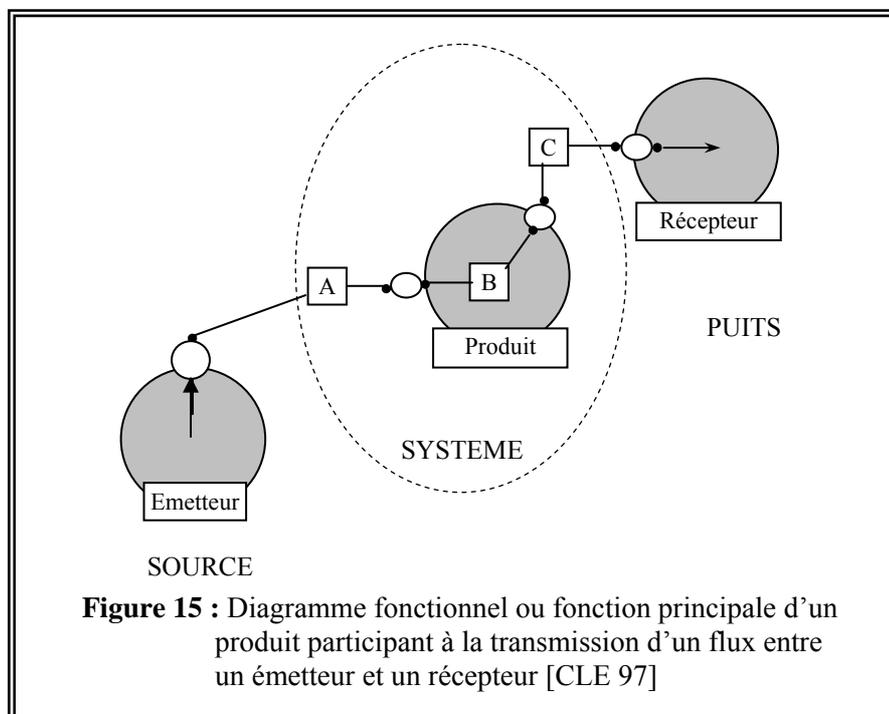
L'approche s'appuie sur les éléments ontologiques qui définissent la structure du problème. Les restrictions et les contraintes sont aussi localisées ce qui permet, par la suite, d'aboutir aux valeurs numériques par les techniques familières.

En conclusion, l'approche par le S.I.D permet d'être considéré dans la

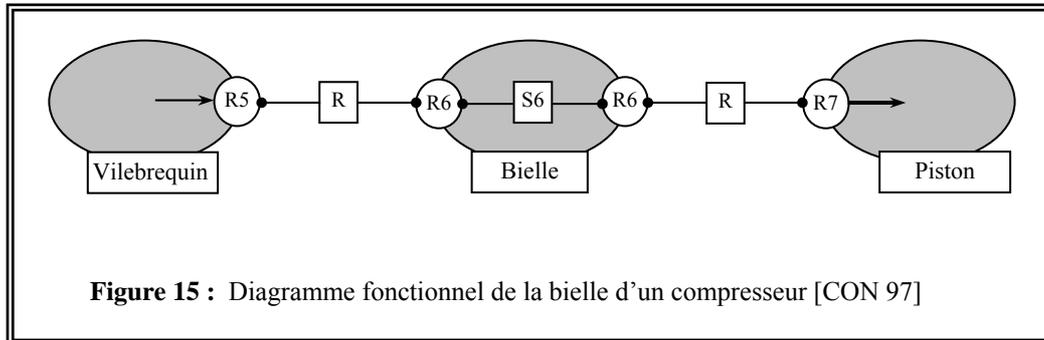
conception créatrice ; mais, comme souligné au début du paragraphe, une base de connaissance est nécessaire et aussi la tâche est à réaliser par des spécialistes qui ont la connaissance technique et peuvent assurer le choix de solutions répondant aux contraintes du cahier des charges.

2.6 – Le diagramme fonctionnel

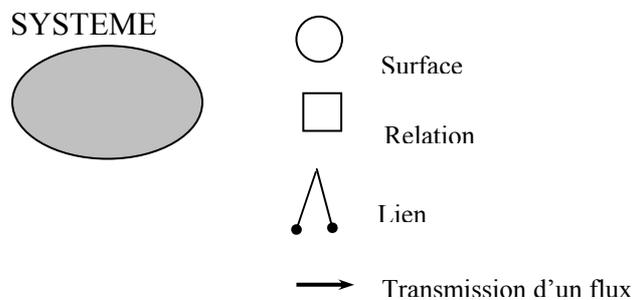
Le diagramme fonctionnel [CON 97] [BAR 92] est un mode de représentation des éléments d'un système qui peuvent des surfaces ou des groupes fonctionnels de surfaces utilisant le concept S.A.T.T. (acronyme de Surfaces Associées Technologiquement et Topologiquement – concept présenté au paragraphe III.4, 4.2) [CLE 94], [CLE 97]. Cette approche est basée sur des modèles tels que le modèle de connexion de BJORKE [CLE 97] (figure 15), et la schématisation graphique est mise au point par D. CONSTANT [CON 97] où il donne une représentation du mécanisme vilebrequin - bielle – piston (figure 16).



En figure 16, le composant considéré est une bielle qui a des interactions avec un piston et un vilebrequin. La représentation montre les caractéristiques de bielle avec :



- le composant représenté par une ellipse (appelé système dans le cas général),
- les surfaces en contacts (fonctionnelles) représentées par des cercles qui sont positionnés sur le contour de l'ellipse (ou variables d'état),
- Des relations (ou liens) entre les surfaces des éléments sont représentées par des traits avec une extrémité noire et des carrés avec une lettre indiquant la relation qui est, d'une manière générale une relation géométrique et technologique,
- Et la transmission du flux est représentée par une flèche.



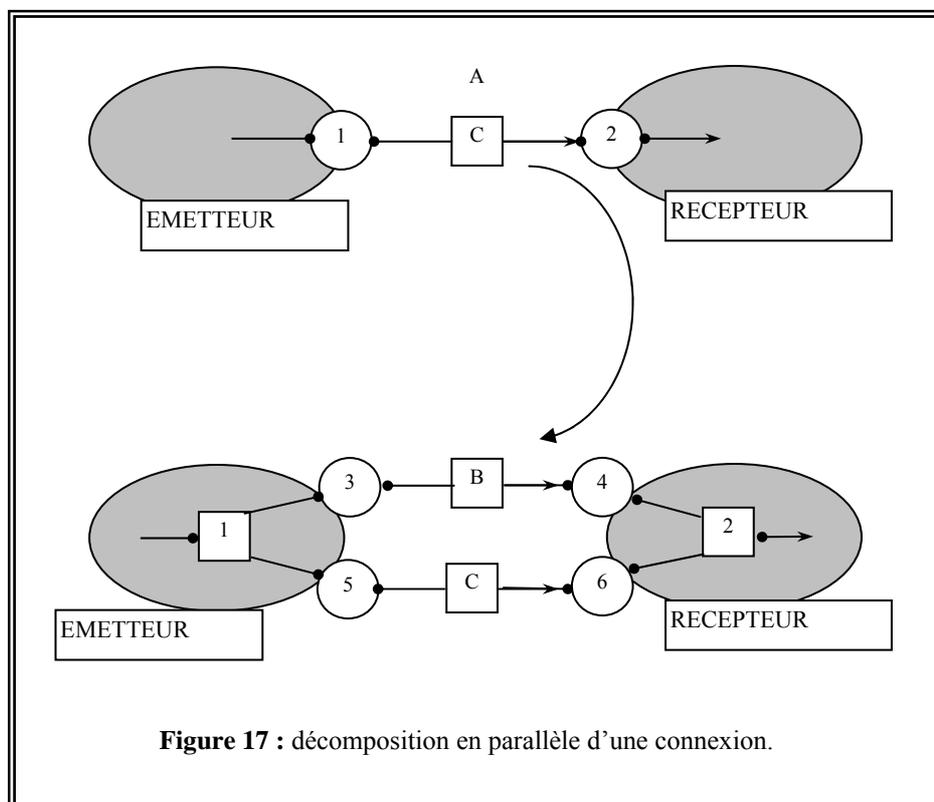
Les concepts principaux utilisés sont le concept de surface et le concept de relation de position relative entre les surfaces. Les connexions permettent de construire les ensembles suivants :

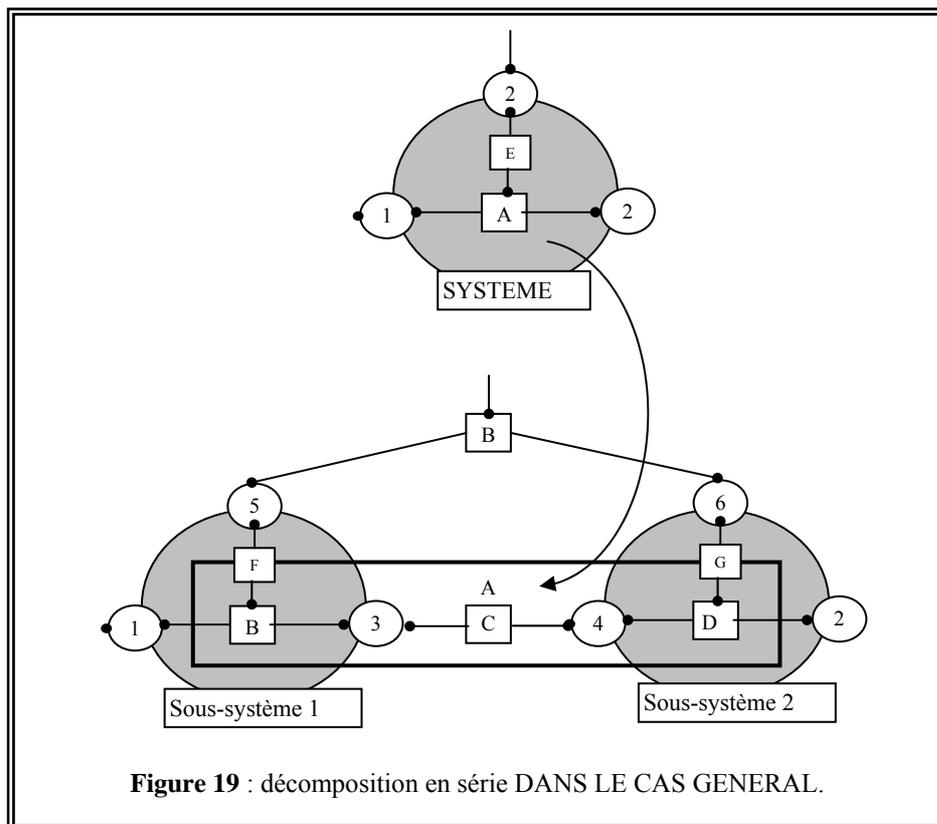
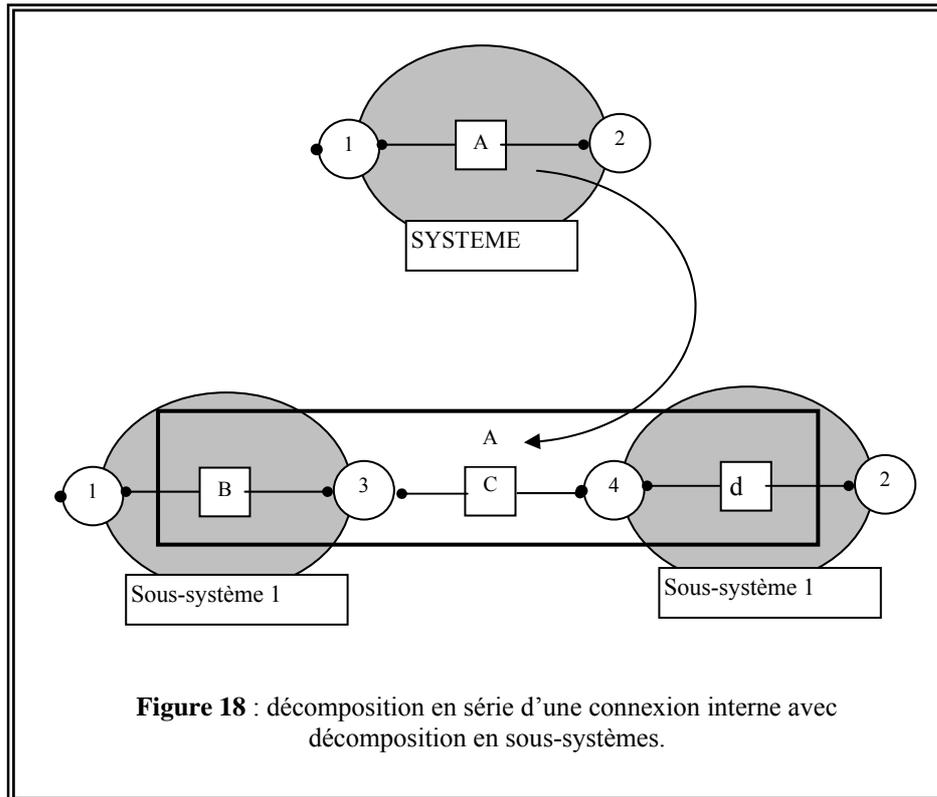
- Les groupes de surfaces et leurs intersections (connexion spatio-temporelle) : un groupe de surfaces est un ensemble identifié de surfaces ayant des connexions de positionnement relatif dans un état donné ;
- Les solides réels ou virtuels : un solide réel ou virtuel est un ensemble identifié de

groupes de surfaces ayant des connexions topologiques actives ou inactives ;

- Les machines ;
- Les états actifs ;
- Les gammes de fabrication : les gammes sont constituées par une liste des états actifs successifs.

Cette représentation graphique permet de ce point de vue deux possibilités de décomposition : une décomposition en parallèle (figure 17) et/ou une décomposition en série (figures 18 et 19). Ces opérations sont possible grâce à la propriété mathématique qui est la dualité entité/relation : une relation peut être vue soit comme une procédure qui fait correspondre des variables de sorties à des variables d'entrées, soit comme le sous-ensemble de l'espace produit cartésien des variables d'entrées et de sorties vérifiant la relation. Ce sous-ensemble est un élément, et est appelé OBJET dans le monde informatique de la «programmation orientée objet ».

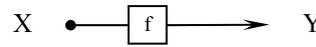




Une relation est notée par la présence de petits cercles noirs sur le carré indiquant une relation et on a :

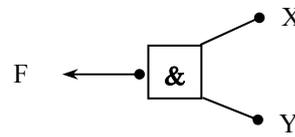
- *Relation procédurale*

Il s'agit d'une fonction explicite : $y = f(x)$.



- *Transformation d'une Relation en OBJET*

Il s'agit d'une fonction implicite : $F(x, y) = 0$.



A un plus haut niveau d'abstraction, la connexion fondamentale de la mécanique est la connexion « assemblage de surfaces ». Le terme assemblage prend la même signification pour un assemblage final, (par exemple, une mise en position d'un outil sur une machine-outil) et toutes les contraintes technologiques qui s'y rattachent sont traduites par une contrainte géométrique. Le terme assemblage est aussi appliqué aux surfaces et les relations topologiques qui permettent de réaliser un volume fermé. En assemblage de surfaces, deux types de connexions sont utilisés :

1. « **est positionné relativement à** » (aspect géométrique et technologique) ;
2. « **est limité par** » (aspect topologique).

L'état d'une pièce est défini par ses deux graphes de connexion correspondants. Une surface est dite active pour une connexion donnée si et seulement si la procédure correspondante à la connexion doit être exécutée. Les connexions entre les composants et les surfaces de la pièce doivent être aussi indiquées. Ce sont les relations procédurales entre les variables technologiques des différents composants et la pièce considérée. Ces relations se présentent souvent sous forme de tables. Une table porte un nom qui est celui de la connexion. Elle contient toutes les valeurs des variables d'état du système considéré. Généralement, les relations sont décrites par des relations algébriques ou logiques.

Une relation est composée de 3 parties : un ensemble de départ X, un ensemble d'arrivée Y et une méthode f qui permet d'établir la correspondance entre les deux ensembles. On l'appelle « triplet relationnel » et est noté :

$$\left[X \xrightarrow{f} Y. \right]$$

A partir de deux ensembles connus (**X** et **Y**), la création d'un nouvel ensemble est obtenue par le produit cartésien (\times) des deux éléments; et son lien à l'ensemble précédent par ($\&$). Elle est notée :

$$X \times Y \ \& \ \left[X \xrightarrow{f} Y. \right]$$

En conclusion et sans introduire les notions d'objets et ses relations qui seront discutées plus loin, la représentation de systèmes par le Diagramme Fonctionnel est plus proposée dans le cadre de la conception routinière où l'on considère que le mécanisme et les solutions sont connues. Il permet de gérer la cohérence entre les données fonctionnelles et la définition géométrique d'une solution. Une première proposition est d'utiliser la représentation par Diagramme Fonctionnel pour la création de bases de données ou de connaissances.

III.3 – La conception préliminaire

Dans la phase de conception préliminaire, le projeteur dessine et représente de manière plus précise la solution technologique choisie avec l'étude cinématique et dynamique du mécanisme et le choix des éléments standards. Les calculs des éléments et/ou leurs vérifications sont entreprises pour tous les éléments composants. Dans cette étape, le choix des éléments est établi par rapport à toutes les exigences du cahier des charges afin d'assurer les contraintes du cahier des charges défini pour le mécanisme par l'utilisateur. Une nomenclature est établie faisant aussi ressortir toutes les pièces composantes (à réaliser et standards ou de commerce), les matériaux et les traitements thermiques et/ou de surfaces que doivent subir certaines pièces ou surfaces de pièces selon leurs utilisations...

III.4 – La conception détaillée

Selon la méthode classique, les dessins (appelés dessins d'ensemble) de tout ou partie de la machine sont réalisés dans le plan donc en 2D suivant 2, 3 ou 4 vues et quelquefois plus afin de représenter le mécanisme et faire ressortir certains détails

fonctionnels de la machine étudiée. Par la suite, une étude des contraintes de fonctionnement (appelée jeux de fonctionnement, de montage de pièces, d'usinages ...) est faite sur l'ensemble de la machine afin de permettre la réalisation des dessins des pièces composantes qui sont à réaliser (appelés dessins de définition). Dans cette phase d'étude du produit, la conception détaillée de tous les éléments composants est faite avec une représentation de toutes les pièces d'une manière normalisée et à l'échelle. De la nomenclature est établie un listing des éléments de commerce.

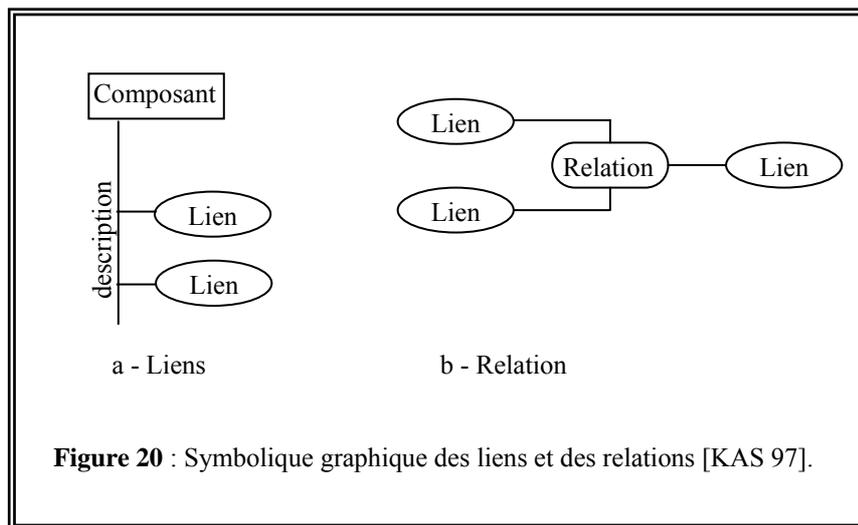
La conception détaillée des pièces est lancée une fois que les dessins d'ensemble de la solution choisie sont terminés car la représentation du produit peut avoir été décomposée en sous-ensembles ou par niveaux... Toujours en 2D et suivant au moins les trois plans constituant l'espace, ces dessins comportent tous les détails de la pièce considérée avec ses dimensions, ses tolérances dimensionnelles et géométriques et les états de surfaces pour celles qui seront en contact suivant la contrainte exigée ...

Ce sont ces paramètres de tolérancement dimensionnelles, géométriques et d'états de surfaces qui ont fait réfléchir des chercheurs sur le mode de représentation des pièces. TICHKIEWITCH [KAS 97], [TIC 97] a proposé une représentation de modèle de données permettant de représenter les pièces. A. CLEMENT et Al [CLE 94] ont mis en place une méthodologie de représentation des pièces par E.G.R.M. (Elément Géométrique de Référence Minimum ou DATUM en anglais) en développant le concept S.A.T.T. (surfaces Associées Technologiquement et Topologiquement). Ces deux modes de représentation sont détaillés dans les paragraphes ci-dessous.

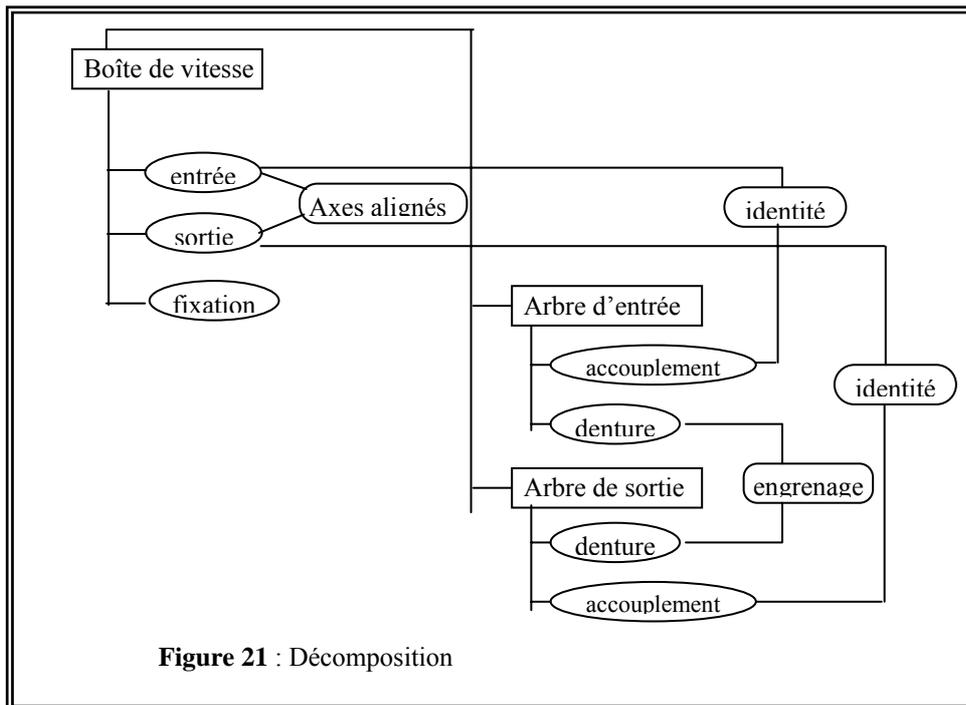
III.4.1 – Le modèle de données

Le modèle de données proposé par TICHKIEWITCH [KAS 97], [TIC 97] - inspiré d'un article de DEBARBOUILLE 1994 de Matra Datavision - est une représentation de l'objet par la notion de composants, de liens et de relations (figure 20). Le composant est l'objet indispensable qui permet la description du produit (par exemple carter, arbre de boîte de vitesse, roulement...). Le lien est une partie du

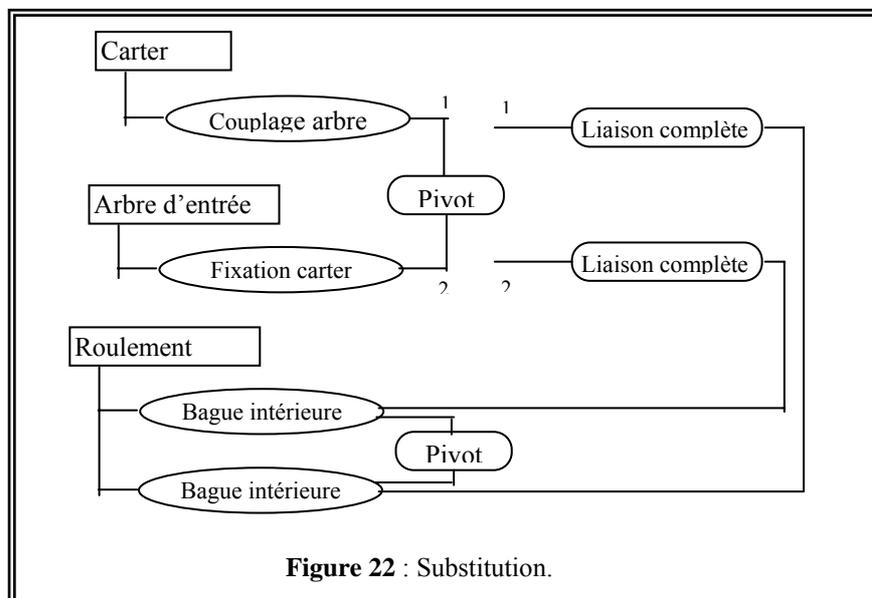
composant permettant à son environnement de le percevoir (figure 20-a). La relation permet l'association des liens (figure 20-b). Les associations, contraintes ou relations se formalisent à travers les liens au moyen de relations. Le modèle des données est complété par des opérateurs de décomposition (figure 21), de substitution (figure 22) et par des représentations multi-vues (figure 23).



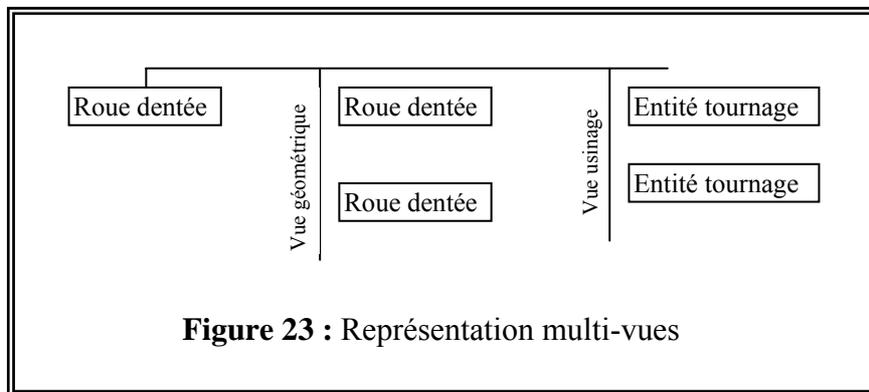
La décomposition d'un composant (figure 21) permet d'avoir les différents niveaux d'abstraction et de définition. Les composants à un niveau d'abstraction inférieur à un composant donné sont reliés par une ligne verticale à celui-ci.



La substitution (figure 22) permet de remplacer, à un même niveau d'abstraction, une relation par un ensemble de composants, liens et relations pour une spécification plus fine de la relation remplacée.

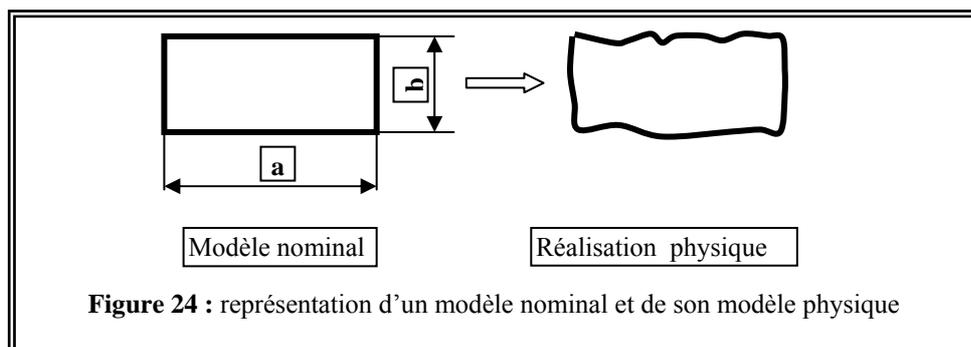


La représentation multi-vues (figure 23) permet d'avoir des décompositions différentes d'un composant suivant de vues différentes. Un axe horizontal relie les vues et duquel vont descendre des axes verticaux de décomposition des vues nécessaires.

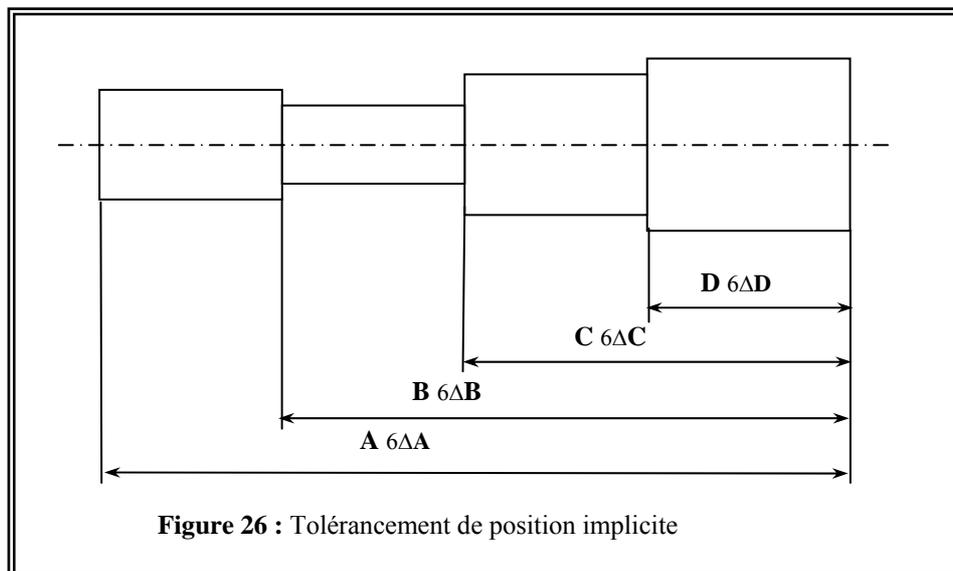
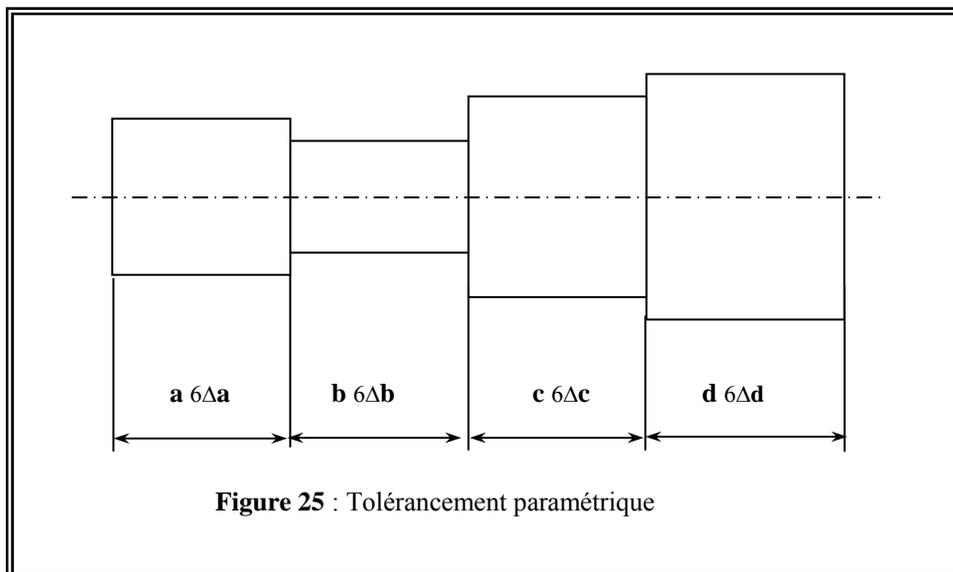


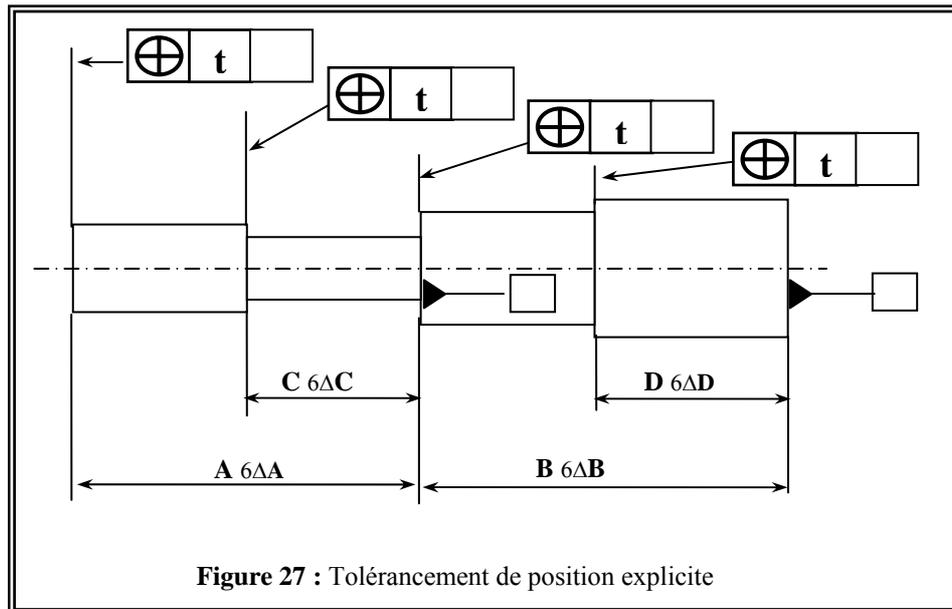
III.4.2 – Le concept S.A.T.T [CLE 94]

Les concepteurs commencent généralement par définir les composants d'un mécanisme par des modèles idéaux à l'aide de «dimensions nominales». La réalisation du produit mécanique est en fait plus ou moins proche du modèle par ses formes et dimensions. Les systèmes de C.A.O. existants à ce jour sont basés sur ce principe et la cotation est élaborée par la suite. La présence et la nécessité du tolérancement sont dues à plusieurs facteurs qui sont les contraintes d'assemblages et de fonctionnement (ajustements, les états de surfaces...) et les contraintes de fabrication (usure de l'outil, chauffe de la zone de coupe ...), le matériau utilisé ... Ces conditions de tolérancement sont des spécifications rapportées par l'ingénieur et sont tirées du cahier des charges. La figure 24 montre un exemple de pièce avec une représentation théorique et sa représentation physique.



