



HAL
open science

Eléments méthodologiques pour la réalisation de systèmes de CFAO et leur introduction dans les entreprises

Yvon Gardan

► **To cite this version:**

Yvon Gardan. Eléments méthodologiques pour la réalisation de systèmes de CFAO et leur introduction dans les entreprises. Modélisation et simulation. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 1982. tel-00304342

HAL Id: tel-00304342

<https://theses.hal.science/tel-00304342>

Submitted on 22 Jul 2008

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

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

THESE

présentée à

l'Institut National Polytechnique de Grenoble

pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES SCIENCES

par

Yvon GARDAN



**ELEMENTS METHODOLOGIQUES POUR LA
REALISATION DE SYSTEMES DE CFAO ET LEUR
INTRODUCTION DANS LES ENTREPRISES.**



Thèse soutenue le 20 décembre 1982 devant la commission d'examen

L. BOLLIET **Président**

J.M. BRUN
M. LUCAS
G. MAZARÉ
J. MERMET
R. SOENEN **Examineurs**

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

Année universitaire 1979-1980

Président : M. Philippe TRAYNARD

Vice-Présidents : M. Georges LESPINARD
M. René PAUTHENET

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

MM.	ANCEAU François	Informatique fondamentale et appliquée
	BENOIT Jean	Radioélectricité
	BESSON Jean	Chimie Minérale
	BLIMAN Samuel	Electronique
	BLOCH Daniel	Physique du Solide - Cristallographie
	BOIS Philippe	Mécanique
	BONNETAIN Lucien	Génie Chimique
	BONNIER Etienne	Métallurgie
	BOUVARD Maurice	Génie Mécanique
	BRISSONNEAU Pierre	Physique des Matériaux
	BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
	CHARTIER Germain	Electronique
	CHERADAME Hervé	Chimie Physique Macromoléculaires
Mme	CHERUY Arlette	Automatique
MM.	CHIAVERINA Jean	Biologie, Biochimie, Agronomie
	COHEN Joseph	Electronique
	COUMES André	Electronique
	DURAND Francis	Métallurgie
	DURAND Jean-Louis	Physique Nucléaire et Corpusculaire
	FELICI Noël	Electrotechnique
	FOULARD Claude	Automatique
	GUYOT Pierre	Métallurgie Physique
	IVANES Marcel	Electrotechnique
	JOUBERT Jean-Claude	Physique du Solide - Cristallographie
	LACOUME Jean-Louis	Géographie - Traitement du Signal
	LANCIA Roland	Electronique - Automatique
	LESIEUR Marcel	Mécanique
	LESPINARD Georges	Mécanique
	LONGEQUEUE Jean-Pierre	Physique Nucléaire Corpusculaire
	MOREAU René	Mécanique
	MORET Roger	Physique Nucléaire Corpusculaire
	PARIAUD Jean-Charles	Chimie - Physique
	PAUTHENET René	Physique du Solide - Cristallographie
	PERRET René	Automatique

.../...

MM.	PERRET Robert	Electrotechnique
	PIAU Jean-Michel	Mécanique
	PIERRARD Jean-Marie	Mécanique
	POLOUJADOFF Michel	Electrotechnique
	POUPOT Christian	Electronique - Automatique
	RAMEAU Jean-Jacques	Chimie
	ROBERT André	Chimie Appliquée et des matériaux
	ROBERT François	Analyse numérique
	SABONNADIÈRE Jean-Claude	Electrotechnique
Mme	SAUCIER Gabrielle	Informatique fondamentale et appliquée
M.	SOHM Jean-Claude	Chimie - Physique
Mme	SCHLENKER Claire	Physique du Solide - Cristallographie
MM.	TRAYNARD Philippe	Chimie - Physique
	VEILLON Gérard	Informatique fondamentale et appliquée
	ZADWORYN François	Electronique

CHERCHEURS DU C.N.R.S. (Directeur et Maître de Recherche)

M.	FRUCHART Robert	Directeur de Recherche
MM.	ANSARA Ibrahim	Maître de Recherche
	BRONOEL Guy	Maître de Recherche
	CARRE René	Maître de Recherche
	DAVID René	Maître de Recherche
	DRIOLE Jean	Maître de Recherche
	KAMARINOS Georges	Maître de Recherche
	KLEITZ Michel	Maître de Recherche
	LANDAU Ioan-Doré	Maître de Recherche
	MERMET Jean	Maître de Recherche
	MUNIER Jacques	Maître de Recherche

Personnalités habilitées à diriger des travaux de recherche (décision du Conseil Scientifique)

E.N.S.E.E.G.

MM.	ALLIBERT Michel
	BERNARD Claude
	CAILLET Marcel
Mme	CHATILLON Catherine
MM.	COULON Michel
	HAMMOU Abdelkader
	JOUD Jean-Charles
	RAVAINE Denis
	SAINFORT

C.E.N.G.

MM. SARRAZIN Pierre
 SOUQUET Jean-Louis
 TOUZAIN Philippe
 URBAIN Georges

Laboratoire des Ultra-Réfractaires ODEILLO

E.N.S.M.E.E.

MM. BISCONDI Michel
 BOOS Jean-Yves
 GUILHOT Bernard
 KOBILANSKI André
 LALAUZE René
 LANCELOT François
 LE COZE Jean
 LESBATS Pierre
 SOUSTELLE Michel
 THEVENOT François
 THOMAS Gérard
 TRAN MINH Canh
 DRIVER Julian
 RIEU Jean

E.N.S.E.R.G.

MM. BOREL Joseph
 CHEHIKIAN Alain
 VIKTOROVITCH Pierre

E.N.S.I.E.G.

MM. BORNARD Guy
 DESCHIZEAUX Pierre
 GLANGEAUD François
 JAUSSAUD Pierre
 Mme JOURDAIN Geneviève
 MM. LEJEUNE Gérard
 PERARD Jacques

E.N.S.H.G.

M. DELHAYE Jean-Marc

E.N.S.I.M.A.G.

MM. COURTIN Jacques
 LATOMBE Jean-Claude
 LUCAS Michel
 VERDILLON André

Je tiens à remercier ,

Monsieur le Professeur BOLLIER de l'attention bienveillante avec laquelle il me suit depuis ma thèse de Docteur Ingénieur, et l'honneur qu'il me fait de présider ce jury,

Monsieur BRUN, Maître de Recherche au C.N.R.S. et Directeur des Recherches et Développement à MATRA-DATAVISION qui a accepté de porter un jugement dans des délais très courts. Le fait qu'il ait jugé positivement des aspects techniques, pour lesquels sa compétence est reconnue par tous, m'a été d'un grand encouragement.

Monsieur LUCAS, Professeur à l'Université de Nantes, avec qui j'ai toujours eu plaisir à travailler. Il m'a fait l'amitié de toujours apporter des critiques positives à mes réflexions, et ses suggestions m'ont grandement aidé à améliorer le texte initial.

Monsieur SOENEN, Professeur à l'Université de Valenciennes, avec qui j'ai eu des contacts fructueux, et qui a accepté de siéger dans ce jury.

Monsieur MERMET, Maître de Recherche au C.N.R.S., qui a eu la lourde responsabilité de diriger cette thèse. Les discussions, que nous avons eues sur le contenu de cette thèse, et les critiques qu'il a apportées aux différentes versions du manuscrit m'ont permis de l'améliorer constamment.

Monsieur MAZARE, Professeur à l'Université de Grenoble, quia bien voulu siéger dans ce jury, bien que le contenu même de la thèse sorte un peu de ses préoccupations, plus tournées dans le domaine de la CAO, vers l'électronique.

Je n'oublierai pas de citer au sein de l'Association Française MICADO,

Ceux qui m'ont fait confiance, en particulier Monsieur NEUVE EGLISE et Monsieur MERMET, ainsi que Monsieur VANDORPE qui a eu l'inconscience d'accepter la tâche de Chargé de mission gestion, ce qui m'a soulagé d'une part importante de travail.

Ceux avec qui j'ai eu le plaisir de travailler, les ingénieurs des équipes techniques et promotion, ainsi que le secrétariat qui s'est chargé dans des conditions difficiles et au prix (non payé d'ailleurs) d'heures supplémentaires de la frappe du texte.

J'ai pu profiter du rôle national de l'A.F.MICADO pour avoir des contacts fructueux avec de nombreuses personnes :

des Chercheurs bien sûr, mais également des industriels, parmi lesquels je remercie tout particulièrement Monsieur CHINA de la société MERLIN-GERIN et son équipe avec lesquels j'ai pu avoir la satisfaction de définir et mettre en oeuvre le logiciel MECAN, ainsi que Madame DUCLOT de la société S.N.R.

En revanche, l'A.F.MICADO m'occupant déjà largement à plein temps, j'ai été obligé d'étendre encore mes horaires et je suis conscient que ceci a pesé lourdement sur un certain nombre de personnes. Je remercie très sincèrement ceux qui se sont préoccupés de me libérer de tout souci autre que la rédaction de cette thèse. Je sais qu'ils (et surtout qu'Elle) ne veulent pas que je les cite. Qu'ils sachent cependant (n'est-ce pas "chévrier" ?) que j'ai été très sensible à leur aide.

Je voudrais enfin dire à trois petites têtes blondes que leurs efforts pour ne pas déranger un Papa trop occupé méritent toute mon admiration et des vacances ensemble.

N.B. Certains travaux décrits dans cette thèse on pu être menés à bien grâce à des contrats avec l'Agence de l'Informatique.

"La jeunesse, dit l'homme, c'est la joie. Et la jeunesse, ce n'est ni la force, ni la souplesse, ni même la jeunesse comme tu disais : c'est la passion pour l'inutile.

Inutile, ajouta-t-il en levant le doigt, qu'ils disent !"

Jean Giono
"Que ma joie demeure"

A Michèle,

S O M M A I R E

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I.1. VIE D'UN OBJET INDUSTRIEL	p. 15
I.1.a. Conception d'un produit nouveau	
I.1.b. Conception d'un produit "standard" ou à partir d'études antérieures.	
I.1.c. Communication d'informations.	
I.2. LE DISPOSITIF "HOMME-MACHINE"	p. 22
I.3. PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION	p. 24
I.4. MARCHE DE LA CFAO.	p. 28

CHAPITRE II

MATERIELS ET LOGICIELS POUR LA CFAO

ETAT DE LA TECHNIQUE ET TENDANCES

II.1. LES MATERIELS POUR LA CFAO p. 32

II.1.A. Les écrans graphiques

II.1.A.a. Ecrans à balayage cavalier

II.1.A.b. Ecrans à balayage de trame

II.1.A.c. Ecrans cristaux liquides

II.1.A.d. Ecrans plasma

II.1.A.e. Ecrans couleurs

II.1.B. Les outils de dialogue

II.1.B.a. Photostyle

II.1.B.b. Réticule

II.1.B.c. Manche à balai

II.1.B.d. Le doigt

II.1.B.e. Les claviers

II.1.B.f. Les tablettes à numériser

II.1.C. Les machines à dessiner

II.2. LES LOGICIELS POUR LA CFAO p. 37

II.2.A. Les SGBD pour la CFAO

II.2.A.a. Les BD utilisées

II.2.A.b. Caractéristiques essentielles des BD-CFAO

II.2.A.c. SGBD CFAO existant

II.2.B. Les logiciels graphiques

II.2.B.a. Fonctions de base pour la manipulation et
la représentation des objets

II.2.B.b. Modélisation tri-dimensionnelle

II.2.C. Les logiciels de calcul

II.3. LES IMPLANTATIONS MATERIELS LOGICIELS

p. 46

II.3.A. Choix des matériels

II.3.B. Implantations

II.3.C. Evolution

II.4. QUELQUES REMARQUES SUR L'INTERACTIVITE

p. 51

CHAPITRE III

UNE METHODE D'INTRODUCTION DE LA CFAO DANS L'ENTREPRISE

- III.1. DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE p. 57
 - III.1.A. Aspects techniques
 - III.1.B. Aspects économiques
 - III.1.C. Aspects compétences
 - III.1.D. Risques à prendre

- III.2. ASPECTS GENERAUX DE LA METHODE p. 62
 - III.2.A. Analyse de l'entreprise
 - III.2.B. Mise en oeuvre
 - III.2.B.a. Aspects techniques essentiels
 - III.2.B.b. Influence de la CFAO sur l'organisation de l'entreprise
 - III.2.B.c. Aspects économiques
 - III.2.B.d. Quelques remarques sur le choix d'un système
 - III.2.B.e. Quelques remarques sur la formation

- III.3. EXEMPLES p. 77
 - III.3.A. Introduction de la CFAO dans le processus de conception fabrication de meubles en bois massif
 - III.3.B. Introduction de la CFAO dans le processus de conception fabrication de chaussures d'hommes
 - III.3.C. Autres exemples

CHAPITRE IV

METHODOLOGIE POUR LA REALISATION DE SYSTEMES DE CFAO: APPLICATION A LA MODELISATION GEOMETRIQUE

IV.1. LA MODELISATION GEOMETRIQUE	p. 101
IV.1.A. Conditions à remplir pour une bonne modélisation géométrique	
IV.1.A.a. Caractérisation Mathématique des solides	
IV.1.A.b. Représentation informatique des solides	
IV.1.A.c. Evaluation d'un modèle.	
IV.1.B. Méthodes de construction	
IV.1.B.a. Dessin technique	
IV.1.B.b. Epaisseur et révolution	
IV.1.B.c. Mouvement	
IV.1.B.d. Paramétrisation	
IV.1.B.e. Construction à partir d'objets de base	
IV.1.C. Représentation interne	
IV.1.C.a. Représentation par les limites	
IV.1.C.b. Représentation par l'arbre de construction	
IV.2. LA GESTION DES DONNEES	p. 124
IV.3. LES FONCTIONS DE CALCUL	p. 129

CHAPITRE V

LES COMPOSANTS DU SYSTEME NADRAG

- V.1. LA COMMUNICATION D'INFORMATIONS p. 136
 - V.1.A. Principes généraux
 - V.1.B. Application au processus de conception

- V.2. GRI 2D p. 145
 - V.2.A. Conception
 - V.2.A.a. Le logiciel graphique de base
 - V.2.A.b. Types d'objets manipulables
 - V.2.A.c. Dialogue des constructions
 - V.2.A.d. Calculs pour les contraintes et les transformations
 - V.2.A.e. Mise au propre d'un dessin
 - V.2.A.f. Habillage d'un plan
 - V.2.A.g. Autres fonctionnalités.

 - V.2.B. Le modèle GRI 2D-MOD
 - V.2.B.a. Informations géométriques élémentaires
 - V.2.B.b. Informations topologiques
 - V.2.B.c. Informations d'habillage
 - V.2.B.d. Informations de structuration
 - V.2.B.e. Accès au modèle

 - V.2.C. Réalisation

 - V.2.D. Utilisation

V.3. PARAM 2D

p. 179

V.3.A. Définition du problème

V.3.B. Définition de familles de pièces en interactif

V.3.B.a. Généralités

V.3.B.b. Gestion des constructions sous
contrainte

V.3.B.c. Gestion des transformations
géométriques et des mises au propre

V.3.B.d. Gestion de l'information logique

V.4. GRI 3D

p. 195

V.4.A. Constructions de solides à partir de contours

V.4.B. Autres constructions

V.4.C. Le modèle de visualisation

V.4.C.a. Les informations du modèle de visualisation

V.4.C.b. Les algorithmes liés au modèle de
visualisation

V.4.C.d. Remarques sur l'utilisation de GRI 3D

CHAPITRE VI
APPLICATIONS UTILISANT NADRAG

- VI.1. MECAN : UN SYSTEME D'AIDE A LA CONCEPTION DE MECANISMES DE
DISJONCTEURS p. 221
- VI.1.A. Le problème posé
 - VI.1.B. Conception de MECAN
 - VI.1.C. Exemples d'utilisation
- VI.2. UN EXEMPLE DE PIECE PARAMETREE : PLAN CLIENT D'UN ROULEMENT
A BILLES p. 235
- VI.2.A. Le problème posé
 - VI.2.B. Conception et réalisation du logiciel

**CHAPITRE VII
INTERACTIVITE ET ACQUISITION DE CONNAISSANCES**

VII.1. L'INTERACTIVITE	p. 245
VII.2. EXPERIENCE DES SYSTEMES	p. 248
VII.3. LES ENTREES GRAPHIQUES GENERALISEES	p. 250
VII.3.A. Acquisition de réels sous forme de résultats d'expressions "graphonumériques"	
VII.3.A.a. Notion d'expression "graphonumérique"	
VII.3.A.b. Mise en oeuvre	
VII.3.B. Outils de saisie d'informations graphiques	
VII.3.B.a. Introduction	
VII.3.B.b. Création d'une scène	
VII.3.B.c. Menus dynamiques	
VII.4. MODELISATION AUTRES QUE GEOMETRIQUES : EXEMPLE, L'ASSEMBLAGE	p. 264
VII.5. PARAMETRAGE ET ALGORITHMIQUE	p. 267

CONCLUSION

ANNEXES

- Annexe 1 : Exemple de primitives d'accès au modèle de GRI 2D
(GRI 2D:MOD) p. 274
- Annexe 2 : Exemples de primitives d'accès au modèle de
visualisation p. 276
- Annexe 3 : Spécifications du langage et grammaire pour l'entrée
"graphonumérique" (extrait) p. 278
- Annexe 4 : Exemples d'utilisation de NADRAG dans des domaines P. 281
hors mécanique.

La Conception Assistée par Ordinateur a, dans un premier temps, été essentiellement appliquée dans les domaines de l'électronique, de l'aéronautique et de l'automobile. L'utilisation de la CAO en électronique est due à l'impossibilité de concevoir certains produits (les micro-processeurs par exemple) sans l'aide de l'informatique. Dans les domaines de l'aéronautique et de l'automobile, c'est la conception de formes complexes qui, passée l'ère des pionniers, a dû être traitée par des systèmes de CAO : En effet, par une modélisation mathématique des surfaces, les systèmes de CAO ont permis d'améliorer l'aérodynamique, d'alléger le poids des structures, etc... Les systèmes de CAO pour la conception des formes ont été les premiers systèmes traitant une chaîne de conception fabrication presque complètement, allant de la conception interactive de carrosseries ou de fuselages pour aboutir à la génération des commandes des machines à commandes numériques.

Les moyens tant humains que financiers étaient très importants dans ces entreprises, permettant même très souvent, à partir d'équipes internes compétentes, la mise en oeuvre de systèmes de CAO "maison", dont certains sont maintenant diffusés (DAS 81), (RNU 81).

Les aspects CAO pour l'électronique ont fait l'objet de nombreuses études (MER 73). Nous nous intéressons plus particulièrement aux applications de la C.A.O. à de nouveaux domaines, dans lesquels elle est encore relativement peu développée tels que la mécanique (qui dans son ensemble représente 40 % à 50 % du marché de la C.A.O.), mais également les industries traditionnelles comme la chaussure, le meuble ou l'habillement.

Ces domaines ont un certain nombre d'aspects communs et la plupart des raisonnements que nous tiendrons peuvent s'appliquer à un ensemble assez vaste d'utilisations.

Nous présentons dans les deux premiers chapitres les fondements des systèmes de CAO. La CAO est considérée comme l'ensemble des aides informatiques aux bureaux d'études et aux bureaux des méthodes. Elle concerne donc le processus conception-fabrication depuis l'élaboration du cahier des charges jusqu'à la préparation des documents de fabrication. Le sigle CAO est ainsi de plus en plus remplacé par le sigle CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) que nous emploierons en général puisque nous ne nous intéressons pas qu'à la phase de conception initiale.

Nous exprimons dans le premier chapitre quelle est la "vie" d'un objet industriel, les dispositifs homme-machine qui peuvent être mis en oeuvre et enfin les principaux domaines d'application et le marché.

Cette présentation a pour but de montrer à quoi s'applique la CAO, son importance pour l'avenir industriel et un aspect qui nous semble fondamental, sur lequel nous reviendrons par la suite, l'interactivité.

Le second chapitre est consacré à une présentation rapide de l'état actuel de la technique : les matériels, les logiciels et les implantations matériels-logiciels possibles.

Nous présentons dans le troisième chapitre une méthode d'introduction de la CAO dans l'entreprise. Cet aspect ne doit pas être négligé, car comme toute nouvelle technique, la CAO pose des problèmes d'introduction sur de nombreux plans (techniques mais également humains, financiers, etc...). Cette méthode qui s'est nourrie de notre expérience d'études d'opportunité dans de nombreuses PMI est maintenant appliquée (en particulier dans les études faites par MICADO).

Les chapitres suivants sont consacrés à des notions plus techniques du point de vue informatique et mathématique. Comme nous voulons illustrer des aspects techniques à travers la modélisation géométrique (comme exemple de base, mais pas comme exemple unique), nous commençons par caractériser ce qu'est un modèle géométrique. Nous en donnons un modèle mathématique pour lequel nous n'entrons pas dans tous les détails, notre but étant de montrer que, maintenant, l'ère du "bricolage" doit être révolue.

Nous présentons dans le chapitre suivant (V) les composants du système NADRAG qui ont été développés. Nous essayons à travers ce chapitre d'insister sur les différents niveaux de modélisation possibles (avec des informations géométriques et fonctionnelles) et sur la possibilité, en utilisant les interactions "graphiques" (le dessin étant considéré comme le langage naturel du concepteur) d'entrer un certain nombre de "connaissances" dans le système (appliqué au paramétrage interactif).

Le chapitre VI porte sur deux applications, choisies pour illustrer l'utilisation de composants de NADRAG dans deux applications de types différents (l'une porte sur une famille de pièces, l'autre sur une conception très interactive avec des simulations).

Enfin, nous exprimons dans le dernier chapitre un certain nombre d'idées sur l'interactivité et l'acquisition de connaissances qui nous semblent être deux aspects fondamentaux des systèmes de CAO de demain et qui sont l'un des axes de nos travaux.

I - INTRODUCTION

Nous allons tout d'abord exprimer quelle est la "vie" d'un objet industriel, montrer quels sont les dispositifs "homme-machine" qui peuvent être utilisés et enfin quels sont les principaux domaines d'application de la CAO que nous envisagerons par la suite.

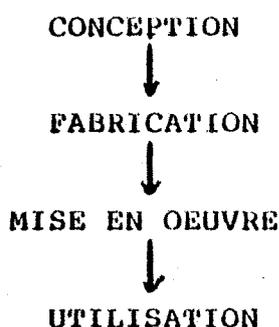
I.1. VIE D'UN OBJET INDUSTRIEL

Un objet industriel, quel qu'il soit (voiture, meuble, immeuble, rail, roulement, disjoncteur) a une vie à l'intérieur d'une entreprise (ou d'un ensemble d'entreprises si l'on considère les sous-traitants par exemple) qui va de sa conception à sa fabrication et une vie à l'extérieur de l'entreprise qui va de la livraison et la mise en oeuvre à l'utilisation effective de l'objet dans un certain contexte.

Il est évident que cette distinction entre vie à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise ne veut pas décrire l'ensemble des cas possibles mais veut montrer deux aspects de la vie d'un objet : sa conception-fabrication et sa mise en oeuvre-utilisation.

L'appellation "Conception Assistée par Ordinateur" ne concerne pas uniquement la phase de conception d'un objet, c'est pourquoi nous préférons le sigle C.F.A.O. (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur). En effet, il est impensable de concevoir un objet industriel sans tenir compte des contraintes de fabrication (machines, stocks...), de sa mise en oeuvre (assemblages...) et de son utilisation (conditions de fonctionnement...).

Nous pouvons donc résumer de façon macroscopique la vie d'un objet industriel par le schéma suivant :



Si nous analysons la phase conception-fabrication, il est difficile de ne donner qu'une vision unique de son déroulement suivant les différentes professions et suivant les différents produits (standards, nouveaux, à partir de produits conçus antérieurement...).

Schématiquement, deux cas peuvent être décrits :

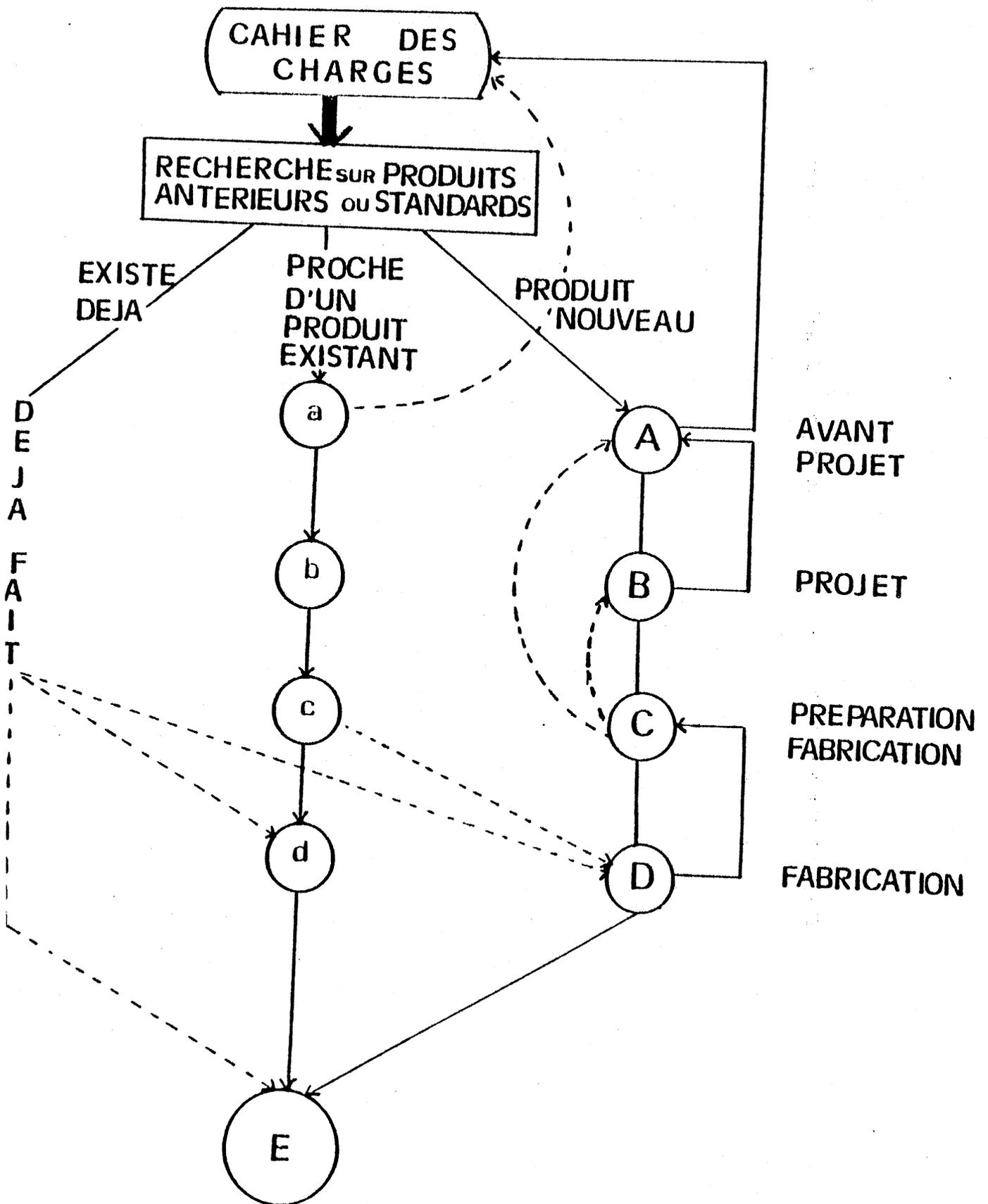
I.1.A Conception d'un produit nouveau

Considérons l'étude d'un produit nouveau (Figure F.I.1)

- | | |
|-------------------------------|--|
| A. Avant-projet | (conception
(devis
(prototype
(essais |
| B. Projet | (études
(industrialisation |
| C. Préparation
fabrication | (méthodes
(|
| D. Fabrication | (ordonnancement-lancement
(fabrication |
| E. Maintenance | (service après-vente |

La phase A. (avant-projet) doit aboutir à la définition des paramètres de l'objet. A ce niveau, les fonctions suivantes sont remplies :

- . définition des contraintes externes (cahier des charges du produit) ;
- . choix technologiques : ils sont liés aux contraintes techniques mais également financières de la demande (cahier des charges) ;
- . calculs essentiels : il s'agit des calculs des grandeurs physiques de l'objet dans les conditions de fonctionnement déterminées par son utilisation et par les choix technologiques effectués (le calcul du devis par exemple doit être aussi précis et aussi rapide que possible) ;
- . dessins : ils ont pour but d'aider à la conception par leur aspect visuel et de permettre la mise en oeuvre du prototype (virtuel ou réel). L'étude est généralement faite de façon arborescente (décomposition en ensembles, eux mêmes décomposés en sous-ensembles, etc...) ;
- . prototype : le prototype peut être soit un représentant de l'objet, fabriqué en général par une cellule de fabrication spécialisée (cf III exemple de cas), soit une simulation (prototype virtuel). En effet, le système de CFAO, ayant emmagasiné de façon virtuelle l'ensemble des paramètres de l'objet à un instant donné (MODELE de l'objet) et un certain nombre de connaissances de l'entreprise (méthodes de fabrication, données techniques, etc...) permet des simulations de la fabrication et du fonctionnement de l'objet (cinématique etc... cf VI Mécanismes de disjoncteurs) ou même une acceptation sur plan du client (ex : conception d'une maison d'habitation).



F.I.1. VIE D'UN OBJET INDUSTRIEL

Le prototype réel ne devrait être utilisé que lorsque l'objet ne peut être entièrement déterminé par les calculs et les dessins (problèmes théoriques, cinématique complexe, conditions d'utilisation impossibles à modéliser, etc...).

- . relations avec d'autres fonctions : au niveau de l'avant-projet, le Bureau des Etudes des avants-projets a des relations d'information-décision en amont (direction, services commerciaux) et en aval (fabrication).

Si la phase A. est complète, la phase B. (projet) consiste essentiellement en l'industrialisation du produit. Elle reprend un certain nombre des fonctions précédentes :

- . choix technologiques mineurs : il s'agit des décisions telles que les choix des vis en tenant compte du coût, du stock, etc... ou le choix de certaines méthodes de fabrication (cf C.)
- . calculs : il s'agit de calculs précis et des calculs qui n'ont pu être effectués lors de la phase A (par exemple, calculer exactement le poids d'un objet, répartir des tolérancements...).
- . dessins : les plans auront pour but de préciser certaines données mais surtout de présenter tous les renseignements nécessaires à la mise en fabrication de l'objet. La compréhension de plans par un ensemble d'individus se fait par des systèmes de représentation conventionnels et normalisés.
- . relations avec d'autres services : là encore, des relations avec d'autres services existent, aussi bien en amont (si certains paramètres sont difficiles à respecter ou incompatibles avec la fabrication, etc...) qu'en aval (méthodes ordonnancement, lancement, fabrication).

La phase C. (méthodes) est, à notre avis, l'une des phases clés de la CFAO. En effet, cette phase est la charnière entre conception et fabrication. Or, on peut se rendre compte aisément (cf III) que les services méthodes et bureaux d'études, dans une conception-fabrication de type traditionnel (par opposition à CFAO) n'ont que très peu de relations par manque d'outils et de support méthodologique. Le service méthodes n'intervient que pour faire "coller" conception et fabrication.

Il est également facile de constater que cet aspect a été négligé dans la plupart des systèmes de CAO (et même dans ceux qui se veulent des systèmes de CFAO). Or, dans une entreprise, un produit ne peut être conçu sans tenir compte de façon déterminante et continue de sa fabrication, de sa mise en oeuvre et de son utilisation.

En revanche, si nous pensons que le bureau des méthodes est un point clé de l'informatique industrielle, il nous apparaît qu'il s'agira de moins en moins d'un service à part, mais qu'il devra intervenir à différents niveaux (en particulier au niveau conception) et que ses fonctionnalités devront être intégrées de plus en plus au sein même de la base de connaissances du système de CFAO (figure F.I.2)

Nous n'insisterons pas sur les phases D. et E. qui sont moins concernées par la CFAO (même si celle-ci doit en tenir compte en paramètres), mais nous signalerons toutefois que la phase D. va elle aussi être fortement modifiée par les techniques de réalisation, automatisations, ateliers flexibles, dont la CFAO devrait tenir compte à travers les méthodes et que le service après-vente peut être simplifié en éditant par exemple les notices de montage à partir du MODELE de l'objet ou même en concevant les objets en vue d'une maintenance plus efficace.

Il est évident que la conception d'un produit nouveau peut se faire également à l'aide de standards et qu'elle doit tenir compte des produits conçus antérieurement, ne serait-ce que pour intégrer l'expérience acquise.

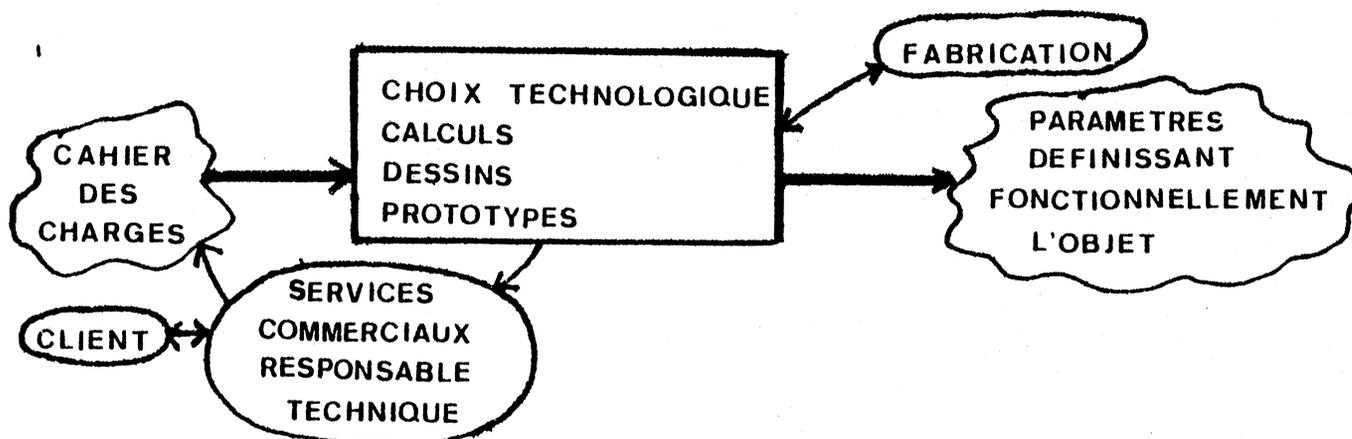
Nous décrivons cependant dans le sous-chapitre suivant, la conception d'un produit standard dont la conception découle assez directement de produits conçus antérieurement dans l'entreprise.

I.1.B. Conception d'un produit "standard" ou conception d'un produit à partir d'études antérieures.

Ce type de conception se caractérise par une phase d'avant-projet extrêmement réduite. En général, les composantes de la phase de projet sont bien connues et la mise en oeuvre (virtuelle ou réelle) d'un prototype est inutile. Le point essentiel de l'avant-projet est souvent (surtout pour les entreprises répondant à des appels d'offre) la sortie du devis. Pour constituer ce devis, le bureau-devis exécute sommairement la phase projet.

En plus des différentes actions décrites pour la conception d'un produit nouveau apparaît de façon systématique (alors qu'elle n'est qu'occasionnelle dans le cas d'un produit nouveau) une phase de recherche de solutions antérieures. En effet, pour des raisons de coût et de délais de fabrication, l'entreprise cherchera à se rapprocher le plus possible d'une étude antérieure.

Il faudra donc au niveau de l'avant-projet, rechercher, à partir du cahier des charges de l'objet, l'étude précédente la plus proche (éventuellement une étude ayant déjà résolu ce cahier des charges).



F.I.2. RELATIONS SYSTEME DE CFAO ET SERVICES D'UNE ENTREPRISE

Les études que nous avons menées (cf III) montrent d'ailleurs que des entreprises peuvent par "manque de mémoire" définir soit deux objets différents pour le même cahier des charges, soit obtenir deux objets quasiment identiques pour le même cahier des charges après avoir exécuté de façon complète et précise deux fois les différentes phases (conception, études, méthodes...).

Un système de CFAO performant (adapté à l'entreprise) devrait permettre d'éviter de telles erreurs.

Nous avons parlé de changements profonds au niveau du bureau des méthodes ainsi que de la volonté de ne pas concevoir une nouvelle pièce alors que l'entreprise avait, par le passé, conçu et fabriqué une pièce équivalente. Ces problèmes introduisent la notion de "groupements analogiques" déjà utilisés dans certaines entreprises, mais qui devraient devenir un élément important des systèmes de C.F.A.O. Les "groupements analogiques" concernant toutes les méthodes tendant à réunir les pièces ou les opérations par familles analogues aux stades de la conception, des méthodes et de la fabrication (ETV 74). Ce type d'outil doit permettre en particulier de :

- ne créer une nouvelle pièce qu'en cas de nécessité absolue,
- améliorer la standardisation interne,
- rechercher pour une nouvelle pièce une gamme similaire existante,
- rationaliser la fabrication en limitant la prolifération d'outillages et en permettant des groupements en fabrication.

I.1.C. Communication d'informations.

Souvent, une entreprise donnée n'exécute elle-même que certaines phases, ou bien, pour certains points particuliers à l'intérieur de ces phases, elle fait appel à des sous-traitants. Ceci se constate en particulier au niveau de la fabrication qui peut être entièrement ou partiellement sous-traitée (c'est presque toujours le cas lorsque des aspects sont liés à une fabrication spéciale ou que des réglementations interviennent).

Dans une conception-fabrication traditionnelle, la transmission d'informations entre donneur d'ordre et sous-traitant se fait à l'aide de plans et de notes écrites (notes de calculs ou descriptives). Avec l'avènement des systèmes de CFAO, les supports informatiques (écrans, supports magnétiques) vont, aussi bien au sein de l'entreprise que vers les sous-traitants, être la base des communications.

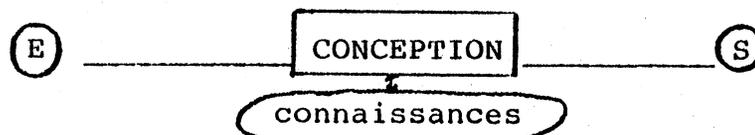
Cet aspect ne doit pas être négligé (pour bien se rendre compte de son importance en nombre d'entreprises concernées, il suffit d'envisager le cas de l'automobile et de l'aéronautique par rapport à leurs divers sous-traitants ou à une autre dimension, le cas d'un architecte ou du maître d'oeuvre vis-à-vis des différents corps de métier qui peuvent représenter une dizaine d'entreprises).

I.2 LE DISPOSITIF HOMME-MACHINE

Dans tous les sigles se terminant par A.O., le O signifie ordinateur, et le A assisté.

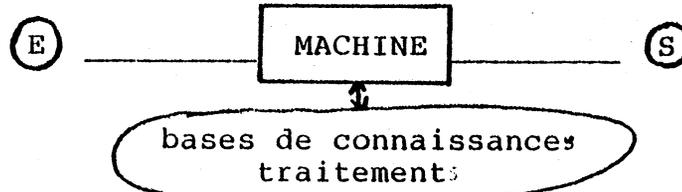
L'assistance d'un ordinateur à la conception implique un dialogue entre le concepteur et la machine. Nous allons essayer de définir globalement le dispositif homme-machine en l'appliquant de façon macroscopique à la conception (le raisonnement pouvant s'appliquer à d'autres cas et de la même manière à des phases d'études, etc...).

Nous considérons la conception d'un objet comme la définition ou la sortie S de ses paramètres à partir d'une entrée E ou cahier des charges



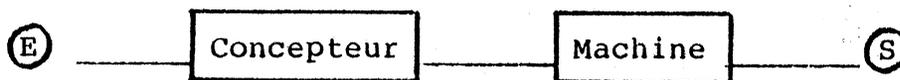
F.I.3. CONCEPTION D'UN OBJET

Si cette conception peut être entièrement automatisée, elle peut répondre au schéma suivant :



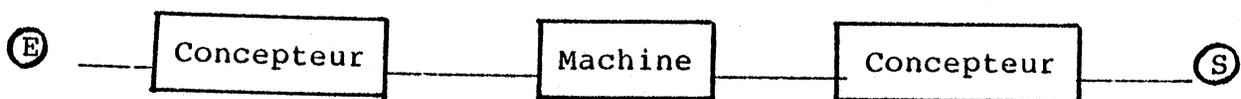
F.I.4. CONCEPTION AUTOMATISEE

Cependant, qu'elle soit automatisable ou pas, la conception d'un produit nécessite la présence du concepteur pour décrire (en un langage adapté) le problème et ses contraintes à la machine, ce qui donne le schéma suivant :



F.I.5. SCHEMA HOMME-MACHINE TYPE 1

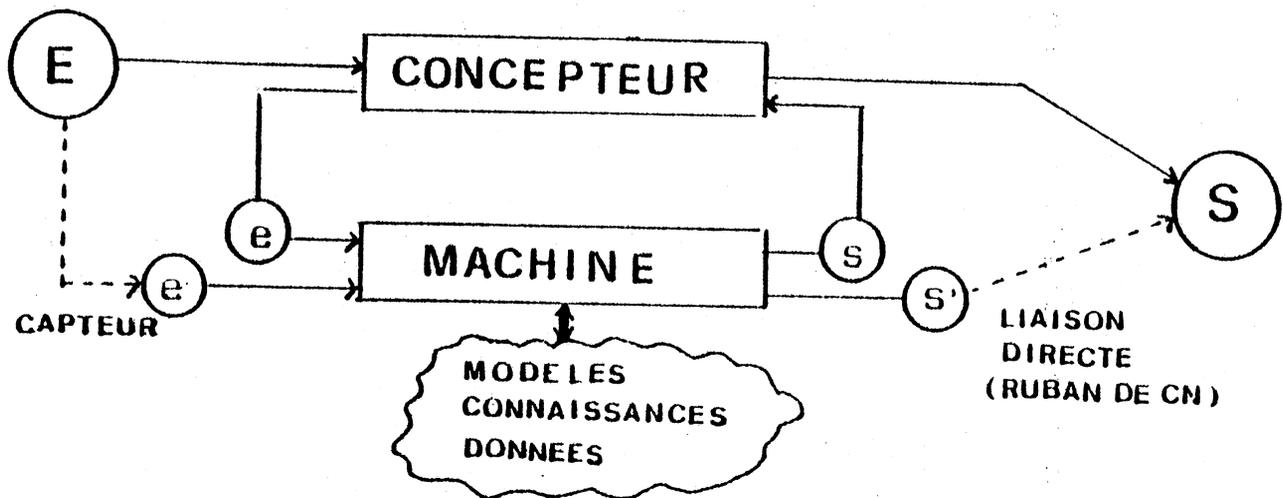
De même, l'interprétation des résultats fournis par la machine devra, en général, être faite par un concepteur, ce qui donne



F.I.6. SCHEMA HOMME-MACHINE TYPE 2

Signalons, pour mémoire, que la machine peut également intervenir au niveau des entrées, par exemple lorsqu'il faut acquérir la connaissance d'un certain environnement (capteurs).