Le concept S.A.T.T. (**Surfaces Associées Technologiquement et Topologiquement**) [CLE 94] a permis de lever l'ambiguïté de la cotation de pièces faisant ressortir ce qui est appelé par la norme «tolérancement de position» au lieu de l'utilisation de «tolérancement paramétrique» (figures 25, 26, 27). Elle provient de la cotation fonctionnelle qui prend en compte les conditions (contraintes ou jeux) de fonctionnement du mécanisme (par exemple, assemblages avec ou sans jeux) et les conditions de réalisations (par exemple, la longueur minimale ou maximale pour une partie filetée). Alors que le tolérancement de position implicite et le tolérancement paramétrique sont plus adaptés dans le cas de la fabrication (moyennant un transfert de cotes) et surtout pour la programmation les points en commande numérique.





Définition du S.A.T.T.

On appelle S.A.T.T. une paire de surfaces ou une paire de S.A.T.T. ou une paire composée d'une surface et d'un S.A.T.T. appartenant au même solide. Dans le cas d'une surface unique, le symbole d'erreur de position est utilisé pour indiquer le défaut de forme. Il est dit qu'il y a «AUTO REFERENCEMENT». La surface considérée est appelée E.G.R.M. - ou DATUM en anglais – (**Elément Géométrique de Référence Minimum**) représenté graphiquement dans un rectangle.



Par exemple, lorsqu'une surface réelle est cylindrique, son E.G.R.M. est l'axe du cylindre. Les conventions de représentation sont telles que présentées par la figure 27.

Un *Elément réel* (tolérancé ou de référence) est indiqué par son nom inscrit dans une ellipse. L'élément de référence (E.G.R.M. ou DATUM) est indiqué par son nom inscrit dans un rectangle (figure 28 - a). La figure 28 - b montre l'exemple d'un plan de référence qui est relié à son propre E.G.R.M. par la condition de planéité et avec d'autres E.G.R.M par une condition de parallélisme et une autre de perpendicularité.

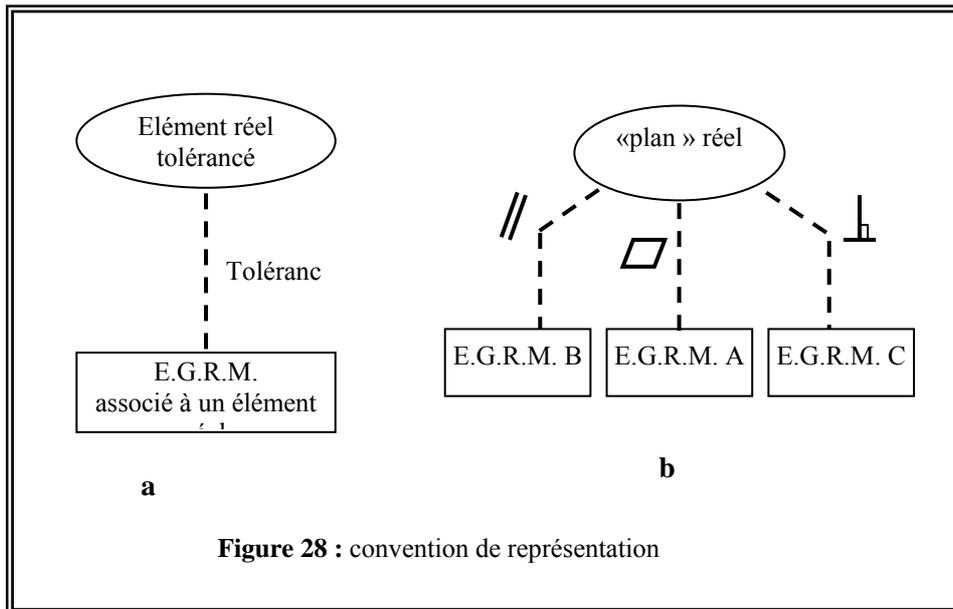


Figure 28 : convention de représentation

Un exemple d'une pièce est traité (figure 29) pour représenter les S.A.TT. et les E.G.R.M de la pièce.

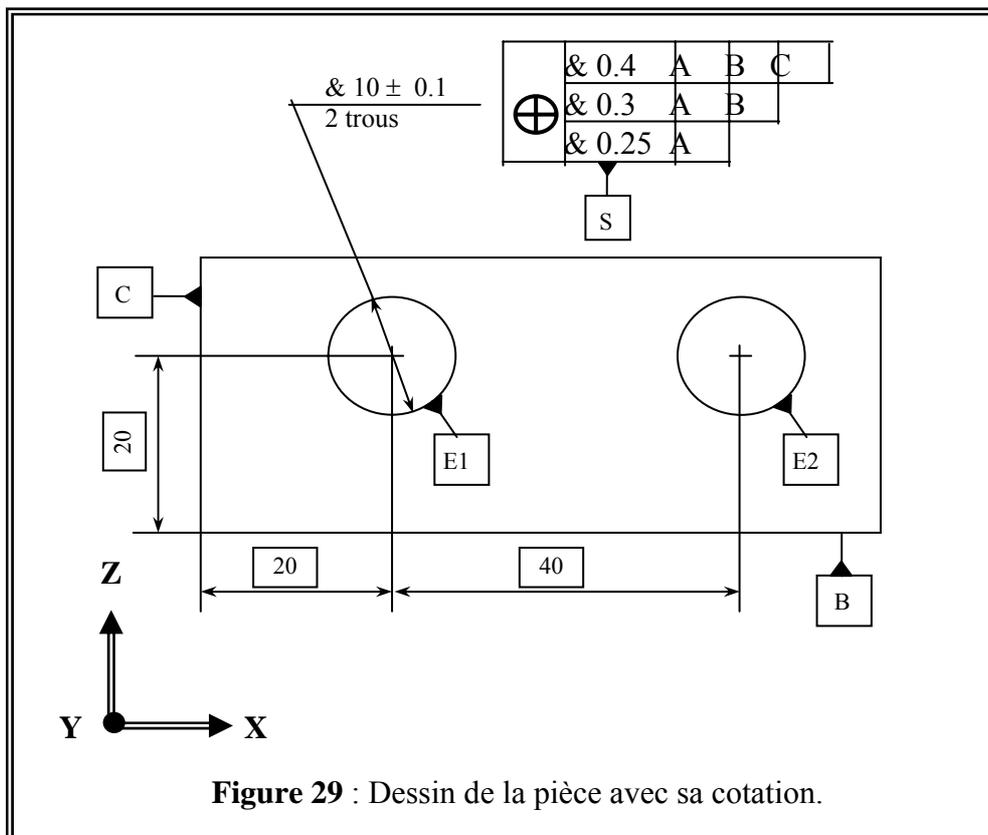


Figure 29 : Dessin de la pièce avec sa cotation.

L'indication normalisée «& 10 ± 0,1 – 2 trous » de la figure 30 indique que les deux surfaces E1 et E2 font un ensemble qui sera le S.A.T.T. {E1 U E2}. Il est équivalent à une surface prismatique quant à son positionnement. Son tolérancement en position est fait par rapport à quatre S.A.T.T. qui sont en même temps ses systèmes de référence.

- Le premier système de référence est construit à partir du S.A.T.T. {A} dont l'E.G.R.M. est le plan XY minimisant le défaut de planéité ;
- Le second système est construit par le S.A.T.T. {A U B} ;
- Le troisième système est construit à partir du S.A.T.T. {(A U C) U C} ; et
- Le quatrième système est construit sur le S.A.T.T. {E1 U E2} lui-même – surface prismatique – dont l'E.G.R.M. est le plan P(s) et la droite D(s). La position - de P(s) et de D(s) - est identifiée par le défaut de forme des cylindres et la distance de valeur « nominale » : 40.

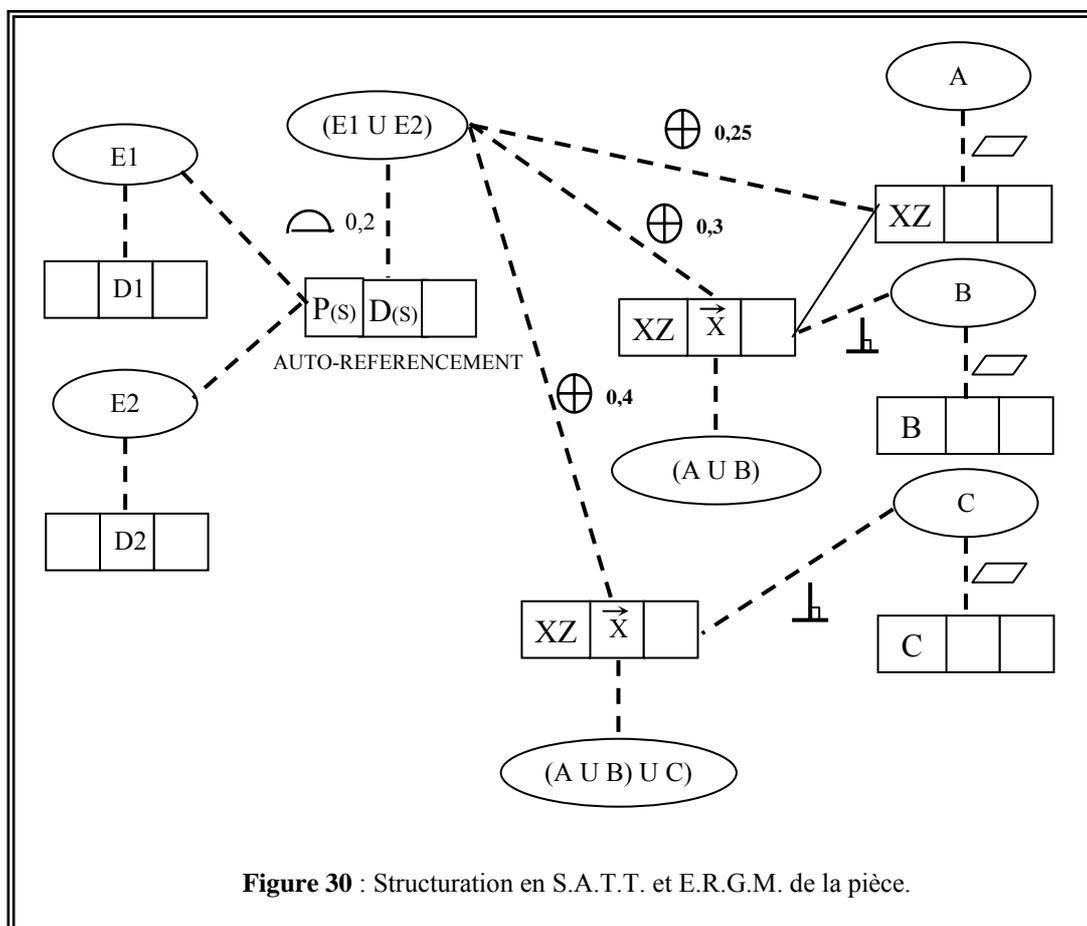


Figure 30 : Structuration en S.A.T.T. et E.R.G.M. de la pièce.

L'utilisation du concept de S.A.T.T. et E.G.R.M permet une intégration et peut être interprétable par ordinateur. Les S.A.T.T. sont des caractéristiques (ou en anglais features) fonctionnelles. L'avantage de cette méthode ou manière de prendre en considération l'analyse du mécanisme à partir de S.A.T.T. est de définir des surfaces élémentaires et de les positionner par rapport à une surface de référence qui, elle-même, est défini par son propre E.G.R.M. Des cas d'exemple de représentation par des S.A.T.T sont présentés en annexe.

IV – Conclusion

Les méthodes présentées dans la phase conceptuelle, la phase préliminaire et la phase de conception détaillée sont plus un aperçu sur les processus de conception développés qu'une analyse détaillée du processus de conception mécanique. Dans cette partie, j'ai essayé de retracer les différents cheminements suivis pour l'élaboration d'un projet en conception mécanique ainsi que les différents types de projets (par exemple, la conception créatrice, innovatrice ou routinière). La phase d'analyse, en conception mécanique, est à vrai dire l'affaire des concepteurs, de culture et de philosophie. Elle est nécessaire et nécessite des moyens pour pouvoir accumuler et cumuler l'expérience de ces derniers.

Des études sont menées pour analyser le cahier des charges et la phase de conception avec une pluridisciplinarité des chercheurs pour l'élaboration d'un système d'aide à la conception. L'analyse du processus de conception regroupe un ensemble de thèmes qui sont en cours d'étude dans différents laboratoires ; et, ces thèmes sont décomposés par disciplines. Le cahier des charges, par exemple, est une partie délicate à implémenter et est encore à l'étude [TAN 96]. Ceci est dû à la complexité de compréhension du besoin qui est souvent mal et insuffisamment exprimé, mal interprété... De l'avis du Pr. F. PRUVOT [PRU 93], il est à créer. Le concepteur doit donc savoir exactement ce que doit faire la machine, qu'elles doivent être ses caractéristiques sinon le résultat ne satisferait pas le client. De même que pour un nouveau produit, si l'étude ne prend pas en considération les caractéristiques nécessaires et suffisantes – technique, économique, de marché ... – le produit

connaîtra un refus de la part de l'utilisateur donc les études seront faites à perte. De même pour les machines-outils, la réalisation est faite pour un groupe de produits alors la machine peut répondre à un groupe de clients et non à d'autres sauf moyennant son adaptation leur propre environnement.

Les méthodes d'approches qui sont développées peuvent être appliquées pour les différents types de projets. Une philosophie plus généralisante est nécessaire pour pouvoir assurer une implémentation cohérente, minimiser la taille du système et pour une plus large utilisation (introduction aux P.M.E. – P.M.I) ...

Ainsi, un certain nombre de questions se posent d'elles-mêmes :

- Comment établir un cahier des charges tout en ayant les informations, les performances techniques, économiques et de gestion de la machine à développer ?
- Faut-il concevoir des mécanismes et réaliser des dessins en 2D ou en 3D (avec comme objectif global du système son extension à la fabrication, au service après-vente, à la maintenance ...) ?
- Faut-il réfléchir à normaliser les machines (par exemple, les centres d'usinage en machines à usiner les carters, à usiner les arbres...) et les outils ainsi que leurs dimensions pour aller vers les ateliers flexibles, assurer la réduction des coûts ... ?
- Concevoir des systèmes d'aides à la conception qui gardent en l'état la construction de machines-outils par exemple ? Avec ses aléas de coûts, d'adaptabilité ... ?

Et bien d'autres questions que l'on ne peut énumérer sans en oublier, la liste est très exhaustive.

La réflexion est dépendante du niveau d'abstraction considéré. A un très haut niveau d'abstraction, la conception les entités traitées peuvent être les liaisons technologiques connues (telles que : liaisons complètes ; les liaisons partielles : guidages en translation, en rotation et les transformations de mouvement) ou les tâches que doit accomplir la machine (par exemple, l'étude d'une machine automatique où chacun des sous-ensembles est considéré comme une tâche). L'étude d'un système

mécanique nécessite l'introduction de la notion de tâches proposée par Esterline [EST 96] qui peut permettre la décomposition du mécanisme d'abord en des tâches et ensuite la décomposition de la tâche en des entités, des relations et des propriétés. A un bas niveau d'abstraction, les primitives géométriques sont traitées pour la représentation graphique. Dans les chapitres qui suivront, nous discuterons des systèmes intégrés en ingénierie mécanique, de la gestion de données techniques, des systèmes experts et des systèmes coopératifs. Nous présenterons aussi la programmation orientée objet qui présente des avantages informatiques (de modularité, d'extensibilité ...), des bases de données et le développement des bases de connaissances nécessaires et utiles en conception mécanique.

CHAPITRE II

LES SYSTEMES INTEGRES EN INGENIERIE MECANIQUE

I – PREAMBULE. 60

II – CARACTERISTIQUES D’UN SYSTEME INTEGRE DE CONCEPTION MECANIQUE. 61

II.1 – Qualité logiciel. 62

II.2 – Système intégré de conception mécanique. 63

III – LE CAHIER DES CHARGES. 67

IV – LA PHASE CONCEPTUELLE. 70

V – MODELISATION DES DONNEES ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES DANS UN SYSTEME INTEGRE DE CONCEPTION. 71

V.1 – Modélisation des entités fonctionnelles. 71

V.2 – Modélisation filaire ou fil de fer. 73

V.3 – Modélisation surfacique. 74

V.4 – Modélisation volumique. 75

 4.1 – Modélisation par représentation de solides – C.S.G :
 Constructive Solid Geometry. 76

 4.2 – Modélisation par les frontières (Brep). 77

 4.3 – Modélisation paramétrée ou variationnelle. 79

 4.4 – Modélisation par extrusion et par balayage de surface. 81

VI – MODELISATION ET REPRESENTATION DES COMPOSANTS STANDARDS. 81

VI.1 – Définition et représentation d’un composant standard. 82

VI.2 – Modélisation informatique d’un composant ou d’une famille simple. 84

VI.3 – Modèle général et modèle fonctionnel d’un composant. 85

VII – CONCLUSION. 87

CHAPITRE II

LES SYSTEMES INTEGRES EN INGENIERIE MECANIQUE

I – Préambule

L'industrie, avec les développements accrus et les nouvelles exigences du marché, s'est trouvée dans l'obligation d'améliorer, de développer et d'augmenter sa production et sa productivité tout en respectant les conditions de qualité. S'adapter aux conditions actuelles nécessitent la maîtrise de la production qui a réellement subi une grande expansion par le développement de la machine à commande numérique (CN) et aux ateliers flexibles ; et aussi, une équipe imaginative qui peut proposer de nouveaux projets et produits.

La phase d'étude qui est en réalité la première phase dans un processus de conception a vu aussi des développements. Des systèmes spécialisés dans la modélisation géométrique tels que : CATIA de chez DASSAULT, CASTOR du CETIM, DMT20 (SOLID CONCEPTEUR), PRO/ENGINEER, SOLID DESIGNER, AUTOCAD et autres logiciels permettent moyennant une base de données en pièces préalablement définies, de concevoir l'assemblage d'un mécanisme. AUTOCAD est parmi les logiciels des plus utilisés actuellement. Cependant, les algorithmes de synthèse et d'analyse n'ont pas suffisamment exploité tout le potentiel que peut fournir un modèleur géométrique en conception mécanique.

L'état de l'art est caractérisé par l'intégration de l'analyse à différents niveaux d'abstractions du processus de conception, de la cotation fonctionnelle pour l'ensemble et de la cotation dimensionnelle pour la pièce composante si l'on désire une intégration de toute l'étude du produit dans sa phase de conception et l'étendre à tout son cycle de vie. L'étude de l'existant est nécessaire pour le développement d'une base de connaissance – la voie de l'analyse – et pour le choix de la solution technologique la plus adéquate, le calcul, la définition et le dessin de l'élément – la voie de la synthèse – et étendre l'intégration à la fabrication ...

La méthodologie devra prendre en charge la sémantique du cahier des charges et permettre non seulement le développement de nouveaux produits mais aussi la modification et l'insertion de solutions existantes avec la possibilité de modification et de mise à jour de projets existants. Elle devra être compréhensible, facile à implémenter et prendre en charge les différentes activités de développement car le processus de conception doit prendre en charge la fonction technique à obtenir exigée par le cahier des charges et les conditions d'usinabilité et de brutes des éléments composants.

Dans le paragraphe II, nous présenterons les principales caractéristiques d'un système logiciel en terme de qualité et les exigences qu'un tel système doit présenter dans le cas d'un système intégré de conception mécanique. Le paragraphe III nous permet de voir les travaux effectués se rapportant au cahier des charges. Au IV^{ème} paragraphe, nous présenterons la phase conceptuelle. Le V^{ème} paragraphe nous permet de présenter la modélisation des données et la représentation des connaissances dans un système intégré de conception. Au paragraphe VI, nous présenterons la modélisation et la représentation des composants standards en modèle informatique, général et fonctionnel d'un composant. Nous terminerons ce chapitre par une conclusion qui mettra en évidence les objectifs à atteindre et les moyens à mettre en œuvre par et pour un système intégré pour la conception mécanique.

II – Caractéristiques d'un système intégré de conception mécanique

Un système de conception se doit d'être introduit dans le marché au moment opportun. DON CLAUSING [CLA 96] soulève dix cas d'espèces pour l'amélioration du processus de développement global que l'on trouve dans les qualités et les caractéristiques d'un système logiciel. Seulement, il insiste sur l'intérêt que l'on doit porter au processus global qui est très important (par exemple, la mise sur le marché d'un produit logiciel non consistant entraîne son arrêt de développement) plutôt qu'aux paramètres esthétiques du logiciel présentés qui ne sont pas négligeables et très utiles. Il fait ressortir que la stratégie principale d'un processus de conception est la collaboration entre les stratégies financières et les stratégies technologiques d'obtention des produits.

II.1 – Qualité logiciel

Les caractéristiques premières d'un système intégré sont la qualité du logiciel [MEY 91] qui englobe des facteurs externes de qualité (facilité d'utilisation et esthétiques) ainsi que des facteurs internes qui sont déterminants. Les langages orientés objets sont très utilisés dans ce domaine.

Les facteurs de qualité (soutien à l'utilisateur) sont :

- **Validité** : aptitude d'un produit logiciel à réaliser exactement les tâches définies par sa spécification ;
- **Robustesse** : aptitude d'un logiciel à fonctionner même dans des conditions anormales (par exemple, assurer une annulation d'exécution pour les cas non spécifiés plutôt qu'un blocage) ;
- **Extensibilité** : aptitude à accepter le changement de spécifications ;
- **Réutilisabilité** : la possibilité d'utilisation de tout ou une partie dans de nouvelles applications ;
- **Compatibilité** : la possibilité de le combiner à d'autres logiciels
- **Et autres** : tels que l'efficacité, la portabilité, la vérifiabilité, l'intégrité (protection de ses composants), facilité d'utilisation ... qui sont intéressants, importants et utiles du point de vue du concepteur en mécanique.

Les qualités internes (du ressort de l'informaticien) sont :

- **La modularité** : assurer la décomposabilité, composabilité, compréhensibilité, continuité et protection ;
- **La lisibilité** : la lisibilité logiciel permet la maintenance logiciel.

Le tableau ci dessous montre la répartition des coûts de maintenance des logiciels d'après Lientz et Swanson [MEY 91] :

Modification dans les exigences des utilisateurs : 41,8 %
Modification des formats de données : 17,4 %
Correction d'urgence des erreurs : 12,4 %
Correction des erreurs de routine : 9 %
Modification du matériel : 6,3 %
Documentation : 5,6 %
Amélioration d'efficacité : 4 %
Autres : 3,5 %

II.2 – Système intégré de conception mécanique

Un système intégré de conception mécanique se doit de répondre à certaines exigences. Dans la thèse de K. MEHDI [MEH 95], il est rapporté que T.S. Sakthivel et Al ont soulevé quinze points permettant d'aboutir à un véritable système de conception. Ces quinze points sont :

- *Processus de conception coopératif*

La conception d'un nouveau produit passe par l'étude complète et détaillée de tous les plans d'activité. La coopération entre experts est devenue nécessaire vue la multitude des contraintes à respecter. Les experts agissent sur la partie qui leur est soumise. Le travail en coopération est aussi sujet à réflexion entre experts en un système centralisé et interactif.

- *Système de contrôle*

Dans un processus coopératif de conception, un système de contrôle est nécessaire. Il doit être toujours activé afin de détecter l'exécution lors d'un changement dans la structure des données ou des objets, d'une nouvelle source de connaissances ...

- *Maintien consistant du système*

Dans certains cas, pour éviter les échecs par manque de consistance des hypothèses, les experts en ajoutent quelques fois d'autres qui leurs permettent de valider le projet qui leur est proposé. Un environnement de conception assisté par ordinateur doit être capable de prendre en charge ce cas de figure, d'avoir la possibilité d'en ajouter d'autres (comme le cas de l'expert) pour assurer la cohérence entre les hypothèses et les conséquences des décisions prises en cours de conception.

- ***Résolution des conflits***

Le processus d'ingénierie coopératif doit permettre le maintien consistant du système entre les différentes étapes de conception et les exigences qui conduisent parfois à des conflits. Ces genres de conflits doivent être résolus pour assurer la progression vers une solution finale.

- ***Processus de résolution itératif***

Le processus de conception est généralement considéré comme un processus itératif même si, dans les méthodes d'approche vues ci-dessous, on a la possibilité d'étudier des tâches ou des entités dans un ordre quelconque. Dans le cas d'une seule itération (par exemple la détermination du diamètre d'un arbre de transmission à résister aux contraintes et efforts appliqués), on dit qu'on a une itération locale. Dans le cas d'une étude de réanalyse d'un système, on parle d'itération globale. Les itérations sont utilisées pour le maintien de consistance et la résolution des conflits.

- ***Représentation des connaissances et du processus d'inférence***

La résolution d'un problème nécessite différents types de connaissances qui ne peuvent être représentés par de simples données ou de simples stratégies d'inférence. Donc, un système intégré de conception doit permettre une souplesse et une facilité dans la représentation de connaissances et présenter une structure globale qui assure l'intégration des stratégies d'inférences.

- ***Manipulation des incertitudes***

Comme les données et les connaissances sont généralement prises par des hypothèses qui ne sont pas nécessairement correctes à cause de la nature floue des variables, elles engendrent donc des incertitudes dans les activités de résolution du problème. Les systèmes intégrés de conception doivent être capables de manipuler ces informations.

- ***Traitements des connaissances standards***

Un processus d'ingénierie utilise souvent des données standards qui sont gérés par des codes de travail et sont souvent soumises à des modifications de recherche et de développement. La représentation de ces données standards est plus pratique dans des modules indépendants afin de faciliter la mise à jour du système et la flexibilité des liens avec les autres sources de connaissances.

- ***Multiplés chemins de résolution***

Un système de conception doit être capable de générer plusieurs solutions pour une tâche donnée pour assurer le bon choix de la solution répondant aux exigences du cahier des charges et des contraintes techniques et technologiques.

- ***Manipulation des procédures de connaissances***

Les étapes d'analyse associent à la fois la représentation symbolique, graphique et des algorithmes de calcul. Les systèmes de conception doivent être en mesure d'intégrer ces procédures et faire interface avec des systèmes experts.

- ***Gestion des documents***

La conception d'un produit génère un grand nombre d'informations qui peuvent être regroupées en documents. Un bon document augmente la confiance de l'utilisateur quant à l'exploitation de sa machine. La gestion de ces informations ou documents assure le développement des bases de connaissances en solutions à des fins d'exploitation ultérieure.

- *Gestion des données*

Les données techniques utilisées dans l'ingénierie mécanique sont de deux types : les données statiques et les données dynamiques. Les données statiques sont celles que nous retrouvons dans les manuels de construction tandis que les données dynamiques sont celles qui caractérisent le comportement de certains attributs durant la période de conception. Les systèmes d'ingénierie nécessitent des capacités extensives pour manipuler le flux des données et un système de gestion efficace pour la prise en charge de ces données.

- *Représentation graphique*

Le dessin est le langage de communication universel entre les ingénieurs. Un système intégré de conception doit avoir une excellente interface graphique et suivre des règles de normalisation pour une meilleure représentation. Les langages orientés objets constituent un environnement idéal pour les applications graphiques.

- *Interaction et contrôle par l'utilisateur*

L'automatisation complète du processus de conception n'est pas souhaitable ; elle n'est pas évidente non plus. Un processus de conception est influencé toujours par plusieurs facteurs extérieurs durant la période de développement du produit. L'utilisateur doit donc être capable de travailler comme étant une des multiples sources de connaissances et doit pouvoir exploiter les alternatives nécessaires de conception avec le système. Un système intégré doit être considéré comme un système d'aide à la conception.

- *Auto formation*

Dans sa vie professionnelle, le concepteur ou l'expert a toujours besoin d'apprendre à partir de l'expérience d'autrui dans son domaine. Un système intégré de conception doit permettre de simuler l'expérience des experts et leurs interventions dans l'optique d'une auto-formation pour l'utilisateur.

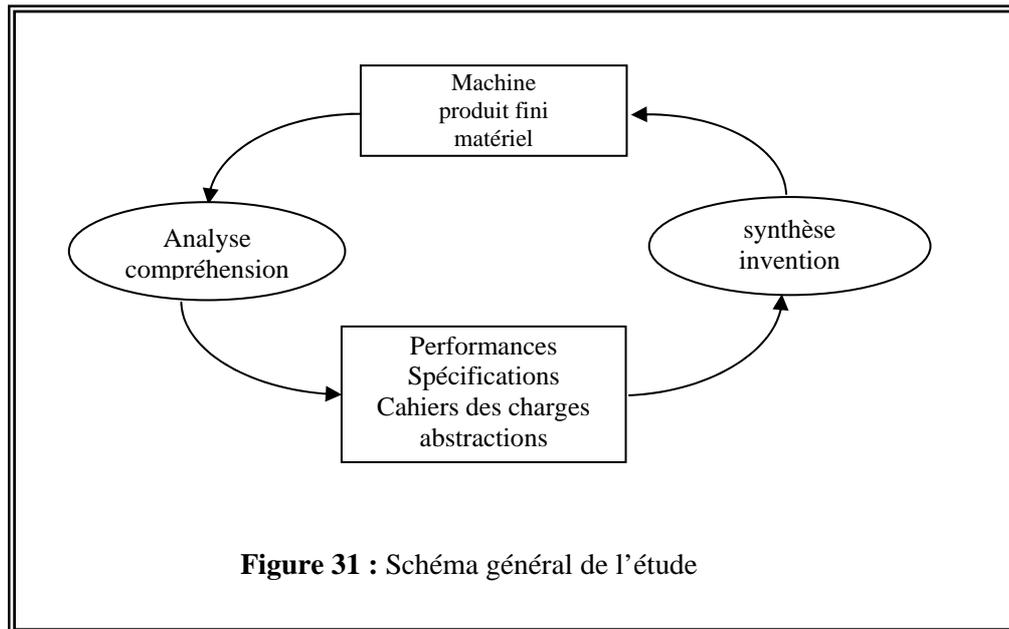
- *Conclusion*

La disjonction entre les différents systèmes de conception et chaque activité nécessitent des efforts humains considérables pour assurer l'interface entre les activités. Le manque d'un environnement intégré et unifié mène à une inconsistance dans les prises de décision et, il en résulte des échecs catastrophiques. La réalisation d'un système intégré de conception qui permet de gérer toutes ces caractéristiques n'est en fait pas du tout facile. Les exigences complexes dont doit répondre ce système sont :

- La manipulation des paramètres numériques, graphiques et symboliques ;
- L'utilisation d'une grande variété de connaissances, de méthodes et de procédures ;
- La gestion d'un grand volume de données statiques et dynamiques ;
- La représentation de multiples solutions à différents niveaux d'abstraction, du plus haut niveau d'abstraction au plus bas niveau (le plus spécifique).
- La résolution des différents problèmes (choix, planification, diagnostique ...) ;
- La modélisation et le contrôle du processus de conception ou d'ingénierie.

III – Le Cahier des charges

Le cahier des charges (ou spécifications) est le premier document établi pour commencer l'étude d'une machine, d'un mécanisme ou le déclenchement d'un processus. Si l'étude d'une machine existante est l'origine de l'analyse, le cahier des charges est à l'origine de la synthèse (figure 31). Donc, il ne peut être défini sans une analyse approfondie des interactions humaines (la conception ne peut être affaire d'une seule personne mais d'un groupe), des solutions existantes au préalable (des réalisations et d'impact sur le marché) et des moyens à mettre en œuvre pour l'élaboration du mécanisme. Il doit être entièrement défini et avec une très grande attention.



Il est nécessaire de commencer par admettre, dès le départ, l'identité (ou axiome) :

Cahier des charges \equiv Performances

Cette identité implique une définition précise et surtout totalement universelle des performances d'une machine. Or, les organismes de normalisation (international : ISO ; nationaux : AFNOR – France ; DIN – Allemagne ; VSM – Suisse ; NA : INAPI – ALGERIE ; ...) n'ont pas précisé de manière suffisante et concise ces performances, d'où les différentes interprétations possibles du cahier des charges qui restent vagues et difficiles à cerner.

Le cahier des charges exprime beaucoup plus un besoin de l'utilisateur qui est spécifique. Il est difficilement généralisable. Il est possible de regrouper les performances attendues par une machine en trois groupes qui sont :

- Performances techniques ;
- Performances économiques ;
- Performances de gestion.

Le Pr. F. PRUVOT [PRU 93] considère l'absence d'un cahier des charges sérieux est un laisser-aller méthodologique et intellectuel. Pour J. TANG [TAN 96], il est à l'étude dans des laboratoires où on fait appel à des anthropologues, sociologues, concepteurs, informaticiens et autres personnes du domaine pour une étude plus poussée du cahier des charges et des interactions du groupe quant à l'élaboration d'un projet car la conception est plus un travail de groupe que d'une seule personne.

Comme le travail de conception est un travail de groupe, John C. TANG [TAN 96] a étudié le problème de groupe en activité de conception. L'analyse de l'interaction est basée sur des méthodes qualitatives utilisées en sociologie et en anthropologie. L'étude a permis de faire ressortir les moyens à mettre en place et l'intérêt porté à l'expression des gestes de la main (entre les éléments du groupe) qui est aussi nécessaire à la compréhension rigoureuse du problème posé par l'utilisateur ainsi qu'à l'ordonnement d'une simulation de séquences. D'autres études sont mises en place pour mieux élucider l'analyse de l'interaction entre les éléments du groupe dans les laboratoires de XEROX (ALTO).

Cette étude a aidé à développer des outils et des supports d'aide de conception qui permettront aux dessinateurs de comprendre le besoin de l'utilisateur, les objectifs à atteindre et les aspects spécifiques du produit. Elle permet de mettre en valeur les grands axes et éclairer le concepteur sur le processus de conception. Néanmoins, elle fait ressortir certaines difficultés car elle se conforme à une interaction réelle. Cette méthode permet de concevoir des «bases de données» complexes pour rendre aisé, efficace, sécurisant et satisfaisant l'étude de conception d'objets, faciliter l'expression aux utilisateurs, prévoir des modèles pour la prédiction de l'efficacité des prototypes simples et/ou complexes et des tableaux d'aide à l'apprentissage. Elle peut être partie intégrante d'un processus de conception.

Les propositions données sont un **bloc-notes** ou **Agenda** (fichiers textes) pour transcrire les exigences et des schémas manuels explicatifs du produit désiré par

l'utilisateur. Elles peuvent être ainsi répertoriées et classées pour des exploitations futures. L'analyse de ces données consiste-en :

- Une identification de modèles spécifiques est nécessaire,
- Une collecte d'instances des différentes situations de l'activité de conception,
- Une comparaison des instances rassemblées afin d'explicitier l'activité et ses variations à travers les différentes situations.

Assurer l'implémentation d'un système de conception revient à traduire le cahier des charges, de sa formulation textuelle (forme écrite) en une représentation graphique (solutions technologiques). Une base de représentation des données est souhaitable depuis que les termes introduits sont à interpréter avec des notions informatiques, en plus de la logique de prédiction (les formalismes des sciences informatiques : dénotation sémantique, théorie de langage formel, réseaux de Pétri) [EST 96]. Ces formalismes permettent d'assurer la conception ainsi que son évolution. Ils ont été utilisés dans l'ingénierie des logiciels où l'important était la représentation des exigences plutôt que le calcul. Dans le cadre général de la conception d'un produit, le cahier des charges doit être explicite et doit contenir l'ensemble des informations nécessaires et suffisantes s'y rapportant au produit.

IV – la phase conceptuelle

A partir de cahiers des charges, des travaux ont été entrepris dans le sens de la phase conceptuelle et ont fait ressortir certaines méthodologies de décomposition dont quelques-unes ont été abordées au chapitre I. L'étape conceptuelle permet d'établir la structure de la fonction et de choisir les solutions physiques et géométriques pour les composants. Ils sont tous d'accord sur le fait que :

- En conception mécanique, la phase conceptuelle n'est pas bien définie par les mathématiques de l'ingénieur [EST 96] ;

- Les modèles d'analyse fonctionnelle ne sont pas suffisamment formalisés [CON 97, CLE9 97] ;
- C'est souvent un travail de groupes agissant sur le projet avec leurs propres outils (diversité possible de méthodes et de cultures), c'est donc une série de prise de décisions par chacun des acteurs [GHO 83], [SHE 97], [KAS 97], [TIC 97] ;
- L'identification et la modélisation des tâches de conception représentent un préalable à la définition d'une méthode de réduction de la durée globale des activités [DEC 96].

V – Modélisation des données et représentation des connaissances dans un système intégré de conception

V.1 – Modélisation des entités fonctionnelles

Une entité fonctionnelle est l'objet sémantique qui est manipulé par des acteurs pour décrire un élément qui définit l'objet conçu [PIQ 89], [PER 90]. Elle a un nom et devient dépendante du contexte de sa création. Elle est aussi décrite par un certain nombre de caractéristiques et de savoir-faire. Une caractéristique peut être typée ou avoir un champ de valeurs associées ; et, le savoir-faire est une procédure permettant d'associer une ou plusieurs caractéristiques de l'entité. Un ensemble d'entités décrit la connaissance d'un métier qui est considérée comme la propriété de ce métier. Les entités sont des éléments qui permettent d'intégrer dans la définition du produit le savoir-faire du métier concerné [KAS 97, TIC 97]. Si une entité est reconnue par plusieurs acteurs de différents métiers alors elle sera une entité multi-contexte et deviendra un objet de communication (par exemple, les surépaisseurs à prévoir pour une surface usinée pour atteindre la surface brute, on prend en compte les limites en capacité du processus de forgeage mais on définit aussi la profondeur de passe à donner à l'outil de coupe envisagée pour l'usinage).

Une définition pour une entité donnée par BARDASZ [MEH 95, BAR 92] est :

« Une entité est une région d'une pièce distinguée de sa forme générale. »

Deux autres définitions sont aussi données [MEH 95] pour mieux éclaircir le terme «entité» :

Définition 1 : *Les entités représentent le sens fonctionnel que peut avoir la géométrie d'une pièce ou d'un assemblage.*

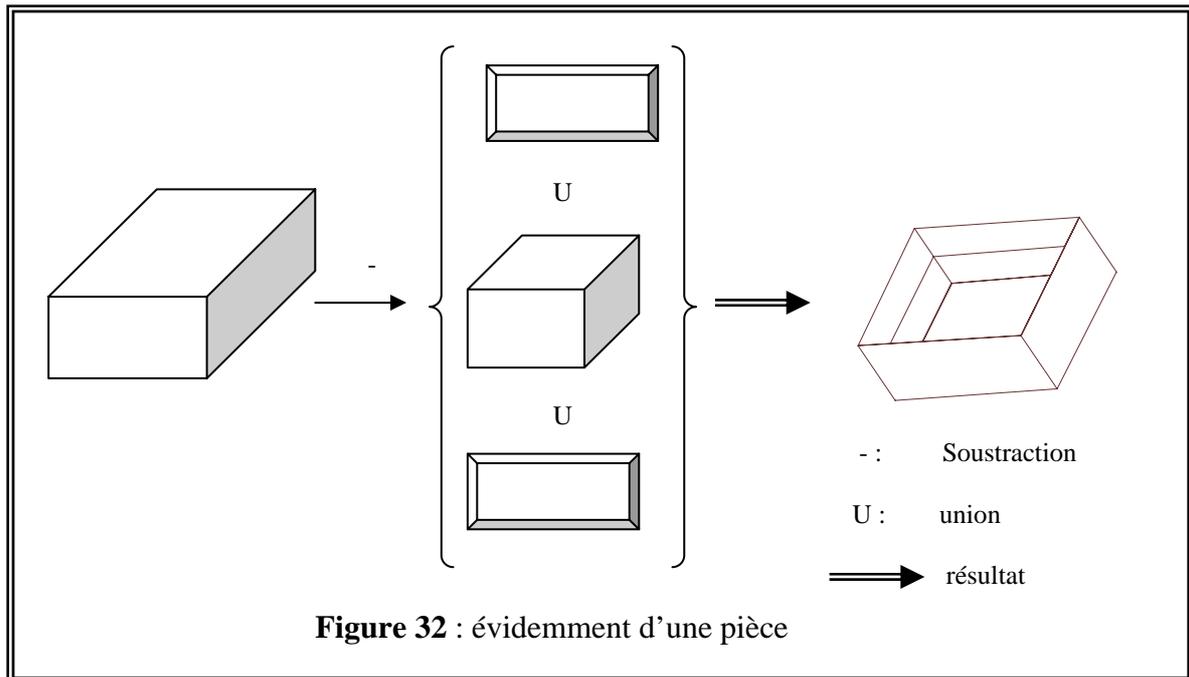
Définition 2 : *La forme d'une entité est un élément physique d'une pièce qui peut être identifiée par quelques formes génériques et des attributs. La forme d'une entité a une signification dans la conception, l'analyse, la fabrication et d'autres domaines d'ingénierie. Alors une entité peut être formalisée en terme de sa forme générique, ses attributs et son comportement.*

Une autre définition donnée par TAYLOR [KAS 97] :

« A natural collection of items that are as a single element in some context. »

Cette définition de l'entité précise qu'une collection d'attributs utilisée n'a de sens que dans un contexte constitué par les règles et le savoir-faire du métier qui identifie cette entité.

Dans le cas de la conception mécanique, une entité est en premier lieu considérée comme une forme géométrique (arbre, rainure, trou, gorge ...) et un calcul prévisionnel du comportement ; alors que pour la fabrication, elle est considérée comme la différence entre la pièce brute et son état fini. Dans le cas de la fabrication, des chercheurs définissent les entités comme étant le volume de matière à soustraire d'un volume initial. Dans l'exemple ci-dessous (figure 32), nous avons le premier volume duquel nous soustrayons les trois volumes entre accolades que nous pouvons considérer comme le résultat de l'union entre eux.



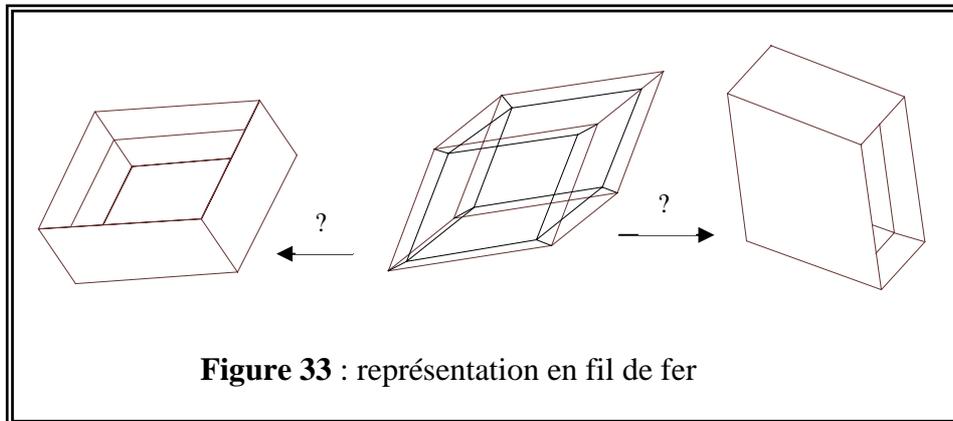
Dans la pratique de la conception, un produit n'est pas seulement la représentation de solutions répondant à un fonctionnement donné mais aussi la prise en charge de ses contraintes de forme (conditions géométriques et fonctionnelles), de résistance et de réalisabilité (contraintes de résistance et de fabrication). Le modèle S.A.T.T (voir chapitre I – paragraphe III.4.2) est en réalité le plus adapté pour définir les entités en conception mécanique car il permet de passer par l'analyse de liaisons ; et, ce n'est plus la pièce qui est fonctionnelle mais plutôt la surface qui assure cette liaison.

V.2 – Modélisation filaire ou fil de fer

Vers les années 60, le développement a commencé par vouloir remplacer la table de dessin et la modélisation bidimensionnelle – 2D – est apparue [PIQ 89]. Elle est appelée modélisation filaire ou «fil de fer». Les éléments de base sont encore utilisés dans les logiciels de C.A.O. (par exemple : les points, les droites, les segments avec 2 pointeurs sur les points, des cercles, les coniques et les courbes complexes de type polynômes, Béziérs, B-Splines, Nurbs ...). Ces éléments filaires permettent de définir un nouvel élément : la section ou le contour. Le modèle était simple et

nécessitait un minimum de puissances de calcul et de place mémoire. La représentation donnait l'impression de la perspective mais en réalité elle restait toujours dans le plan. Le modèle 2D a vite montré ses limites [PER 90], [DAV 91], [BAR 96]. Les inconvénients étaient aussi importants tels que :

- Rien ne distingue le vide du plein (figure 33), donc une création de solide sans aucun sens physique ;
- Impossibilité d'effectuer des calculs (par exemple, le volume, la masse ...) ;
- Difficulté de suppression des parties cachées.



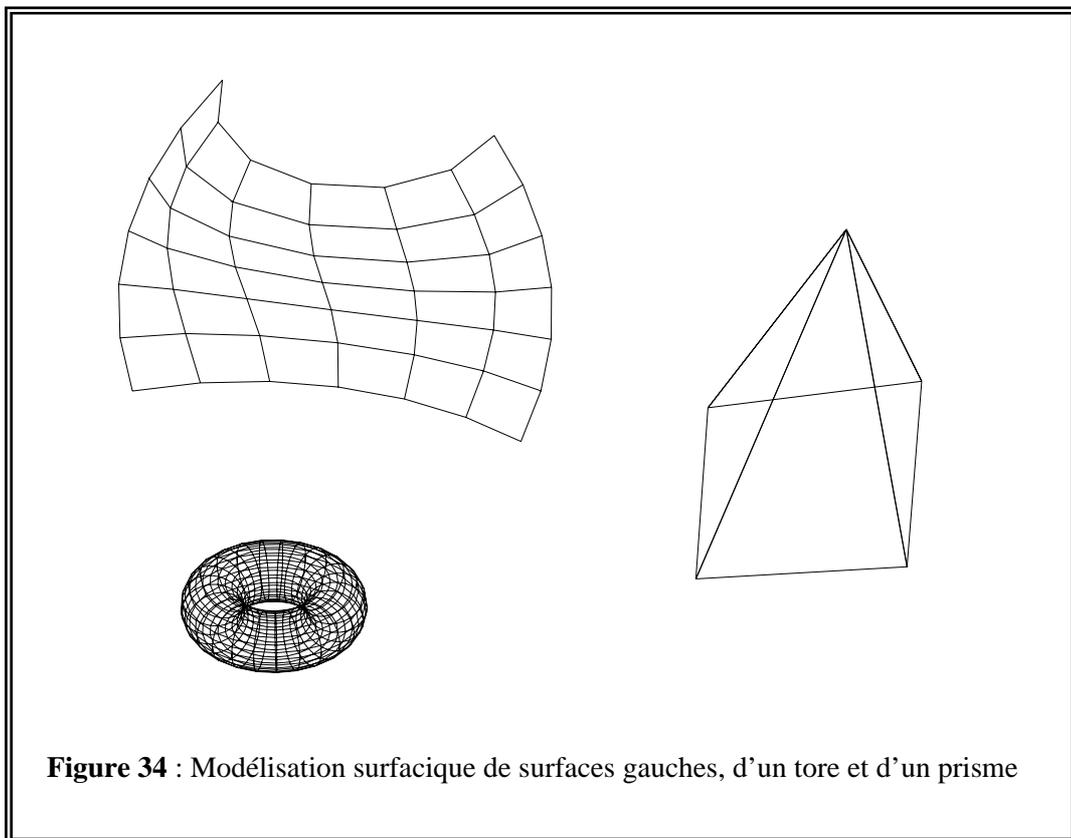
Il y a eu le modèle filaire 3D qui reprend les mêmes éléments que le modèle 2D. Les éléments adjoints étaient le plan, le cylindre infini, le cône infini et la sphère. Les formes sont définies par des surfaces infinies et des arêtes qui sont des segments ou des courbes bornées. Ce modèle présentait les mêmes inconvénients que le modèle 2D. En C.A.O mécanique, le modèle filaire est utilisé pour définir les points et les premières lignes de construction – appelé esquisse.

V.3 – Modélisation surfacique

L'obtention de surfaces complexes est devenue nécessaire vue les nombreux domaines utilisateurs (aéronautique, automobile...). La modélisation surfacique a permis d'associer les éléments surfaciques, considérés en tant qu'objets, par leurs arêtes. Les surfaces peuvent être planes, de révolution, réglées, gauches dont les surfaces de COONS (1967), de Béziérs (1972), les B-Splines ... Cette représentation a

permis de représenter les pièces en tôles (carrosseries) en 3D (Figure 34). Le modèle surfacique intègre trois grands types de surfaces :

- Les surfaces analytiques – plan, cylindre, cône, tore, sphère, cubiques – définies par des équations analytiques d’hyperplan.
- Les surfaces complexes ;
- Les surfaces élémentaires ou complexes bornées par des courbes appartenant à ces surfaces.



V.4 – Modélisation volumique

Les modèles volumiques confèrent à la forme la notion d’intérieur et d’extérieur donc la notion de matière alors que le modèle surfacique ne permet de définir une forme que par un ensemble de surfaces qui restent indépendantes. Cette approche décrit et visualise des objets solides tels que les systèmes et les pièces mécaniques.

Elle permet de modéliser dans un système abstrait appelé «espace de modélisation» qui est l'espace euclidien de dimension 3.

Les solides abstraits, modélisant un solide réel, doivent présenter une rigidité (la forme du solide doit être invariante lors d'une transformation affine directe), une tridimensionnalité (l'intérieur et la frontière du solide représenté ne doivent pas contenir d'arêtes pendantes) et une finitude (le solide abstrait ne doit occuper qu'une partie bornée dans R^3). Parmi ces techniques de représentation, les plus utilisées sont les modèles d'arbre de construction ou C.S.G (Constructive Solid Geometry) et le modèle de représentation par les frontières ou Brep (Boundary representation).

4.1 – Modélisation par représentation de solides – C.S.G : Constructive Solid Geometry

Le modèle C.S.G. est le premier modèle volumique utilisé vers 1970 [DAV 91]. Les objets sont construits à partir des opérations booléennes (Union, intersection et soustraction) sur des primitives de solides élémentaires. Les solides primitifs sont des cônes, des cylindres, des sphères, des parallélépipèdes, des tores, les prismes et les pyramides. Des solides, avec des surfaces complexes, peuvent être aussi intégrer dans la liste des primitives à utiliser.

La conception d'un solide complexe (figure 35) est obtenue en créant un arbre binaire – arbre C.S.G. - dont les nœuds sont les opérations binaires et les feuilles sont des solides primitifs. L'opération de soustraction peut être imagée par le concept d'usinage d'un solide par un outil. La limitation de la profondeur de l'arbre diminue la répercussion des modifications car la mise à jour est proportionnelle au nombre d'opérations rencontrées. L'arbre C.S.G. contient non seulement une description mathématique de la géométrie de la pièce mais aussi presque un ordonnancement physique de sa fabrication.

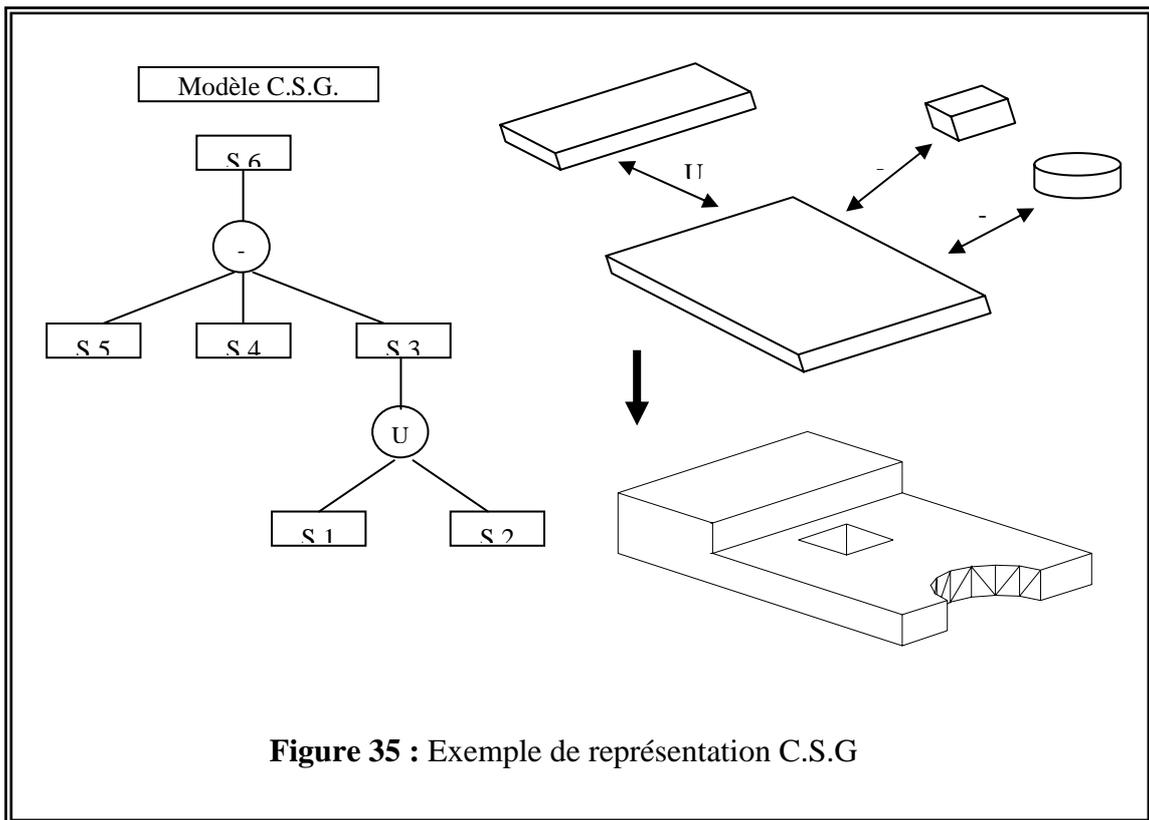
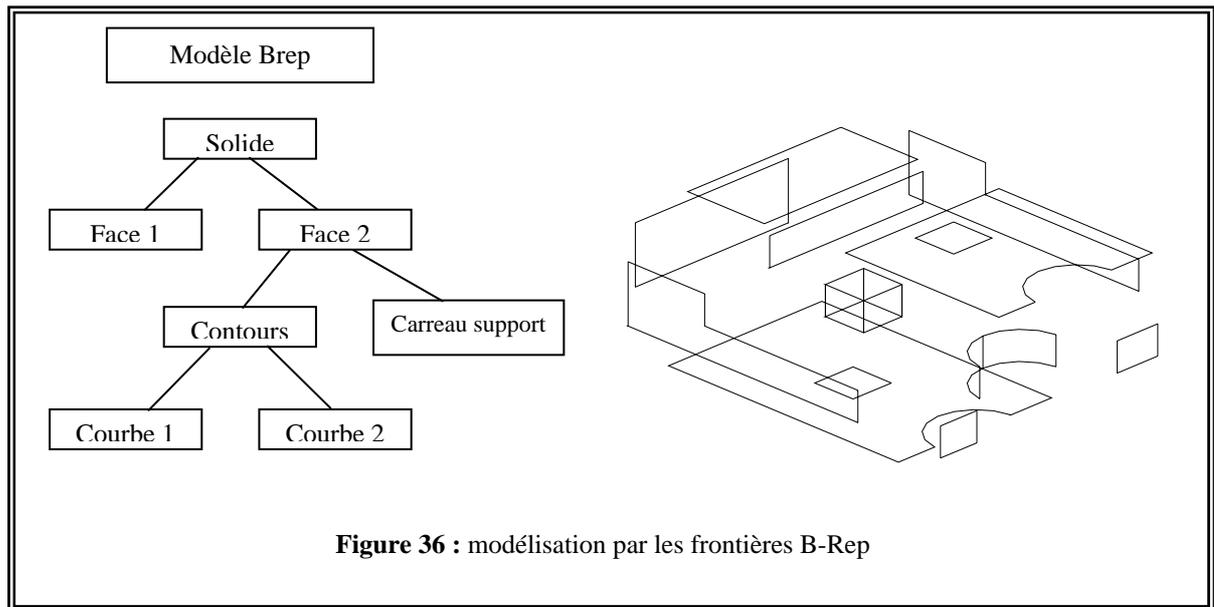


Figure 35 : Exemple de représentation C.S.G

Ce modèle est d'utilisation très ergonomique pour le concepteur et présente un stockage compact des données grâce aux définitions analytiques des solides primitifs.

4.2 – Modélisation par les frontières (Brep)

Le modèle de représentation par les frontières Brep (Boundary representation) a été introduit en infographie, en 1972 par BAUMGARDT, avec sa structure «winged-edge» qui permettait de décrire les polyèdres [PER 90] (figure 36). Dans les systèmes C.F.A.O., il est introduit vers 1985 avec la publication des travaux de CASTELJAU (les formes à pôles). Il est indispensable à tout logiciel de C. A.O.



La structure de données d'un modèle Brep est composée :

- De points caractéristiques de l'enveloppe du solide ou des sommets topologiques ;
- Des éléments filaires de l'enveloppe du solide ou des arêtes topologiques, une arête étant limitée par 2 points ;
- Des surfaces quelconques ou des faces topologiques limitées par un certain nombre d'arêtes. A toute face est liée la notion de coté intérieur et coté extérieur par la désignation des 2 demi-plans topologiques. Ces faces sont Topologiquement fermées.

Le modèle de représentation Brep corrige les limitations du modèle C.S.G. ; et, considéré une extension du modèle filaire, il permet le calcul de surface, de volume et la simulation d'usinage grâce à la connaissance des éléments filaires de connexité des surfaces. La puissance du modèle Brep est dans sa possibilité de modifier localement les frontières du volume par la translation d'un point ou la modification d'un élément filaire... Il bénéficie de l'utilisation des opérations booléennes entre des éléments Brep. Cette structure permet de générer tous les solides de révolution, les solides prismatiques et les solides obtenus par déplacement d'un contour variable le long d'une courbe.

Le modèle Brep est le modèle intégrateur et fédérateur des modèles surfaciques et des solides C.S.G. Il permet de modéliser les formes les plus complexes et les soumettre à toutes les applications telles que les calculs volumiques divers, le rendu réaliste, l'usinage...

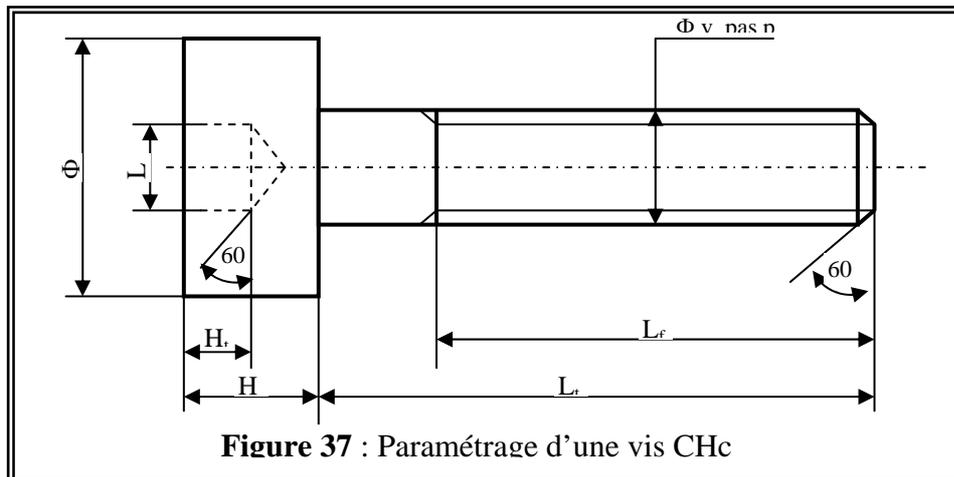
Une variante du modèle Brep exact est utilisée, c'est le modèle Brep qui a pour arêtes des segments et pour faces des carrés ou des polygones. Ce modèle a l'avantage de posséder des algorithmes particulièrement efficaces pour les opérations booléennes.