Il apparaît rapidement, dès que la conception du produit n'est pas entièrement automatisable qu'une interaction forte va intervenir entre la machine et le concepteur, ce qui donne le schéma général suivant :



F.1.7. SCHEMA GENERAL HOMME-MACHINE

L'entrée E est le cahier des charges du produit. Pour résoudre le problème, le concepteur fournit des données e à la machine qui, à l'aide de connaissances (bases de données, règles...) et de traitements, enrichit un modèle et fournit au concepteur des sorties s.

A partir de ces sorties, le concepteur fournit de nouvelles données e et ainsi de suite.

Lorsque la solution semble satisfaisante au concepteur, il peut l'exprimer par S.

Il est évident que certaines entrées peuvent être directement "digérées" (ex. Capteurs) par la machine et que certaines sorties s peuvent être éditées directement par la machine (plans, ruban de commande numérique...).

Un système de CFAO sera d'autant plus "expert" dans la résolution d'un problème que e tendra vers E et s vers S.

La communication homme-machine est l'un des points les plus importants d'un système de C.F.A.O. et son traitement a été un souci permanent dans nos travaux, ainsi que nous le montrerons dans le chapitre V. Nous donnons également dans le chapitre II quelques aspects qu'il nous semble important de connaître avant de concevoir ou même d'installer ou acquérir un système de CFAO.

I.3. PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, la CFAO a été un passage obligé pour l'industrie électronique puisque sans cette technique, la conception des produits électroniques actuels serait impossible. La CFAO s'est également, à travers de très grosses entreprises, appliquée à la modélisation de surfaces complexes dans l'automobile et dans l'aéronautique (BER 82), (NEU 82), (BEZ 77).

Dans un passé plus récent, la CFAO a montré des aspects intéressants dans des industries traditionnelles telles que la mécanique, mais également le meuble, la chaussure ou le textile (cf III.). (MER 82), (DGM 80), (GAM 81), (GAR 81e), (GAR 81b).

En effet, jusqu'à un passé relativement récent (1975), les entreprises qui ont fait appel à des techniques de CFAO l'ont fait pour résoudre des problèmes extrêmement difficiles ou impossibles à résoudre sans l'aide d'un ordinateur. Elles ont donc, dans un premier temps, utilisé au mieux les capacités de calcul et de gestion d'informations.

La complexité des calculs imposait à l'époque, l'utilisation de machines extrêmement coûteuses. L'apparition des matériels graphiques interactifs n'a pas réduit ce "coût". La CFAO a ainsi été un domaine réservé à certaines grosses entreprises, d'autant que le manque d'outils logiciels sur le marché imposait la mise en place d'une équipe de concepteurs et réalisateurs de systèmes de CFAO. De ce fait, une proportion importante des systèmes de CFAO datant des années 1970 résultait de ce processus (ex le logiciel CADAM diffusé par IBM est l'oeuvre de Lockheed. Plus près de nous, Renault fait diffuser certains des logiciels conçus par ses équipes (UNISURF, RA3D) et CATIA, logiciel de conception tri-dimensionnelle conçu par une équipe des avions Marcel Dassault est diffusé par Dassault systèmes et IBM). (BER 82).

Une autre proportion importante de systèmes a été conçue dans des laboratoires de recherche. Il s'agit souvent de logiciels à vocation générale, c'est-à-dire, pouvant servir de noyau à des applications (c'est le cas d'EUCLID par exemple en France). (MAT 80), (MAT 82).

La dernière catégorie de logiciels importants disponibles sur le marché a été l'oeuvre de sociétés spécialisées, réalisant souvent une mise en oeuvre conjointe "Matériel + logiciel" (systèmes dits "clés en mains") allant parfois (c'est le cas de Computervision) jusqu'à modifier ou réaliser eux-mêmes le matériel (dans le domaine des systèmes "clés en mains" les américains ont pris une forte avance sur le reste du monde avec Computervision, Calma, Applicon, Gerber).

Qu'en est-il alors de l'utilisation de la CAO dans le début des années 1980 (pour une étude complète, voir (GAM 82)) ?

- . Dans le domaine de l'électronique qui n'est que très peu concerné par les autres chapitres, la CFAO existe depuis longtemps pour des utilisations en conception et fabrication de composants ou d'équipements avec :
 - . outils de simulation logique et analogique (MER 73),
 - . aides au dépannage,
 - . aides au placement et à l'implantation,

Actuellement, des projets importants sont en cours dans le domaine de l'électronique, essentiellement au niveau de l'intégration des systèmes (MCA 81).

- . Dans le domaine de la mécanique, pris dans son sens large, un certain nombre d'outils a été mis à la disposition des entreprises. Qu'ils soient clés en mains ou logiciels généraux, ces outils remplissent plus ou moins complètement des fonctions de dessin. Récemment, ces outils ont aussi ajouté la vision dite "réaliste" des objets. Ils ont pourtant presque tous péché jusqu'à présent par un manque de fonctionnalités utiles aux bureaux d'études (par exemple, la liaison avec la gestion des nomenclatures).

Les problèmes traités concernent :

- le dessin technique (dessin industriel) : il s'agit des aides à la réalisation de plans, à la définition de familles de pièces, à des sorties de plans à différentes échelles (pouvant même aller jusqu'à la suppression de certains traçages à grande échelle), etc...
 - la définition de formes complexes (carrosserie de voiture, fuselage d'avion, coque de navire). Comme cela a été dit précédemment, des outils ont vu le jour dans les grandes entreprises de l'aéronautique et de l'automobile, mais également chez certains architectes navals (FIN 80),
 - conception de mécanismes incluant des études cinématiques comme des disjoncteurs,
 - calculs de résistance des matériaux (élasticité, calcul de structure...), d'aérodynamisme...,
 - conception d'outillages.
 - liaisons vers la commande numérique (C.N.), particulièrement après la conception de formes,
 - optimisation de l'utilisation des matériaux (découpe de barres ou de tôles),
- etc...

Les professions de la mécanique touchées par la C.A.O. couvrent une palette très large allant de la machine à laver (ALB 82) aux voitures ou aux avions en passant par les matériels de chantiers (pelleteuses...), les roulements à billes, etc...

- . Les architectes (et toutes les professions du bâtiment) ont profité de l'apparition des micro-ordinateurs. En effet, leur prix très raisonnable et des logiciels résolvant au moins partiellement les problèmes des architectes ont permis une implantation de ces outils dans les bureaux d'études. Actuellement, une action importante est soutenue par les pouvoirs publics (Agence de l'Informatique) pour créer, en tenant compte des développements antérieurs, un outil adapté aux architectes.

Les problèmes traités concernent :

- conception de villas, d'immeubles ou de locaux à usage industriel à partir d'éléments standards (portes, fenêtres, cloisons...) allant du plan vers la gestion des chantiers, en passant par les sorties plus ou moins complètes des devis descriptifs et quantitatifs,
- visualisation de projets dans un environnement : ces études ont été faites jusqu'à présent essentiellement à partir de montages, les projets étant modélisés et "placés" sur des photos du site (CET 81). Des études sont faites actuellement pour que ces visualisations soient entièrement assistées par ordinateur avec une image réaliste des bâtiments et du site,
- tracé de route avec visualisation mais également calculs de déblais et remblais, chiffrages du gros oeuvre,
- calculs divers (calculs de structures, de charpentes...),
- outils spécifiques pour les électriciens (schémas...), les chauffagistes (calculs, économies d'énergie...),
- voirie et réseaux divers,
- certains meubles sont depuis peu conçus par ordinateur. Ceci est surtout vrai pour des meubles constitués à partir de modules (kits par exemple).

Des systèmes sur micro-ordinateur (pour des prix inférieurs à 100 000 F) permettent de choisir sa cuisine (à partir de perspectives au trait sur écrans graphiques) et de sortir automatiquement le devis en fonction du style, des éléments et de l'implantation choisis (MAS 82),

- le domaine de l'habillement utilise des aides informatiques depuis plusieurs années pour des opérations ponctuelles telles que la gradation (opération qui permet d'obtenir plusieurs tailles à partir d'une taille donnée), le placement et la découpe,
- d'autres domaines tout aussi traditionnels sont maintenant étudiés, entre autres la chaussure dont nous parlerons dans le chapitre III, les coffrages en bois (RIC 82), etc...

I.4. LE MARCHE DE LA C.A.O.

Il est difficile de donner des chiffres exacts montrant quel est le marché de la CAO en 1982 et quelle sera son importance en 1990. Ceci est dû à l'impossibilité d'évaluer de façon précise les systèmes "maison", c'est-à-dire réalisés de façon interne par les entreprises utilisatrices et de séparer dans certains systèmes importants quelle est la part de la C.A.O. et celle de l'informatique classique (c'est le cas d'IBM par exemple. Lorsqu'une installation CADAM ou CATIA est faite, il est clair que l'investissement logiciel C.A.O. et matériels graphiques peut être considéré comme un investissement C.A.O., mais quelle part du matériel prendre en compte ?).

Nous pensons que même si certains chiffres sont avancés sur le marché de la C.A.O. (pour le marché mondial, il est passé de 1 Milliard de francs en 1978 à près de 7 milliards en 1982 pour atteindre 50 milliards en 1990), le nombre de postes de travail installés est nettement plus significatif de l'utilisation de la C.A.O.. Or, les chiffres provenant des différentes enquêtes effectuées montrent que le nombre de postes de travail pour la C.A.O. va progresser de façon remarquable (passant de 5000 en 1980, 7000 en 1981, 12000 en 1982 et atteignant près de 40 000 en 1985).

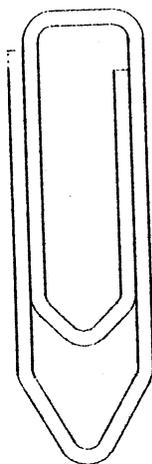
Une autre remarque importante concerne la part prise par les petits systèmes (coût inférieur à 700 000 F) qui, en nombre de stations de travail, ne représentaient que 850 en 1981 (soit environ 12 % du marché) et qui devraient, en 1985, s'élever à plus de 9000 (soit près de 25 % du marché).

Il est évident qu'actuellement, les vendeurs de systèmes clefs en mains tiennent les premières places en ce qui concerne les ventes de systèmes, le premier étant la société Computervision (plus de 30 % du marché des grands systèmes, suivi par Applicon (12 %), Calma (11 %), Intergraph (10 %) et Autotroll (9 %). IBM s'intercale en seconde position avec 14 %, étant entendu que sa position est peut-être meilleure encore si l'on compte l'ensemble des systèmes internes à la compagnie et suivant la répartition que l'on choisit sur les matériels (voir remarque du début).

En ce qui concerne les domaines d'application, la mécanique prend une place de plus en plus prépondérante en systèmes vendus (40 % en 1981, 50 % en 1985) devant l'électronique (30 % en 1981, 20 % en 1985), l'ensemble architecture, ingénierie, bâtiment (22 % en 1980, 19 % en 1985).

Enfin, pour situer l'importance de certains développements, une enquête récente (INP 82) a montré que pour la mécanique, 50 % des utilisateurs interrogés estiment qu'en 1986, un système tri-dimensionnel solide leur sera nécessaire et que les écrans de type balayage télévision prendront nettement l'avantage sur les tubes mémoire.

II-MATERIELS ET LOGICIELS POUR LA CFAO
ETAT DE LA TECHNIQUE ET TENDANCES



Trombone (GRI 2D)

Pris dans son sens large, un système de CFAO peut être considéré comme la réunion :

- . d'utilisateurs (concepteurs, ingénieurs, dessinateurs...)
- . de matériels (ordinateurs, moyens de dialogue...)
- . De logiciels (programmes de calculs, de gestion de données, ...)

Cet ensemble doit concourir à la résolution d'un problème (conception d'un objet), en tenant compte de contraintes (de coûts, de délais, de technologie, de fabrication...).

La composante "hommes" est importante puisque, au départ (avant toute introduction d'un système de CFAO) c'est cette composante qui doit savoir résoudre le problème.

Les deux dernières composantes sont des contraintes fortes puisqu'il faudra déterminer les matériels et les logiciels qui apporteront la meilleure aide aux hommes. Ces composantes seront elles-mêmes élaborées par des concepteurs et des réalisateurs de systèmes.

Le concepteur s'appuie ainsi sur l'ordinateur pour effectuer tel calcul, tel dessin ou telle recherche d'information. S'il a besoin d'un support graphique, il sera aidé par des matériels spécifiques (consoles de visualisation avec des moyens de dialogue associés : claviers (alphanumériques ou de fonctions), crayon électronique, réticule, tablette, etc...).

Nous allons présenter brièvement, car cet aspect est bien connu, les matériels pour la CFAO en essayant d'en montrer les avantages et les inconvénients en fonction des applications possibles. Nous présenterons ensuite les logiciels pour la CFAO en montrant quels sont les aspects qui nous intéresseront dans la suite. Enfin après l'exposé des implantations matériel-logiciel possibles, ainsi que les tendances actuelles dans ce domaine, nous insisterons sur quelques aspects importants de la communication homme-machine.

II.1.LES MATERIELS POUR LA CFAO

Un système informatique de CFAO comprend au moins un ordinateur et un certain nombre de moyens de communications entre l'homme et ce ordinateur. Nous n'insisterons pas sur les ordinateurs et les périphériques informatiques classiques (imprimantes...). Nous pouvons simplement dire que les ordinateurs concernés vont du micro au gros ordinateur, que le choix de leur puissance dépend de l'application, qu'ils sont en général à vocation scientifique (virgule flottante cablée etc...) et que les moyens de mémorisation (sur disques, bandes...) doivent souvent être de grande capacité du fait de l'importance, en quantité, des informations manipulables (standards, études antérieures...). Hormis ces matériels classiques, un système de CFAO peut faire appel à des écrans graphiques, des moyens de dialogue et des traceurs (LUM 81).

II.1.A. Les écrans graphiques

Ils représentent l'aspect matériel le plus spectaculaire d'un système de CFAO. Leur but est de présenter, en vue de sa manipulation, une information graphique. Leurs caractéristiques essentielles sont liées à leur technologie.

L'information présentée sur l'écran doit-être lisible par l'opérateur humain, c'est pourquoi elle doit-être entretenue d'une manière ou d'une autre. Nous pouvons distinguer essentiellement deux types d'entretien :

- entretien dynamique : une mémoire vive contient l'information à afficher qui est interprétée pour l'affichage proprement dit. Le contenu de cette mémoire peut être synthétique, ce qui signifie qu'elle est constituée de primitives de haut niveau (segments, caractères...) et de moyens d'accéder à ces éléments, ou analytique c'est à dire qu'elle ne contient que les informations sur l'état de chaque point de l'écran (intensité, couleur...) et ne donne aucun moyen de retrouver la façon dont elle a été construite.
- Entretien statique : dans ce cas, l'entretien est fait directement au niveau du moyen d'affichage lui-même (phosphore). On peut considérer qu'au niveau le plus extrême, le traceur sur papier est à entretien statique, puisque le papier conserve indéfiniment l'image sans avoir besoin d'être rafraîchi.

Les principaux écrans graphiques utilisés en CFAO aujourd'hui sont les écrans à balayage cavalier et les écrans à balayage de trame. Nous n'insistons pas sur ces technologies, maintenant bien connues.

II.1.A.a. Ecrans à balayage cavalier

Un écran est dit à balayage cavalier lorsque le faisceau peut atteindre directement n'importe quel point adressable de l'écran et parcourir le segment de droite joignant un point adressable à un autre point adressable.

Ces écrans peuvent être soit à entretien dynamique, soit à entretien statique (tube mémoire), soit avec une partie statique et une partie dynamique comme dans des terminaux récents qui permettent ainsi de cumuler les avantages du tube mémoire (en particulier pour les images denses) et du rafraîchi (pour les parties dynamiques de l'image).

II.1.A.b. Ecrans à balayage récurrent (balayage télévision).

Le dispositif de déviation est piloté pour faire parcourir au faisceau l'écran ligne par ligne, du haut vers le bas, en mode entrelacé ou non.

II.1.A.c. Ecrans à cristaux liquides

Cette technique utilise un état de la matière dont les caractéristiques l'apparentent à la fois à l'état liquide et solide. L'écran est de structure plane et peut être de grande dimension. L'image est fixe et la consommation d'énergie est dérisoire.

II.1.A.d. Ecrans à plasma.

Cette technique utilise la luminescence d'un gaz ionisé. Une plaque de verre, percée de micro alvéoles remplies de gaz, est prise entre deux plaques de verre, porteuses de deux réseaux de fils imprimés croisés, servant d'électrode d'excitation. L'affichage peut être fait par adressage de points. Ces écrans, encore peu développés, ont l'intérêt de permettre la superposition à l'image dessinée, d'une image projetée sur la surface de l'écran.

II.1.A.e. Ecrans couleurs

- A pénétration : le dispositif d'affichage est constitué de plusieurs couches de cristaux de luminescences différentes. La vitesse du faisceau détermine la pénétration des électrons dans ces couches, qui créent des émissions de lumières dont la coloration est liée aux couches de cristaux atteintes. Un seul canon est utilisé.
- A masque : trois substances luminescentes émettant de la lumière dans les couleurs primaires (rouge, vert, bleu) sont disposées en petits triangles. Trois canons sont affectés aux trois couleurs. Entre les canons et la surface de l'écran, une grille très fine (masque) permet d'adresser avec précision les canons aux taches qui leur sont affectées. Une couleur résulte de la combinaison des émissions de chaque tache dosée par chaque canon.

II.1.B. Les outils de dialogue.

Nous donnons ci-dessous la liste des outils de dialogue les plus couramment utilisés avec les écrans graphiques actuels.

II.1.B.a. Photostyle

Le photostyle (en forme de stylo) détecte le signal lumineux au passage du faisceau et le convertit en pulsion électrique, adressée à un processeur qui conserve les paramètres de guidage du faisceau et reconnaît l'élément en cours de tracé. Ce dispositif est très utilisé pour "désigner" un objet. Sa précision en récupération de coordonnées est très faible (réalisée en général par guidage d'une croix ou pointage dans un rideau de lettres).

II.1.B.b. Réticule

Le réticule est composé extérieurement de deux molettes permettant de guider une croix (ou deux lignes croisées). Les coordonnées du point sont connues directement par le dispositif de commande. Le codage du déplacement est fait à l'aide de deux potentiomètres.

II.1.B.c. Manche à balai - Boule roulante

De fonctionnement équivalent à celui du réticule, ils diffèrent par leur forme, et donc leur manipulation.

II.1.B.d. Le doigt

Ce dispositif, peu précis et peu utilisé permet de montrer directement sur l'écran ou sur une tablette avec un doigt.

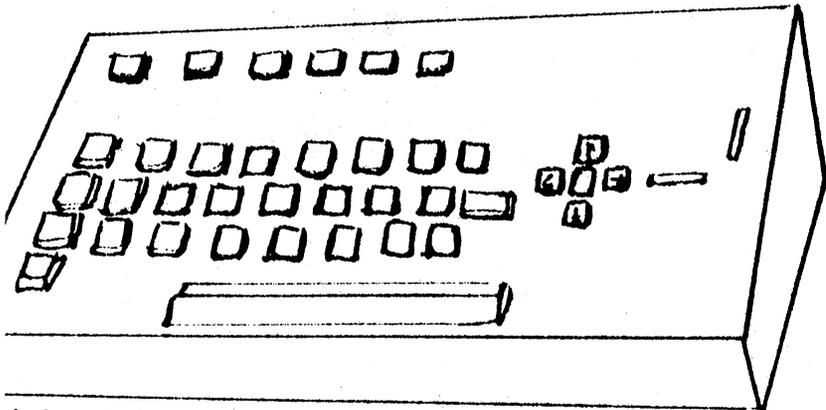
II.1.B.e. Les claviers

a) Alphanumérique (identique à celui d'une machine à écrire).

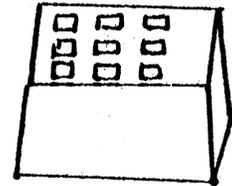
b) de fonction : ces claviers pouvant comporter certaines qualités ergonomiques (possibilité d'allumer les touches valides par exemple) sont assez souvent utilisés en CFAO. Une touche peut être associée soit à une fonction cablée (par exemple zoom) soit à un programme de façon permanente ou momentanée.

II.1.B.f. Les tablettes à numériser.