4.3 – Modélisation paramétrée ou variationnelle

Un élément d'un produit est obligatoirement géométrique, par opposition à topologique, et pour que cette géométrie soit validée l'ensemble de ses paramètres doit être évalué. Une forme 3D, aussi élémentaire soit-elle, n'existe que si elle est identifiée par ses dimensions caractéristiques et par sa position dans l'espace de façon univoque (par exemple, la longueur, la largeur, la hauteur pour un parallélépipède et sa position). Comme les modeleurs classiques ne permettaient pas de prendre en compte les nombreuses itérations du processus de conception alors, une nouvelle génération de modeleurs a été créée : les modeleurs paramétriques ou variationnels.

Le paramétrage était utilisé en 2D ; les modeleurs solides paramétrés ne sont apparus qu'en 1988 avec Pro/Engineer. Les modeleurs géométriques ou variationnels permettent le pilotage de la géométrie par un ensemble de paramètres identifiés de dimensionnement ou de positionnement qui sont des cotes. Ces paramètres présentent la possibilité d'être modifiés et restockés en mémoire. Ainsi, des relations géométriques sous forme d'équations peuvent être spécifiées entre ces divers paramètres permettant de prendre en compte certaines fonctions comme, par exemple, l'assemblage, la topologie ... dans le cadre du mode paramétré ou variationnel. Ces éléments (ou features) sont des trous, des poches, des rainures, des nervures ... Ils permettent à l'utilisateur du bureau d'étude d'utiliser des éléments connus.

Les modeleurs paramétrés génèrent une solution séquentielle de ces équations. Les modeleurs variationnels sont plus un solveur mathématique qui permet de résoudre l'ensemble des équations géométriques et de répondre à des problèmes d'optimisation. Les modeleurs variationnels permettent de résoudre certaines classes de problèmes non solvables en mode paramétré. Certains constructeurs de composants mécaniques normalisés fournissent parfois des bibliothèques des éléments paramétrés tels que les vis (figure 37), les écrous, les roulements, les rondelles ... ou des familles de pièces standards d'une entreprise. La bibliothèque regroupe la définition de la forme paramétrée d'une famille de composants et le tableau regroupe les valeurs possibles des cotes par l'intermédiaire d'un SGBD (Système de Gestion de Base de Données).

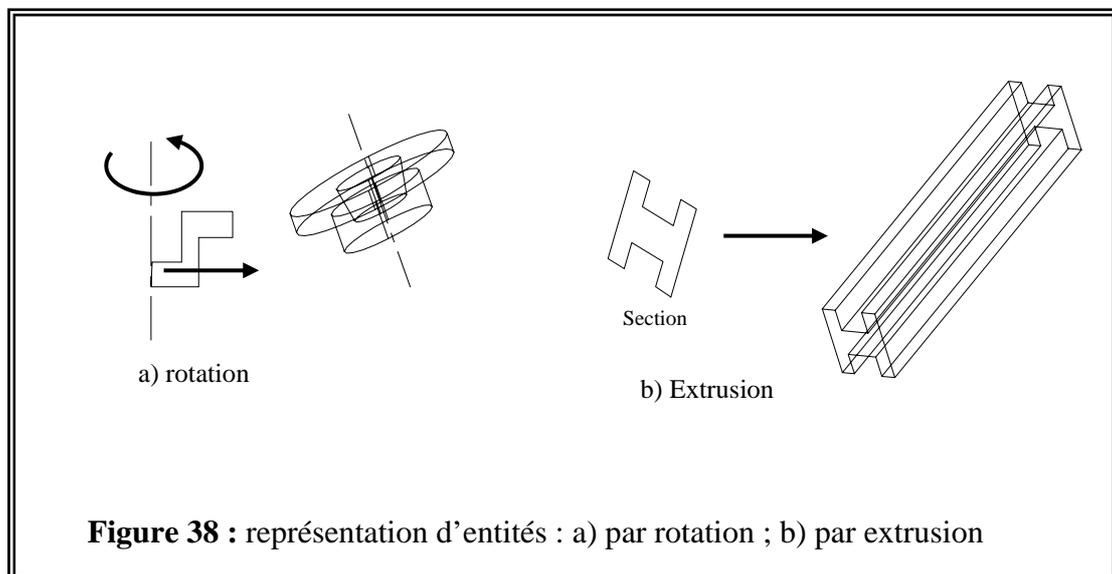


Le succès de Pro-Engineer a incité la plupart des constructeurs de CFAO à suivre l'exemple tels que :

- Intergraph avec I-EMS, Matradatavision avec Euclid-is, et MacDonnel Douglas avec unigraphics pour les modeleurs paramétrés ;
- Computer Vision avec CADD5, SDRC avec I-DEAS pour les modeleurs variationnels.

4.4 – Modélisation par extrusion et par balayage de surface

Plusieurs pièces mécaniques dont la forme n'est pas très complexe sont définies à partir de leur profil en 2D. Et, par une extrusion selon une trajectoire ou par une rotation par rapport à un axe de révolution fixe, la pièce en 3D est générée. Cette technique est très utilisée par les modeleurs solides tels que Pro-Engineer, Solid-Designer, AutoCAD ou Solid-Works ... Elle permet de construire des pièces dont les profils sont générés par des courbes comme les splines. La figure 38 montre les exemples de modélisation par rotation autour d'axes ou par extrusion suivant une direction.

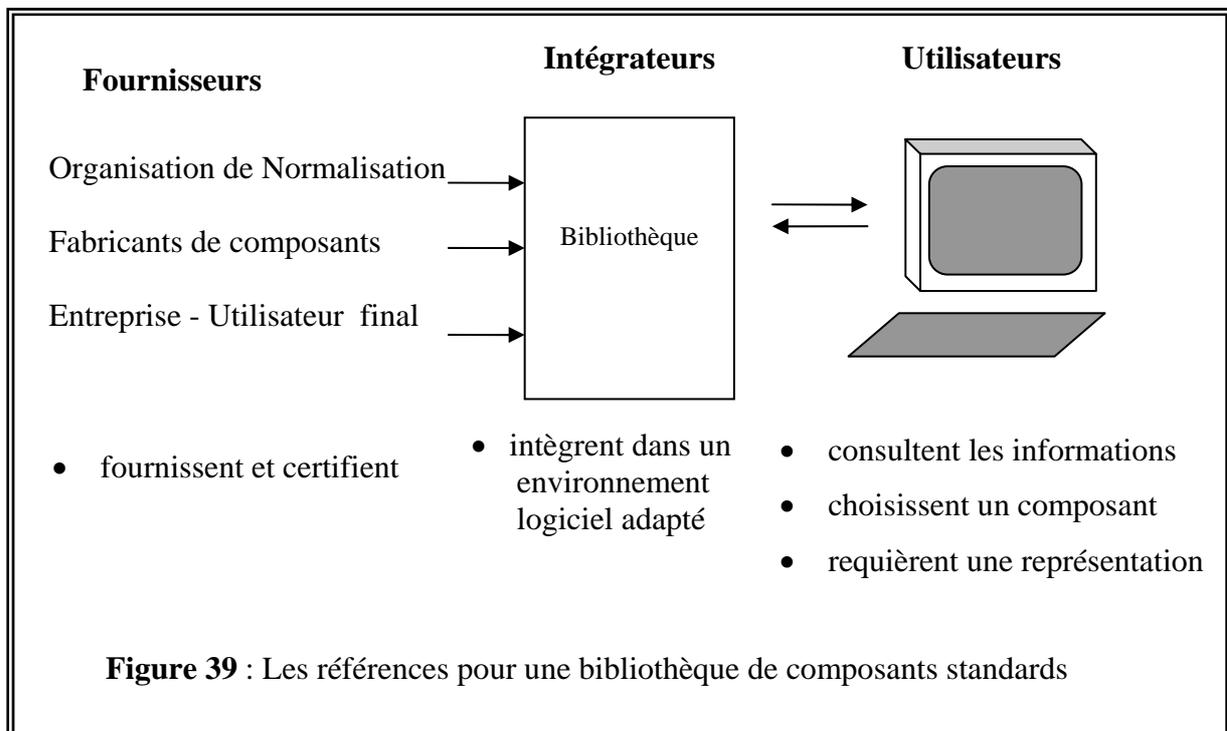


VI – Modélisation et représentation des composants standards

Parmi les pièces composant un mécanisme, il existe des pièces qui sont disponibles au marché par leur fabrication en très grande série par des constructeurs particuliers. Ces pièces deviennent généralement des composants standards (par exemple, les vis, les écrous, les rondelles, les goupilles, les roulements ...). Ces pièces ou ensemble de pièces deviennent normalisées et sont généralement fournies et choisies dans des catalogues. En Europe, un projet de norme – CAD/LIB – [KAS 97] a été lancé pour permettre la création de bibliothèques neutres des composants standards et normatifs. Cette neutralité a été mise en exergue pour permettre l'intégration de ces

bibliothèques dans n'importe quel logiciel de C.A.O. existant. Trois modèles sont à la base de ces spécifications [MEH 95] (figure 39) :

- Le modèle des acteurs : permet de définir les différents intervenants impliqués dans la mise en œuvre d'une bibliothèque neutre ;
- Le modèle d'architecture : permet de décrire les sous-systèmes fonctionnels associés à la mise en œuvre d'une bibliothèque neutre et de mettre en évidence ceux qui doivent faire l'objet d'une démarche normative ;
- Le modèle contenu permet de définir avec précision des éléments à représenter ainsi que les relations susceptibles d'exister entre ces éléments.

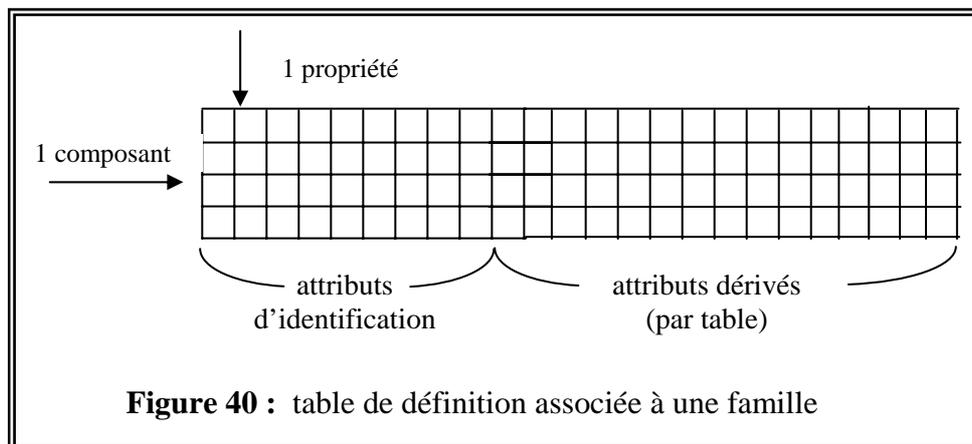


VI.1 – Définition et représentation d'un composant standard :

Un composant standard est à la fois un composant concret (matériel) et un composant abstrait (virtuel). Le composant standard concret est tout élément matériel existant en un grand nombre d'exemplaires. Il est associé à un document de définition unique qui peut faire référence à d'autres documents. Le composant standard abstrait

est l'élément virtuel qui définit une spécification partielle figurant dans un document unique de spécifications (exemple, norme ISO).

Le choix d'un composant standard (figure 40) se fait à partir du choix d'un composant abstrait (norme) puis le choix du composant concret conforme à la spécification définie par le composant abstrait. Il fait référence au document de définition du composant ou à une liste ordonnée des valeurs d'attributs d'identification du composant. Cette référence est appelée l'*identifiant* du composant. Le document de définition (responsable de spécifications) d'un ensemble de composants considérés comme différents est appelé *famille simple de composants*. La liste ordonnée des grandeurs caractéristiques qui permet de distinguer et identifier les composants est appelée *liste des attributs d'identification* du composant. Le composant est dit alors *composant paramétré*.



Le composant standard peut avoir plusieurs modèles de représentation (géométrie filaire, représentation symbolique ...). Ces différentes représentations peuvent être regroupées en classes abstraites identifiées par un nom logique de représentation (géométrie, symbole, modèle analogique ...). Comme la bibliothèque doit être intégrée dans un modeleur graphique, plusieurs représentations appartenant à la même classe abstraite doivent être accessibles avec des variables de commande (vue_2D, vue_de_droite ...) permettant de préciser la vue souhaitée. Certaines représentations dépendent du contexte d'insertion du composant. Les grandeurs

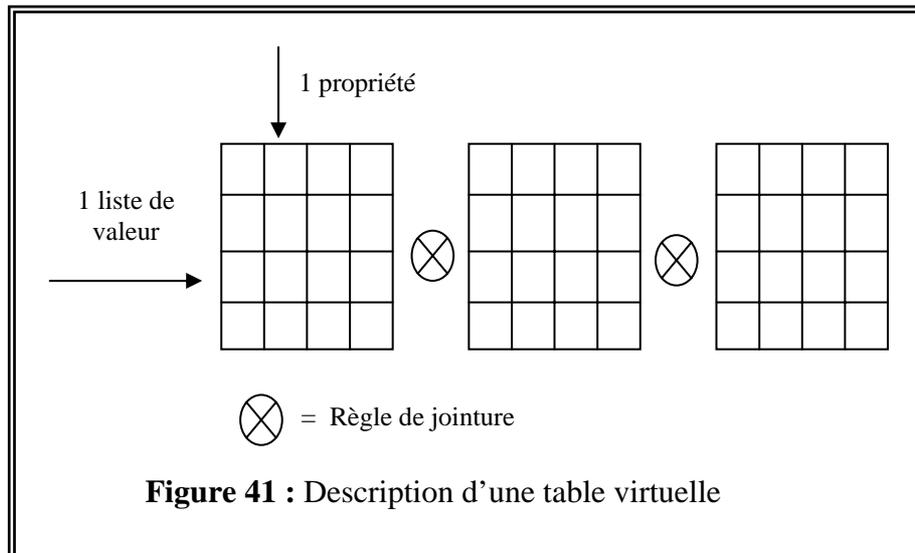
transmises par l'utilisateur (longueur du composant, température, durée de vie ...) pour permettre la création sont appelées *paramètres de contexte*.

VI.2 – Modélisation informatique d'un composant ou d'une famille simple

De même que pour les entités fonctionnelles, la représentation d'un composant standard amène à l'utilisation de la programmation orientée objets. Il est considéré que les objets ou composants ayant les mêmes types d'attributs et supportant les mêmes méthodes constituent une classe. Certains langages orientés objets permettent que des valeurs de certains attributs puissent se déduire des valeurs d'autres attributs (ils sont dits *dérivés*) et que des valeurs d'attributs doivent aussi respecter certaines contraintes logicielles (telle que les contraintes d'intégrité).

L'ensemble des composants d'une famille est décrit dans une table appelée *table de définition* (figure 41). Cette table peut être réelle ou virtuelle. Chaque ligne correspond à un composant différent et chaque attribut d'identification est représenté dans une seule colonne ; d'autres colonnes sont utilisées pour définir les attributs dérivés ou les variations de certains attributs.

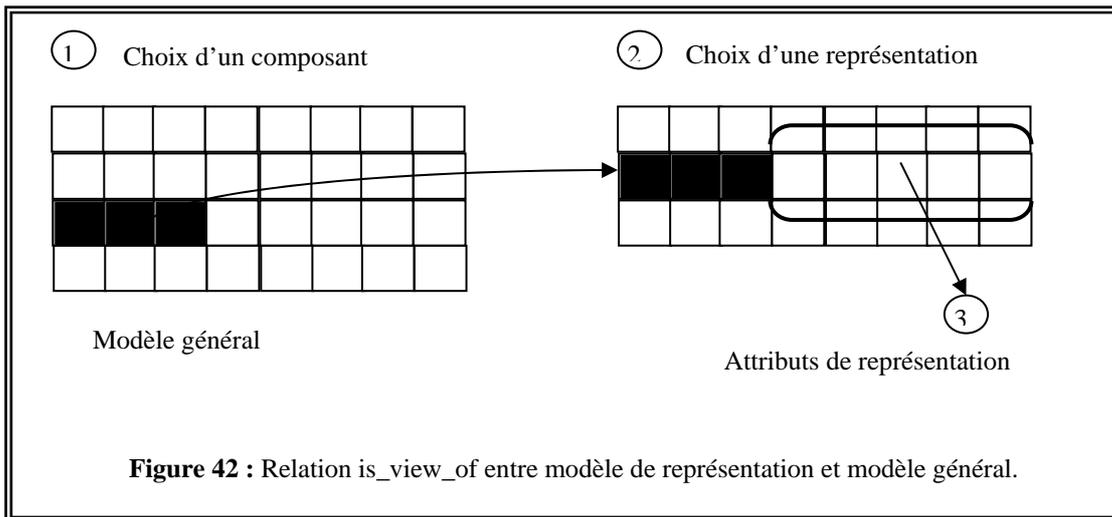
Comme la table peut être très volumineuse, elle est souvent décrite sous forme de tables élémentaires liées entre elles par une règle de jointure (figure 41). Elle est dite dans ce cas *table virtuelle*. La description formelle d'une famille de composants standards comporte la structure des objets (attributs, méthodes et règles) et la table associée à la classe.



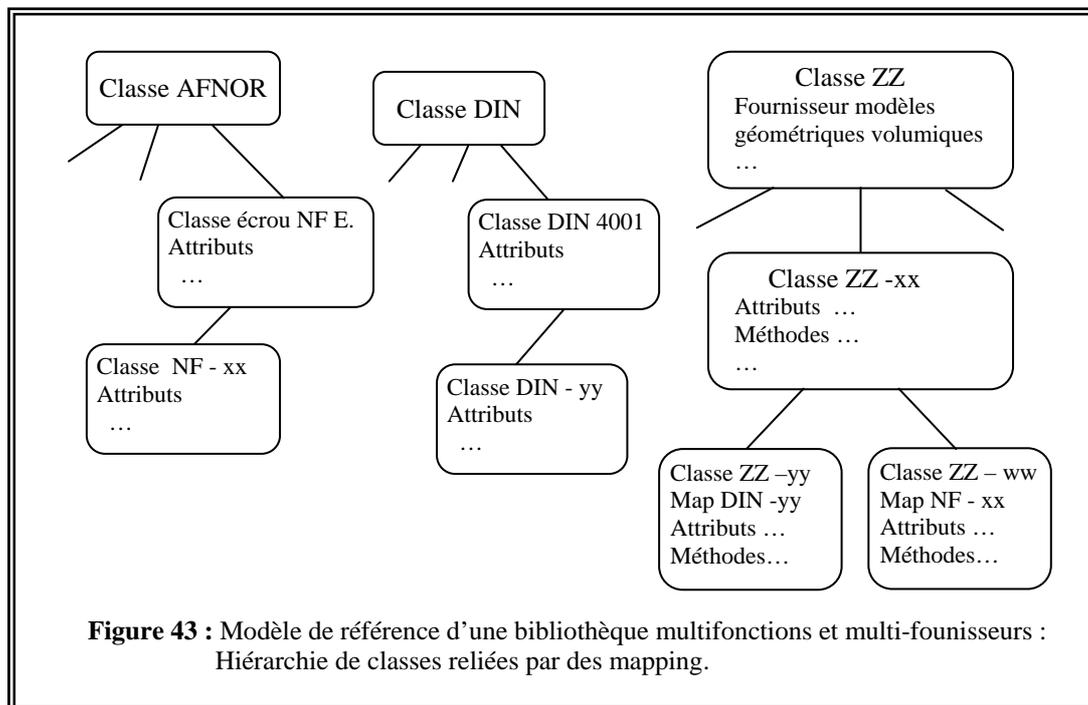
VI.3 – Modèle général et modèle fonctionnel d'un composant

On appelle *modèle général* d'un composant (ou famille de composants) standard sa représentation sous forme d'une classe des propriétés figurant dans son document de définition ; et, *modèle fonctionnel* d'un composant (ou famille de composants) standard sa représentation sous forme d'une classe en relation fonctionnelle avec son modèle général.

La relation entre les classes décrivant deux modèles d'un même composant est différente de la notion d'héritage (relation «is_a»). Il s'agit d'une relation objet – objet où chaque objet d'une classe est associé à un objet d'une autre classe. Cette relation constitue une relation fonctionnelle ou *mapping* (relation «is_view_of»). Les modèles fonctionnels étant définis sous forme de classes, le mécanisme d'héritage permet de factoriser les propriétés communes de plusieurs classes (figure 42).



La relation de mapping doit être prise en compte par le logiciel de gestion de la bibliothèque. Le choix d'un composant se fait à travers son modèle général. Pour le composant choisi, plusieurs représentations peuvent être requises ajoutant de nouveaux attributs et/ou de nouvelles méthodes (figure 43).



VII – Conclusion

La science des systèmes, la systémique, est instituée en discipline scientifique autonome depuis la fin des années soixante-dix, elle doit être entendue, pratiquée, enseignée et développée dans le contexte que définit l’histoire complexe des sciences et des techniques depuis cinq siècles. Comme la plupart des nouvelles sciences qui ont émergé depuis 1945, la science des systèmes se définit par son projet plutôt que par son objet : autrement dit, elle ne peut pas être présentée hors du champ épistémologique par lequel elle se constitue et en référence auquel elle peut argumenter les énoncés qu’elle produit et transforme [MOI 98].

La conception mécanique, connue actuellement sous le terme C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur), ne prend nullement la notion de systémique qui consiste à étudier les produits, ni le cahier des charges. Nous avons présenté au premier chapitre certaines approches de décomposition. Dans ce second chapitre, nous nous sommes intéressés aux systèmes intégrés qui prennent en charge l’aspect conception mécanique et les recherches se rapportant au cahier des charges. Les logiciels cités et les méthodes de modélisation des formes (filaire, surfacique, C.S.G, Brep ...) permettent la représentation des pièces préalablement réfléchies. Ils peuvent être utilisés pour modéliser les pièces et composants standards qui sont très utilisés en conception mécanique et en faire des bases de données que l’on intégrera dans le système de conception. En Europe, le projet CAD-LIB [KAS 97] est lancé pour répondre aux problèmes posés par les bibliothèques de composants mécaniques et mettre en place une normalisation pour assurer l’intégration dans les systèmes C.A.O existants.

CHAPITRE III

GESTION DE DONNEES TECHNIQUES, LES SYSTEMES EXPERTS ET LES SYSTEMES COOPERATIFS

I – INTRODUCTION.	89
II – GESTION DE DONNEES TECHNIQUES.	90
II.1 – La gestion de données technique dans le développement de produits.	92
II.2 – Fonctionnalités des SGDT existants.	92
II.3 – Mise en place d’un système de gestion de données techniques.	94
III – LES SYSTEMES EXPERTS (S.E.).	95
III.1 – Représentation et manipulation des connaissances dans les S.E.	96
III.2 – Domaines d’application des systèmes experts.	97
IV – SYSTEMES DE CONCEPTION COOPERATIFS.	98
IV.1 – systèmes centralisés ou multi-experts.	98
1.1 – Architecture de la centrale d’exécution.	100
1.2 – structure des données.	102
IV.2 – Systèmes multi-agents.	102
2.1 – Architecture d’un système multi-agents.	104
2.2 – Structure interne d’un agent.	105
2.3 – Modèles utilisés par un agent.	106
V- CONCLUSION.	107

CHAPITRE III

GESTION DE DONNEES TECHNIQUES, LES SYSTEMES EXPERTS ET LES SYSTEMES COOPERATIFS

I – Introduction

Les variantes et types de produits sont en constante progression et de plus en plus de documents associés sont ainsi générés. Avec l'aide de l'informatique (les outils de C.A.O., C.M.A.O., D.A.O., P.A.O., GMAO, les traitements de texte, de simulation et autres A.O ...) qui permet vitesse et précision dans la génération des documents à chaque étape du développement, il devient plus aisé de générer des produits et les documents associés moyennant des efforts humains et du temps pour l'implémentation. Cet ensemble de documents, d'informations et de détails se rapportant aux produits sont ce qu'on peut appeler les données techniques. Qu'en est-il de la gestion de tout le flux d'informations ?

Dans le paragraphe II, nous présenterons quelques définitions de la gestion de données techniques GDT et des systèmes associés ou systèmes de gestion de données. En plus du flux d'informations qui est de plus en plus important de nos jours et la nécessité de gestion de ces documents, la conception d'un produit mécanique n'est pas seulement le travail d'une seule personne. Elle nécessite la collaboration de plusieurs personnes (des concepteurs, des experts, des dessinateurs, des designers ...).

Au paragraphe III, nous présenterons un aperçu sur les systèmes experts. De nos jours, nous trouvons de plus en plus de personnes spécialisées dans différents domaines. Vu la multitude de disciplines et de contraintes (de fonctionnement pour les appareils de certains secteurs, de matériaux, d'usinabilité avec la présence de machines-outils à commande numérique...). Et comme nous avons besoin de ces spécialistes, au paragraphe IV, nous verrons les systèmes de conception coopératifs. Et, nous terminerons ce chapitre par une conclusion

II – Gestion de données techniques

La gestion de données techniques [MON 94] [GHO 83] [KAS 97] est un des problèmes les plus cruciaux posés actuellement. Les entreprises aujourd'hui sont soumises à un véritable déluge d'informations papier et/ou numérique à prendre en compte, stocker, gérer ... et qui devient un nouvel obstacle à la productivité. La norme ISO 9001 spécifie les moyens à mettre en œuvre pour assurer la traçabilité des projets, le contrôle et la gestion des procédures de conception. Pour palier à ces dysfonctionnements, augmenter sa productivité et souscrire à un savoir-faire, les points forts sont la maîtrise de la gestion. Qu'il est question de SGDT, GED, GEDT, EDMT, PDM, PIM ...(terminologie en encadré), l'objectif commun est la gestion de l'ensemble des informations techniques au niveau de l'entreprise. Et, la mise en place d'un système de gestion de données techniques constitue le noyau pour aider à supporter ces procédures.

Une terminologie très variée

SGDT – Système de Gestion de Données Techniques – terme utilisé aussi bien pour la gestion de données de production (gammes, articles, nomenclatures ...) que pour les données de développement de produits. Il peut être précisé par le terme de Système de Gestion de Documentation Technique qui se focalise sur le deuxième domaine.

GED/GEDT – Gestion de Electronique des Documents (/Techniques) – Concerne toutes les activités de stockage, archivage et gestion de documents sur un support électronique (informatique, disque optique, puce...) vu du côté de l'offre. Inclus tous les systèmes d'aide à l'édition des documents (documentique). Ce terme est souvent réduit à une notion d'archivage.

EDM/PDM/PIM – Engineering Data Management / Product Data Management / Product Information Management – terminologie américaine désignant les SGDT du point de vue du produit et de son développement.

Système de configuration de produits – ou Product configuration management permet de désigner un SGDT du point de vue plus «gestion» des nomenclatures, variantes et documents associés.

SGBD – Système de Gestion de Base de Données – technologie informatique de base permettant de gérer toute information ou ensemble de données structurées. Structurés sous forme de tableaux inter-reliés, les SGBD relationnels supportent aujourd'hui les plus grands nombres d'applications. Les SGBD structurés par objets commencent leur progression notamment dans le domaine de la gestion de données techniques.

La définition des données techniques est très vague car elle couvre l'ensemble des données du cycle de vie d'un produit (de sa conception à sa maintenance en passant par sa mise en production). On en distingue quatre domaines distincts qui ont été définis pour cerner où la gestion de données techniques prend un sens différent.

- La gestion de données techniques du point de vue du développement des produits vise à gérer les flux d'informations permanents au niveau des créations de documents, des variantes, des versions, des validations.
- La gestion de données techniques de production concerne des données stabilisées et validées qui définissent le produit, sa structure et son mode de fabrication qu'on peut appeler GDT du processus de production.
- La gestion de données techniques (en fin de cycle : utilisation et maintenance) concernant le soutien logistique intégré (par exemple, dans le domaine de l'aviation ou de la marine où les données doivent être disponibles pour une remise en état – matériel à longue durée de vie – Initiative CALS : Computer Aided Acquisition and Logistic Support, initiative américaine pour la définition de standards en soutien logistique des pièces à longue durée de vie et aux données techniques importantes dans le domaine du militaire).
- La gestion de données techniques de l'ensemble des ressources et des documents techniques dans l'entreprise (catalogues composants, notices techniques standards ...) et qui doivent être accessibles à la consultation pour tous les acteurs de l'entreprise (bureau d'études, bureau des méthodes ...)

Les domaines ci-dessous ne sont pas entièrement indépendants ; mais, comme les données techniques dans une entreprise sont en grands nombres et très variées, il est indispensable d'identifier le mode et la nature de l'activité pour une meilleure gestion et exploitation des informations. Dans notre cas, l'intérêt portera sur la gestion de données techniques dans le développement de produits.

II.1 – La gestion de données techniques dans le développement de produits

Le flux d'informations du produit traité est composé du cahier des charges, études marketing, plans de principe, plans techniques, notices de calcul, nomenclature, gamme de fabrication, gamme d'assemblage ... A chacun de ces documents est associé toute une caractérisation (numéros, répertoires, signatures, modifications, ...). Pour chaque produit, il peut exister plusieurs variantes ou versions avec des dossiers «produit» différents composés de données numériques et/ou papier qu'il faut identifier à tout moment et de manière univoque.

La mise en place de systèmes de gestion de données techniques permet d'assurer une bonne circulation des informations, le suivi et l'archivage des données, l'optimisation des études par une meilleure gestion des données pendant la conception, assurer une rapidité d'accès et à des modifications de solutions existantes, et sécuriser les données par des identifications propres. Ce sont les enjeux majeurs des systèmes de gestion de données techniques. La base de données ainsi constituée devient un bien collectif qu'il faut partager et entretenir. Ces spécifications ont conduit au développement de véritables outils informatiques spécifiques. Ils s'appuient sur des modèles SGBD (système de gestion de bases de données) relationnels standards.

II.2 – Fonctionnalités des SGDT existants

Les fournisseurs de logiciels CAO, FAO, XAO fournissaient leurs propres systèmes de gestion pour leurs propres données produit et administration. Aux années 90, le projet CIM (Computer Integrated Manufacturing) a été mis en place pour pousser tous les gros fournisseurs de matériels à développer des architectures logicielles ouvertes permettant l'intégration dans les différentes applications des données en rapport avec le processus.

Un SGDT est le cœur de l'entreprise : gérer le flux d'informations techniques. Il joue le rôle de fédérateur et de centralisateur des informations dans un environnement informatique. Les démarches de personnalisation doivent être :

- Le développement de boîtes à outils, de fonctions et des structures de génie logiciel, pour un SGDT spécifique ;
- Le développement d'outils très complets mais modulaires, pour la constitution des différents outils adaptés au processus de conception.

Donc, les fonctionnalités de SGDT peuvent être classées en 6 catégories principales :

- 3 **La gestion de la structure produit** – regroupe les fonctionnalités de gestion du produit, de la structure, de composants ... chaque produit est accompagné par son propre jeu d'attributs.
- 3 **La gestion de la structure documentaire** – le SGDT permet la gestion de la structure et des liens entre les documents ou dossiers que possède chaque produit, sous-ensemble ou constituant. Chaque document (dessin, modèle 3D, notices ...) a ses propres attributs (auteurs, date, format ...). Il fournit un ensemble d'outils de classements pour tous les documents.
- 3 **La gestion des processus** – permet de connaître à tout instant l'état des données, de les faire circuler, d'autoriser et d'assurer la sécurité d'accès à ces données et de déclencher les procédures administratives. En gérant les différentes étapes de développement du produit (workflow), le SGDT constitue un véritable outil de suivi et de gestion des projets en cours et des historiques.
- 3 **L'intégration des applications** – Les données sont généralement résidentes et gardent le lien avec l'application d'origine. Les SGDT doivent fournir les outils d'intégration des documents. Ils doivent permettre de référencer tout document indépendamment de son lieu de stockage et du système d'exploitation utilisé. Cela doit permettre de lancer une application sur un document à partir du SGDT, d'intégrer complètement avec un échange d'attribut entre l'application et le SGDT pour une récupération d'informations significatives dans le modèle CAO.