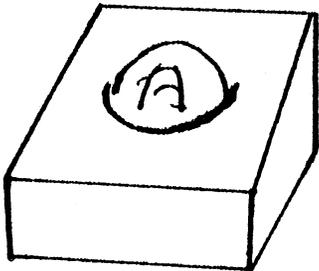
Des petites tablettes à numériser peuvent être utilisées pour le dialogue (menus...). Au stylo sur la tablette, sera associée une croix (ou un symbole quelconque) sur l'écran.



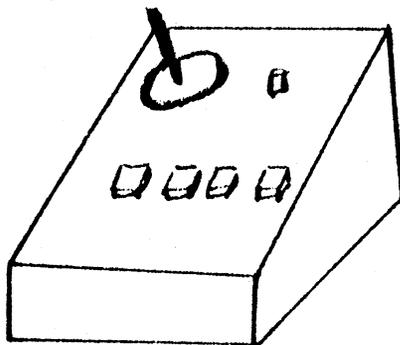
LAVIER ALPHANUMERIQUE + FONCTIONS
+ GUIDAGE RETICULE



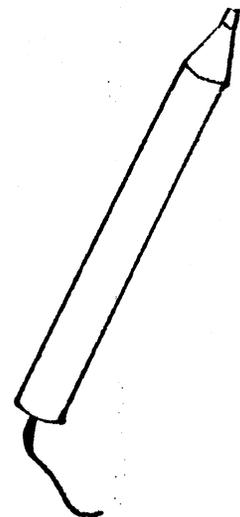
CLAVIER DE
FONCTIONS



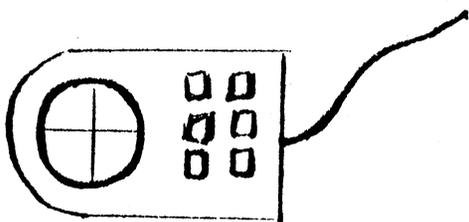
BOULE ROULANTE



MANCHE A BALAI



PHOTOSTYLE



CURSEUR (TABLETTE)

F.II.1. QUELQUES OUTILS DE DIALOGUE

Des tablettes qui peuvent être de très grande taille servent essentiellement à entrer des coordonnées. Elles se présentent sous la forme d'une planche à dessiner et diverses technologies peuvent être employées (électromagnétique, acoustique...). Elles permettent de relever des coordonnées (X,Y) pour les tablettes bi-dimensionnelles, (X,Y,Z) pour les tablettes tri-dimensionnelles (cf chap III la chaussure).

D'autres procédés peuvent être utilisés en particulier pour la récupération de formes complexes (moires, laser...).

II.1.C. Machines à dessiner.

Elles peuvent être à plat, à rouleau ou à tambour. La technique de base peut être le déplacement dans plusieurs directions plume haute, plume basse ou un balayage ligne par ligne (électrostatique). Les paramètres importants à prendre en compte sont les dimensions traitées, leur précision et leur vitesse (surtout pour les tables de technique plume haute, plume basse, puisque le temps de tracé dépendra de la complexité du dessin et de la vitesse de tracé, contrairement aux tables électrostatiques).

Les phototraceurs peuvent être considérés comme des machines à dessiner à plat destinées à faire du dessin sur des pellicules photo à partir d'une source de lumière très fine.

II.2. LOGICIELS POUR LA CFAO

Dans l'état actuel de la technique informatique, un système de CFAO repose essentiellement sur des programmes, dont les traitements s'appuient sur des données. Les données manipulées par un système de CFAO sont de natures très diverses (données graphiques, données techniques etc...) et très variables aussi bien en valeur qu'en quantité. Le ou les systèmes de gestion de bases de données (SGBD) du système de conception assistée par ordinateur seront donc un outil essentiel. Deux types d'outils dont l'importance est variable suivant l'application traitée, les logiciels graphiques et les logiciels de calcul sont également présents. Nous décrivons ces programmes par la suite.

II.2.A. Les S.G.B.D. pour la C.F.A.O.

Un SGBD pour la CFAO doit permettre à divers programmes de mémoriser, manipuler et extraire les caractéristiques et la structure d'objets conçus ou en cours de conception. Si l'on peut ainsi les rapprocher facilement des SGBD conçus pour la gestion, une différence fondamentale apparaît cependant à la première analyse :

Les SGBD pour la gestion sont conçus pour gérer une structure stable représentant un objet réel structurellement déjà existant (stock, personnel...) alors qu'un SGBD pour la CFAO doit gérer une structure dynamique, puisque l'objet à concevoir n'étant par définition pas connu au départ, sa structure évolue tout au long de sa conception. Le SGBD devra donc agir autant sur la structure que sur les données et les accès devront permettre de s'informer autant sur les données (valeurs) que sur la structure les contenant.

Force est de reconnaître que les systèmes de CFAO n'ont que fort peu disposé de SGBD adaptés aux problèmes CFAO. Historiquement, les programmes ont tout d'abord résolu des problèmes ponctuels, puis, lorsque le besoin d'intégrer ces programmes dans une chaîne s'est fait sentir, les concepteurs de systèmes les ont interfacés séquentiellement de telle sorte que les données fournies par le ième programme soient compréhensibles par le i + 1ème programme.

L'enchaînement des programmes n'étant évidemment pas une séquence unique, cette solution est apparue rapidement comme trop limitée.

Les premières bases de données créées dans le domaine de la CFAO l'ont été essentiellement pour les besoins graphiques (structures en anneau pour le rafraichissement constant des terminaux...). Au fur et à mesure que les systèmes sont devenus intégrés et que des relations entre systèmes ouverts sont apparues comme fondamentales, la nécessité d'avoir des SGBD adaptés à la CFAO s'est faite jour.

Il n'est pas dans nos intentions de développer longuement les problèmes de Bases de Données (B.D.) pour la CFAO, mais il nous semble indispensable, avant de montrer dans le chapitre IV certains aspects dans les logiciels que nous avons développés, d'exposer les caractéristiques essentielles d'un SGBD orienté CFAO.

II.2.A.a. Les Bases de Données (B.D.)

Les différentes données utilisées dans un processus CFAO sont décrites dans (DGM80, GAM81)

- . La B.D. technique : il s'agit de l'ensemble des données techniques de l'entreprise, aussi bien au niveau conception que fabrication (ex : fonctions réalisées par telle ou telle machine).
- . Le modèle du projet en cours : il s'agit de la représentation de l'objet en cours de conception (ou plus généralement du projet en cours). Nous utiliserons dans toute la suite le vocable MODELE pour cette base de données.
- . La B.D. projets antérieurs : il s'agit de la représentation d'objets déjà conçus. La B.D. projets peut être utilisée en consultation, en modification (sur demande du service après vente (SAV) par exemple) ou en utilisation (conception d'un objet à partir d'un objet antérieurement conçu dans l'entreprise).
- . La B.D. générale de l'entreprise : il s'agit de l'ensemble de données non techniques de l'entreprise. Ces données sont pour l'instant assez peu utilisées en CFAO car leur utilisation suppose l'existence d'un système de CFAO entièrement intégré.

Nous séparerons de ces différentes B.D. une base spécifique que nous appellerons base de connaissances (qui, d'un certain point de vue est une extension de la B.D. technique). Une connaissance est une information (dont le type importe peu, mais il s'agit en général d'une règle) dont l'utilisation est faite au cours d'un processus de résolution ou de démonstration (LAU79, BON81a). Cette base de connaissances contient donc le savoir faire de l'entreprise.

II.2.A.b. Caractéristiques essentielles des B.D. pour la CFAO

Ainsi que nous l'avons déjà exprimé, une B.D. pour la CFAO est essentiellement dynamique, tant du point de vue des données que du point de vue de la structuration des informations. Les autres caractéristiques générales qui nous semblent importantes sont les suivantes :

- . La structure des informations peut être très complexe,
- . Les informations contenues sont extrêmement variées (géométrie, topologie, données techniques...),
- . L'intervenant sur la BD est en général un concepteur (et non pas un administrateur de base de données) et le mode de travail est interactif.
- . Le taux de modification est très élevé et le SGBD doit admettre parfois une certaine incohérence, dans le cas, par exemple, d'une recherche de solutions en parallèle.

II.2.A.c. SGBD CAO existant

Plusieurs modèles ont été proposés pour représenter la structure des bases de données. Parmi ceux-ci, les plus utilisés pour les BD classiques sont :

- le modèle hiérarchique ou arborescent,
- le modèle réseau,
- le modèle relationnel.

Actuellement, si certaines tentatives ont été faites pour utiliser des SGBD classiques ou pour respecter les normes d'accès (FIS 79) , on ne peut affirmer que des SGBD généraux appliqués à la CFAO ont été développés. Certains efforts ont été faits et l'on peut signaler parmi ceux-ci en France, le développement de MIISFIT de son successeur MULTIBASE et de SOMINE (SAY76). Cependant ces SGBD restent extrêmement classiques. Dans la plupart des développements de systèmes de CFAO les auteurs de ces systèmes ont préféré réaliser des SGBD spécifiques bien adaptés à leur application et respectant ainsi des performances compatibles avec le mode de travail interactif. Signalons cependant la définition de SGBD spécialisés à certains domaines (chimie, cartographie...). Il s'agit de données communes à toute une profession qui peuvent être gérées de manière classique.

II.2.B. Les logiciels graphiques

Les logiciels graphiques pour la CFAO représentent la partie la plus visible et la plus spectaculaire d'un système. Rappelons tout d'abord que graphique et CFAO sont deux domaines ayant une partie commune, mais que, de même qu'il existe des systèmes de CFAO sans graphique, il existe des techniques graphiques hors CFAO (dessin artistique par exemple) et que si la CFAO utilise des techniques de graphique, ces techniques ont souvent été développées en dehors de la CFAO, avec pour préoccupation essentielle la visualisation d'objets ou de formes.

La plupart des journaux d'une presse peu ou prou spécialisée donnent à ce type de logiciels le nom de logiciels de Dessin Assisté par Ordinateur (D.A.O.). Si cette différenciation CFAO,DAO est séduisante au niveau des sigles, elle n'a en fait que fort peu de raisons d'exister dans la plupart des cas. En effet, la plupart des systèmes dits (à tort à notre sens) de D.A.O. sont en fait un support de conception (par un dialogue conventionnel composé de lignes etc...) et l'utilisation de "support" (plus commode qu'un langage) permet en fait (et c'est son but essentiel) d'enrichir le modèle de l'objet en cours de conception. Il s'agit finalement, un peu de dessiner et beaucoup de concevoir un objet, de définir son mode de fabrication etc...

Les logiciels graphiques utilisés en CFAO sont d'une grande variété en raison de la diversité des applications. Nous allons donc simplement définir de façon macroscopique quelques principes concernant des logiciels généraux utilisés pour la réalisation de systèmes de CFAO : les logiciels de base et les logiciels de modélisation tri-dimensionnelle.

II.2.B.a. Fonctions de base pour la manipulation et la représentation des objets

Nous nous proposons de montrer les fonctions que doivent remplir les logiciels de base aussi bien du point de vue du dialogue (interaction) que du point de vue de l'affichage. Il semble évident qu'une normalisation, au niveau des primitives du logiciel de base soit nécessaire pour permettre la réalisation de programmes d'application indépendamment, en particulier, des contraintes suivantes :

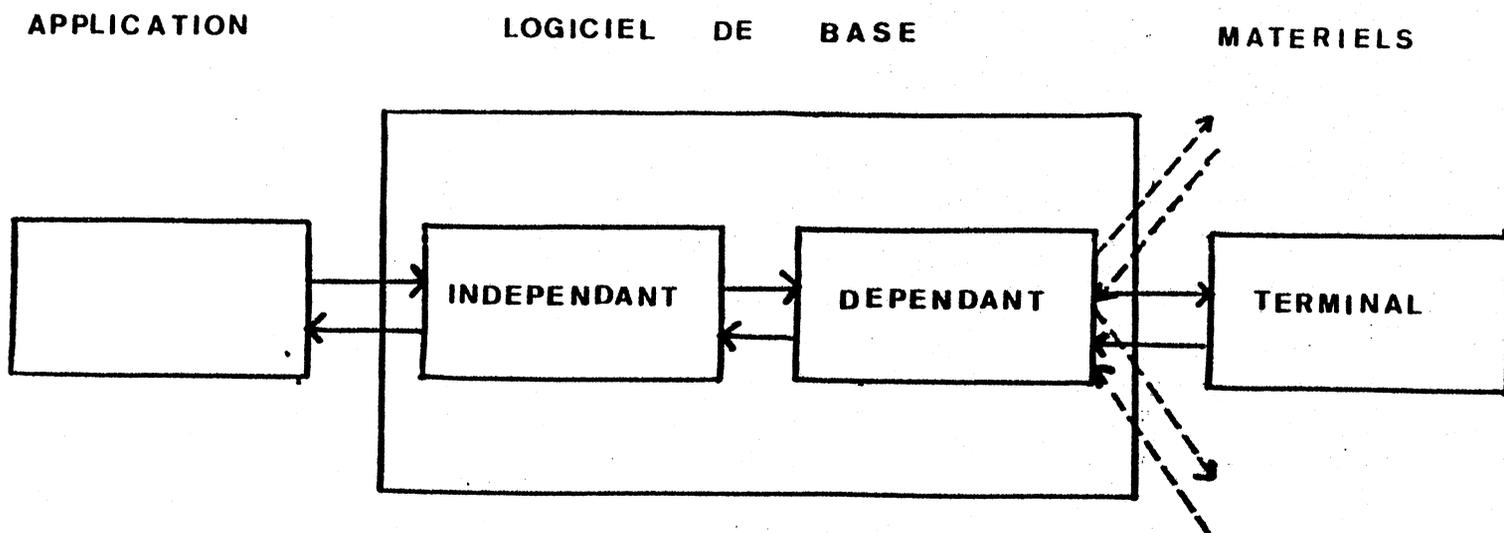
- . console (cf chapitre II.1) : présence ou non d'une mémoire d'entretien, dimensions de l'écran, type de balayage etc...
- . dispositifs de dialogue : dispositifs à touches, photostyle, tablette...
- . calculateur hôte,
- . langage hôte : Fortran, Pascal etc...
- . fonctions câblées : transformations géométriques, découpage etc...

Malheureusement, la diversité des logiciels de base sur le marché montre bien la difficulté d'établir une norme. Cependant, de nombreux travaux ont été faits depuis le milieu des années 1970. Citons parmi les groupes de travail :

- aux Etats Unis, le groupe de normalisation GSPC a proposé une première norme en 1977, revue en 1979. Cette norme est connue sous le vocable "CORE" (GSP 77).
- En Allemagne, un groupe de travail FNI a défini un logiciel de base très complet, connu sous le vocable "GKS" qui doit être retenu prochainement comme une norme par l'ISO (GKS 82).
- des associations de normalisation telles ISO ou AFNOR ont également tenu des réunions en vue d'unifier les efforts faits dans différents groupes de travail (C'est le cas de GKS en particulier).

Notre but n'est pas de montrer en détail quels sont les problèmes posés par la réalisation de logiciels de base, mais nous allons présenter quelques aspects utiles au concepteur de systèmes de conception assistée par ordinateur.

Nous définirons le logiciel de base en deux parties suivant la figure F.II.2.



F.II.2. LOGICIEL DE BASE

- . Une partie indépendante du matériel qui est l'interface (à travers les primitives) avec le programme d'application,
- . une partie dépendante du matériel qui devra gérer effectivement les moyens matériels disponibles (calculateur, unité d'affichage, moyens de dialogue).

Au niveau du dialogue, les primitives fondamentales sont :

- . valeurs alphanumériques : des primitives doivent permettre l'entrée de valeurs alphanumériques associées à des messages (cf READ et WRITE Fortran).
- . récupération de coordonnées : une ou plusieurs primitives doivent permettre au programmeur l'entrée de coordonnées planes (X,Y) ou de l'espace (X,Y,Z). Ces primitives doivent être indépendantes des moyens physiques utilisés (tablette, réticule, clavier...).
- . identification : il s'agit de donner au programmeur le moyen de demander à l'utilisateur final de "montrer" un élément. Cette primitive peut être indépendante des moyens physiques disponibles, mais elle sera surtout fonction de la structuration des données d'affichage. Par exemple, réaliser une identification sur un écran rafraîchi revient à décoder une interruption et parcourir une table de corrélation, alors que sur un écran tube mémoire, il est nécessaire de conserver en mémoire une liste de visualisation qui permette à partir de coordonnées (X, Y) de rechercher l'objet le plus proche.
- . menu : une primitive doit permettre de demander à l'utilisateur final de choisir entre certaines actions.

II.2.B.b. Modélisation tri-dimensionnelle

La représentation bi-dimensionnelle est souvent mal adaptée pour un objet un tant soit peu complexe. Dans les techniques classiques (sans CFAO), le plan est utilisé, ce qui permet de représenter un objet sous plusieurs vues. Lorsque l'objet est très complexe, des maquettes permettent de le représenter. Un modèle tri-dimensionnel a pour but la représentation virtuelle d'un objet dans ses trois dimensions. Parmi les travaux qui ont été menés dans ce domaine et parmi les logiciels opérationnels, il est possible de distinguer trois types de modèles tri-dimensionnels :

1. le modèle "fil de fer",
2. le modèle "surface",
3. le modèle "solide" (ou "volumique")

Le modèle "fil de fer" est historiquement le premier à avoir été mis en oeuvre. Il ne conserve que les coordonnées (X,Y,Z) des sommets et les arêtes les joignant. Il est de toute évidence très ambigu (cf figure F.II.3).

Le modèle "surface" permet la définition de surfaces parfois très complexes. Cette possibilité a souvent été ajoutée à des modèles "fil de fer" pour définir les surfaces d'un objet qui ne peuvent pas être automatiquement déduites du modèle "fil de fer". Cependant, ce modèle hybride ("fil de fer" + "surface") n'assure pas la non-ambiguïté de l'information telle que le fait que plusieurs surfaces déterminent ou non un volume .

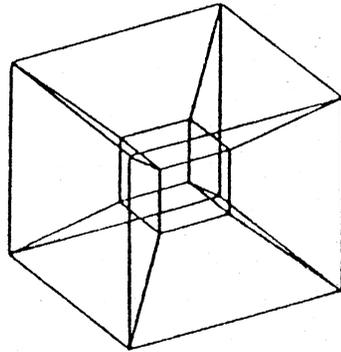
Le modèle "solide" permet la représentation d'objets complexes en assurant la cohérence de l'information, par reconnaissance en particulier de la matière.

D'un point de vue externe, le tableau T.II.3. montre, pour quelques actions, les possibilités des différents types de modélisation.

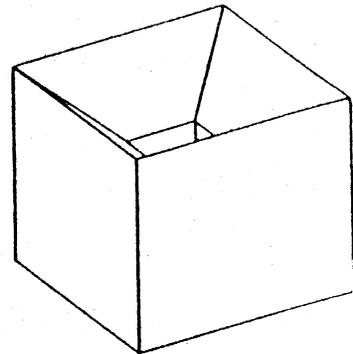
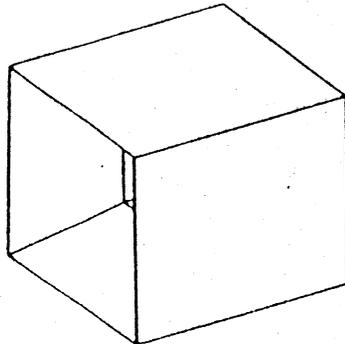
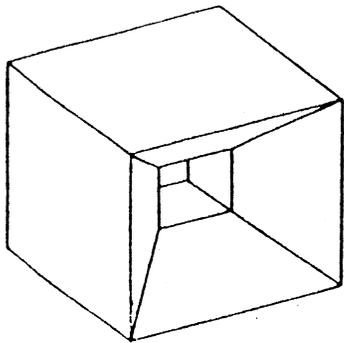
Nous analyserons les possibilités précises des modèles géométriques dans le chapitre IV et nous montrerons les solutions qui nous semblent applicables dans l'avenir.

Un modèle géométrique est souvent performant pour modéliser un objet. Or dans la plupart des cas, (en mécanique, par exemple), il s'agit de modéliser un nombre très grand d'objets. Ceci pose évidemment quelques problèmes (le nombre d'objets à manipuler influant fortement sur les performances de certains algorithmes, par exemple, l'élimination des parties cachées, mais la contrainte essentielle se trouve au niveau de la gestion de données graphiques et non graphiques, par exemple pour gérer dans un assemblage la répartition statistique des chaînes de cote)

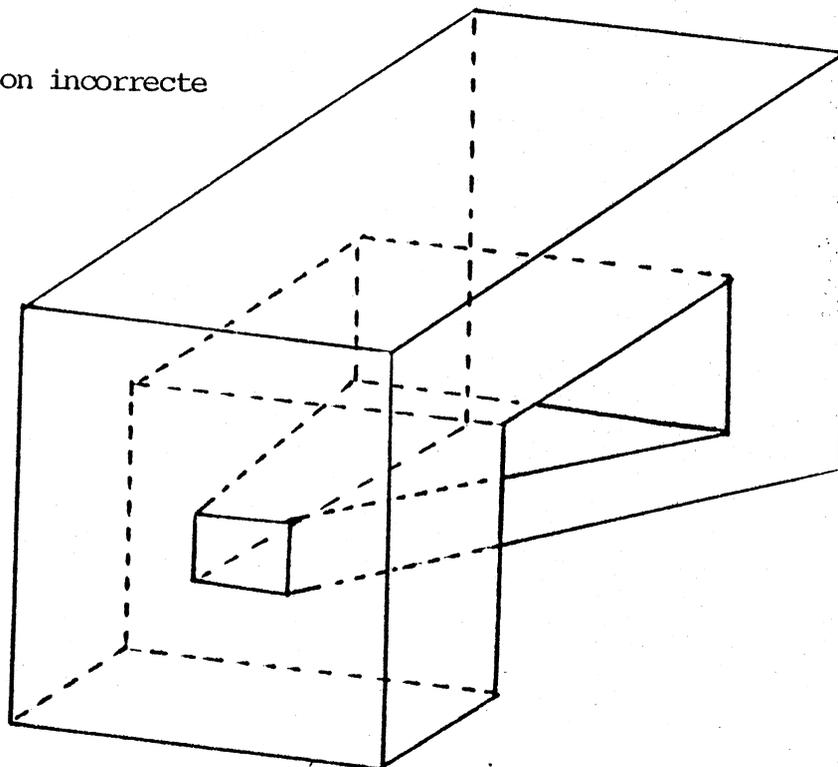
Représentation fil de fer



Trois interprétations possibles



Représentation incorrecte



	FIL DE FER	SURFACE	VOLUME
CALCULS GEOMETRIQUES (volume, banqueurs)	DIFFICILE ou IMPOSSIBLE	DIFFICILE ou IMPOSSIBLE	POSSIBLE
GENERATION DE VUES (perspectives, vues de face, de côté..)	SEULEMENT UN GUIDE	SEULEMENT UN GUIDE	POSSIBLE
ELIMINATION DE PARTIES CACHEES	MANUELLE	DEPEND DE LA DEFINITION DE LA SURFACE (POSSIBLE)	POSSIBLE
COUPES	GUIDE (INTERSECTIONS = POINTS)	GUIDE	POSSIBLE (MEME LES HACHURES PEUVENT ETRE TRACEES AUTOMATIQUEMENT)
C.N.	GUIDE	AUTOMATIQUE POSSIBLE	AUTOMATIQUE POSSIBLE
CHAINES DE COTES TOLERANCES	GUIDE	POSSIBLE	POSSIBLE
VERIFICATION D'INTERFERENCES	VISUEL (POSSIBILITE D'ENGLOBER LES OBJETS DANS DES BOITES)	VISUEL (TOUS LES VOLUMES NE SONT PAS DEFINIS)	POSSIBLE
FAISABILITE D'UN OBJET	AUCUNE ASSURANCE QUE L'OBJET SOIT FABRICABLE	IDEM FIL DE FER	POSSIBLE (POTENTIELLEMENT)
MESURES	PEU (DISTANCE ENTRE POINTS)	IDEM FIL DE FER + CALCULS DE SURFACES	TOUTES LES MESURES PEUVENT ETRE EXACTES (POTENTIELLEMENT)

T.II.1. COMPARAISON DES POSSIBILITES DE TROIS MODELES

II.3. LES IMPLANTATIONS MATERIELS-LOGICIELS

Nous avons abordé dans les deux parties précédentes, les aspects les plus importants des matériels et des logiciels pour la CFAO. Il est clair que les choix matériels et logiciels ne peuvent être indépendants. Nous allons donc dans ce chapitre étudier les éléments principaux de choix des matériels et les diverses implantations possibles en fonction de l'application traitée.

II.3.A. Choix des matériels

Nous ne donnons ci-dessous que quelques caractéristiques parmi les plus importantes des moyens matériels à mettre en oeuvre pour un système de CFAO. Ces caractéristiques doivent être complétées pour former la base d'un cahier des charges matériels.

- . calculateurs (puissance, etc...)
- . postes de travail,
 - nombre
 - type (graphiques...)
 - moyens de dialogue
- . traceurs.

Le choix final dépendra des contraintes de l'application, des réponses au cahier des charges matériels et d'un certain nombre d'aspects que nous ne traitons pas, malgré l'importance de certains (comme le coût par exemple).

Par exemple, si l'application nécessite la visualisation d'un nombre très important de vecteurs (plus de 10 000) avec une précision correcte, on choisira des écrans de type mémoire à balayage cavalier de préférence à des écrans de type rafraichi à balayage cavalier etc...

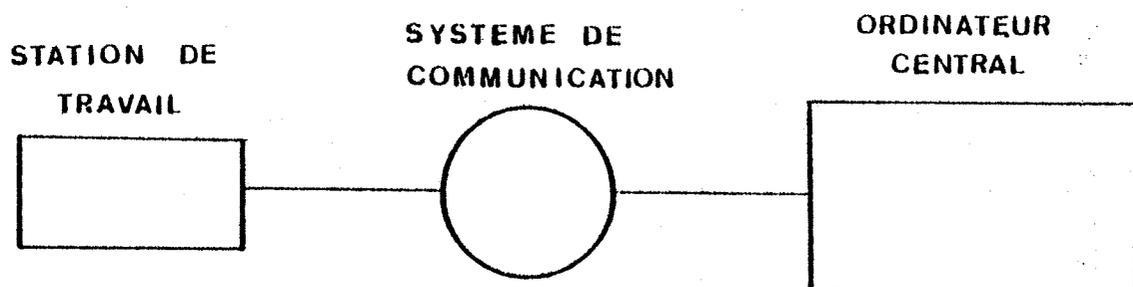
II.3.B. Implantations.

Pour choisir (ou réaliser) une configuration matérielle pour implanter la CFAO, il est nécessaire d'étudier :

- . les matériels,
- . les logiciels systèmes,
- . les communications entre les matériels,
- . les logiciels d'application CFAO

Si l'on considère un schéma général (cf figure F.II.4.), il définit les composantes suivantes :

- la station de travail
- le système de communications reliant n stations de travail à un ou plusieurs ordinateurs centraux
- le calculateur central



F.II.4. SCHEMA GENERAL MATERIEL

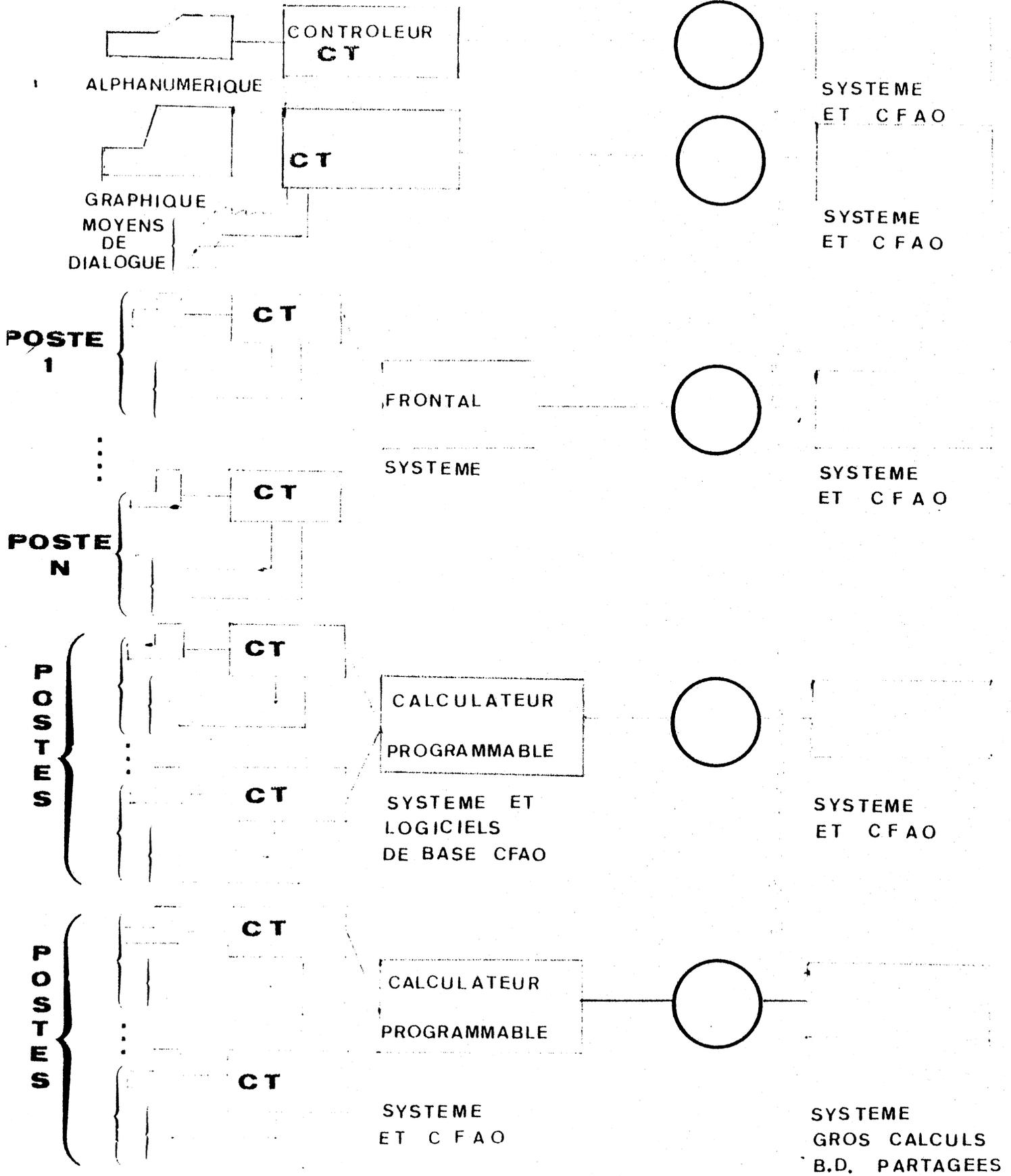
A partir de ce schéma général, on peut définir de façon non exhaustive différentes implantations possibles (cf figure F.II.5).

Les trois premiers cas représentent des stations de travail comportant plus ou moins de périphériques de différentes technologies allant par exemple du terminal alphanumérique n'ayant comme moyen d'entrée qu'un clavier jusqu'aux terminaux graphiques avec des moyens d'entrée nombreux et sophistiqués (claviers alphanumériques et de fonctions, tablette...). Les terminaux peuvent posséder un certain nombre de fonctions câblées ou micro-programmées, depuis la génération de vecteurs jusqu'aux transformations géométriques 2D et 3D ou les zoom.

Les cas suivants représentent des stations de travail comportant une certaine intelligence en local allant du simple processeur avec un système de base permettant la programmation de certaines fonctions (en particulier des fonctions graphiques) jusqu'à l'ordinateur plus ou moins puissant pouvant éventuellement contenir des parties importantes des logiciels de CFAO.

En ce qui concerne l'ordinateur central, il peut aller du mini ou micro-ordinateur jusqu'aux multi-processeurs les plus sophistiqués.

Des réseaux d'ordinateurs homogènes ou hétérogènes peuvent être nécessaires (c'est d'ailleurs l'un des cas où une certaine standardisation au niveau des données, créées par les systèmes de CFAO devrait permettre des réseaux composés de systèmes de CFAO très différents).



F.II.5. IMPLANTATIONS POSSIBLES

Le système de communication peut être une simple ligne asynchrone ou une connexion parallèle ou une connexion à travers les lignes d'un réseau. Son importance sur certains aspects est très grande (par exemple la vitesse de transmission qui doit être très rapide pour permettre une interactivité de bon niveau).

II.3.C. Evolution

On peut observer une évolution sur deux aspects essentiels:

- . les terminaux graphiques
- . le partage des fonctions entre ordinateur et poste de travail.

II.3.C.a. Les terminaux graphiques

L'apparition de terminaux graphiques à balayage télévision a conduit à une nette diminution des coûts pour des terminaux bas et moyenne gamme. Le nombre de points affichables est passé rapidement en mono-chrome de 256 x 256 à 512 x 512 puis à 1024 x 1024. Un terminal monochrome balayage télévision 512 x 512 coute actuellement moins de 20 000 F.

Dans le haut de gamme, on constate deux évolutions :

- . une nouvelle génération de terminaux alliant les avantages des écrans mémoires et ceux du rafraichissement (CEL 81) (TEK 81).
- . une utilisation de la couleur (bien que pour l'instant, souvent encore pour des raisons purement commerciales) va amener la réalisation de terminaux graphiques à balayage de télévision en couleur de bonne définition (1024 x 1024) pour des coûts très raisonnables.

Ces terminaux alliés à une certaine maturité des logiciels traitant la couleur, les ombrages, les textures ou la luminosité devraient permettre une ouverture intéressante vers des applications nécessitant des images réalistes dans les domaines, par exemple, de l'architecture, les professions artistiques ou les simulations d'atterrissage .

II.3.C.b. Partage des fonctions entre ordinateur et postes de travail

Depuis plusieurs années déjà, les concepteurs de terminaux graphiques ont essayé de déporter au niveau du terminal un certain nombre de fonctions, en particulier celles qui doivent être réalisées dans des temps de réponse très brefs, parfois en temps réel. Cette action a commencé par des fonctions du type découpage, et s'est poursuivie par les transformations géométriques en particulier.

Le terminal graphique de Evans et Sutherland est certainement un bon exemple à l'heure actuelle puisqu'il comporte, comme fonctions cablées, les transformations géométriques 2 et 3D, le zoom, le découpage, les perspectives...

Depuis quelques temps apparaissent également des terminaux dits "intelligents" qui sont en fait des mini ou des micro ordinateurs sur lesquels il est possible d'intégrer une partie des applications de CAO. Les logiciels de base ou un logiciel de dessin assisté bi-dimensionnel peuvent ainsi être implantés sur des moyens locaux, l'ordinateur central étant alors essentiellement chargé de dérouler les calculs nécessitant une grande puissance ou de gérer les bases de données nécessitant des mémoires de masse importantes et des accès rapides à ces mémoires. C'est ainsi que l'on verra certainement de plus en plus la gestion des données du MODELE en local avec éventuellement la possibilité d'appeler en local certaines bibliothèques afin d'avoir une interactivité de très bon niveau. Ces notions de partage, de fonction seront également influencées par les techniques de processeurs parallèles et de calculateurs matriciels.

L'utilisation de la technologie VLSI permet ainsi d'envisager la résolution de problèmes nécessitant des calculs importants, tels que l'élimination des parties cachées, en temps réel. En ce qui concerne l'élimination des parties cachées qui reste un des problèmes de base de la plupart des systèmes de visualisation, certaines solutions ont déjà été proposées (ROK 81).

Les techniques de traitement d'images et de reconnaissance de formes devraient également permettre des améliorations considérables au niveau des entrées tant bi-dimensionnelles (des reconnaisseurs de symboles ou de caractères en temps réel existent, mais l'entrée d'un plan de mécanique pose des problèmes plus complexes et non résolus dont nous parlerons dans le chapitre VII) que tri-dimensionnelles (entrée d'un paysage, d'une forme humaine, etc...).

II - 4. QUELQUES REMARQUES SUR L'INTERACTIVITE

Le processus de conception est lié à un certain nombre de décisions et de choix. Ces décisions peuvent être classées en trois catégories :

Décisions non programmées .

Il s'agit d'actions pour lesquelles il n'est pas possible de déterminer un processus décisionnel, parce que les informations sont trop abondantes, non structurées qu'aucune méthodologie n'a été dégagée, etc... Ces décisions restent donc entièrement de la responsabilité du concepteur et ne sont pas, dans l'état actuel de la technique , modélisables par un algorithme .

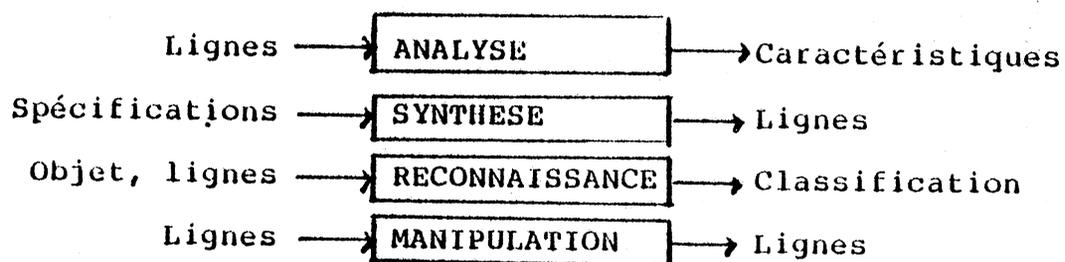
Décisions programmées

Ces décisions sont prises de manière entièrement déterministes et peuvent être décrites par un algorithme. C'est le cas par exemple des décisions prises dans la conception de produits normalisés pour lesquels à partir du cahier des charges, l'ensemble du processus de conception est connu (voir l'exemple roulement à billes en VI).

Décisions semi-programmées

Il s'agit d'actions dont une partie du processus décisionnel est formalisable, une autre partie ne l'étant pas. C'est le cas de la plupart des processus de conception fabrication et c'est un domaine privilégié pour un système interactif.

Les systèmes de CFAO s'appuient très souvent sur une communication homme-machine à travers le dessin qui reste un support privilégié. Si l'on considère ce support, les lignes (ou les images) peuvent être l'objet de traitements de plusieurs types :



Dans le premier cas (ANALYSE), le dessin est le support de traitements : calcul d'une longueur, recherche du plus court chemin

Dans le second cas (SYNTHESE), le dessin est établi à partir de spécifications, par exemple réalisation d'un plan à partir de certains paramètres.

Dans le troisième cas (RECONNAISSANCE), il s'agit à partir de formes ou de dessins, de classer, c'est tout le domaine de la reconnaissance de formes ou d'images.

Enfin, le dernier cas (MANIPULATION), représente toutes les interactions qui permettent de créer, modifier, enrichir un dessin.

Ces différents aspects peuvent intervenir dans un système de CFAO, à travers des capteurs (RECONNAISSANCE), par exemple pour connaître le monde environnant l'objet à concevoir, les calculs (ANALYSE), les algorithmes (SYNTHESE), pour des conceptions modélisables et l'interaction (MANIPULATION) pour faire évoluer le processus de conception.

La qualité des interactions dépend d'un certain nombre de facteurs matériels (qualité des écrans, moyens d'interaction disponibles, environnement..) mais également des programmes (moniteur de dialogue, gestion des moyens physiques, performances..) et de la structuration des données.

Si les qualités nécessaires en ce qui concerne le matériel sont assez faciles à prendre en compte à partir de certaines notions se résumant essentiellement à des facteurs ergonomiques adaptés au type de travail (luminosité...), et des critères de performances (vitesse d'affichage, vitesse de la ligne de connexion du terminal au calculateur...), celles qui caractérisent les programmes et structures de données méritent que nous nous y arrêtions un peu.

Il est bien évident que programmes et structures des données sont fortement corrélés pour obtenir de très bonnes performances. Nous insisterons cependant sur quelques points qui nous semblent parfois un peu délaissés :

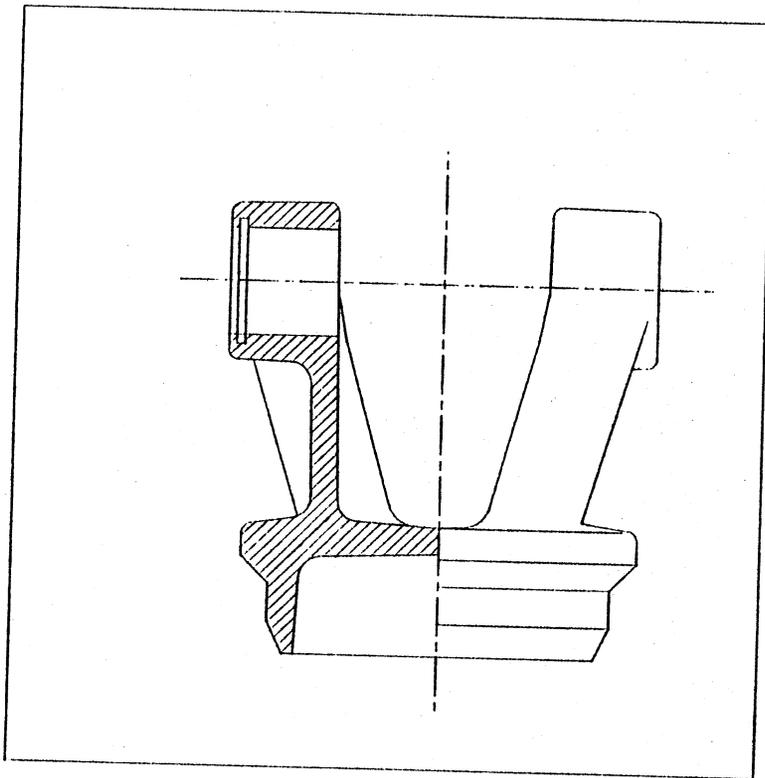
. les performances d'un algorithme dépendent très souvent d'opérations de base très simples, mais utilisées des milliers de fois par l'algorithme. C'est le cas par exemple du découpage qui est utilisé pratiquement pour l'affichage de chaque segment d'un dessin; c'est également le cas de l'intersection de segments ou de contours dans certains algorithmes d'élimination de parties cachées. Ces opérations de base doivent donc être bien analysées, et être soit programmées de façon très performante, soit cablées ou microprogrammées.