- 3 **L'interface utilisateur** – les SGDT trouvent leur justification principale dans la facilité d'accès à l'information. La performance et l'ergonomie de l'interface utilisateur, sa facilité d'adaptation sont les critères déterminants pour la productivité de l'opérateur.
- 3 **Les services associés** – les différents services associés au SGDT sont aussi déterminants, que ce soit pour l'administration de base, pour l'édition de textes et d'images et/ou pour la documentation et des annotations.

II.3 – Mise en place d'un système de gestion de données techniques

De nombreux impacts découlent de la mise en place d'un système de gestion de données techniques tant au niveau de l'organisation des flux d'informations, des applications, des procédures que des méthodes de travail. En raison de ces nombreuses implications, la mise en place d'un SGDT est un processus long et coûteux, faisant appel à de nombreux responsables d'entreprise (responsables de services techniques, responsable de CFAO, responsables de qualité et de la production). Pour ce faire, il est nécessaire de procéder avec méthode et rigueur, de s'assurer pas à pas le bon déroulement des objectifs tout en impliquant tous les acteurs

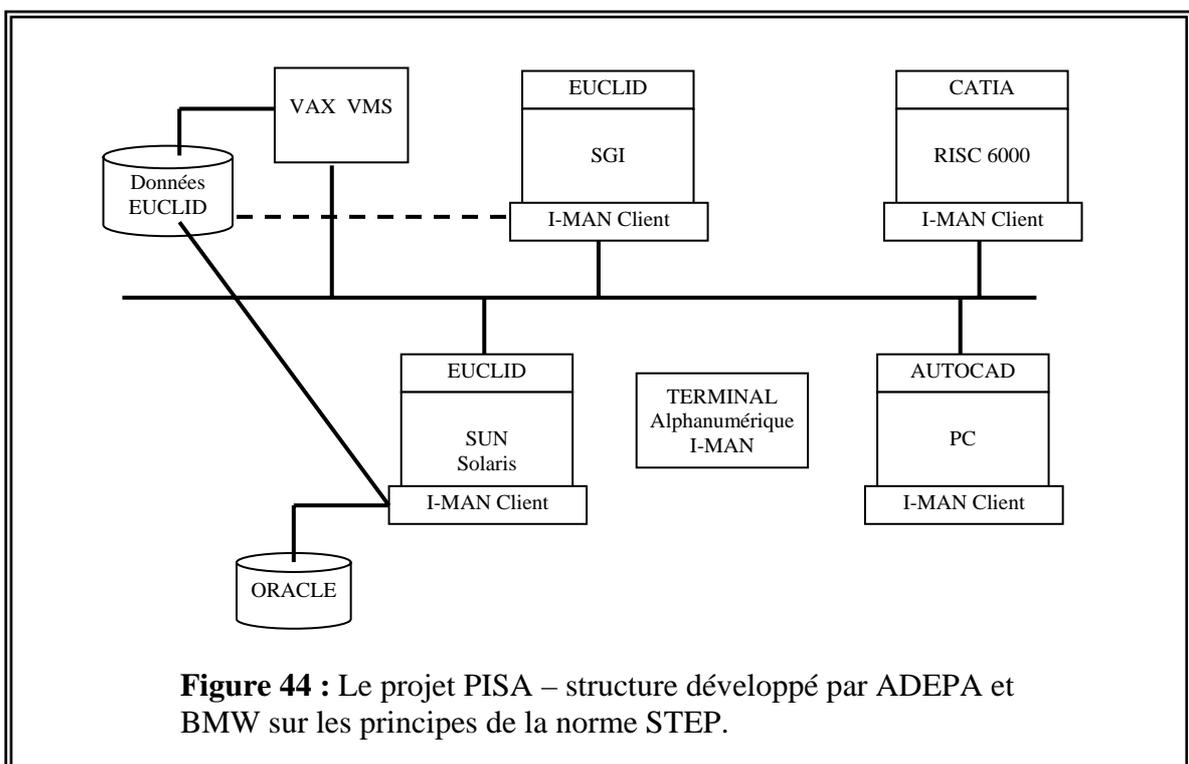
Le déroulement d'un projet type est de procéder à :

- ✓ Une analyse interne des besoins ; c'est à dire, élaborer un énoncé précis des besoins, des problèmes et des objectifs à satisfaire. Une étude de faisabilité est associée à cette phase.
- ✓ Une analyse détaillée et une formalisation des spécifications. En cette phase, il est nécessaire de procéder à la sensibilisation des acteurs, à une analyse des flux d'informations techniques, à leur organisation et leur structuration, à la formalisation des procédures à supporter et aux scénarios à envisager.
- ✓ L'élaboration du cahier des charges : Externe à l'entreprise, ce document permet de spécifier les fonctions requises, les structures à supporter, les matériels existants à

prendre en compte et les limites du projet pour permettre le positionnement des fournisseurs et le choix d'un système.

- ✓ L'implémentation se déroule par étape et en externe pendant que l'entreprise prépare ses procédures, ses données, ses utilisateurs à la mise en place du système par une formation.

Le projet PISA [MON 94] – (ESPRIT 6876, initié en 1992) (figure 44) vise au développement d'outils, de structures et de méthodes pour faciliter l'intégration des applications de conception et d'industrialisation de produits autour d'un noyau de gestion de données techniques en architecture ouverte.



III – Les systèmes experts (S.E.)

Avec la multitude des sciences et techniques, la sécurité et les conditions de production en quantité, qualité et sécurité, la professionnalisation des métiers a permis de former des spécialistes (experts). De nombreux systèmes experts ont été développés

afin d'aider l'ingénieur concepteur dans ses activités. Les systèmes experts sont issus des concepts généraux de l'Intelligence Artificielle [LUC 85]. Ils apportent une contribution non négligeable aux concepteurs et aux systèmes de conception. L'utilisation des S.E. dans un système de conception est justifiée par la capacité de simuler certains problèmes où tout raisonnement et calcul sont difficilement exploitables. Les concepts des S.E. sont basés sur des modèles de représentation de connaissances (notions de réseaux sémantiques et de frames) qui, par leurs diversités, peuvent être complémentaires pour former un système complet.

III.1 – Représentation et manipulation des connaissances dans les systèmes experts

Les connaissances sont formées par l'ensemble de faits ou solutions d'une application et sont regroupées dans une base de faits. Esterline [EST 96] définit la connaissance par une partie statique et une partie dynamique, c'est l'ontologie statique et l'ontologie dynamique. Une ontologie est une collection de buts concrets, de relations et transformations qui représentent des entités physiques et cognitives nécessaires pour accomplir une tâche. Les ontologies statiques permettent de définir les primitives d'objets dans l'espace de travail. Les ontologies dynamiques permettent quant à elles de définir les actions qui transforment le problème d'un état à un autre. Les connaissances heuristiques sont les données statiques issues de l'évaluation de l'expérience passée d'un expert pour une application spécifique. Ces techniques sont liées à la littérature du domaine de l'Intelligence Artificielle.

A titre d'exemple, les techniques de raisonnement sont :

- Le raisonnement déductif à partir des connaissances exclusivement en vraies ou fausses ;
- Raisonnement à partir des connaissances incertaines et/ou imprécises (raisonnement très utilisé par les systèmes experts de diagnostics médical - MYCIN) ;

- Le raisonnement par défaut où des valeurs et des hypothèses sont prises par défaut pour démontrer si la solution est vraie ou fausse. La valeur par défaut est ensuite remplacée par sa vraie valeur en fonction de la conclusion à atteindre ;
- Le raisonnement par des connaissances évolutives où une connaissance peut changer en fonction de la solution du problème ;
- Le raisonnement par analogie où l'on considère qu'une propriété satisfaisant une situation peut l'être pour une situation similaire ;
- Le raisonnement qualitatif permet d'estimer, de façon certaine, que les paramètres soient dans l'intervalle déterminé afin d'assurer le comportement qualitatif d'un système ;
- Le raisonnement sur le raisonnement.

Dans les systèmes experts, le sens de la progression pour la recherche d'une solution est assuré par le chaînage des règles de la base des connaissances. Trois types de chaînages sont utilisés par les systèmes experts, il s'agit du chaînage avant, chaînage arrière et chaînage mixte. Ce dernier est une alternative entre le chaînage avant et chaînage arrière.

III.2 – Domaines d'application des systèmes experts

Le système expert, le plus souvent cité, est le système « **MYCIN** » utilisé pour le diagnostic médical. Depuis, on retrouve de nombreux systèmes experts utilisés dans la plupart des domaines scientifiques (chimie, biologie, mécanique, électricité ...).

Dans le domaine de la mécanique, on trouve Mecaexpert – S.E. d'aide au choix et montage des éléments technologiques de D. Benchaouine [7], le S.E. pour le choix de Grues de Zentao [26] et d'autres encore traitant d'un problème spécifique.

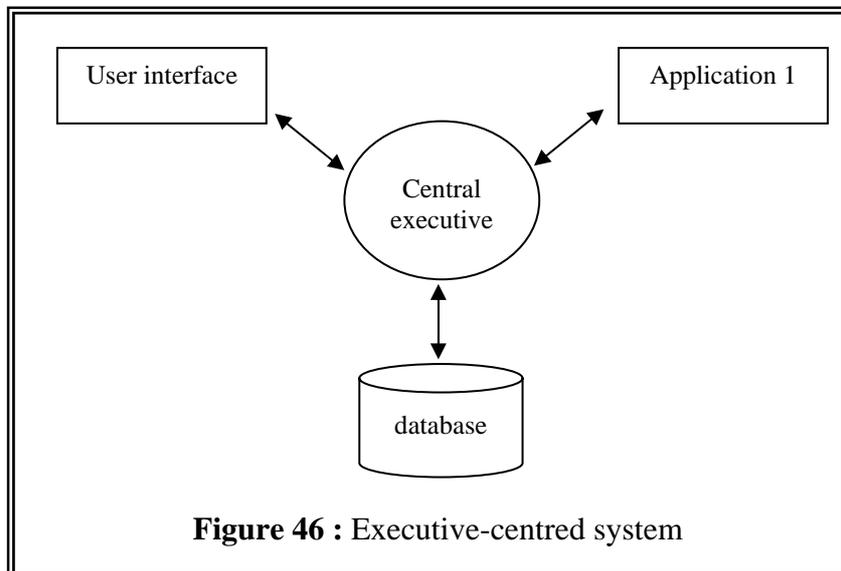
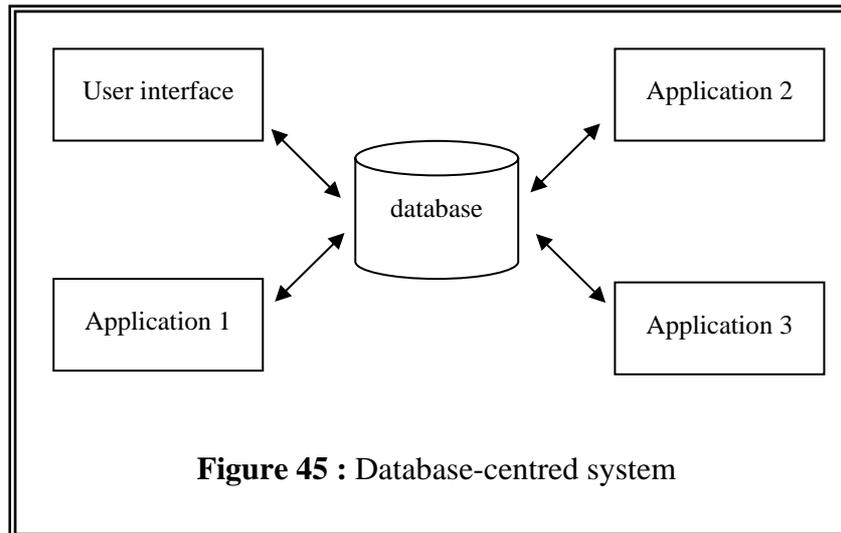
IV – Systèmes de conception coopératifs

La conception de produits importants ou de systèmes mécaniques complexes nécessitent une coopération et une coordination entre des équipes pluridisciplinaires. Un produit créé n'est pas le résultat du concepteur seul mais de la participation d'experts (normes, matériaux, industrialisation, production ...). Même s'il est très expérimenté, il ne peut à lui tout seul maîtriser les connaissances et expériences des experts. Dans cet objectif, des travaux et expérimentations ont été menés pour une analyse de travaux en coopération et/ou coordination. W. Shen [SHE 97] en a étudié une quarantaine cas. Les approches proposées par des chercheurs peuvent être classées en deux catégories : les systèmes multi-experts (de type : tableau noir ou blackboard) et les systèmes multi-agents.

Dans un système multi-experts, chaque spécialiste peut accéder au tableau noir lorsque les informations sont postées. Alors que dans un système multi-agents, chaque spécialiste est indépendant et a sa propre représentation de la situation. La communication entre agents est faite par le biais de messages. Dans ce qui suit, on présente une approche centralisée et une approche multi-agents et une synthèse sera proposée.

IV.1 – systèmes centralisés ou multi-experts

L'architecture blackboard (de type tableau noir) est la plus utilisée. Ils sont très similaires et se basent sur l'architecture de bases de données [LEE 94] [LEE 91] [WIE 92]. S. A. Barley [BAR 92] présente un système de centrale d'exécution. En figure 45 est présenté un système de base de données centrale et un système d'exécution centralisé en figure 46.



Les avantages d'un système d'exécution centrale ou centralisée (ou centrale d'exécution) comparé à un système de base de données centralisée peut se résumer en trois points :

- ✓ Les applications de calcul peuvent être traitées séparément et regroupées par la suite dans la centrale d'exécution. De telles implications ont besoin d'être écrites une seule fois en une forme générique et leur structure partielle utilisée dans une application particulière ;
- ✓ Les communications nécessaires entre le système et l'utilisateur peuvent être séparées en des applications individuelles. Toutes les opérations d'entrées/sorties

peuvent par la suite être exécutées indépendamment des applications individuelles. Tout changement dans les spécifications peut être intercepté au niveau de l'interface utilisateur et les modifications ne sont pas requises.

- ✓ Toute interaction avec la base de données doit être strictement contrôlée au niveau du SGBD (système de Gestion de la Base de Données).

1.1 – Architecture de la centrale d'exécution

La philosophie est que les termes utilisés pour spécifier les quantités du système doivent être très généraux. Ces quantités sont le *processus de connaissance* – *process knowledge* - et le *processus quantitatif* ou *de quantification* – *process quantifier* – qui sont utilisés pour décrire l'information présentée au système.

Définition du processus de connaissance :

Le terme « processus de connaissance – *process knowledge* » est utilisé pour décrire toute information qui est prise par le système, à travers la centrale d'exécution, qui rattache un problème donné à une application particulière.

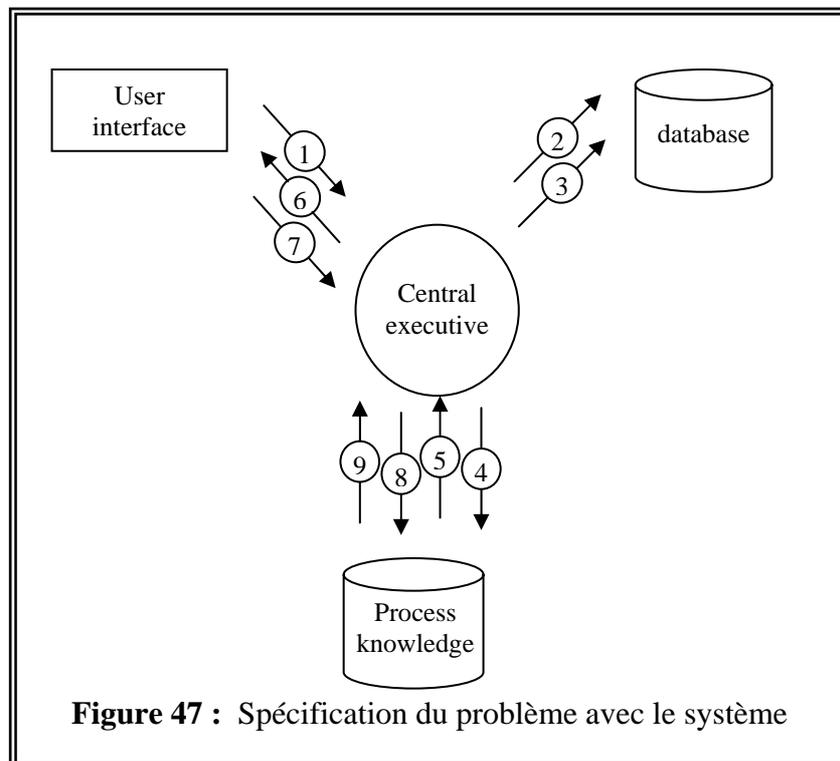
L'information peut provenir de deux sources possibles : l'information qui provient de l'utilisateur de manière interactive et l'information qui est retrouvée dans la base de données.

Définition du processus de quantification :

Le terme « processus de qualification – *process qualifier* » est utilisé pour décrire tout élément d'information qui est acquis par le système à travers la centrale d'exécution et qui contribue à l'ensemble des règles qui tendent vers la solution du problème donné.

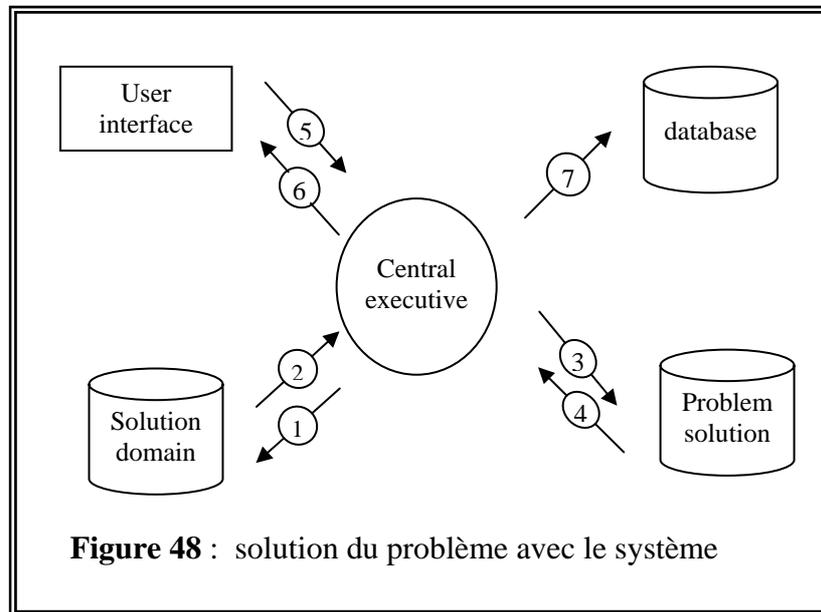
Il y a aussi deux sources possibles : l'information qui provient de l'utilisateur de manière interactive et l'information qui dérive du processus de connaissance.

A bas niveau d'abstraction, la centrale d'exécution est constituée de deux phases distinctes qui sont la phase de spécification du problème et la seconde phase est celle de solution du problème. La première phase est constituée en un certain nombre de séquences – événements – à travers lesquelles l'information est saisie par la centrale d'exécution puis distribuée. La figure 47 représente le flux d'information et l'ordre dans lequel se produit l'interaction entre la centrale d'exécution et son environnement durant la spécification du problème. Les repères de 1 à 6 indiquent les spécifications des entités opérationnelles à utiliser dans la base de données et l'initialisation du processus de connaissance. Les repères de 7 à 9 prépare, par la suite, le système au contrôle et à la résolution du problème avec un apport d'informations supplémentaires.



Le domaine des solutions est représenté à partir du processus de qualification – process qualifiers – qui est défini dans la phase de spécification du problème. La figure 48 montre les étapes pour le processus de qualification des solutions. La solution est souvent générée dans un nouveau domaine de solutions, plutôt que dans l'espace du

problème d'origine, permettant des modifications possibles selon l'appréciation de l'utilisateur.



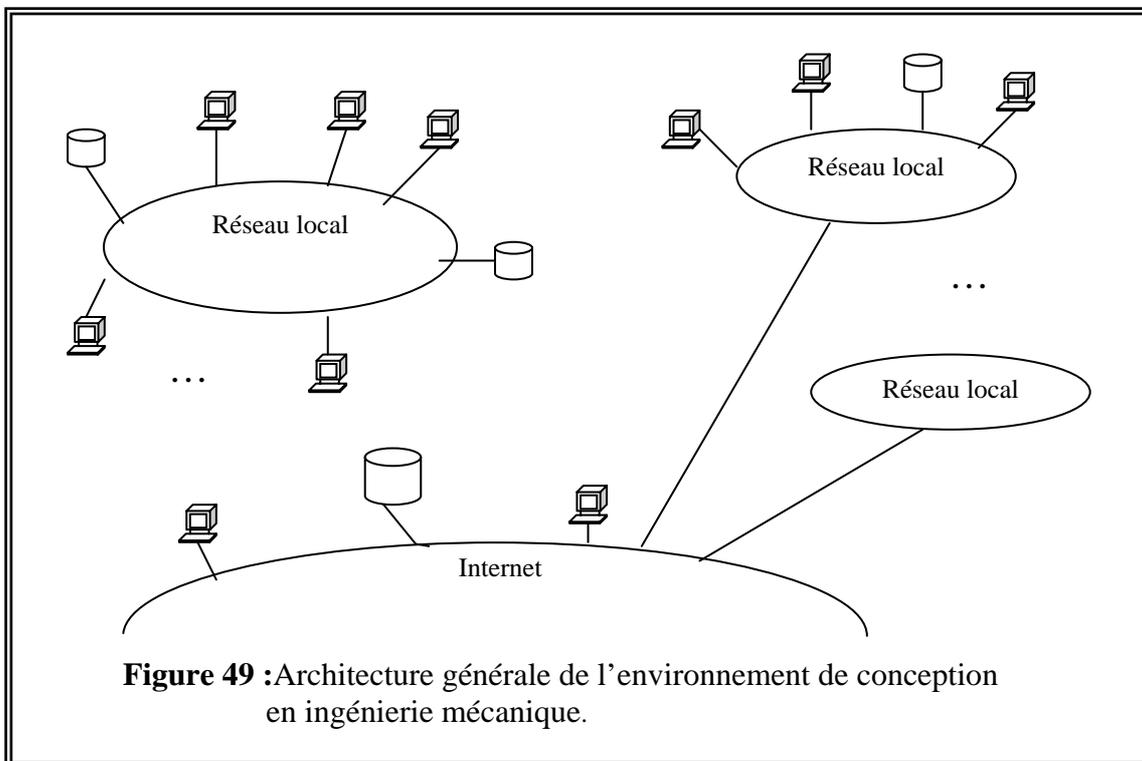
1.2 – structure des données

La structure du système exclut toute forme structurelle de description des données. La caractéristique (feature, en anglais) particulière sur laquelle est basé le système est l'indépendance de la structure de données à partir de plusieurs architectures systèmes. La stratégie de développement appliquée est similaire aux structures des suites de données. L'approche met en valeur la description des données génériques en fonction des spécificités des problèmes posés. Les langages orientés objets sont utilisés dans ce genre d'applications permettant l'abstraction des données. Un système de gestion de base de données contrôle l'interaction des composants du système avec la base de données.

IV.2 – Systèmes multi-agents

Par analogie aux systèmes à structures d'exécution centrale ou centralisée, un système multi-agents [SHE 97] est organisé autour de plusieurs personnes – des experts – (ou outils informatiques) dans des domaines particuliers et, à la différence

des premiers systèmes, les agents sont indépendants et autonomes. Ils sont connectés en réseaux ou à Internet et peuvent communiquer avec les uns avec les autres et/ou s'échanger des données et des connaissances (figure 49).



La principale caractéristique d'un tel système est qu'il soit ouvert et dynamique, avec la nécessité d'ajout de modules sans nécessité de réinitialisation. Contrôlé par des hommes, il doit être de type client/serveur. Le projet d'ensemble est dirigé par un responsable de projet (project manager) qui fusionne les versions proposées en une solution unique à chaque réunion d'avancement. Et, chaque groupe local peut aussi avoir un chef de groupe (local project manager). La connexion entre les agents est effectuée par envoi de messages qui sont transmis à tous les membres. Si le message est compris, l'agent (ou les) peut le traiter en fonction de la priorité de ses travaux en cours et du message reçu. Sinon, il ne fait rien. Si un nouvel agent est connecté, il reçoit les messages comme tous les autres membres déjà connectés. L'interaction entre les agents peut avoir trois aspects : des concepts et des terminologies partagées, un

interlingua pour transférer les connaissances et un langage de communication et de contrôle permettant aux agents de demander des informations et services.

2.1 – Architecture d'un système multi-agents

La présentation de l'architecture est basée sur un système multi-agents pour la CAO en ingénierie – DIDE (Distributed Intelligent Design Environment) [SHE 97] – pour avoir une meilleure appréciation sur son exploitation. L'organisation est donc structurée autour de plusieurs individus ou groupes spécialisés (ou outils informatiques) dans des domaines particuliers, contribuant en activités coordonnées à la conception d'un produit. Ils ont une autonomie et une indépendance et sont connectés à un réseau local ou à Internet (système ouvert et dynamique de type client/serveur) pour l'échange des données et des connaissances.

Comme pour chaque projet, il y a un responsable de projet (project manager) et chaque groupe a son chef de groupe local (local manager project). Le seul contrôle est celui du chef de projet pendant le processus de conception. Chaque agent étant indépendant, il a la latitude de modifier un produit dans son propre espace de travail. L'interaction entre les agents se fait par envoi de messages qui sont interceptés par tous et ne répondent que ceux qui ont des propositions ou qui sont concernés par l'offre.

Les techniques d'exécution des tâches peuvent être par :

- Envoi d'une requête de type broadcast (émission de message) par un agent qui attend une réponse d'un ou de plusieurs agents ;
- Envoi de la requête sous forme d'appel d'offre – toujours type broadcast– en décrivant la tâche à exécuter et attend des soumissions pour un temps. La tâche est attribuée à un agent par un contrat en fonction des critères locaux ;
- Un contrat est directement attribué à un agent déjà connu.

La communication entre agents est basée sur un langage commun dépendant des compétences distribuées sur le groupe. Elle peut être synchrone ou asynchrone et les modes de communications peuvent être point-à-point, broadcast ou multicast. Chaque agent a un gestionnaire pour les messages envoyés et un autre pour les messages reçus pour leur mise en forme et la gestion des objets correspondants. Trois types de messages sont utilisés dans le système (REQUEST, INFORM, NOTICE).

2.2 – Structure interne d'un agent

Indépendant du domaine d'application, le noyau d'un agent est l'ensemble minimal de caractéristiques qui lui permet de réaliser les opérations élémentaires. Il est défini à partir de l'environnement d'un projet donné. Ce dernier fournit l'interface réseau, les mécanismes de gestion des messages d'entrée/sortie et des mécanismes de gestion d'événements asynchrones. Il doit permettre la construction de la vision du monde extérieur d'une manière incrémentale à partir des modèles disponibles. Un ensemble de comportements, par défaut, s'y trouve et concerne la politique de diffusion de l'information et les réactions d'agents à certains événements.

Un agent DIDE (Distributed Intelligent Design Environment) se compose de cinq parties :

- Une interface au réseau connecte l'agent au réseau ;
- Une interface de communication d'un agent est composée de méthodes ou fonctions permettant d'émettre des messages encodés selon un protocole de communication ; et, de recevoir des messages, de les sauvegarder temporairement, les indexer et les décoder dans le contexte d'une tâche particulière ;
- Un modèle de soi qui contient une représentation de l'expert et de ses compétences propres ; et des autres agents qui est une représentation des connaissances des autres agents ;
- Un savoir-faire dépendant de l'application ;

- Des connaissances locales (modèle du projet en cours).

2.3 – Modèles utilisés par un agent

Le noyau d'un agent est défini par trois types de modèles essentiels : un modèle de soi, un modèle des autres agents et un modèle du projet.

- **Le modèle de soi d'un agent** est une représentation de sa propre expertise et de ses compétences. Il est réalisé par une base de connaissance orientée-objet pour sauvegarder des informations sur lui-même, telles que son nom, son adresse et ses compétences (méthodes ou fonctions qui provoquent certaines actions selon les requêtes).

Il contient aussi une adresse logique (identifiant extérieur) et une liste de compétences (skills) associées qui correspondent à son savoir-faire. Ces dernières sont considérées comme des instances de la classe SKILL. Elles ont leurs propres méthodes de sauvegarde, de mise à jour et de retrait des données manipulées. Ces compétences se sont pas définies dans le noyau mais fournies par l'application (intérêt de l'abstraction pour un modèle général).

- **Modèle des autres agents** est réalisé sur la même base de connaissance orientée-objet pour sauvegarder les informations des autres agents. Ces informations concernent leurs noms, leurs adresses réseaux, leurs compétences (skills) : les informations sur chacune des compétences (nom, mot-clé, explications ...). Elles constituent donc une connaissance sur les agents pour guider les futures interactions selon le choix. Dans le cas du système ouvert, les agents peuvent quitter le réseau et d'autres peuvent y être connecter.

Ce modèle est vide au départ et il est rempli et mis à jour au fur et à mesure des interactions entre agents. L'accès au réseau d'un nouvel agent se fait par un message de type REQUEST (mot-clé REGISTER) à tous les agents. Dans le cas d'une

déconnexion, il est procédé à l'envoi d'un message à tous pour une mise à jour de leurs modèles des autres agents. En cas de panne ou déconnexion imprévisible, un mécanisme est prévu pour ce cas de figure.

- **Modèle du projet d'un agent** est une base de connaissance contenant des informations sur le projet global en cours, des tâches et sous-tâches et des solutions partielles des sous tâches particulières et l'historique de cet agent.

Dans la première partie, on trouve le nom et le but du projet, les noms des sous-tâches et leurs situations, le temps utilisé par une sous-tâche terminé ... et toutes les informations récupérées pendant les interactions avec d'autres agents. La seconde partie qui concerne l'historique, elle permet à un agent de conserver les résultats des tâches déjà réalisées. Les informations sauvegardées dans l'historique sont le contenu d'une requête envoyée et la (ou les) réponse(s) correspondante(s), les différentes actions exécutées par un agent avec les paramètres initiaux et les résultats.

V- Conclusion

Le flux d'informations en produits standards, en normes et des documents consultés et générés au cours du processus de conception d'un produit et dans une entreprise nécessite une gestion rigoureuse et efficace de toutes les données. Sans une gestion de données techniques et d'un système de gestion adapté, l'entreprise ne peut être et ne peut atteindre les objectifs de production et de productivité surtout si l'on adjoint la concurrence du marché qui est de plus en plus sévère.

La multitude et la spécialisation des ingénieurs ont fait naître des systèmes experts. Il est très important que l'entreprise soit dotée de logiciels ou de systèmes experts traitant du domaine d'intervention de l'entreprise. Il va sans dire que la phase de conception ne peut être du ressort d'une seule personne. De ce fait, le système doit présenter l'environnement d'un système de conception coopératif pour qu'il soit effectif, productif et prendre en charge l'expérience des spécialistes.