. la structuration des données de la scène doit éventuellement évoluer au cours des manipulations. Par exemple, la réalisation d'un sous-ensemble en mécanique va nécessiter la possibilité d'identifier des traits ou des arcs de cercles pour construire des tangentes, "gommer" des parties de segments ou d'arcs, etc... En revanche, au moment de l'assemblage, l'élément de base de la scène pour l'identification peut devenir le sous-ensemble, avec parfois interdiction d'accéder aux segments et arcs de cercles.

. le poste de travail considéré dans son ensemble doit éventuellement pouvoir évoluer, le dialogue pouvant être en mode tutorial pour un opérateur débutant pour l'être de moins en moins au fur et à mesure que l'opérateur acquiert de l'expérience dans l'utilisation du système.

. le langage naturel étudié dans d'autres disciplines n'est pas forcément pour un opérateur le français ou l'anglais, mais un compromis entre le dessin et des messages alphanumériques. Dans certains cas où le processus de conception ne comporte que des décisions programmées, le dessin en tant que support de conception a pu disparaître (c'est le cas des standards, par exemple un fabricant d'ascenseurs), dans d'autres cas, il n'a jamais eu de raisons d'être (calculer un roulement à billes ne nécessite pas forcément la représentation graphique du roulement), mais dans tous les autres cas, il est permis de penser que la représentation graphique restera un support privilégié de la conception et que la manipulation de cette information demeurera le langage naturel (au moins en partie) du concepteur.

**III - UNE METHODE D'INTRODUCTION DE LA CFAO
DANS L'ENTREPRISE**



(GRI 2D)

III.1.DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE

La figure F.III.1 montre de façon macroscopique et schématique le développement et la diffusion d'une nouvelle technologie.

La première phase "d'invention" technique est souvent l'oeuvre d'équipes de recherche industrielles ou universitaires. Elle débouche en général sur une ou des maquettes n'ayant pour but que de valider l'"invention".

Dans un deuxième temps, une première application est réalisée à partir de cette idée. Elle aboutit à un projet pilote. Ce projet pilote peut déjà s'appuyer sur les premiers utilisateurs ("cobayes") et c'est même souvent nécessaire pour que le système soit adapté à l'utilisateur final.

Le système implanté chez ces "cobayes" peut être considéré comme un système de démonstration en vraie grandeur. Si ces "cobayes" appliquent avec succès cette nouvelle technique (techniquement et économiquement), la diffusion vers d'autres utilisateurs se fera naturellement et rapidement.

Dans le cas de la conception assistée par ordinateur, un certain nombre d'écueils sont dus au fait que l'on s'intéresse au "cerveau" de l'entreprise à travers son savoir faire. Les points déterminants de l'adoption de la technique CAO sont ainsi de plusieurs types : techniques, économiques, humains.

III.1.A. Techniques

Les systèmes de CAO doivent avoir en particulier les qualités suivantes :

- . adaptation au problème posé
- . adaptation aux utilisateurs (facteurs ergonomiques, performances des communications homme machine...)
- . fiabilité (aussi bien matérielle que logicielle).

D
E
V
E
L
O
P
P
E
M
E
N
T

"INVENTION"
TECHNIQUE

MAQUETTE

PREMIERE
APPLICATION

PROJET
PILOTE



D
I
F
F
U
S
I
O
N

"COBAYES"

DEMONSTRATION

GENERALISATION
DE
L'UTILISATION

PRODUIT
DIFFUSE

**F.III.1. DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION
D'UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE**

III.1.B. Economiques

Les avantages économiques de l'introduction de la CFAO dans un processus de conception - fabrication sont bien souvent difficiles à évaluer. Dans le passé, les responsables de la mise en oeuvre de systèmes de CFAO; ont le plus souvent fait un pari sur l'avenir. S'il en est encore parfois de même aujourd'hui, les expériences réussies et une analyse plus fine des retours d'investissements (LEV 81)(BON 81) permettent cependant par l'évaluation de certains critères de décider avec une marge d'erreur de l'intérêt économique de la CFAO. dans la plupart des cas. Nous verrons en III.2.B.C. quels sont les principaux critères.

III.1.C. Compétences

Lors du choix d'un système (achat ou développement), une grande compétence est nécessaire dans deux domaines :

- . la technique CFAO
- . le savoir-faire de l'entreprise.

Dans les phases suivantes (utilisation du système), la compétence CFAO peut disparaître presque complètement. Une formation des utilisateurs finals pourra être d'autant plus aisée que la communication homme-machine du système CFAO sera performante.

III.1.D. Risque à prendre

L'adoption d'une nouvelle technique est souvent un processus à risque, d'autant qu'en ce qui concerne la CFAO, l'aspect économique est, dans la plupart des cas, difficile à évaluer. Ce risque est évidemment plus important pour les "cobayes" puisque très peu d'informations sont disponibles au moment où ils adoptent la technique (d'où les aides apportées par les Pouvoirs Publics aux actions "pilotes").

III.1.E. Problèmes humains

Comme souvent lors de l'introduction d'une nouvelle technique, un certain nombre de problèmes humains peuvent se poser. Ils sont de plusieurs types :

- utilisation du matériel : l'utilisation d'écrans graphiques pose un certain nombre de problèmes déjà connus dans une moindre mesure en bureautique pour l'utilisation d'écrans alphanumériques. Dans ce domaine, il ne semble pas qu'une règle générale puisse être définie. Il est courant d'affirmer que deux heures consécutives d'utilisation d'un écran graphique sont une norme à ne pas dépasser. Nous avons cependant vu de nombreux exemples aux Etats-Unis (et quelques-uns en France) où les utilisateurs passent de 6 à 8 heures par jour devant leur écran. Nous pensons qu'il faut tenir compte du type de travail effectué.

Dans le même ordre d'idée, il est certain que les bureaux d'études, contrairement aux ateliers de production, n'ont pas l'habitude de travailler en équipes. Ce fait est dû à l'absence de machines d'un coût important dans les bureaux d'études.

L'introduction de systèmes de CFAO va modifier complètement cet aspect puisque leur coût peut être de plusieurs millions de francs; un amortissement sur plusieurs équipes (2 ou 3) deviendra nécessaire (c'est déjà le cas dans certaines entreprises).

- Evolution du contenu des tâches : plusieurs points de vue s'affrontent dans ce domaine : pour les uns, la CF AO en libérant les utilisateurs des tâches fastidieuses leur permettra de concentrer leurs efforts sur les tâches les plus nobles, pour les autres, la CFAO introduira à terme une certaine forme de Taylorisme dans les bureaux d'études (Taylorisme qui existe déjà, par exemple par la séparation entre tâche de conception et tâche de recopie de dessin).

Il n'est pas dans notre intention de développer ce sujet bien trop vaste et qui est étudié par des spécialistes. Bien, qu'il soit trop tôt pour l'affirmer de façon générale, il apparaît cependant que l'introduction de la CAO dans les bureaux d'études n'a, lorsque cette introduction a été faite en prenant toutes les précautions nécessaires, posé que fort peu de problèmes de ce type. Nous pensons cependant qu'il faut tenir compte des remarques faites par les personnes ayant travaillé sur le sujet, en particulier sur l'évolution plus ou moins positive pour l'utilisateur du contenu des tâches (COO 80a), (COO 80b), (POI 80), (BRI 81).

- Evolution des qualifications : cet aspect qui est fortement corrélé à l'évolution du contenu des tâches dépend de nombreux facteurs (taille du bureau d'études, part du créatif par rapport au répétitif...). L'expérience montre qu'en général, les premiers utilisateurs, qui sont normalement choisis parmi les plus motivés voient un accroissement de leur qualification, tant du point de vue du savoir faire que du point de vue de la hiérarchie. En revanche, certaines utilisations des systèmes de CFAO comme outil de production, peuvent mener à une déqualification des utilisateurs (c'est le cas des décisions programmées).

III.1.F. Mise en oeuvre.

Le temps de mise en oeuvre d'une nouvelle technique dans une entreprise peut être long. Dans le cas de la CFAO, il est extrêmement difficile à évaluer, car les performances du système seront souvent liées au fait que l'historique "utile" de l'entreprise aura été entré dans le système (par exemple s'il est courant de dire qu'un système de CFAO permet des modifications de plans facilement et rapidement, encore faut-il que ces plans soient connus du système).

On peut ainsi faire apparaître deux facteurs importants dans la mise en oeuvre du système dans l'entreprise :

- . formation des utilisateurs finals (cf c)
- . enrichissement du système : définition des nomenclatures, entrée dans le système des études déjà faites pour modifications ultérieures ou comparaison (devis) avec de nouvelles études, définition des standards, gestion du système entre les différents services...

Dans le cas de la CFAO, le fait de s'adresser au "cerveau" de l'entreprise impose une méthode d'introduction de la CFAO. C'est cette méthodologie que nous allons décrire dans la suite de ce chapitre en nous appuyant sur des exemples choisis parmi ceux que nous avons étudiés.

III.2.ASPECTS GENERAUX DE LA METHODE

On ne peut faire effectuer par un ensemble informatique (dans l'état de la technique actuelle) que des actions ou des opérations formalisées. Ainsi, lorsque l'on désire inclure l'ordinateur dans un processus industriel, il faut tout d'abord analyser ce processus.

L'étude de l'insertion de la CFAO dans une entreprise s'appuiera ainsi sur l'analyse du problème et du processus mis en oeuvre pour le résoudre. Cette première partie de la méthode fait appel aux compétences internes des entreprises pour aboutir à une analyse critique du processus de conception-fabrication propre à l'entreprise.

Cette analyse faite en collaboration avec des personnes compétentes en CFAO permet de définir pour un problème donné et pour les contraintes exprimées, un processus idéal de CFAO en faisant apparaître, d'une part les outils (en étant réaliste vis-à-vis de l'état de la technique CFAO) et d'autre part, les bases de données nécessaires.

Ce processus idéal ne doit tenir compte que modérément des limites techniques et financières afin de ne pas pratiquer une "auto-censure". C'est dans la phase suivante seulement que l'on définira exactement les moyens que l'on veut mettre en oeuvre et que l'on devra aboutir au cahier des charges informatique.

III.2.A. Analyse de l'entreprise

Phase 1 : Analyse du processus de conception-fabrication

Une analyse fine du processus de conception-fabrication avant l'insertion de l'outil CFAO doit être effectuée par une équipe composée d'"Experts" dans le domaine de la CFAO et de personnels compétents des services études et méthodes (éventuellement de la direction technique et de la direction fabrication).

Cette analyse débouche sur un schéma précis décrivant les différentes actions, leurs relations et le flux d'informations (cf exemples III.3).

L'expérience du spécialiste doit permettre de déterminer rapidement les directions qui doivent être explorées de manière exhaustive, en fonction du type de conception-fabrication de l'entreprise.

Il devra, suivant les cas, porter une attention particulière à la réalisation de devis en fonction de fabrications antérieures, aux taux de modifications de plans (le temps de recherche et de tirage d'un plan pour le modifier est parfois surprenant...) l'existence de standards et de pièces paramétrables, les règles de conception, les réglementations à respecter et, en ce qui concerne le passage à la fabrication, la gestion des nomenclatures, les gammes, l'appel à la sous-traitance et l'état de l'outil de production.

En fin d'analyse du processus de conception-fabrication, l'équipe pluridisciplinaire à laquelle participeront les dirigeants de l'entreprise (Directeur Technique, PDG) devront identifier le ou les problèmes à résoudre (Ex: manque de qualité du produit fabriqué, temps de réponses aux appels d'offres trop long, devis n'utilisant pas les études antérieures, coût d'études importants...).

Phase 2 : Système de CFAO idéal

La phase 1 permet de définir un cahier des charges externes pour un système de CFAO "idéal" pour l'entreprise comportant une description de :

- . fonctions à réaliser,
- . informations manipulées,
- . performances désirées,
- . dialogue utilisateurs-système de CAO.

Cette description devra, en particulier, présenter, en face de chaque phase du processus de conception-fabrication, son état dans un processus "idéalement" assisté par ordinateur, c'est-à-dire (figure F III.2).

- . opération non touchée : il s'agit d'une opération qui, même dans le contexte d'un système de CFAO idéal n'est pas modifiée
- . opération intégrée : il s'agit d'une opération assistée par l'ordinateur, en général de manière interactive. Par exemple, une opération de dessin pourra être aidée interactivement, sans que le dessinateur ne perde l'initiative de l'action.
- . opération automatisée : il s'agit d'une opération réalisée automatiquement par le système de CFAO. C'est le cas de la mise à plat dans l'exemple de la chaussure (III.3) ou si l'on excepte l'entrée des données, le cas des pièces paramétrées comme le plan client d'un roulement à billes (VI.2) ou enfin, dans un cadre plus général, la programmation des machines à commande numérique, la bande de programmation d'une commande numérique pouvant être déduite pour une bonne part automatiquement de la description de la géométrie (et de quelques renseignements sur le type d'outil...).

ETAPES DU PROCESSUS

	ACTUEL	AVEC CFAO
CONCEPTION	a	OPERATION NOUVELLE
	b	OPERATION NON TOUCHEE
DEVELOPPEMENT	d	OPERATION INTEGREE
	k	OPERATION SUPPRIMEE
LANCEMENT	n	OPERATION AUTOMATISEE
	r	OPERATION INTEGREE
FABRICATION	s	OPERATION SUPPRIMEE

**F.III.2. EXEMPLE DE CORRESPONDANCE D'OPERATIONS
ENTRE PROCESSUS SANS ET AVEC CFAO**

- . opération supprimée : il s'agit d'une opération qui n'a plus aucune raison d'exister dans le cadre de l'utilisation du système CFAO. Un exemple intéressant est celui de la suppression de la fabrication de gabarits pour la découpe de peaux dans le cas de la chaussure (II.3.) et dans une moindre mesure de la suppression à terme de la fabrication de maquettes dans la conception de mécanismes de disjoncteurs (cf VI.1).
- . opération nouvelle : l'intégration d'un système de CFAO peut nécessiter des phases totalement nouvelles. C'est le cas de beaucoup d'entrées nécessaires au systèmes qui n'étaient qu'implicites, par exemple la description de standards et leur entrée dans le système (alors qu'ils n'étaient que consultés dans des catalogues).

Le système idéal pour l'entreprise sera décrit par :

- . les outils nécessaires : calculs, modélisation tridimensionnelle...
- . la ou les bases de données (B.D.) utilisées,
- . les relations entre les outils et les bases de données.

Les exemples présentés en III.3. montreront quelle peut être la complexité de l'ensemble sur des cas assez simples.

Phase 3. Le système de CFAO pour l'entreprise

Le système "idéal" pour l'entreprise décrit dans la phase 2 ne sera que rarement directement applicable à l'entreprise pour des raisons techniques (outils non adéquats, gestion des B.D. trop complexe...), financières (retour d'investissement non prouvé), organisationnelles (organisation de l'entreprise à modifier...) ou humaines.

L'aspect essentiel de cette phase sera donc de choisir le ou les problèmes(s) à traiter tout en considérant cependant l'ensemble du processus conception-fabrication de l'entreprise.

Il est important que la CFAO soit acceptée et si possible que les extensions soient demandées par les concepteurs. C'est pourquoi il faudra souvent choisir comme point à traiter en priorité par la CFAO, un problème dont on sait qu'il sera bien résolu à l'aide du système, tant du point de vue technique que des points de vue facilité d'utilisation et rentabilité. Il est cependant important de placer cette résolution dans le contexte général. On débouche alors sur trois cas possibles :

- a) Cas idéal : pour un problème posé, un système existant sur le marché répond parfaitement aux spécifications exprimées en 3). Les problèmes techniques étant alors résolus, seuls les aspects financiers et humains (problème d'introduction de l'outil) doivent être analysés.
- b) Cas résolu pour un sous problème : l'analyse du problème (1 et 2) a montré que la résolution d'un de ses aspects peut être rentable. Un système de CFAO partiel peut être mis en oeuvre. L'analyse 1, 2, 3, permet alors d'implanter ce système dans un contexte bien connu.
- c) Cas non résolu : Ce cas débouchera en général vers le processus déjà classique dans d'autres domaines :
- . étude de faisabilité (maquette)
 - . analyse détaillée à partir de la maquette (cahier des charges interne du système)
 - . Cahier des charges technique interne du système, définition du planning de développement et des investissements,
 - . développement du système de CFAO,
 - . mise en oeuvre.

III.2.B. Mise en oeuvre

La mise en oeuvre d'un système de CAO comporte des aspects techniques, organisationnels et socio-économiques (cf III.1.). Nous n'insisterons pas sur les problèmes humains que nous avons effleurés en III.1.E. et nous nous contenterons de résumer l'ensemble des problèmes techniques dont certains aspects (modélisation) sont traités par la suite.

Nous analysons ensuite trois aspects fondamentaux :

- . L'influence de la CFAO sur l'organisation de l'entreprise,
- . Les principales contraintes économiques,
- . Les éléments essentiels à prendre en compte pour le choix d'un système et le rôle des vendeurs.

III.2.B.a. Aspects techniques essentiels

D'un point de vue technique, les aspects suivants doivent être étudiés :

- . Gestion des données,
- . Modélisation géométrique,
 - . 3D
 - . 2D
 - . Paramétrisation
 - . Modélisation fonctionnelle (assemblage ...)
- . Interactions Homme-Machine
 - . graphique interactif
 - . langages
- . Outils de suivi de projet,
- . Techniques d'intelligence artificielle,
- . Logiciels de service (traitement de texte...),
- . Liaisons fabrication (CN, gammes...),
- . Maintenance, ouverture....,
- . Matériels
 - . calculateurs
 - . dialogue
 - . écrans
 - . claviers
 - . traceurs

- . implantations possibles
 - . centralisé
 - . réseau
 - . intelligence locale

III.2.B.b. Influence de la CFAO sur l'organisation de l'entreprise

Il apparait globalement que trois étapes doivent être considérées

- a.1. Le choix et l'installation du système ;
- a.2. La mise en oeuvre du système jusqu'à ce qu'il soit réellement opérationnel ;
- a.3. L'utilisation du système.

L'influence du système CFAO sur le processus conception-fabrication devra être parfaitement définie par l'étude que nous avons décrite précédemment et que nous illustrons par des exemples dans la suite de ce chapitre.

Nous allons donc essentiellement rechercher les types de personnes qui doivent être impliquées dans les trois phases.

Phase a.1.

Ainsi que nous l'avons montré, cette phase devra être réalisée par une équipe pluri-compétente, en particulier en ce qui concerne l'étude du processus décrit en III.1.

- . des concepteurs, personnels de bureau de méthodes, etc..
- . des "spécialistes" CFAO.

La phase effective de choix imposera la présence de financiers, surtout si l'investissement nécessaire est important. Nous verrons en II.2.B.C. l'étude économique qui peut être faite.

Après l'analyse décrite en III.2, cette équipe devra en particulier :

- . Planifier l'introduction du système CFAO.
- . Planifier les changements de tâches, la poursuite de certaines d'entre elles manuellement, etc...
- . Organiser la montée en charge en choisissant bien les données qui doivent être "entrées" dans le système pour que celui-ci soit efficace (gestion de l'historique, standards...) et les programmes d'applications et de dialogue qui devront être développés.
- . Décider qui accédera au système et dans quels délais.
- . Prévoir la formation des personnes qui seront concernées par les phases a.2 et a.3.
- . Décider s'il y aura besoin d'experts en CFAO généralistes (fera-t-on appel à des spécialistes externes ?)
- . Prévoir l'éventuel besoin d'experts en CFAO programmeurs.
- . Choisir qui former à l'utilisation du système ? (en général les utilisateurs du système CFAO sont naturellement pris parmi les personnels existants et l'expérience prouve que le fossé existant entre un bon concepteur et un concepteur moyen ne fait que s'accroître avec l'utilisation de la CFAO. Il est admis également que le meilleur critère de choix des premiers utilisateurs est qu'ils soient compétents dans leur domaine et favorables autant que possible à la technique CFAO.
- . Organiser la formation.
- . Déterminer les modifications à apporter à l'organisation de l'entreprise et aux transferts d'informations pour que le système CFAO soit introduit dans un contexte favorable.
- . Etudier quelles adaptations seront nécessaires pour que le système devienne opérationnel.
- . Evaluer les critères qui permettront de vérifier que le système de CFAO est rentable.

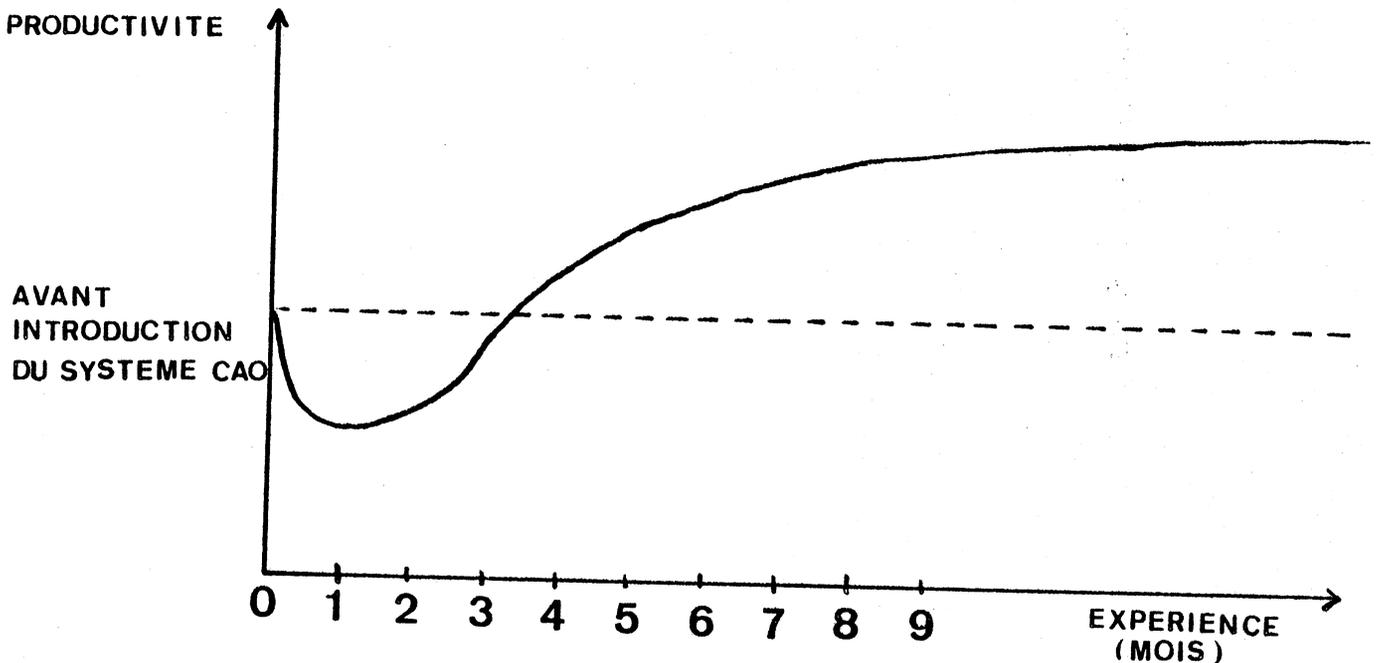
Phase a.2.

En général, un système acheté dans le commerce ne répondra pas entièrement aux problèmes de l'entreprise. Cependant, si l'on considère un cas relativement caricatural, on peut définir deux parties dans cette phase :

- a.2.1. Recette du matériel et du logiciel de base commandés.
- a.2.2. Adaptations du logiciel, prise en compte de la montée en charge du système.

La partie a.2.1. est assez simple à décrire puisqu'il s'agit de constater que le produit acheté correspond bien aux spécifications prévues. Il faut remarquer cependant qu'il est impossible du fait de leur complexité et de leur utilisation en interactif de tester entièrement les logiciels de CFAO.

La partie a.2.2. implique l'application du plan de montée en charge et de formation du personnel prévus dans la phase a.1. On peut remarquer que le personnel formé à l'utilisation du système est en général celui de l'entreprise et qu'il faut tenir compte d'une baisse de productivité durant le début de l'utilisation du système pouvant durer pour des systèmes complexes de 3 à 6 mois (beaucoup moins pour des systèmes simples) (cf figure F.III.3).



F.III.3. PRODUCTIVITE EN FONCTION DE L'EXPERIENCE D'UTILISATION D'UN SYSTEME

Un certain nombre de fonctions spécialisées doivent également être développées. Elles pourront l'être de façon interne à l'entreprise par une équipe "calcul" ou par le vendeur. Il est évident que certains développements nécessiteront de véritables "spécialistes" de CFAO et qu'il sera souvent nécessaire, en particulier pour les PMI de faire appel à des compétences externes. On peut considérer, en effet, que la PMI disposera rapidement d'experts dans l'utilisation du système (qui pourront ainsi en former d'autres), mais difficilement d'experts dans la programmation de fonctions spéciales (qui devront souvent très bien connaître le logiciel de base) ou même d'un expert de CFAO en général qui pourra prévoir les plans d'action, déterminer la meilleure utilisation du système, etc...

Phase a.3.

La dernière phase est donc l'utilisation du système CFAO. Elle est essentiellement le fait des utilisateurs formés au système.

Cependant, il ne faut pas mésestimer l'intervention d'autres types de personnes :

- . l'expert en CFAO généraliste (interne ou externe à l'entreprise) pour revoir en fonction de l'expérience, le plan CFAO qui avait été défini dans la phase a.1.
- . l'expert en CFAO programmeur (interne ou externe à l'entreprise) pour des modifications complexes du système de base ou des applications importantes difficiles à mettre en oeuvre par des programmeurs d'application.
- . le programmeur d'application (qui pourra souvent être issu du bureau d'études) pour la programmation d'applications simples, tant au niveau dialogue que calcul ou bibliothèques de pièces (c'est le cas des pièces paramétrées par exemple).

III.2.B.c. Aspects économiques

Il est clair que dans la plupart des cas, il est extrêmement difficile de prouver la rentabilité d'un système de CFAO. Cette preuve est possible dans certains cas bien précis, mais lorsque le problème pris en compte est complexe, il faut mettre en avant des arguments différents.

Nous distinguons ainsi deux formes de rentabilité :

- une rentabilité directe :

Il s'agit des gains quantifiables dans le département où la CFAO intervient. Elle est principalement exprimée en gain d'heures de travail.

- une rentabilité indirecte :

- . l'essai de solutions plus nombreuses doit permettre la réalisation de meilleurs produits,
- . la prise en compte le plus tôt possible des contraintes de l'outil de production doit permettre des gains significatifs en production,

L'intégration CFAO évite des étapes jusque là coûteuses (programmation des machines à CN en mécanique ou suppression des gabarits en conception fabrication de chaussures d'hommes (cf. II.3.).

- . la CFAO doit assurer une meilleure communication de l'information dans l'entreprise et la cohérence de cette information (être sûr d'avoir le plan à jour de telle ou telle pièce est un problème fondamental dans l'entreprise).
- . enfin, et ce n'est pas le moindre avantage induit, la CFAO en réduisant les délais, doit permettre une amélioration importante de compétitivité des entreprises. C'est le cas en particulier de toutes les entreprises fonctionnant sur appels d'offres ou sujettes à des modes saisonnières par exemple l'habillement ou le jouet. A durée de vie égale du produit, l'entreprise gagne aussi en chiffre d'affaires les mois supplémentaires de ventes qui correspondent au raccourcissement des études - développement - lancement.

III.2.B.d. Quelques remarques sur le choix d'un système

Nous ne détaillons pas l'ensemble des points à prendre en compte lors du choix d'un système de CFAO, les critères étant dépendants de trop nombreux paramètres (complexité du système, coût, type d'application...). Nous listons simplement quelques aspects qui devront retenir l'attention de l'éventuel acheteur.

- . Qualité du fournisseur et du système de base : elle est difficile à évaluer, les références d'installations étant l'une des bases d'évaluation possible.

Il est cependant nécessaire pour l'acheteur éventuel de ne pas baser son choix sur des démonstrations mais de :

- visiter autant que possible des utilisateurs industriels du système, indépendants du fournisseur. C'est par cette méthode que l'acheteur pourra connaître les problèmes d'implantation, d'extension..
- faire des tests en vraie grandeur, par exemple en faisant exécuter en sa présence une pièce représentative de sa production par le fournisseur.

REMARQUE : Une évaluation du système plus complète peut être réalisée par la location du système sur une durée assez longue (6 mois) ou son utilisation en service bureau. Nous insisterons sur le fait qu'en fin de location, le jugement de l'utilisateur est un peu faussé, parce qu'il cherchera souvent à justifier son choix initial et parce que tout le travail déjà exécuté (historique, standards...) serait perdu en cas de changement de système. Il est important de remarquer qu'aucun standard n'existant à l'heure actuelle pour passer d'un système à l'autre (le standard IGES pourrait répondre en partie à l'avenir à ce problème), le choix d'un système lie en général de façon forte l'acheteur au fournisseur.

- . Qualité de la formation : la première formation est souvent à la charge du fournisseur. Sa qualité devra être évaluée par l'acheteur éventuel ainsi que les divers types de formations
 - . Formation d'utilisateurs.
 - . Formation de programmeurs d'applications.
 - . Formation d'experts suivant les besoins estimés de l'acheteur (cf...)
- . Qualité de l'assistance à l'installation et à l'utilisation: il s'agit d'évaluer le temps de réponse à une demande d'utilisateur, mais également l'expérience du fournisseur dans le domaine d'application de l'acheteur, car plus cette expérience sera grande, meilleure sera la qualité de l'assistance pour des adaptations.
- . Qualité de la maintenance des matériels et logiciels : la qualité de la maintenance des matériels est assez familière pour être évaluée assez facilement. En revanche, la complexité des logiciels CFAO et leur utilisation interactive implique qu'ils ne sont jamais parfaits et que certaines erreurs peuvent être difficiles à trouver. Les nouvelles versions de systèmes sont ainsi fréquentes et la compatibilité des différentes versions entre elles devra être assurée par le fournisseur; le temps d'interruption dû à l'implantation d'une nouvelle version devra également être précisé.

. Qualités du système

Ces qualités doivent être étudiées aux niveaux du matériel et du logiciel

- pour le matériel, il s'agit des aspects habituels en informatique tels que puissance, fiabilité, mais également des qualités ergonomiques des postes de travail,
- pour le logiciel, il faudra prendre en compte ce que peut faire le logiciel de base et ses performances pour exécuter ces actions, mais également ses possibilités d'extension vers de nouvelles applications ou d'interfaçage avec des applications existantes (calculs par exemple).

III.2.B.e. Quelques remarques sur la formation

Si le mot "formation" est apparu à plusieurs reprises dans ce chapitre, c'est qu'il recouvre des aspects importants et variés .

Nous passerons rapidement sur la formation des informaticiens qui comprend une large base commune avec la formation classique.

Notons toutefois que quelques techniques de l'informatique devront être étudiées, entre autres l'interactivité, l'infographie, certains aspects du calcul scientifique, etc... Nous insisterons cependant sur un aspect qui nous semble fondamental : si la formation des "ingénieurs de développement" est relativement classique, nous pensons que les "chefs de projet" doivent posséder si possible une double compétence (c'est-à-dire connaître le domaine d'application étudié) et à tout le moins une ouverture d'esprit qui leur permette de comprendre les explications venant des personnels des bureaux d'études et des bureaux de méthodes des domaines étudiés.

Si l'on aborde plus précisément la formation des utilisateurs, trois catégories de population auxquelles correspondent des objectifs pédagogiques assez différents peuvent être mis en valeur (VAN 80) (MIC 79).

. les responsables : leur rôle est essentiellement de savoir si oui ou non il faut introduire la CFAO dans leur entreprise et si oui, comment ? à quel prix ?

Il peut s'agir suivant les cas de chefs de bureaux d'études voire du P.D.G. (surtout dans les P.M.I.). Ces responsables doivent trouver dans une formation courte (quelques jours) une introduction à l'ensemble des problèmes posés par l'introduction de la CFAO et un panorama rapide de l'état actuel de la technique (matériels, logiciels, degré d'introduction de la CFAO dans tel ou tel domaine...) si possible illustrée par des démonstrations sur des systèmes de C.A.O.

. les spécialistes internes, s'il s'agit de personnes à l'intérieur de l'entreprise (mais cela peut également s'appliquer à des étudiants) qui cherchent à avoir les connaissances suffisantes pour participer (avec des spécialistes C.A.O.) à l'élaboration et au choix des systèmes et de maîtriser leur évolution. La formation nécessaire sera cette fois de durée beaucoup plus longue puisqu'elle nécessitera l'approfondissement de nombreuses connaissances informatiques. Dans le cadre de la formation initiale, elle peut se faire dans le cadre d'années spéciales, les étudiants acquièrent ainsi une double compétence. Dans le cadre de la formation continue, des sessions de quelques semaines peuvent être envisagées, au cours desquelles devraient être étudiées les techniques de base (matériels spécialisés, dialogue homme machine, outils graphiques, gestion des données, architecture des systèmes de CFAO) et les problèmes d'introduction et d'utilisation de la CFAO en milieu industriel.

. les utilisateurs : il s'agit cette fois des personnels qui utilisent le système de CFAO. Il est donc bien clair que la formation dont ils ont besoin est très liée au système utilisé. Elle est prise en compte, soit par le fournisseur, soit par des utilisateurs déjà formés. Remarquons toutefois qu'une information générale (du type sensibilisation) peut être utile pour que les utilisateurs puissent situer leur action par rapport au système de CFAO.

Nous avons organisé au sein de MICADO des actions du type introduction (2 jours) et initiation (10 jours) correspondant à la formation des responsables et des "spécialistes internes". Nous avons également enseigné dans des formations de formateurs, qui visent à initier les professeurs d'université (I.U.T. génie mécanique, génie électrique, etc...) aux techniques de la CFAO.

L'une des constatations que nous avons pu faire lors de ces enseignements est le manque d'outils pédagogiques. Il apparaît en effet que des systèmes de C.F.A.O. du marché sont coûteux et d'un apprentissage souvent trop long pour la formation des ingénieurs et des techniciens. Les logiciels que nous avons développés (cf V) ont, dans ce contexte, l'avantage d'être très faciles à utiliser. Nous avons commencé, par ailleurs, des développements sur micro-ordinateur. Il nous semble en effet que des logiciels pédagogiques sur micro-ordinateur devraient permettre en tenant compte de certaines limitations (qualité des écrans, performances moins bonnes...) apporter beaucoup à l'enseignement . Nous développons ainsi actuellement à partir de GRI 2D, le système MICA 2D sur micro-ordinateur (MICRAL de R2E). Ce développement pourrait être suivi par la mise en oeuvre d'autres outils pédagogiques (modélisation tridimensionnelle, calculs spécifiques ...).

Ces systèmes sur micro-ordinateur pourront ainsi être utilisés pour l'enseignement de la CFAO, tant pour l'utilisation que pour le développement d'applications pour les "élèves" concepteurs de systèmes de CFAO. A condition que ces outils existent, les travaux pratiques pourront enfin ne plus se limiter à des démonstrations de quelques heures.

Nous ajouterons enfin qu'il nous semble toutefois très important qu'une ou deux démonstrations (à l'aide de moyens audio-visuels éventuellement) sur des systèmes très performants soient faites afin que les "élèves" situent bien le niveau de développement de la CFAO (aussi bien matériels que logiciels).

III.3. EXEMPLES

Ce chapitre est en fait le résumé et la synthèse d'un certain nombre d'études que nous avons menées dans les entreprises même, soit pour une entreprise donnée, soit pour un secteur d'activités. Nous avons appliqué pour ces études les méthodes que nous avons résumées en III.2. Il est bien évident que les questions posées et la façon d'aborder les problèmes diffèrent sensiblement suivant les cas en fonction du type de conception, de la taille des bureaux d'études, du degré d'automatisation de l'entreprise, etc....

Nous nous efforcerons de montrer sur deux exemples dans des domaines traditionnels (le meuble en bois massif et la chaussure d'hommes) l'ensemble des phases d'étude.

Nous passerons très rapidement dans une troisième partie sur quelques autres exemples que nous avons traités en faisant ressortir quelques caractéristiques essentielles.

III.3.A. Introduction de la CFAO dans une entreprise de meubles en bois massif

Il s'agit d'une entreprise de taille moyenne (600 personnes) fabriquant des meubles de qualité et dont la variété est assez grande (Campagnard, Louis Philippe ..) (GAR 80), (GAR 81), (DGM 80), (GAM 81). Cette fabrication est donc très différente de celle des meubles de cuisine qui sont plus modulaires (MAS 82) (OFF 81) et qui s'applique surtout au niveau client (vision perspective interactive de la cuisine choisie et devis automatique de systèmes sur des micro-ordinateurs).

III.3.A.a. Analyse du processus.

La conception d'un meuble commence en général par un dessin à main levée donnant une idée des formes générales du meuble. A partir de cette idée de base, un bureau d'études prototype va dessiner le prototype à l'aide de catalogues, de photos, de parties existantes (par exemple un pied de tel ou tel style). Le prototype fabriqué est présenté au public (professionnels) et d'après les réactions des professionnels, la décision de fabrication est prise ou non.

Si la fabrication est décidée, le bureau des méthodes détermine les gammes opératoires. La fabrication comporte deux parties : la fabrication des sous-ensembles et leur assemblage.

Au cours de la fabrication apparaissent deux problèmes de découpe : placement et découpe dans le bois massif et dans les panneaux de particules.

III.3.A.b. Processus idéal avec CFAO

Le processus avec CFAO doit enregistrer dans le système la forme du meuble aussitôt que possible.

Une utilisation interactive peut s'opérer alors à plusieurs niveaux :

- . Modélisation tri-dimensionnelle du meuble avec utilisation de sous-ensembles.
- . visualisation au trait du modèle ou mieux encore visualisation réaliste permettant de présenter sur écran le meuble sous sa forme réelle. Une animation (ouverture d'une porte) serait utile.
- . création à partir du modèle des fiches de fabrication.

En ce qui concerne la fabrication, il n'est pas question de la changer de façon radicale (ouvriers qualifiés) et les aides doivent se trouver au niveau de :

- simulation de lancement,
- utilisation de fiches suiveuses sorties du modèle (plus précises et plus complètes qu'actuellement).
- aides au placement et à la découpe :
 - . de bois massif.
 - . de panneaux de particules.

III.3.A.c. Outils et bases de données

Le schéma permet d'avoir une idée générale de l'ensemble des outils et des données manipulées ainsi que leurs liaisons.

Nous insisterons simplement sur le fait que :

- . le graphique interactif 3D doit permettre une modélisation solide pour pouvoir en particulier "enlever" de la matière et créer des assemblages,
- . le placement et la découpe dans les panneaux de particules peuvent être automatisés car l'optimisation dans ce cas peut être décrite par un algorithme.
- . le placement et la découpe dans le bois massif posent des problèmes plus importants, en particulier au niveau de la prise en compte des défauts.

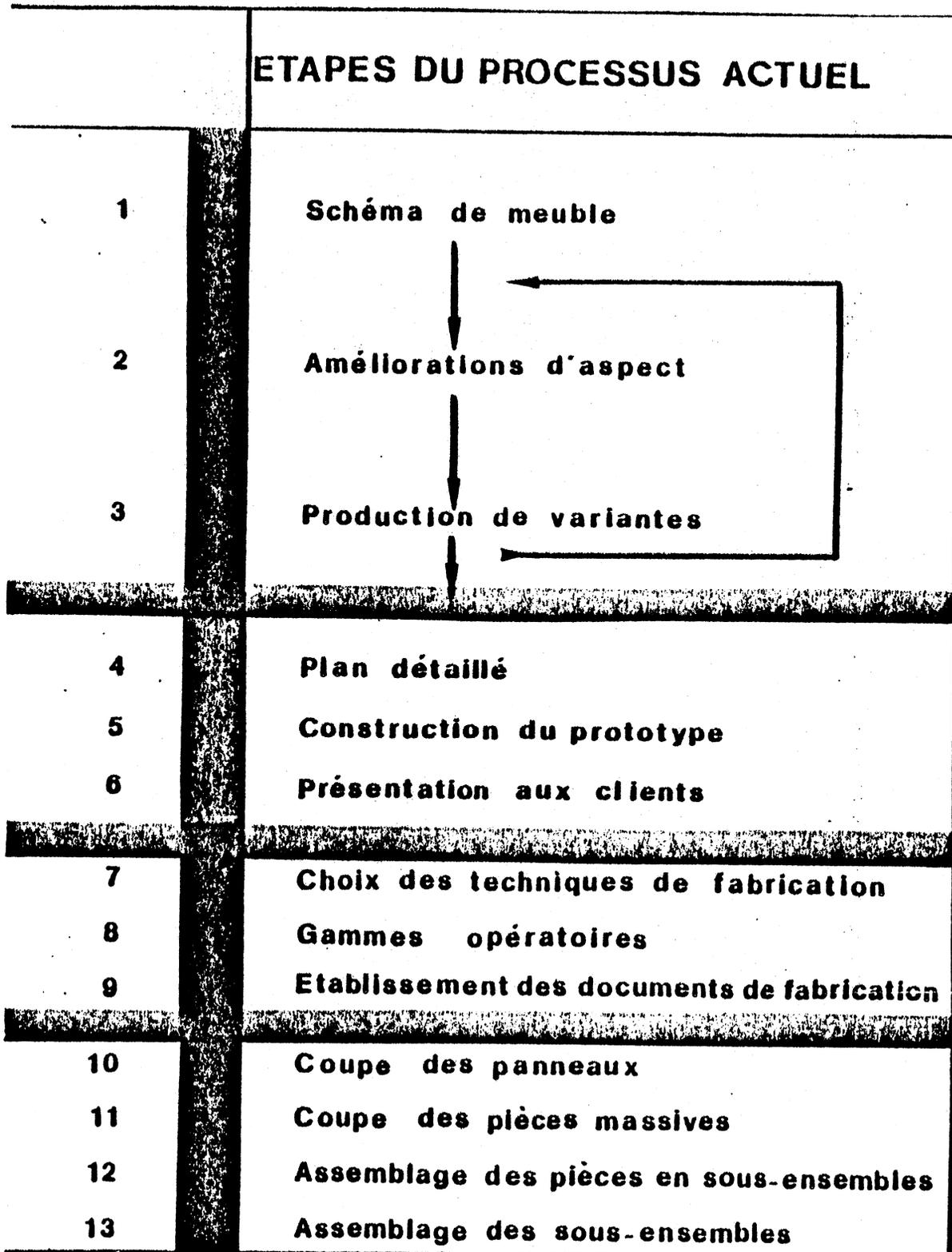
III.3.A.d. Le système de CFAO

Le système de CFAO va intervenir sur les opérations suivantes :

- . modélisation tri-dimensionnelle : à partir d'un système de modélisation solide (MAT 82), le concepteur pourra interactivement créer le modèle du meuble.