CHAPITRE IV

LES LANGAGES ORIENTES OBJETS ET LEURS APPLICATIONS EN CONCEPTION MECANIQUE

I – INTRODUCTION.	109
II – LES LANGAGES A OBJETS.	111
III – LES LANGAGES DE CLASSES.	111
III.1 – Instanciation.	112
III.2 – L’héritage.	113
IV – REPRESENTATION DES CONNAISSANCES.	114
V – LES LANGAGES DE FRAMES.	114
VI – CONCLUSION.	117

CHAPITRE IV

LES LANGAGES ORIENTES OBJETS ET LEURS APPLICATIONS EN CONCEPTION MECANIQUE

I – Introduction

Devant la complexité croissante et la diversité des problèmes abordés, il s'avère indispensable de mieux structurer les programmes. Des caractéristiques d'un système intégré, des données techniques, de la taille des programmes et des problèmes de maintenance, la nécessité de promouvoir l'abstraction des données [Mas 90] est mise en évidence. Cette abstraction permet non seulement de rendre plus compact les logiciels mais aussi les raisonnements. Depuis, de nombreux logiciels ont vu le jour. Les langages à objets ou langages orientés objets qui se sont détachés du lot sont Smalltalk-80 et ADA et en sont les exemples.

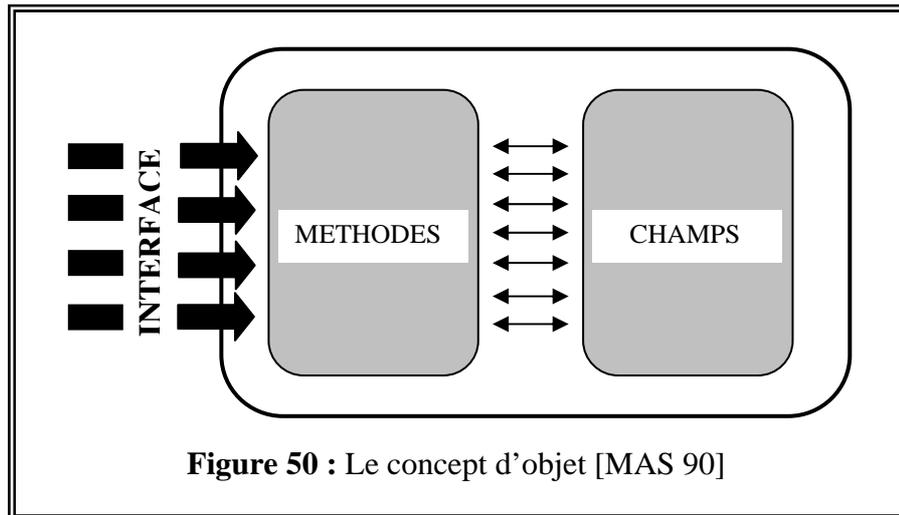
Une approche classique [MAS 90] considère un programme comme un ensemble de procédures et un ensemble de données. La célèbre équation de Niklaus Wirth résume ce principe :

$$\textit{Algorithmes} + \textit{Structures de données} = \textit{Programmes}$$

Dans ce cas, on parle de programmation dirigée par les traitements. Cette méthode atteint vite ses limites lorsque l'univers sur lequel opère les programmes évolue.

La notion d'encapsulation a permis de remédier à cet inconvénient : les données et les procédures qui les manipulent sont regroupés dans une même entité appelée *objet* (figure 50). Les détails d'implantation sont cachés et le monde extérieur a accès aux données par l'intermédiaire d'un ensemble d'opérations constituant l'interface à l'objet. L'objet regroupe une partie statique, ensemble de données, et une partie dynamique, ensemble de procédures manipulant ces données. Les données de l'objet sont privées, l'objet est donc défini par son comportement et non par sa structure. Ce

qui permet de réaliser l'abstraction des données. L'objet est responsable de la manière dont l'opération est effectuée. L'appel d'une méthode est une requête, message de l'appelant, demandant l'exécution d'une action. Chaque entité manipulée dans le programme est un représentant (ou instance) d'un des types d'objets appropriés à traiter une application.



Ces principes offrent toutes les qualités pour la mise en œuvre des méthodes de programmation rigoureuses en préservant la souplesse et la convivialité du cadre de programmation. L'abstraction des données permet à l'objet de décider à sa manière d'effectuer l'opération demandée en fonction de son implantation physique. La modularité et/ou modifiabilité assure la structuration en objets de l'univers et facilite le changement de définition avec le minimum d'interactions sur les autres objets. Comme l'objet est défini par son comportement, il devient facile de l'inclure dans une bibliothèque qui facilite son utilisation par tout programmeur ou sa réutilisabilité en objets plus spécifiques.

Dans ce chapitre, il est donné des définitions très succinctes des langages à objets, des langages de classes, de la représentation des connaissances et des langages de frames. Comme notre sujet se rapporte à la conception mécanique, la manipulation des nombreuses informations (données numériques, alphanumériques et graphiques)

nécessite des abstractions à différents niveaux et le langage des plus adéquats est celui des langages à objets.

II – Les langages à objets

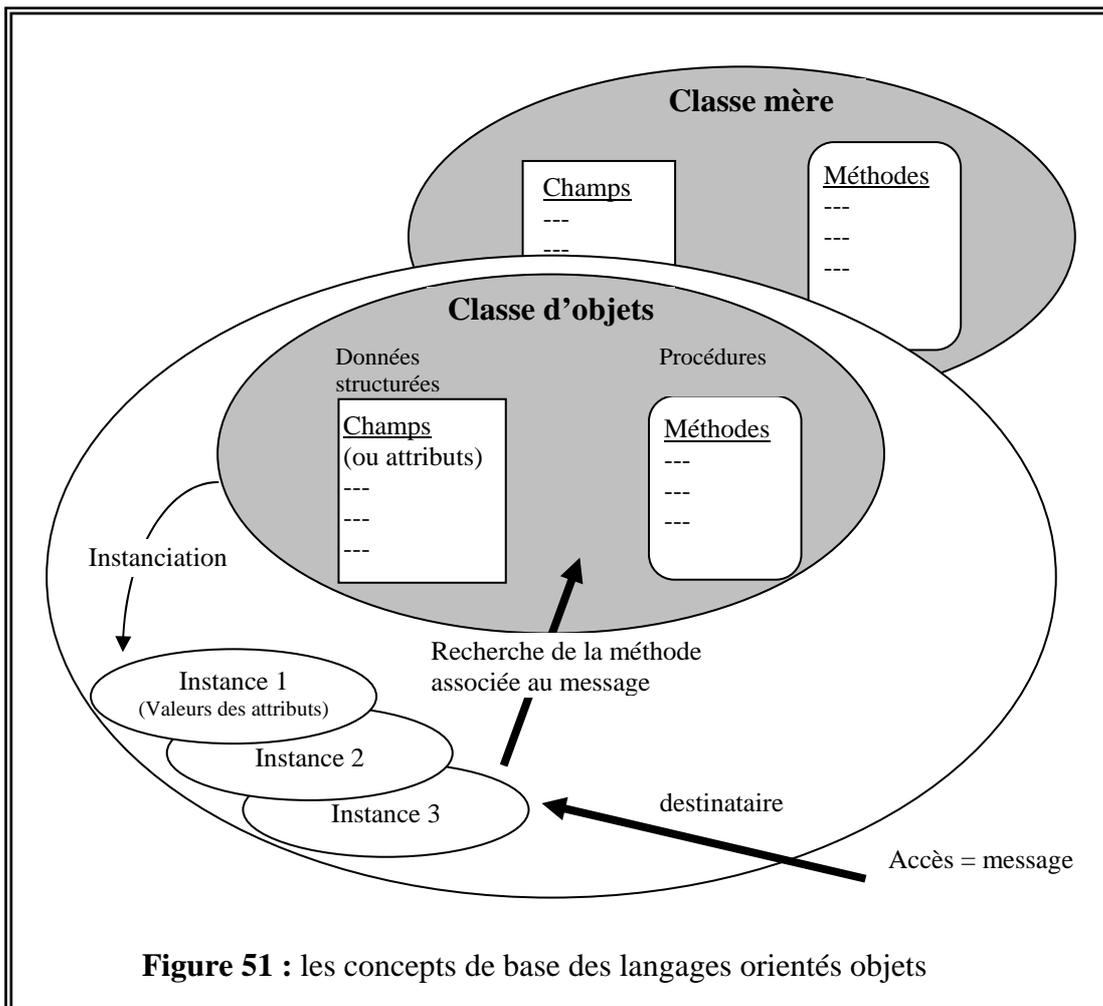
On parle de programmation objet lorsque l'univers d'une application est structuré en termes d'objets plutôt en termes de procédures et offre les mécanismes de manipulation des objets. Un certain nombre de spécialistes s'accordent à distinguer entre les langages qui offrent les propriétés de données et d'encapsulation comme ADA ou Modula 2, les langages qui regroupe les objets en classes (appelées *clusters*) comme CLU et les langages à objets qui ajoutent à l'abstraction la notion d'héritage. Du point de vue concepts et implantation physique, trois familles apparaissent en privilégiant un des points de vue sur la notion d'objet :

- ***Le point de vue structurel*** : l'objet est un type de données. Il définit un modèle pour la structure de ses représentants physiques et un ensemble d'opérations applicables à cette structure.
- ***Le point de vue conceptuel*** : l'objet est une unité de connaissance représentant le prototype d'un concept.
- ***Le point de vue acteur*** : l'objet est une entité autonome et active qui se reproduit par sa (ou ses) copie(s).

III – les langages de classes

La classe est vue comme l'implantation d'un type abstrait de données. Elle décrit un ensemble d'objets partageant la même structure, est représentée par des *variables d'instances* et le même comportement représenté par des méthodes. Les informations les plus générales sont mises en commun dans des classes à partir desquelles sont créés des sous-classes contenant des informations de plus en plus spécifiques. Chaque classe est constituée d'une double composante, la composante statique et la composante dynamique. Une composante statique est ce qui est constitué par *les données* qui sont des champs. Les champs caractérisent l'état des objets

pendant l'exécution du programme. Et, une composante dynamique appelée *les procédures* (ou aussi *méthodes*) représente le comportement commun des objets appartenant à la classe. Les méthodes manipulent les champs des objets et caractérisent les actions pouvant être effectuées par les objets. La figure 51 schématise d'une façon assez générale les concepts de base des langages orientés objets.



III.1 – Instanciation

La classe est une entité conceptuelle qui décrit un objet. Sa définition sert de modèle pour construire ses représentants physiques appelés instances. Une instance est donc un objet particulier qui est créé en respectant les plans de construction des données par la classe. Les champs d'une instance sont considérés comme des variables

rémanentes : lorsque la variable d'un champ est modifiée, la nouvelle valeur reste en place dans l'instance. L'ensemble des couples associant une variable d'instance à sa valeur forme le dictionnaire des variables. Un couple est composé d'une partie contenant les noms des variables détenues par la classe qui est considéré comme modèle pour créer les instances par moulage ; et, l'autre partie permet de répertorier les valeurs qui appartiennent en propre à chaque instance.

III.2 – L'héritage

Les langages objets permettent la création d'une hiérarchie de classes assurant le partage efficace de connaissances ; et, aussi de définir d'autres classes plus spécifiques complétant les connaissances de la classe mère. Ces classes dérivées sont appelées des sous-classes. Une sous-classe hérite des informations de la superclasse. La structuration en classes et sous-classes entraîne une modularité importante.

La relation d'héritage lie une classe à sa superclasse. Donc, les classes sont organisées hiérarchiquement à la manière des taxonomies utilisées en biologie ou en zoologie pour la classification du règne animal. La relation d'héritage est transitive ce qui entraîne l'héritage des caractéristiques de la classe supérieure par les classes inférieures.

La modélisation de l'héritage est représentée par les mêmes concepts de base métaclasse, classes et instances avec des différences de représentation graphique et d'affinité dans les relations entre ces catégories. Par exemple, dans *Smalltalk* la classe mère est appelée **CLASS** ; dans *LOOPS*, il est introduit la catégorie **MétaClass**.

Les concepts sont jugés difficiles à comprendre à cause de la sémantique qui est mal définie dans les premières implantations et d'une mauvaise présentation des manuels de référence. Seule, la pratique est nécessaire pour la compréhension des mécanismes des langages de classes et des langages à objets de manière générale.

Quelques langages à objets développés dans [60] : Smalltalk-80, Objective-C, LISP, Simula, C++, Eiffel, Object Pascal ...

Dans notre cas qui se rapporte à la conception mécanique, les entités et procédures ne sont pas toujours des données logiques. Et, les langages de classes ne répondent pas toujours à ce qui est attendu. La représentation des connaissances et les langages permettant la manipulation des objets sont ceux qui traitent de l'Intelligence Artificielle.

IV – Représentation des connaissances

La recherche sur l'Intelligence Artificielle (I.A) a largement contribué au développement des langages à objets. L'I.A est défini, dans le sens large, par la tentative de rendre les ordinateurs capables d'accomplir des tâches d'êtres humains : comprendre et traduire du texte, interpréter des scènes visuelles ...

Deux principaux courants se sont détachés dans le domaine d'I.A. Le premier courant, appelé *cognitif*, s'intéresse à l'intelligence de manière générale avec l'espoir de découvrir des principes universels de l'information (le sujet est toujours à l'étude). L'autre courant, qualifié de technologique, vise un but pratique plutôt que théorique. L'objectif de ce courant est la réalisation des tâches humaines sans reproduire le comportement humain (travaux se rapportant à la robotique, la reconnaissance de forme ...).

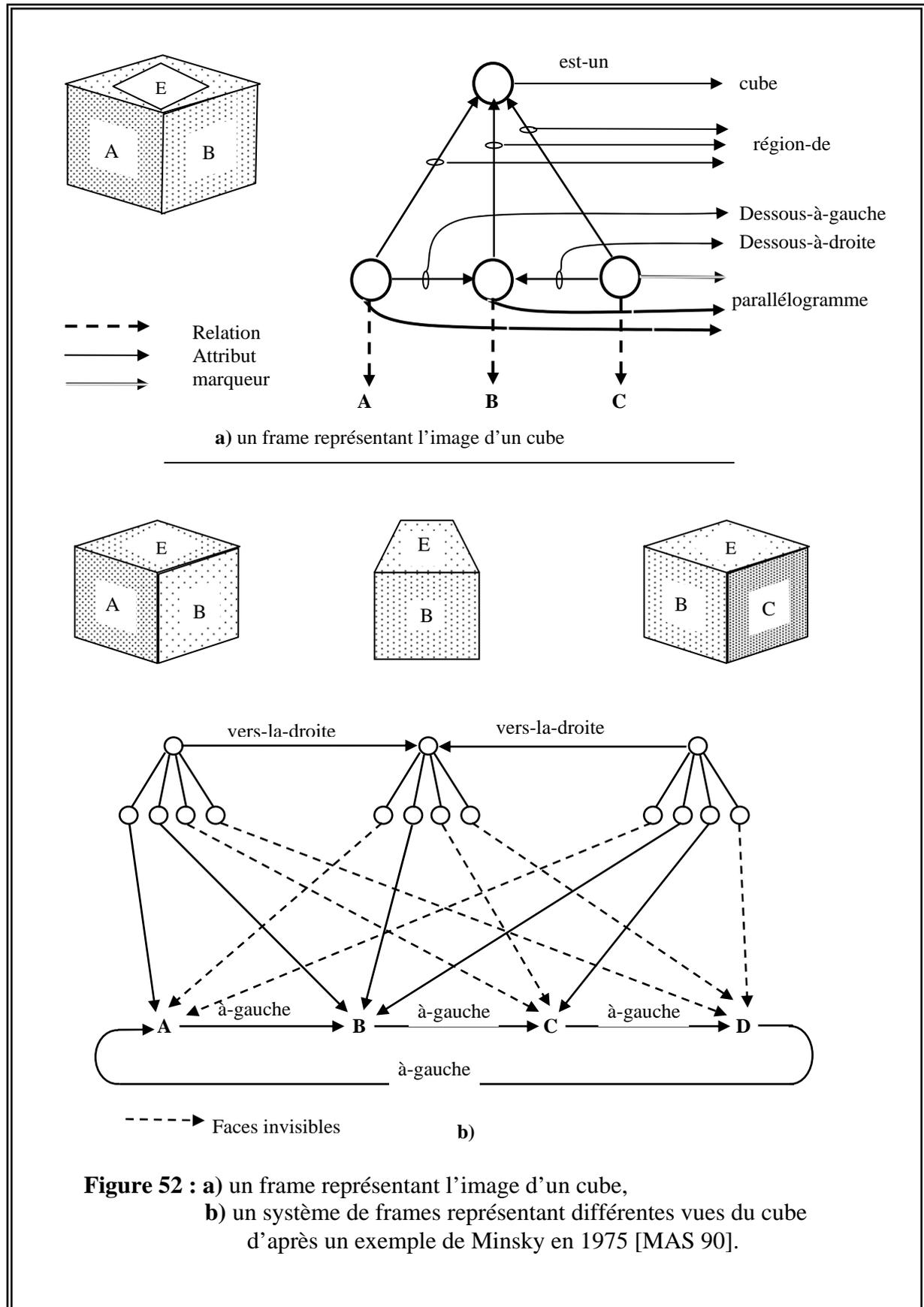
V – les langages de frames

Les langages de classes sont des langages de programmation alors que les langages de frames sont destinés à représenter les connaissances. Ils ressemblent à une synthèse des formalismes de représentation tels que les réseaux sémantiques, les représentations procédurales et les prototypes. La théorie des frames s'inscrit dans la lignée des travaux sur la représentation des connaissances qui se place hors du cadre de la logique.

Les travaux de Marvin Minsky, sur la perception dans les systèmes de vision, sont à l'origine de la théorie des frames en I.A. Ils sont inspirés des théories de psychologie (schémas de F.C. Bartlett – 1932, les paradigmes de T. Kuhn – 1983). Donc pour analyser une nouvelle situation, l'être humain intègre les situations antérieures auxquelles il a été confronté.

Un frame est une structure de données qui représente un objet typique tel qu'une automobile, un instrument de musique ... ou une situation stéréotype telle que conduire une voiture ... Un frame est un réseau hiérarchique de nœuds et de relations. Les nœuds de niveaux supérieurs décrivent des informations vraies dans le domaine considéré ; ceux de niveaux inférieurs possèdent des attributs auxquels sont associées des valeurs.

La figure (52-a) est une représentation graphique d'un frame qui décrit un cube. Le lien *est-un* indique que le frame décrit l'image d'un cube. Les liens *région-de* indique que l'image est composée de 3 régions symbolisées par des nœuds de niveau inférieur et représentant les faces du cube. Le cube peut être aussi représenté sous différentes vues (figure 52-b). Leurs positions relatives sont données par les liens *dessous-à-droite* et *dessous-à-gauche*. Les attributs des nœuds représentant les régions ont les valeurs respectives A, E et B. Un attribut exprime les contraintes que doit satisfaire sa valeur qui peut être une valeur quelconque et même un frame



Pour trouver un frame qui décrit un frame ou une situation, un processus d'appariement est nécessaire. Ce processus dépend des tâches pour lesquelles le système est programmé et des informations présentes dans chaque frame. Un frame est choisi sur la base d'heuristiques ou de prévisions. Le processus d'appariement permet de créer une correspondance entre les informations observées et celles détenues par le frame choisi. Si le frame choisi ne correspond pas à la réalité alors le réseau indique un frame de remplacement.

Un des langages inspiré des idées de *Marvin Minsky* est le KRL (Knowledge Representation Language), conçu par *Bobrow en 1977*. Il a été élaboré dans le cadre d'établir une théorie pour la représentation des connaissances pour la compréhension du langage naturel. Sans être diffusé, il a permis de mettre en évidence les limites. Les travaux ont plus profité au développement des langages hybrides (fondés sur un langage de classe et enrichi de structures de frames). A citer quelques langages, on trouve le FRL (Frame Representation Language – développé par Goldstein en 1977), SHIRKA (développé par Rechenmann en 1985), le LOOPS, FLAVORS, YAFOOLS...

VI – Conclusion

Une phrase de l'article Peter Wegner (classification des paradigmes orientés objets –1987) : « le point de vue global sur les systèmes peut-être rapproché de celui du concepteur d'un système qui se doit de connaître tous les types d'interfaces et des systèmes. En revanche, les objets d'un système sont comme les habitants de la caverne de Platon, qui ne peuvent interagir avec l'univers dans lequel ils vivent que par observation des ombres sur les murs de leur caverne. La classification est l'affaire des concepteurs du système, tandis que la communication incombe avant tout aux objets du système. »

De cette présentation très succincte des langages orientés objets, il est important de relever que, rattacher le travail de concepteur des systèmes mécaniques nécessite une plus profonde réflexion et une étroite collaboration avec les concepteurs de systèmes informatiques afin de cerner et d'intégrer au mieux les objets à traiter.

CHAPITRE V

METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE BRAS MANIPULATEURS

I – INTRODUCTION.	119
II – LE PROCESSUS DE CONCEPTION.	121
EXEMPLE D’ANALYSE DU PROCESSUS.	126
III – ANALYSE DE CONCEPTION D’UN BRAS MANIPULATEUR.	130
III.1 – UN PEU D’HISTOIRE.	130
III.2 – COMPOSITION DE BRAS MANIPULATEURS.	131
2.1 – La structure mécanique.	131
2.2 – La source d’énergie.	132
2.3 – Les actionneurs.	133
2.4 – Les transmissions.	133
2.5 – Les capteurs internes.	134
2.6 – Les capteurs externes.	134
2.7 – Le système de commande.	134
III.3 – ANALYSE CONCEPTUELLE D’UN BRAS MANIPULATEUR.	135
III.4 – METHODOLOGIE DE DECOMPOSITION ET IMPLEMENTATION SOUS AUTOCAD.	136
IV – IMPLEMENTATION D’UN EXEMPLE DE GUIDAGE EN ROTATION SOUS ENVIRONNEMENT VISUAL C++.	135
V – CONCLUSION.	138

CHAPITRE V

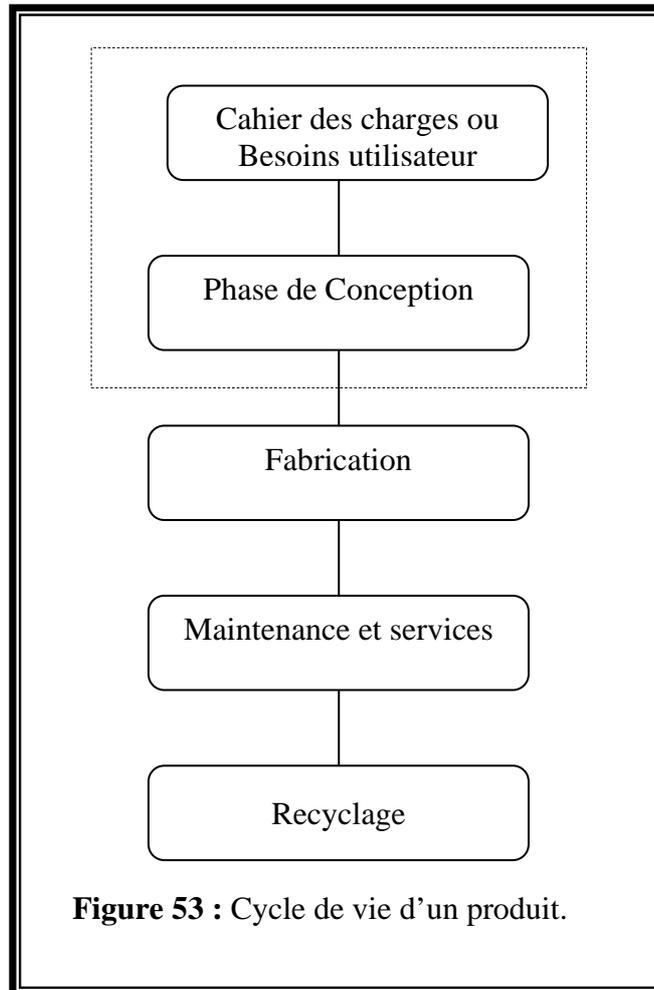
METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE BRAS MANIPULATEURS

I – INTRODUCTION

La science des systèmes, la systémique, est instituée en discipline scientifique autonome depuis la fin des années soixante-dix. Comme la plupart des nouvelles sciences, la science des systèmes se définit par son projet plutôt que par son objet. Elle ne peut pas être présentée hors du champ épistémologique par lequel elle se constitue et en référence auquel elle peut argumenter les énoncés qu'elle produit. La science des systèmes ne doit pas prétendre être directement productrice de modèles achevés, qu'il s'agisse de modèles d'action ou de modèles de compréhension. La modélisation de la complexité (les méthodes de conception-construction de modèles de phénomènes perçus complexes) ne peut être réduite à la réification – transformation en chose – de tel ou tel modèle.

A l'instar des mathématiques ou des sciences de la cognition, la science des systèmes revendique un statut méthodologique différent de celui des autres sciences. Elle se doit d'argumenter sa propre épistémologie. Elle se doit aussi de préciser progressivement *l'originalité créatrice de sa contribution* par rapport aux sciences de la cognition et aux mathématiques.

Si la science des systèmes est la somme des concepts qui la constituent, chacun d'eux est une fraction de la science des systèmes. Chacun y est entendu par son potentiel d'instrumentation : la science des systèmes fonde un appareil de modélisation par homomorphie des concepts qui la fondent. Ce n'est pas la qualité du modèle fini qui vaut résultat, c'est la capacité à modéliser effectivement un projet complexe qui est recherchée. La figure 53 représente le processus global ou le cycle de vie d'un produit. Notre intérêt porte sur les phases « besoin de l'utilisateur » et de « conception » qui est le *processus de conception*.



Les chapitres précédents nous ont permis de présenter le processus de conception, les approches de conception et les outils informatiques nécessaires. Dans ce chapitre, il est présenté à travers un exemple «le touret à meuler» le cahier des charges, les approches de décomposition illustrant les possibilités et les exigences de décomposition pour aboutir au résultat escompté qui est un ensemble de dessins techniques.

Comme le thème est abordé au laboratoire de robotique, il est ressorti une réflexion sur la conception de robots ou bras manipulateurs et la possibilité de développer un environnement «virtuel» permettant l'étude technologique. Développer un environnement intégré de conception fait appel à plusieurs outils de C.A.O. Un tel système doit permettre une visualisation graphique du système étudié à l'aide de modeleurs de C.A.O. Le bras manipulateur est réalisé sous AutoCAD. Un autre

exemple d'implémentation, sous Visual C++, d'un cas de guidage en rotation similaire à celui des articulations du bras manipulateur.

La phase d'intégration du processus conception d'un projet passe nécessairement par l'analyse du (ou des) mécanisme(s) qui, technologiquement, remplit(issent) la fonction de robots ou bras manipulateurs. Il faut donc :

- Définir et décrire la composition de bras manipulateurs et robots,
- Décrire les principales caractéristiques des éléments mécaniques utilisés,
- Déterminer les critères, exigences technologiques, Déterminer les outils informatiques nécessaires pour la conception d'un bras manipulateur, les possibilités d'intégration des logiciels de C.A.O. existants, et un système de gestion des données techniques le traitement du flux de données techniques et technologiques.

II – LE PROCESSUS DE CONCEPTION

Tel que décrit dans l'étude bibliographique en chapitre I et II, le processus de conception regroupe donc le cahier des charges et la phase de conception.

Le cahier des charges ou les besoins de l'utilisateur (figure 54) [GAB TI] est un document dans lequel sont notées un certain nombre d'informations se rapportant au produit désiré par l'utilisateur. Ces informations identifient et rendent compte sur le service rendu par le produit. Dans ce document de travail qui fait ressortir les exigences du produit, des détails (et/ou chapitres) peuvent être ajoutés ainsi que des schémas explicatifs ou de représentation permettant d'éclairer au mieux les attentes de l'utilisateur. Il est important de signaler que l'implémentation d'un tel document dans le processus de conception nécessite une sémantique et est toujours à l'étude [TAN 96].

- **L'objectif** : une définition globale du produit à concevoir ;
- **L'état du marché et son évolution** : situer et quantifier les marchés ciblés et les parts à atteindre ;
- **Le champ d'application** : précisions sur les modes et champs d'utilisation et les temps de réalisation ;
- **La concurrence** : analyse des produits similaires et indication des prix pratiqués ;
- **Les coûts de référence** : situer le prix du produit par rapport à la concurrence ;
- **Concept à développer** : énoncé des principales caractéristiques en terme de service rendu du produit à concevoir ;
- **Fonctions à réaliser** : décomposition du produit en des fonctions et précision sur les exigences fonctionnelles en termes de services attendus ;
- **Exigences à satisfaire** : qui permettent l'intégration du produit en terme de fiabilité, de mise aux normes ...

Figure 54 : Le cahier des charges

La phase de conception (figure 55) débute par une discussion, l'étude du cahier des charges, entre les ingénieurs du bureau d'étude afin de redéfinir les exigences formulées en des termes et des représentations technologiques, fonctionnelles et normalisées (représentations des liaisons en barres). De cette discussion naît un schéma de principe ou schéma en barre représentant les fonctions principales (et/ou des mouvements) exécutées par le produit à étudier. Le produit à développer peut être un produit nouveau comme il peut être une innovation à partir d'une machine déjà existante ou une rénovation. Le développement d'un quelconque produit nécessite, comme pour toutes les sciences, l'analyse de l'existant qui peut être appelée ou formée une base de connaissances. Dans cette base de connaissance, nous aurons des suites de raisonnement qui permettent et qui ont permis de réaliser les

machines et mécanismes existants. Cette décomposition peut être établie à partir des règles régissant le SID [EST 96] qui prend en charge, avec une dénotation sémantique des langages informatiques, non seulement les entités, les propriétés et les relations entre les composants mais aussi les tâches.

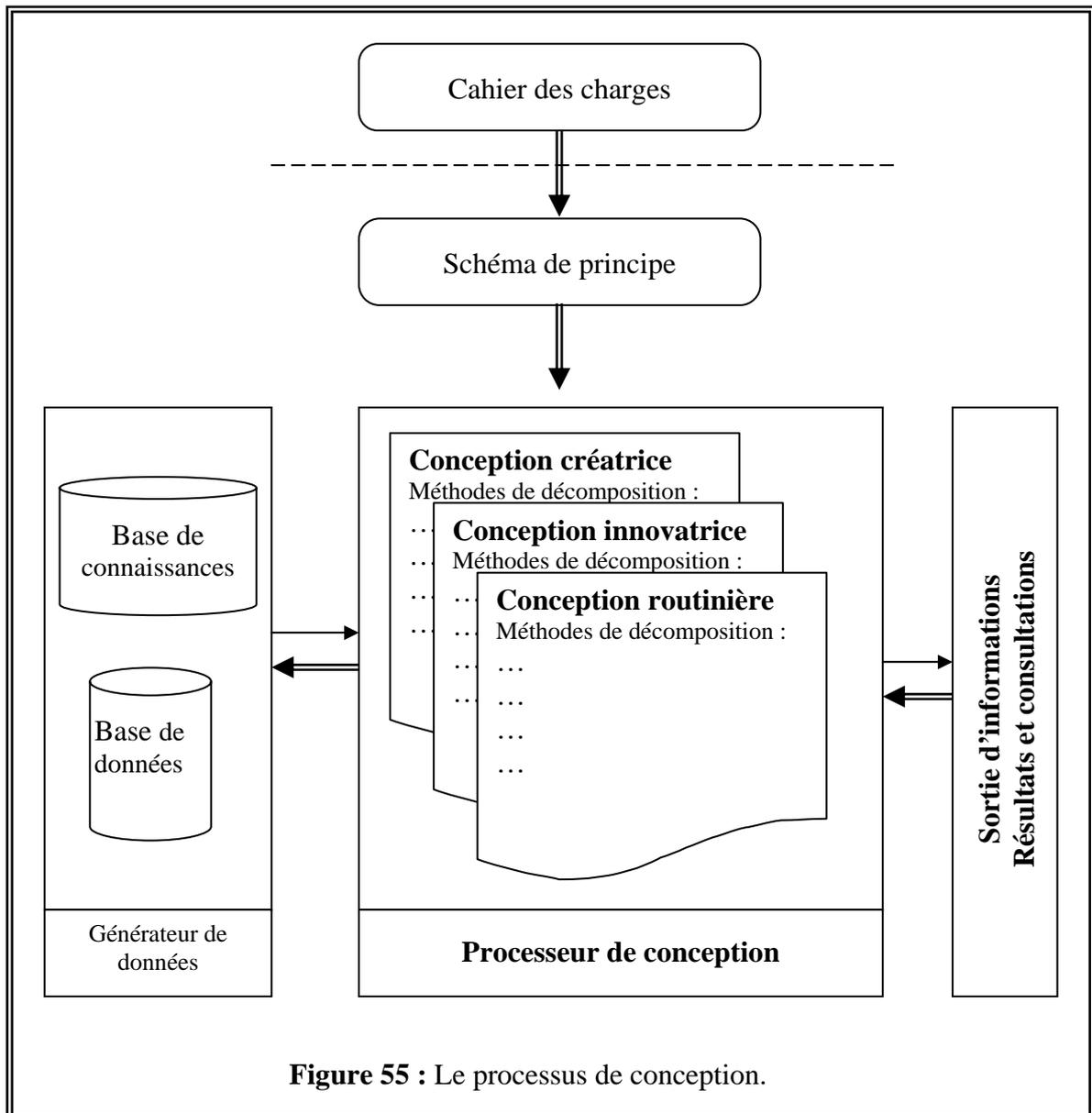
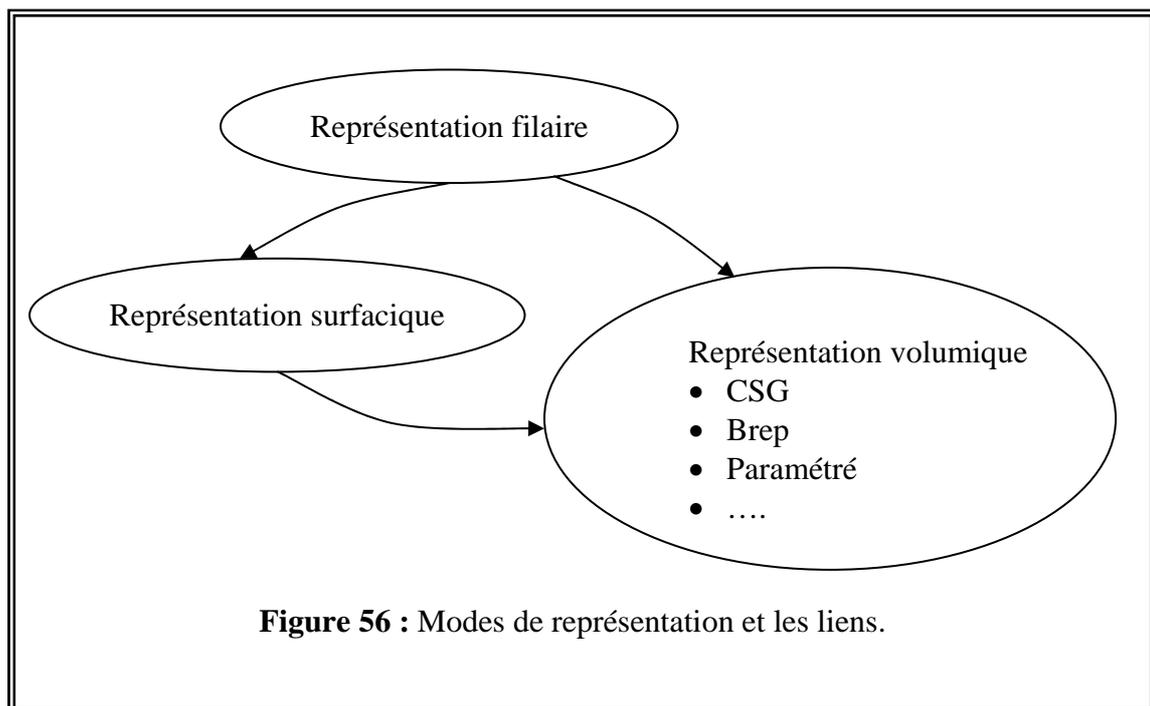


Figure 55 : Le processus de conception.

La méthode permettant de répondre à la conception routinière peut être la méthode du modèle fonctionnel [CON 97] [BRU 97] qui, par sa représentation et se basant sur la programmation orientée objet, permettra l'alimentation des bases de données et de connaissances par des solutions existantes. Les bases de données et de

connaissances sont et seront les réservoirs dans lesquels peuvent être stockées les informations disponibles et les résultats des études de projet dans l'entreprise. Ces phases de conception n'incluent pas à priori le calcul de résistance des éléments si ce n'est des calculs préliminaires. L'intérêt porte plus sur la réflexion et la représentation du processus de conception plutôt que sur des solutions technologiques précises.

Le processus de conception prend en compte une multitude de modes de représentations graphiques (figure 56). La représentation filaire permettra les schémas de principes et des esquisses – définition des grands axes – (le positionnement des axes de mouvements, des entrées/sorties ...). Les représentations surfaciques et volumiques assurent les dessins par des pièces composant le mécanisme soit la méthode des Brep ou des CSG et donc faire les épures. Ces représentations permettent de visualiser des conditions de fonctionnement et de montage des liaisons.



Des contraintes dimensionnelles et géométriques des pièces résultantes seront incluses dans les bases de données en terme d'attributs, de propriétés et seront en relation avec la base de données techniques et la représentation graphique. Pour cela, la représentation paramétrique est plus appropriée et ce, afin de minimiser dans le

nombre d'informations à prendre en charge par le système. Exemple, la représentation d'une vis à tête hexagonale compte au moins quatre à cinq manières de représentation graphique, un tableau des valeurs des dimensions normalisées (le diamètre de la vis, sa longueur, la longueur de partie filetée ...); et, pour que la bibliothèque soit fiable, il est important de trouver aussi des informations sur le stock disponible, les coordonnées des fabricants ... [MAR 95].

L'implémentation du processus de conception est assujettie à la programmation orientée objet. A un haut niveau d'abstraction, les objets peuvent être considérés comme étant les liaisons mécaniques. Les liaisons considérées en conception mécanique sont regroupées dans la figure 57. Le terme liaison regroupe les liaisons complètes comme les liaisons partielles. Les liaisons complètes représentent le caractère d'immobilité entre les pièces alors que les liaisons partielles regroupent les mouvements de rotation, de translation et les transformations de mouvements (par exemple, le système bielle manivelle). Dans l'esprit de regrouper, nous pouvons inclure dans le terme liaison les éléments de transmission de mouvements qui sont, par analyse des mécanismes, composées de liaisons complètes et d'autres partielles (par exemple, les engrenages, les courroies et poulies ...). Il est à signaler que, pour chaque liaison, une multitude de solutions peut être imaginée et représentée. Le choix de la solution adéquate dépend du problème à étudier.

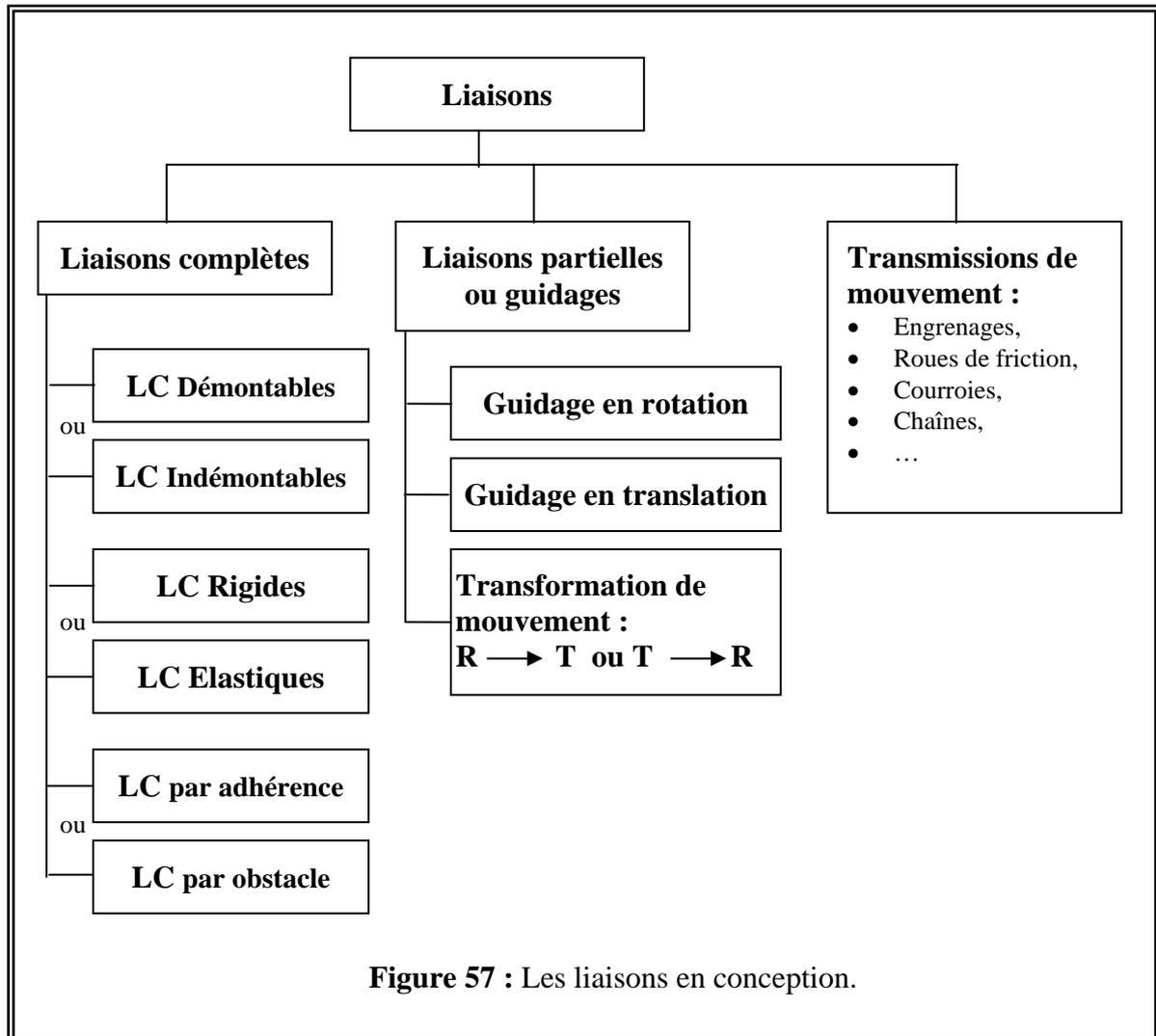


Figure 57 : Les liaisons en conception.

EXEMPLE D'ANALYSE DU PROCESSUS

L'exemple que nous allons présenter est simple. A partir de cet exemple, nous allons faire la décomposition des différentes étapes d'analyse du processus de conception sous forme d'organigramme.

Etude d'un touret à meuler.

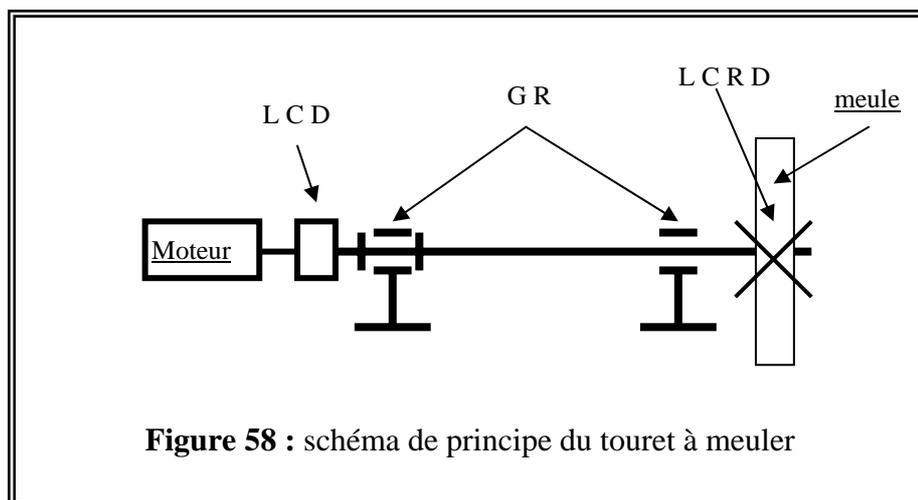
Pour l'étude de ce mécanisme, le cahier des charges sera le suivant :

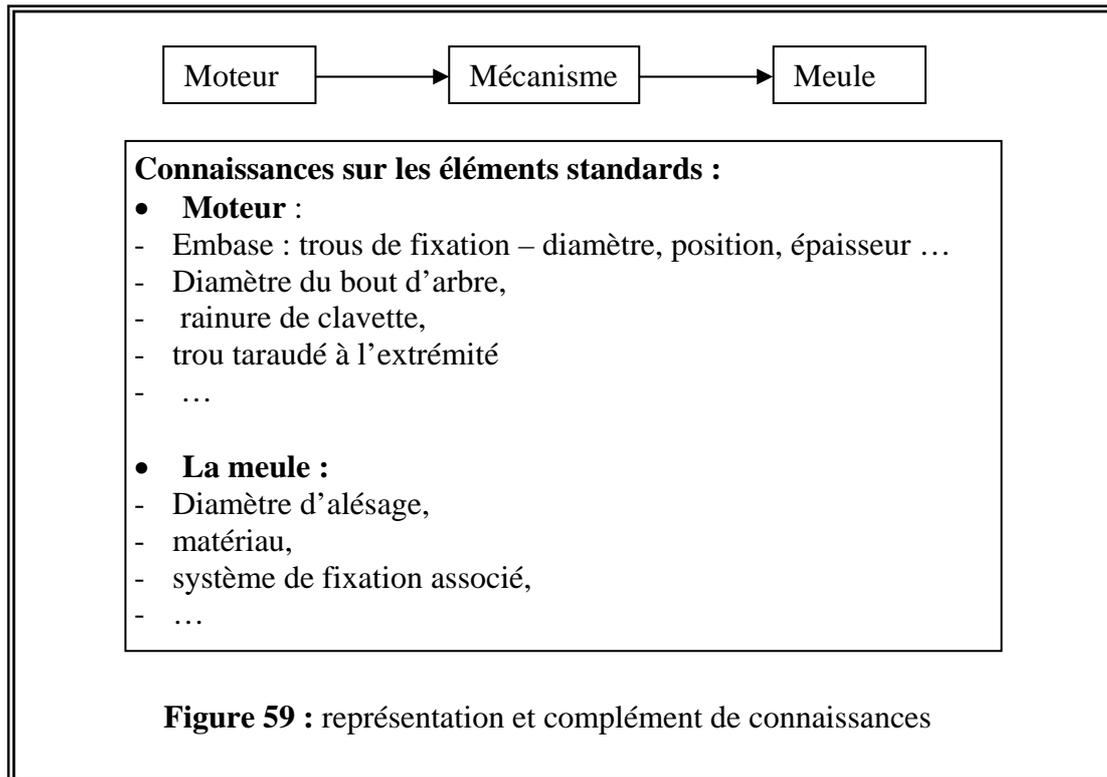
- **Objectif :** Etude d'un mécanisme qui, par l'intermédiaire d'un moteur électrique, nous permettra l'affûtage d'outils de coupe dans un atelier de fabrication, comme il peut être utilisé pour affûter les couteaux, ciseaux ...

- **Champ d'application :** On peut faire ressortir deux à trois solutions pour toucher les ateliers de fabrication mécanique, les affûteurs auprès des marchés pour les boucheries...
- **L'état du marché et concurrence :** peut être considéré car la provenance du produit est d'Europe et d'Asie. Les prix sont très compétitifs. Le produit proposé doit être inférieur sinon préciser les qualités d'endurance, la disponibilité de pièces de rechanges ...
- Les caractéristiques du moteur utilisé : puissance (P), vitesse de rotation (N), fabrication locale (produit algérien) ...

D'autres caractéristiques peuvent être précisées telles que l'encombrement, le poids, le prix, la qualité des meules ... mais nous nous arrêterons sur celles-là pour exploiter le restant du processus.

Le cahier des charges est transmis au bureau des études pour lui donner une formulation plus technologique. Le schéma de principe répondant à cette demande est donné par la figure 58 et des informations sont rajoutées (figure 59).





Tous les mécanismes sont composés d'un ensemble de liaisons simples. La phase conceptuelle commence par une décomposition du mécanisme en des liaisons simples. Dans notre cas (figures 58 et 59), nous avons :

- Un mécanisme qui remplit la fonction de guidage en rotation (GR) de la meule et qui est relié au moteur,
- Une liaison complète (LCD) entre l'axe de sortie du mécanisme et la meule,
- Une liaison complète (LCD) du moteur avec le mécanisme de guidage, et
- Les fixations (liaisons complètes, rigides, démontables) du mécanisme de guidage et du moteur sur un support fixe (peut être aussi à étudier).

Une fois cette décomposition fonctionnelle réalisée, nous procéderons à l'exploration et à l'analyse des solutions technologiques (dans la base de données ou la base de connaissances) pouvant répondre au mieux au problème posé. Les solutions possibles sont représentées dans l'organigramme de la figure 60. Elles ne reflètent pas

la totalité des données et connaissances mais cette représentation nous permet de mettre à jour les paramètres à considérer et les informations à considérer.

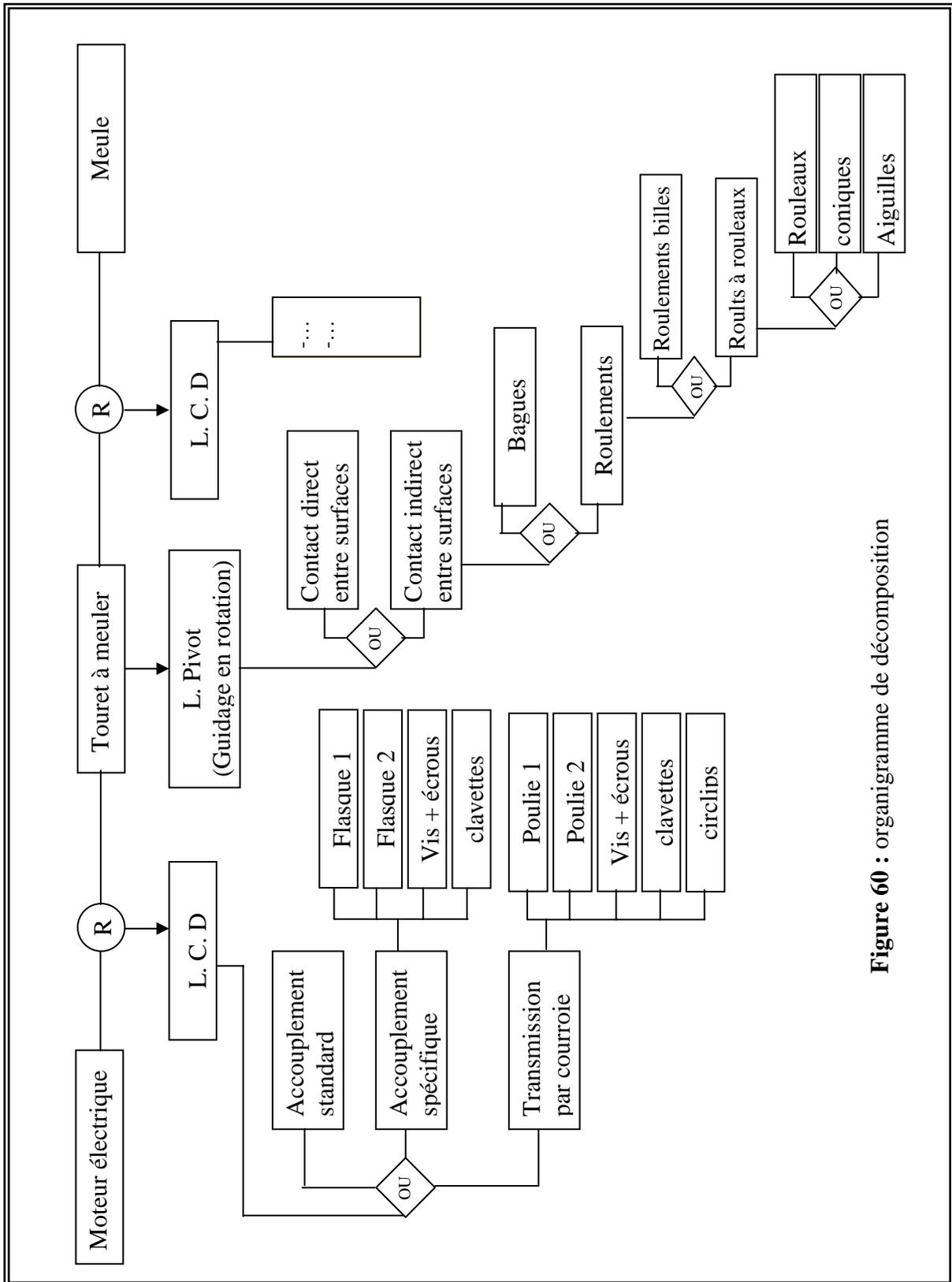


Figure 60 : organigramme de décomposition

III – ANALYSE DE CONCEPTION D'UN BRAS MANIPULATEUR

III.1 – UN PEU D'HISTOIRE

La machine appelée robot est héritière de deux courants d'idées qui sont éloignées l'une de l'autre et qui n'ont fusionné que récemment. La première idée part du principe que le robot doit se substituer à l'homme dans l'exécution d'une tâche (ou des tâches) pour laquelle (ou lesquelles) on l'a programmé. L'autre courant prend sa source dans la notion d'outil, prolongement de l'homme, autorisant ce dernier à exécuter des tâches impossibles ou dangereuses à main nues. L'étape décisive s'est inscrite entre les deux guerres avec l'apparition des produits radioactifs. L'amélioration des pinces (outils de préhension) et le travail à l'abri d'une paroi a conduit à l'apparition des systèmes de téléopération qui sont utilisés dans le domaine du nucléaire et autres milieux dangereux ou nocifs tels que le milieu marin ...

Le mot «robot» ne fut inventé qu'en 1921 par l'écrivain tchèque KAREL CAPEK pour sa pièce RUR (Rosum's Universal Robots). Il est constitué à partir de la racine slave «rab : qui signifie esclave» de laquelle a été tiré le mot tchèque et russe Robota (travail). La première véritable définition a été donnée par les Japonais en 1978 :

« Un robot est une machine polyvalente (effectuant des tâches différentes), capable d'agir sur son environnement (manipulateur) et adaptable à un environnement changeant (programmable). »

Bien que l'idée d'automate soit aussi vieille que le monde (Homère IX^{ème} siècle avant Jésus Christ), les premiers automates remontent à l'antiquité. Le sultan Haroun El Rachid – 809 – offrit une pendule animée à Charlemagne. Jacques de Vaucanson (1709 – 1782) créa une machine animée : un canard métallique qui imite en tout un canard. Deux suisses, Pierre et Henry-Louis Droz, façonnèrent un dessinateur. Ils ont été poursuivis en justice pour sorcellerie.

Le premier robot industriel, appelé Unamite et fabriqué en série aux USA, est apparu en 1962. Il offrait 5 à 7 degrés de libertés et faisait le même travail qu'un ouvrier avec un coût inférieur 4 à 5 fois.

Au Japon, la première usine fut réalisée en 1983, équipée de 68 robots industriels YAMAZAKI qui font en 3 jours le travail de 220 ouvriers en 1 mois. L'usine est dotée d'un ordinateur central pour le contrôle des pannes. L'usine a nécessité 30.000h de travail aux 250 employés de la section «recherche et développement» de la firme YAMAZAKI.

Les développements d'autres robots : Robot policier en 1983 (USA), robot-malade (1980 – Japon, 1981 – USA), robot-infirmier (1983 – Japon), robot-dignostiqueur (1984 – Japon), robot marcheur bipèdes (1983 – Japon), quadrupède (TITAN III – Japon, EMA 4 – France), robots multi-pattes, robots rampants, robots domestiques (1982 et 1986 – USA), robots aspirateur (1983 et 1988 – Japon, 1989 RATP France), robots pour centrales nucléaire (1988 – France), etc.

III.2 – COMPOSITION DE BRAS MANIPULATEURS

La machine reconnue sous l'appellation «robot» se compose de sept parties principales : la structure, la source d'énergie, les actionneurs, les transmissions, les capteurs internes, les capteurs externes et le système de commande. Faire son étude de conception nécessite la prise en charge de ces sept parties.

2.1 – La structure mécanique

La structure mécanique est constituée de segments placés généralement les uns à la suite des autres. Chaque segment est articulé et est mobile par rapport au précédent. Cette mobilité exprime le *degré de liberté*. La structure mécanique se compose en trois grandes parties fonctionnelles : le *véhicule* (quand le robot est mobile) ou la **base fixe**, le *porteur* est doté de trois degrés de liberté permettant de positionner l'extrémité en un point quelconque de l'espace qu'il peut atteindre,

L'organe terminal (ou préhenseur ou pinces) doté de la possibilité d'orientation (1,2 ou 3 degrés de libertés).

Le porteur peut présenter plusieurs géométries suivant la nature de ses degrés de liberté (translation ou rotation). L'organe terminal porte l'outil de travail et dépend des tâches que l'on désire lui faire exécuter. Il s'agit souvent de pinces à deux ou trois doigts que l'on nomme *préhenseurs*. Pour obtenir une liberté totale d'orientation de l'organe terminal, celui-ci doit posséder trois degrés de liberté (trois rotations autour de trois axes normaux entre eux). Dans la pratique, l'élaboration de ces derniers degrés de liberté est mécaniquement délicate et onéreuse. La majorité des robots du commerce possède un organe terminal ne comportant que deux rotations, ce qui autorise l'exécution de nombreuses tâches utiles.

2.2 – La source d'énergie

La source d'énergie peut être d'origine pneumatique, hydraulique ou électrique. L'intérêt de chacune de ces sources se juge d'après les propriétés des *actionneurs* (les moteurs qui entraînent les articulations) qu'on peut réaliser et sur le coût de réalisation.

- *L'énergie pneumatique* présente quelques attraits. Elle est disponible dans les ateliers, sa mise en œuvre est simple et la maintenance des systèmes pneumatiques est aisée. Elle possède des défauts non négligeables (le bruit des actionneurs, le fluide est compressible donc la réalisation d'asservissements est très délicate). Les actionneurs pneumatiques sur les robots (ou manipulateurs) sont dits *séquentiels*, c'est-à-dire les articulations se déplacent de position butée à butée sans possibilité d'arrêt intermédiaire. Les outils portés par les organes terminaux des robots sont souvent aussi à motorisation pneumatique (pince, perceuse, etc.).

- *L'énergie hydraulique* permet de développer la force la plus grande par unité de volume ou de poids d'actionneur. On la rencontre sur les robots devant déplacer des charges importantes (supérieures au millier de newtons). Elle nécessite la présence

d'une centrale et pose des problèmes d'étanchéité et de tuyauteries d'alimentation au niveau des articulations du robot. En effet, compte tenu des pressions utilisées, les tuyaux deviennent rigides et introduisent des couples parasites s'opposant aux déplacements des articulations.

- *L'énergie électrique* est généralement utilisée sur des robots pour des charges à déplacer inférieures à 1 000 newtons. La commande peut être précise et fiable grâce à des asservissements robustes et l'électricité est disponible.

2.3 – Les actionneurs

Les actionneurs peuvent être pneumatiques ou hydrauliques. Ils se présentent sous forme de vérins linéaires (simples ou doubles effets) ou même rotatifs qui sont alimentés par des distributeurs à clapet ou à tiroir monovoie ou multivoie.

Tous les types de moteur électrique ont été testés sur les robots comme actionneurs électriques. Les moteurs pas à pas, sont plus attrayants parce qu'ils sont par avance numérisés (facilement connectables aux ordinateurs) mais ils sont très difficiles à maîtriser, car ils sont sujets à une influence considérable de la charge transportée, instables aux basses fréquences et nécessitant une commande sophistiquée. On leur préfère les moteurs à courant continu à aimant permanent dont le couple de sortie, indépendant de la position et de la vitesse du rotor, permet une intégration aisée au sein de boucles classiques d'asservissement en position.

2.4 – Les transmissions

Les transmissions assurent le lien entre les sorties mobiles des actionneurs et les articulations à mouvoir. Les solutions techniques utilisées sont les câbles, chaînes, courroies crantées ou non, engrenages, etc. Les transmissions induisent des vibrations, des jeux et des frottements réduisant les performances des robots. La technique de l'entraînement direct permet la transmission par insertion du moteur au sein de

l'articulation (l'axe du moteur devenant l'axe de l'articulation). Dans ce cas, la qualité mécanique est partiellement perdue dans l'accroissement de difficulté du contrôle.

2.5 – Les capteurs internes

Les capteurs internes sont destinés à donner les grandeurs réelles de la position, de la vitesse et de l'accélération du couple développé à chaque articulation, afin d'assurer par asservissement le bon suivi des trajectoires commandées.

2.6 – Les capteurs externes

Les capteurs externes sont difficiles à prévoir car les conditions complètes d'utilisation future des robots sont inconnues lors de la conception. Pour surmonter cette difficulté, les concepteurs s'inspirent d'une analogie anthropomorphique. On remarque que, dans la majorité des actions physiques qu'un homme exécute, il utilise principalement ses sens de la vision et du toucher. Donc, des systèmes de perception capables d'acquérir des informations à distance (comme la vision) ou au contact (comme le toucher) sont développés pour aider à l'exécution correcte de nombreux types de tâches non déterminées à l'avance (les *capteurs au contact* ou *tactiles*, les *capteurs à faible distance* ou *capteurs proximétriques* – à rayonnements infrarouges ou ultrasonores, les *capteurs à distance* - par caméras de type télévision).

2.7 – Le système de commande

Le système de commande d'un robot comporte nécessairement deux modules fonctionnels s'appuyant sur la structure physique : le premier module sert à l'*apprentissage* du robot ; le second module est utilisé lors de l'exécution de la tâche apprise.

Une classification des robots est faite à partir de leur système de commande. Les robots à fonctionnement séquentiel (ou «en tout ou rien» ou *pick and place*) ne possèdent généralement pas de capteur externe. Leur système de commande fait appel

à des *logiques avec des relais électriques* ou à des *logiques pneumatiques* ou à des *automates programmables*. Pour les robots dotés d'asservissements, le système de commande est constitué généralement d'un minicalculateur ou de microprocesseurs.

III.3 – ANALYSE CONCEPTUELLE D'UN BRAS MANIPULATEUR

La conception d'un mécanisme commence généralement par l'étude d'un cahier des charges qui exprime les contraintes et les fonctionnalités attendues par le mécanisme à étudier. Le cahier des charges pour la conception d'un bras manipulateur rassemble les données sur ses capacités, les éléments à manipuler et informations sur l'environnement où il doit mouvoir. A partir de ces données, un schéma cinématique – appelé aussi schéma en barres – (figure 61) est établi qui fait ressortir les principales contraintes à respecter et à remplir. Les fonctions principales des bras manipulateurs peuvent être utilisées pour l'alimentation et/ou évacuation de machines outils en pièces à réaliser dans les ateliers flexibles. Les bras manipulateurs, appelés aussi robots, sont utilisés pour des fonctions d'assemblages dans les chaînes de montage, de soudures et même de maintenance dans les cas des secteurs radioactifs et sous-marins. Ces derniers sont exploités en maître-esclave. Ils sont à un, deux, trois et même plus degrés de liberté. Un degré de liberté est un déplacement (rotation ou translation). Ils sont considérés faisant partie des machines-outils [PRU 93].

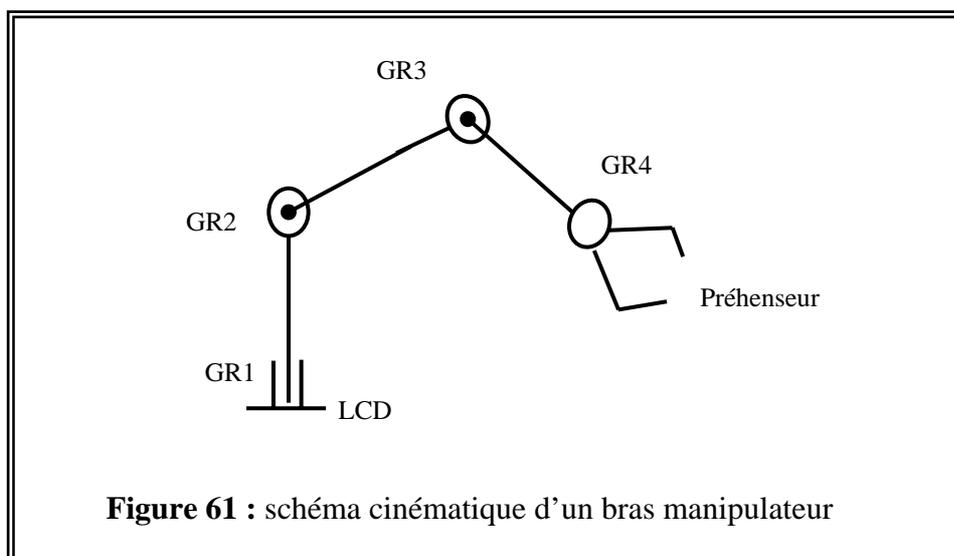
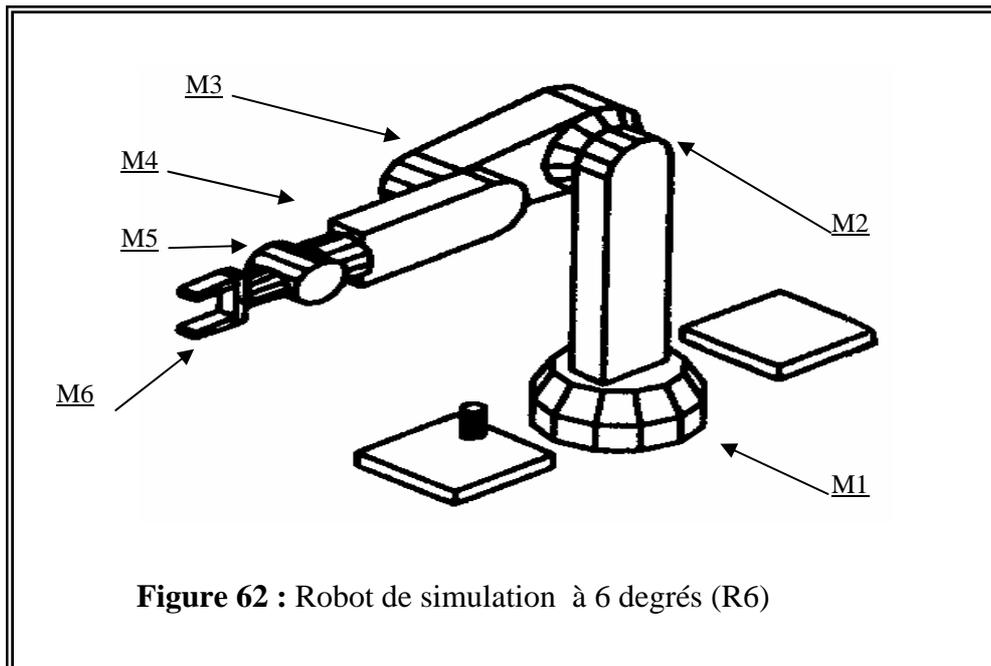


Figure 61 : schéma cinématique d'un bras manipulateur

Afin de vérifier les problèmes de collision dans son environnement de travail, il est fait appel à la C.A.O. robotique (figure 62) pour simuler les études de trajectoires dans un environnement donné et, dans le cas d'utilisation de robots existants, d'optimisation des temps. La représentation des éléments constitutants est engendrée par association des volumes ou primitives élémentaires par la méthode connue sous le nom CSG.



III.4 – METHODOLOGIE DE DECOMPOSITION ET IMPLEMENTATION SOUS AUTOCAD

Faire l'étude de conception d'un bras manipulateur revient à concrétiser en solutions technologiques les liaisons et contraintes exprimées dans le cahier des charges ainsi que la prise charge des autres parties (actionneurs, capteurs, les transmissions, la source d'énergie...). A considérer le schéma de principe de la figure 61, nous avons donc :

- Une liaison complète dans le sens du plan horizontal ;
- Une rotation (GR1) suivant l'axe vertical ;
- Deux rotations (GR2 et GR3) dans l'espace ;

- Le préhenseur (n'est pas représenté) auquel on lie la rotation (GR 4) pour les cas de retournement ou orientation des pièces.

L'implémentation du processus est un travail très long et fastidieux. A travers l'exemple de la figure 63, nous avons représenté un bras manipulateur de type pédagogique sous AutoCAD. La réalisation de la conception est réalisée par CSG. La composition des éléments utilise aussi comme le permet le logiciel une représentation paramétrée des éléments identiques et/ou très similaires.

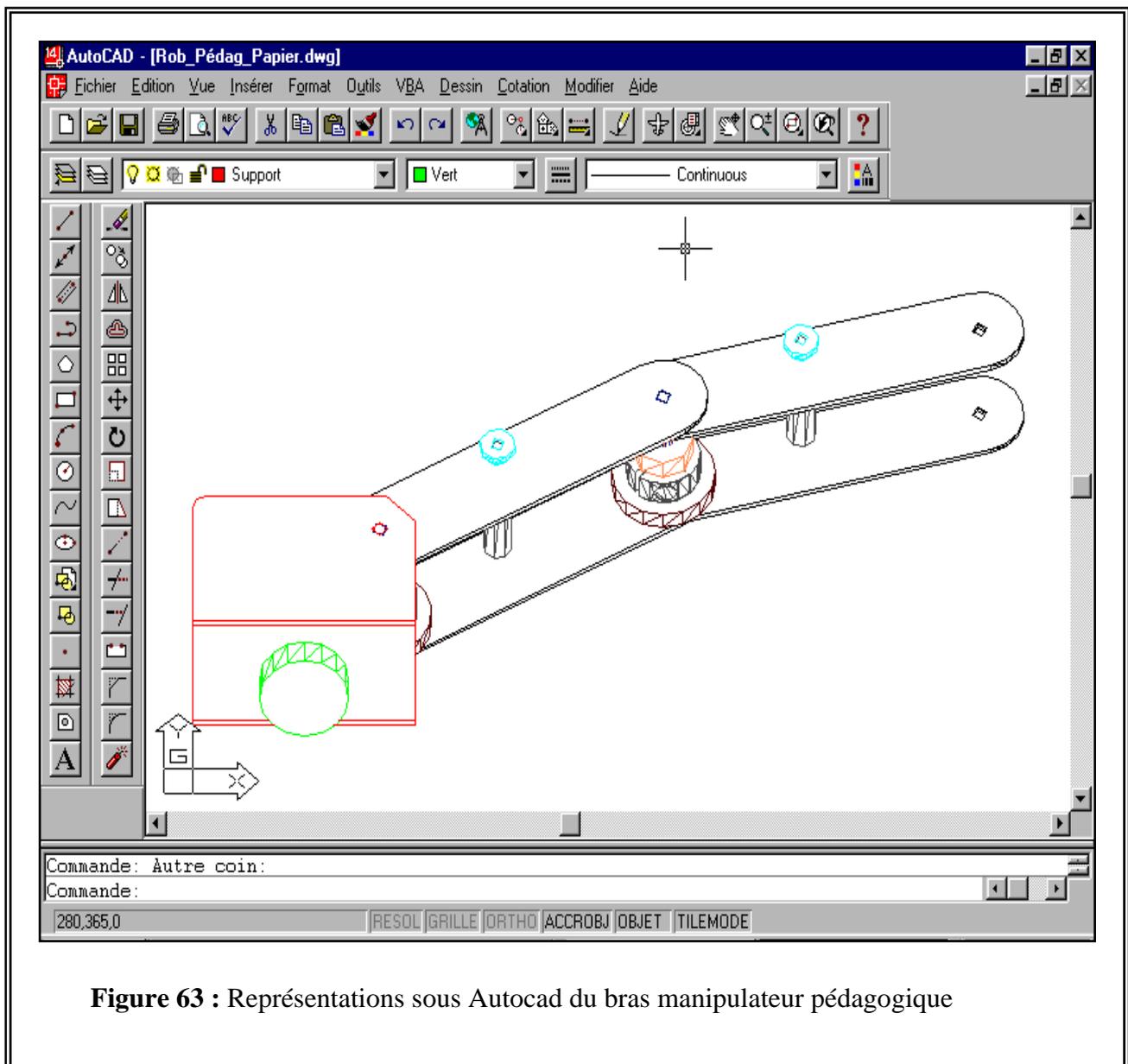


Figure 63 : Représentations sous Autocad du bras manipulateur pédagogique

La figure 64 nous permet de montrer et de faire ressortir les liaisons et les éléments qui composent ces liaisons suivant 3 vues normalisées, une 4^{ème} vue pour montrer des détails avec une plus grande échelle et avec la nomenclature des pièces.

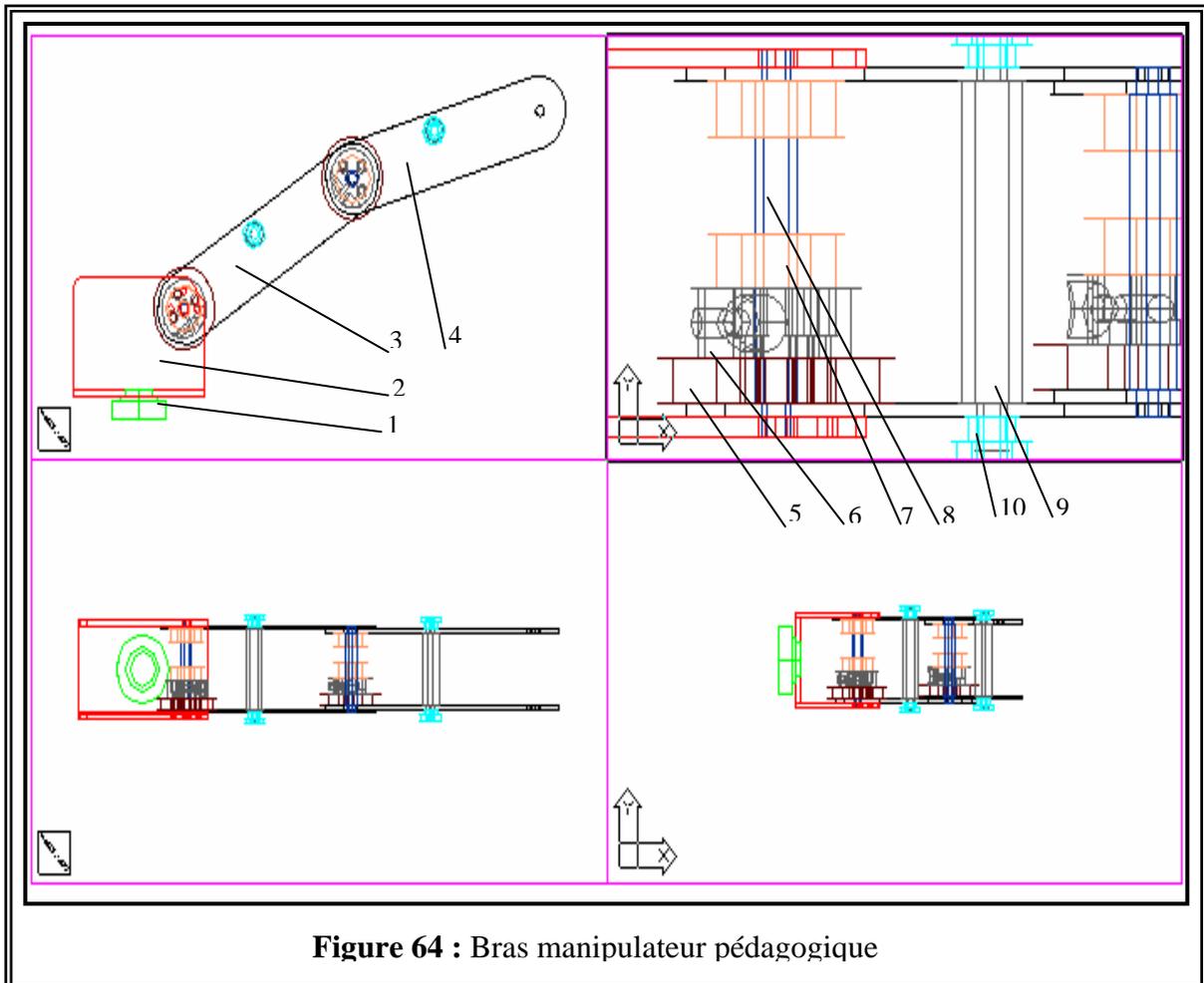


Figure 64 : Bras manipulateur pédagogique

Nomenclature

1 –	Embase fixe	1
2 –	Support de bras	1
3 –	Bras	2
4 –	Avant bras	2
5 –	Roue dentée	2
6 –	Anneau de pincement	2
7 –	Poulie	4
8 –	Axes de rotation	2
9 –	Tiges de fixation	2
10 –	Ecrou moleté de bras	4

Sous le logiciel AutoCAD et en utilisant le mode de représentation par CSG, nous pouvons concrétiser les propositions technologiques en réalisant les positionnements des pièces. Ces pièces peuvent être gardées sous forme de blocs pour d'éventuels développements du projet, comme elles peuvent être sauvegardées sous forme de fichiers qu'on peut insérer sous le même projet. Les fichiers peuvent être utilisés avec d'autres projets. L'utilisation de la programmation C++ est utilisée sous cet environnement mais elle nécessite l'interface propre à AutoCAD. Elle peut être utilisée pour la conception routière afin de développer des bases de données graphiques. Ces bases de données peuvent être aussi utilisées pour la conception innovatrice et même créatrice moyennant le développement d'une interface pour inclure les données du cahier des charges.

Dans le paragraphe qui suit, nous avons pris un cas de guidage d'arbre et de deux engrenages en rotation avec une base de données (roulements) intégré. L'environnement de dessin est implémenté à partir d'un choix de montage (en schéma de principe), un processus de calcul et de choix des roulements et des engrenages à denture droite.

IV – IMPLEMENTATION D'UN EXEMPLE DE GUIDAGE EN ROTATION SOUS ENVIRONNEMENT VISUAL C++

L'autre exemple implémenté (figures 65 et tableaux) est le guidage d'un arbre et de deux engrenages en rotation sur deux roulements. Les cas considérés sont pour définir un nouvel environnement de représentation pour les études des différents cas de montages (figure 66). Le programme prend en charge la représentation du schéma de principe de 4 cas considérés et une base de données (roulements) et des données d'engrenages droits (module) intégrée au programme. Le résultat obtenu est un dessin en 2D des cas considérés. L'organigramme général ci-dessous nous présente une vue des différents modules du programme.

ORGANIGRAMME GENERAL

Début

Données :

- Schémas de principe
- Couple d'entrée
- Longueurs entre les points d'appuis
- Rayons des 2 roues dentées

Module de calcul statique et RDM :

- Forces radiales (F_r)
- Forces axiales (F_a)
- Moment de flexion
- Moment de torsion
- Diamètre de l'arbre

Module de calcul et choix des roulements :

- Durée de vie de roulements
- Choix de la série
- Charge dynamique
- Diamètres intérieurs de roulements
- Diamètres extérieurs “ ”
- Largeurs.

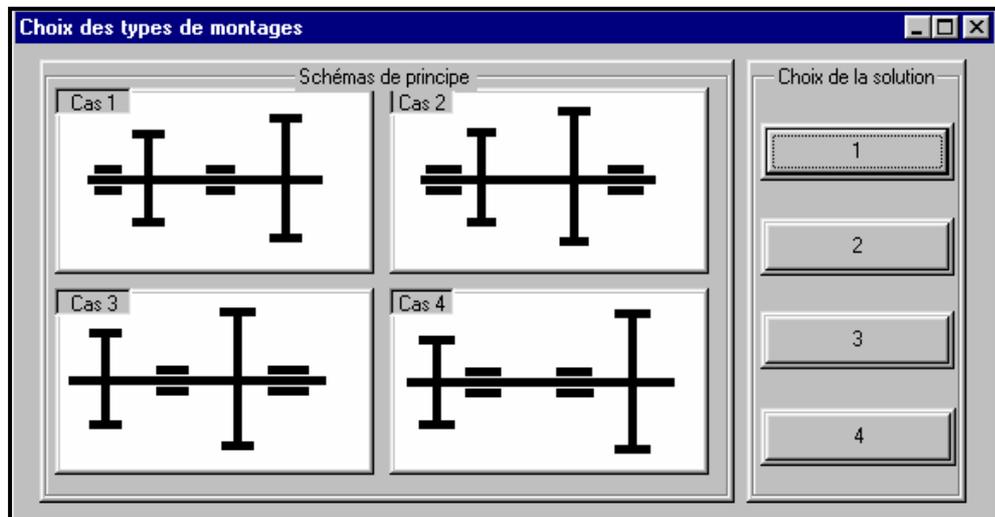
Module de caractérisations des roulements :

- Module
- Largeurs des roues
- Diamètres de tête
- Diamètres de pied
- Nombre de dents

Représentation graphique

Arbre + Roulements + Engrenages
Selon la sélection du schéma de principe

Figure 65 : Environnement de conception élaboré sous Visual C++



Les 4 schémas de principe considérés

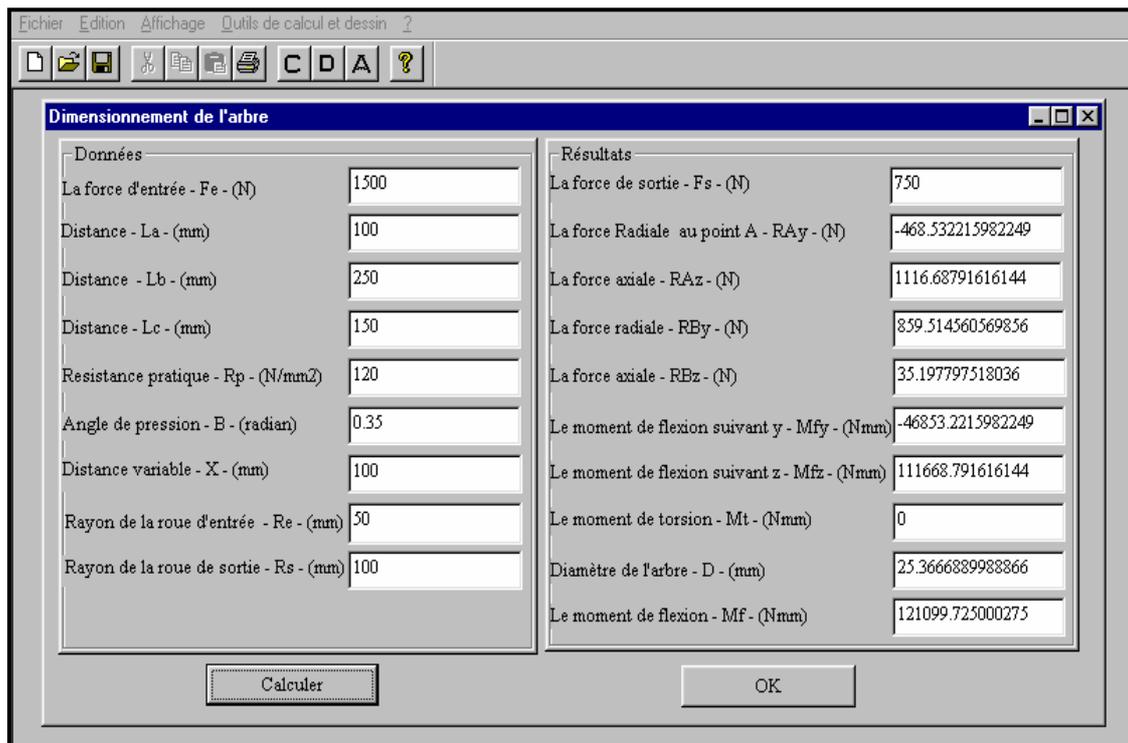


Tableau de données et dimensionnement de l'arbre

Détermination des roulements

Données

Fréquence de rotation de l'arbre - N - (tr/min)

Durée de vie du roulement 1 - LHR1 - (heures)

Durée de vie du roulement 2 - LHR2 - (heures)

Choix de la série des :

Roulement 1 :

Roulement 2 :

Résultats

Caractéristiques du roulement 1

Charge dynamique de base - CR1 - (N)

Diamètre intérieur - dR1 - (mm)

Diamètre extérieur - DR1 - (mm)

Largeur - BR1 - (mm)

Caractéristiques du roulement 2

Charge dynamique de base - CR2 - (N)

Diamètre intérieur - dR2 - (mm)

Diamètre extérieur - DR2 - (mm)

Largeur - BR2 - (mm)

Tableau de données et dimensionnement des roulements

Détermination des engrenages à denture droite

Données

Couple moteur - Ce - (Nmm)

Couple résistant - Cs - (Nmm)

La résistance pratique - Rp - (N/mm²)

Rayon de la roue d'entrée - Re - (mm)

Rayon de la roue sortie - Rs - (mm)

Résultats

Roue d'entrée

Module - Me -

Largeur - be - (mm)

Diamètre de tête - dae - (mm)

Diamètre de pied - dfe - (mm)

Nombre de dents - Ze -

Roue de sortie

Module - Ms -

Largeur - bs - (mm)

Diamètre de tête - das - (mm)

Diamètre de pied - dfs - (mm)

Nombre de dents - Zs -

Tableau de données et détermination d'engrenages

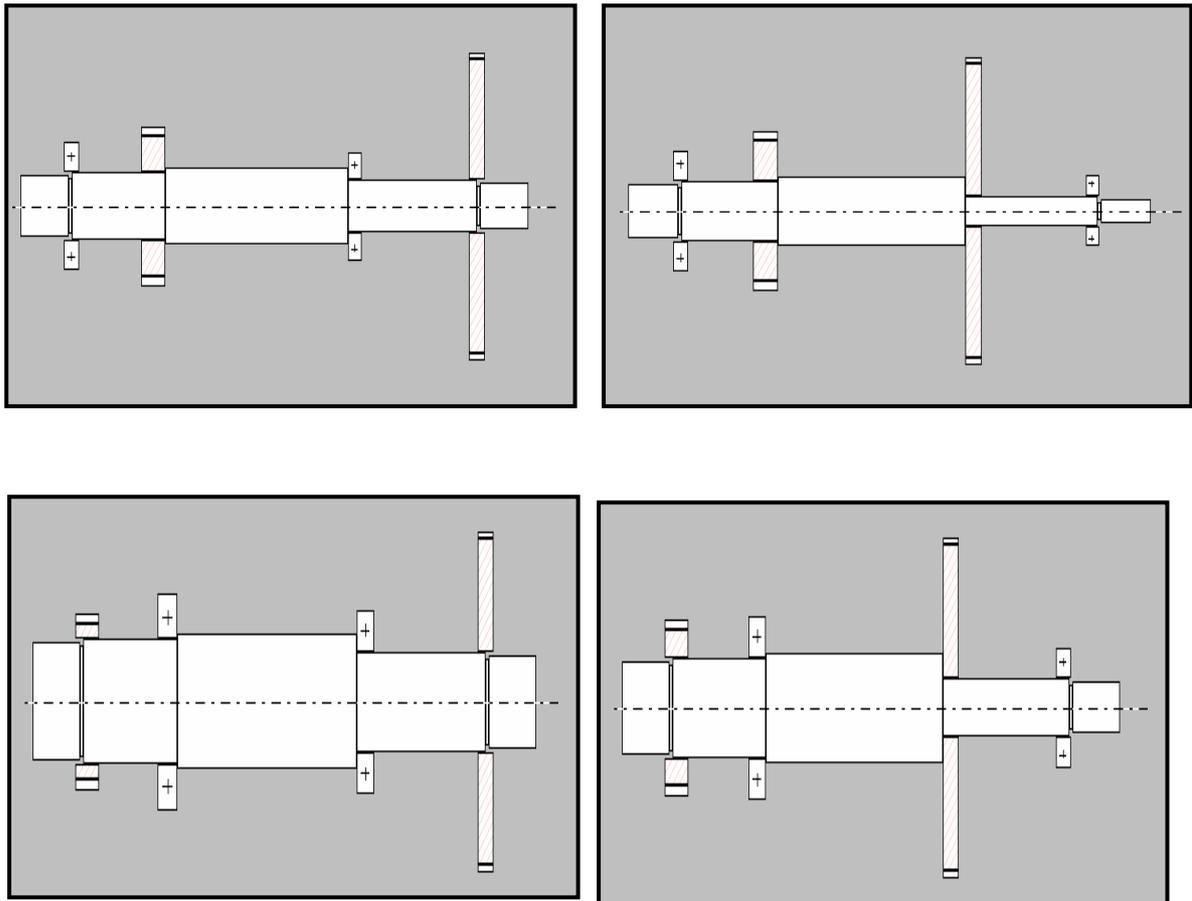


Figure 66 : Dessin en 2D des 4 cas de guidage considéré.

V – CONCLUSION

L'objectif de départ était bel et bien le processus de conception d'un bras manipulateur. L'implémentation de tous les éléments constituant le bras manipulateur nécessiterait les bases de données des constructeurs de moteurs, de vérins, de visserie et autres éléments de commerce qui, du rapport du Cetim [MAR 95], sont en cours d'expérimentation et d'intégration dans les logiciels de CAO Industriels, à travers des projets européens. A notre niveau, l'exploitation de logiciels existants est certes intéressante mais elle demande la disponibilité de ces logiciels, leur étude et compréhension. AutoCAD, par exemple, moyennant le développement d'une interface

qui prend en charge les fonctionnalités et l'esprit mécanique, présente de très grands avantages car il est connu par beaucoup de personnes.

Il est intéressant aussi de mettre au point notre propre environnement pour la conception mécanique vu que les logiciels assembleurs tel Visual C++, la programmation orientée objet et d'autres logiciels de programmation permettent de développer les fonctionnalités et fenêtrages pour la conception mécanique (avec la prise en charge du dessin et de la cotation des pièces ...).

En conclusion, réfléchir à l'implémentation du processus de conception nécessite, en premier lieu une analyse très détaillée du processus dans sa globalité et dans le détail. Comme montré tout au long de ce chapitre, la quantité d'informations traitées et à traiter dépend du concepteur, de l'utilisateur et des différents acteurs intervenant dans l'étude du projet. Les outils de programmation nécessaires seront des logiciels graphiques une programmation à objets. L'utilisation de moyens disponibles en supports informatiques nécessitent d'abord la connaissance et la maîtrise du logiciel et le développement d'interfaces qui prennent en charge le processus de conception et les paramètres graphiques. La gestion de données techniques nécessite, quant à elle, la participation des acteurs industriels (fabricants de produits standards) par des bibliothèques qui répondent aux attentes du moment (représentations en 2D et 3D) sous des formats standards facilitant ainsi l'intégration.

ANNEXE

CONCLUSION GENERALE

ET

PERSPECTIVES

La conception mécanique est généralement associée à l'automobile. En réalité, les systèmes mécaniques et mécanismes sont l'outil par excellence dans tous les domaines (les outils de la vie de tous les jours, des industries – mécaniques, alimentaires, textiles, médicales ... – en passant par les appareillages des laboratoires scientifiques). La conception mécanique – instauré en science des systèmes à partir de 1975 – permet la création de l'outil pour réaliser et/ou exécuter une (ou des) tâche(s) désirée(s). L'artefact conceptuel a vocation à représenter un complexe d'actions qui s'entend par la conjonction de projets dans des environnements actifs (conjonction cybernétique) et de fonctionnements synchroniques inséparables de leurs transformations diachroniques (conjonctions structurelles). Ce complexe d'actions se représente par niveaux (opérations, informations, décisions) agencés en réseaux.

Comme présenté à travers les différents chapitres, la conception mécanique est le conglomérat d'un ensemble de connaissances, de sciences et techniques et de spécialistes qu'il est nécessaire de rassembler. La formulation des attentes et des exigences de manière claire et succincte du problème en est la clé. Ceci nécessite la construction de modèles spécifiques pour une représentation de produit et son évolution en modes qualitatifs et quantitatifs.

En plus des méthodes de décomposition du projet en termes de tâches, entités, relations et propriétés et les développements graphiques qui en découlent et que nécessite la conception des systèmes mécaniques, des bases de connaissances technologiques, de données et une sémantique sont les éléments clés pour une implémentation d'un système de conception mécanique.

Des documents générés durant le processus de conception, ceux traités pour utiliser les éléments normalisés (ou de commerce), les informations et les tests de calcul à confirmer avec les spécialistes, la gestion de toutes ces données techniques est d'une importance capitale pour mener à bien l'activité. Il est aussi nécessaire qu'utile de développer un système de gestion de ces données ainsi qu'un système de travail coopératif afin que les intervenants puissent intervenir sur le projet à leurs guises et à soumettre leurs propositions et études au manager du projet.

Le système à développer pour la conception mécanique et/ou l'interface qui regroupe les fonctionnalités des logiciels C.A.O. existants doit nécessairement considérer les langages à objets. Ils permettent les abstractions à différents niveaux (du plus haut niveau qui est la sémantique et les tâches d'un processus au plus bas niveau d'abstraction qui est la représentation par des primitives) et assurent les qualités les qualités du génie logiciel.

Les propositions faites se basent sur les travaux entrepris à travers les laboratoires qui ont commencer à formaliser le processus à travers des exemples d'applications propres à leurs industries et les exemples implémentés m'ont permis d'aborder les logiciels disponibles de C.A.O. et de programmation.

La réflexion sur la conception mécanique n'a jamais été prise en charge. Avant 1945, elle était considérée comme un ensemble de tâches ou travaux qui devaient donner un mécanisme pour réaliser un travail donné. Rendre plus scientifique le processus de conception mécanique demande et exige une réflexion plus approfondie quant à l'expression du besoin et son interprétation, ainsi aboutir à sa transformation en tant que produit à utiliser.

Les perspectives de développement sont :

- Développer une application qui permet la représentation des robots ou bras manipulateurs avec différents degrés de liberté pour pouvoir simuler les trajectoires et faire des études cinématiques et d'optimisation pour ces systèmes.

Conclusion générale et perspectives.

- Développer une interface qui prend en charge le processus de conception mécanique par les logiciels disponibles (AutoCAD R14, AutoCAD 2000, SolidWorks ...) par une des approches de décomposition et, selon le processus considéré (conception créatrice ou innovatrice ou routinière).
- Définir un profil sémantique pour la rédaction du cahier des charges les exigences et les fonctionnalités que doit accomplir le produit.
- Développer des bases de connaissances technologiques de tout le cycle de vie d'un produit. La conception d'un produit exige, par exemple, la connaissance des processus de fabrication.
- Des bases de données sont aussi nécessaires à développer avec le choix d'un système de gestion de ces bases de données et des données techniques.
- Comme entrepris par tous les pays industrialisés, développer notre propre environnement qui prend en charge le processus de conception, l'étendre à la fabrication et à tout le cycle de vie du produit, vu que les logiciels de C.AO. ne sont pas tous adaptés au processus de conception mécanique.
- Développer des méthodes spécifiques pour permettre son intégration dans l'industrie algérienne.