Signalons toutefois que certaines opérations sont très difficiles à prendre en compte et limitent l'intérêt du modèle: par exemple, le concepteur souhaite lors de la création d'un meuble que lorsqu'il modifie la hauteur d'une porte, l'ensemble du meuble soit modifié automatiquement suivant certaines règles, ce qui est difficile sinon impossible avec les modèles géométriques actuels et ce qui justifie en partie notre propos dans les chapîtres suivants :

- . Visualisation au trait à partir du modèle : la visualisation réaliste pourra intervenir lorsque cette technique sera un peu plus banale.
- . Aides au placement et à la découpe dans le bois massif : un certain nombre de systèmes sont actuellement à l'étude.
- . Placement automatique de rectangles dans un rectangle. Nous avons réalisé un programme à partir d'un algorithme publié qui donne des résultats satisfaisants (CHW77).

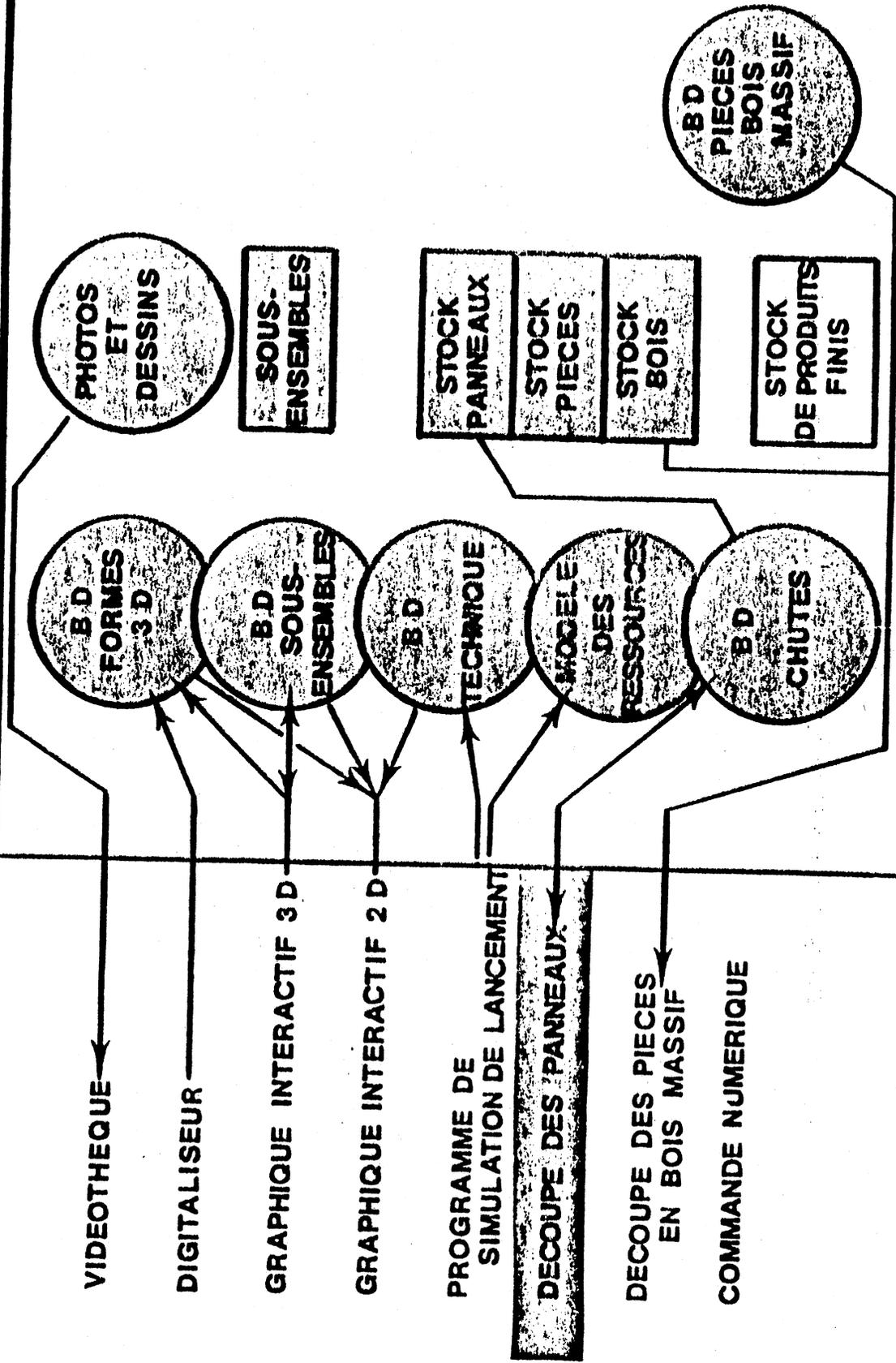


F.III.4. MEUBLE : PROCESSUS ACTUEL

ETAPES DU PROCESSUS ACTUEL	ETAPES DU PROCESSUS AVEC CAO
1 2 3	<p>1 Digitalisation du schéma</p> <p>2 Utilisation interactive d'une bibliothèque</p> <p>3 Variantes en mode interactif</p>
	<p>Simulation grossière de lancement</p> <p>Modifications mineures pour réutiliser des éléments standards</p>
4 5 6	<p>Présentation d'une image réaliste</p>
7	<p>Modifications mineures sans changer l'aspect</p>
8 9 10 11 12 13	<p>8 Sortie automatique des gammes opératoires</p> <p>9 Sortie automatique des documents</p> <p>10 Découpe automatique des panneaux</p> <p>11</p> <p>12 Inchangés</p> <p>13</p>

OUTILS CAO

STOCKS DE MATIERES OU D'INFORMATION



F.III.6. MEUBLE : OUTILS CFAO et B.D.

III.3.B. Introduction de la CFAO dans une entreprise de fabrication de chaussures d'hommes.

Il s'agit d'une entreprise (SPIC) de 300 personnes. Elle est reconnue pour son automatisation avancée pour la profession. Sa fabrication est soumise à des phénomènes de mode assez importants.

III.3.B.a. Analyse du processus.

Le processus comporte les étapes essentielles suivantes:

- conception sur une forme en trois dimensions : le styliste dessine directement le modèle sur cette forme.
- mise à plat et gradation à partir du dessin du styliste, il faut mettre "à plat" les pièces de cuir, opération réalisée par les patronniers à l'aide de méthodes empiriques.

Ces éléments de patronnage (gabarits) sont retouchés pour tenir compte des caractéristiques du matériau et des procédés de montages spécifiques à l'entreprise, et toutes les tailles sont créées (gradation).

- les pièces sont découpées dans le cuir (peaux de vaches ou de chevreaux) à l'aide de gabarits.
- viennent ensuite les opérations de piquage et de montage.

III.3.B.b. Système de CFAO idéal

Le système de CFAO idéal devrait comporter :

- . la récupération de la forme de la façon la plus automatisée possible. On peut cependant remarquer que les formes ne changeant que très rarement, une numérisation manuelle ne serait pas trop contraignante.
- . le moyen de dessiner sur la forme afin de ne pas dépayser le styliste. La visualisation de ce dessin sous différents angles de façon réaliste avec des possibilités de modifications interactives pourraient être intéressantes.
- . mise à plat et gradation automatiques à partir de la forme et du dessin, le système devrait être capable de déterminer automatiquement les pièces à plat et l'ensemble du patronage.

- . placement et découpe : le placement de pièces de formes quelconques dans une peau de forme quelconque comportant des défauts est extrêmement complexe et ne peut être qu'assisté interactivement.

REMARQUE : Il est important de voir que ce système supprime complètement une opération de fabrication : la fabrication des gabarits. En effet, les patrons obtenus par les opérations de mise à plat et de gradation pourront être utilisés directement sur le poste de placement interactif et la découpe des peaux pourra être faite à partir de la B.D. placement par guidage d'un outil de coupe à C.N. (par exemple un laser).

III.3.B.c. Outils et B.D.

Le schéma F.III.9 montre les outils et les données manipulées, ainsi que leurs liaisons pour un système idéal.

III.3.B.d. Le système de CFAO

Le système réalisé sous forme de maquette prend en compte les fonctions suivantes : (MER 82)

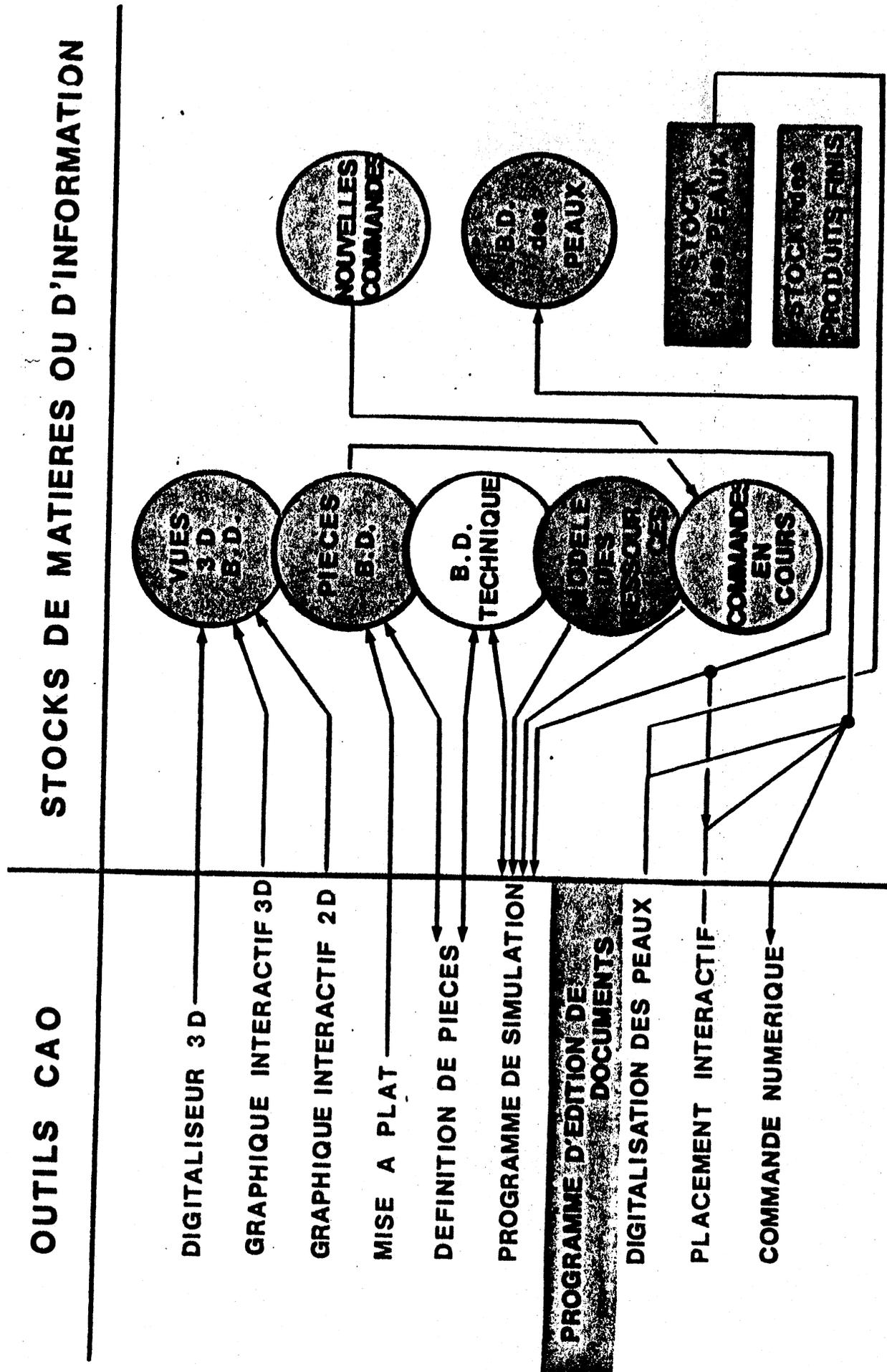
- . numérisation d'une forme et d'un dessin sur la forme : un numériseur spécifique a été réalisée. Sa manipulation est manuelle.
- . la mise à plat est automatique suivant un algorithme prenant en compte le savoir-faire des patronniers,
- . la gradation existe par ailleurs et aucun logiciel n'a donc été développé pour cette opération,
- . le système de placement : un logiciel de placement interactif a été créé. Le poste de travail comprenant une console graphique à rafraîchissement pouvant posséder des opérations cablées (translations, rotations), un mini-ordinateur et une tablette graphique sur laquelle l'opérateur indique les actions de son choix et les déplacements des gabarits.

Il est nécessaire d'avoir une image réaliste de la peau (pour repérer les défauts) et différents montages sont essayés (MER 82), en particulier la projection de cette peau sous la tablette. Les commandes offertes à l'utilisateur reposent sur la manipulation de gabarits (translation, rotation pas à pas, tassement), le système se chargeant de vérifier que les gabarits ne se recouvrent pas (sinon de proposer une solution par petits déplacements) et qu'ils sont à l'intérieur de la peau. Il indique de plus, en temps réel la perte de matière.

ETAPES DU PROCESSUS ACTUEL	
1	Dessin d'un modèle (MODE)
2	Tracé sur une forme 3D
3	Mise à plat
4	Fabrication des pièces et des gammes opératoires
5	Fabrication d'un échantillon
6	Présentation aux clients
--- DECISION DE PRODUIRE ---	
7	Dessin des pièces pour toute pointure
8	Liste des opérations de fabrication
9	Planning hebdomadaire
10	Allocation des ressources
11	Production des documents de fabrication
12	" des outils
13	Optimisation manuelle de la découpe
14	Couture
15	Assemblage

F.III.7. CHAUSSURE : PROCESSUS ACTUEL

Etapes du processus actuel	ETAPES DU PROCESSUS AVEC CAO	
1	Inchangé	
2	Digitalisation du tracé 3 D	
3	Programme de mise à plat	
4	Réduction automatique des pièces et gammes opératoires	
	Simulation grossière de lancement	
5 & 6	Inchangé	
7	Dessin automatique des pièces pour toutes pointures	
8	Liste automatique des opérations de fabrication	
	Simulation précise de lancement	
9	Planning hebdomadaire	
10	Programme conversationnel d'allocation de ressources	
11	Production automatique des documents	
12		
13	Placement interactif des pièces sur peaux	
14	Découpe automatique	
15	Inchangé	



- . le système de découpe : le système prévu est une découpe avec laser qui peut donc être considéré comme un outil "plume basse". A partir du placement effectué, le système calcule le chemin continu que devra parcourir cet outil (BOG 81).

Les avantages essentiels de la CFAO sont donc :

- . Opération de mise à plat automatisée,
- . Suppression de la fabrication des gabarits,
- . Gain de matière par une meilleure vision du placement (probablement pas de gain en temps sur cette opération),
- . Gain global en temps permettant de faire des essais et de répondre plus vite aux impératifs de la mode.
- . Enchaînement ultérieur possible avec des opérations de piqûre automatisées.

III.3.C. Autres exemples

Nous avons appliqué les idées que nous avons exprimées dans ce chapitre à de nombreux domaines, de l'architecture à la conception de compresseurs en passant par les vannes ou les citernes pour le transport de matières dangereuses. De ces différents exemples, on peut déterminer un certain nombre d'outils généraux comme la modélisation tri-dimensionnelle dont nous parlerons dans les chapitres suivants.

Nous avons également rencontré des problèmes qui n'ont jusqu'à présent que rarement été traités en C.A.O., comme la prise en compte des réglementations. Dans des domaines comme la conception de citernes transportant des matières dangereuses, le respect des réglementations est fondamental. Or, ces réglementations sont nombreuses, différentes suivant les pays et extrêmement épaisses. Elles concernent en réalité deux types de personnes.

- . celles qui conçoivent et qui doivent respecter les réglementations. Dans les PMI, le nombre de personnes connaissant les réglementations est très souvent faible (1 ou 2 personnes) ce qui peut poser des problèmes.
- . celles qui vérifient (service des Mines)

La gestion de ces réglementations devrait pouvoir être assistées par ordinateur afin de libérer le concepteur de tâches assez pénibles, car les vérifications doivent souvent être faites à la virgule près et les notes de calcul, par exemple, devraient pouvoir être automatisés facilement.

Un autre aspect que nous avons parfois pu mettre en valeur est celui d'un outil spécifique à une profession donnée mais qui peut faire poser le problème sur un ensemble de professions. C'est le cas, par exemple, de la découpe de matériaux dont le tableau ci-dessous montre la diversité.

	Panneaux de bois	Bois Massif	Tissu	Tole	Chaussur Cuir
Matières	Fibres	Fibres défauts	Fibres	Laminage	prêtent défauts
Support	rectangulaire	complexe	rectangulaire	rectangulaire	complexe
Element à placer	rectangulaire	rectangulaire à complexe	complexe	simple à complexe	complexe
Systèmes Actuels	algorithmes existants	NON	OUI (1)	OUI (2)	NON

(1) des systèmes apportant une simple aide jusqu'aux systèmes incorporant des heuristiques.

(2) dans des grosses entreprises.

T.III.1.

De façon générale, le placement et la découpe assistés par ordinateur peuvent être résolus par des méthodes de type interactif ou de type automatique.

- dans une méthode de type interactif, le placeur dispose d'un écran graphique et d'un certain nombre de dispositifs de dialogue. Sur son écran sont affichés les pièces à placer, leur nombre et le matériau à découper. Le système offre la possibilité de placer des pièces et assiste le placeur en résolvant les cas d'intersections, en effectuant des tassages, en lui donnant en temps réel le pourcentage de pertes... etc.

- . dans une méthode de type automatique, le placeur donne simplement les dimensions et le nombre des pièces à placer et les dimensions du matériau à découper. L'algorithme donne ensuite une solution. Il faut noter que cette solution n'est en général pas la meilleure, mais qu'elle est "satisfaisante" (suivant un certain seuil). Il est en effet impossible dans le cas général de chercher toutes les solutions pour en trouver la meilleure.

Il faut noter que ces deux méthodes peuvent se compléter: le système propose une première solution qui s'affiche et qui peut être modifiée ou complétée interactivement par le placeur.

Ajoutons, enfin, que si les problèmes d'origine géométrique sont à peu près correctement résolus dans la plupart des cas, les problèmes de type technologique l'ont été beaucoup moins jusqu'à présent.

Exemples : Nous avons été amenés à développer des programmes pour résoudre les problèmes de placement, soit de manière interactive (BOG 81), soit de manière automatique lorsque c'est possible (GAR 80). Nous décrivons ci-dessous rapidement deux programmes pour le placement de pièces rectangulaires dans un rectangle. Nous avons également dans le cas de la chaussure mis au point l'algorithme permettant de guider un outil de type "plume basse", un laser en l'occurrence (BOG 81).

. Placement interactif

Ce programme permet à l'opérateur de placer des pièces rectangulaires sur une plaque rectangulaire. (Ce placement ne tient pas compte d'un outil de type guillotine). Les paramètres sont donc les suivants :

- des pièces à placer (nombre et dimensions)
- une plaque à découper (dimensions)
- une distance minimale à respecter entre plaque (Dm)
(pour tenir compte par exemple de l'épaisseur de la scie)

Lors d'un placement, le programme vérifie s'il y a des intersections avec les pièces déjà placées (compte tenu de la distance minimale Dm) ou les bords de la plaque. En cas d'intersection, le programme déplace la pièce automatiquement dans une direction qu'il considère comme optimale, puis vérifie à nouveau les intersections. Si, au bout de trois essais, des intersections sont encore trouvées, le programme abandonne le placement de cette pièce et demande à l'utilisateur une nouvelle proposition.

Une fonction de tassement permet à l'utilisateur de demander un tassement, en précisant une direction privilégiée (horizontale ou verticale). Le programme parcourt alors l'ensemble des pièces déjà placées, choisit celle qui est la plus proche du bord en fonction du tassement choisi. Il place alors cette pièce au mieux, et recommence sur les pièces restantes, en choisissant les pièces en fonction des pièces déjà retassées, de la direction privilégiée et en utilisant l'algorithme d'intersections.

D'autres fonctions sont à la disposition de l'utilisateur, telles que le zoom, la sortie sur traceur, etc...

La figure montre l'application du placement interactif dans le cas le plus complexe (celui de pièces quelconques dans des peaux) qui est décrit dans (BOG 81). Dans ce cas, un algorithme permettra de guider automatiquement un outil de type laser.

. Un programme automatique (GAR 81c)

Il s'agit de l'adaptation d'un algorithme proposé par N. Christofides et C. Whitlock, auquel nous avons apporté quelques modifications et corrections (CHW 77) .

Le problème posé est le suivant :

Soit un grand rectangle $A_0 = W_0$ (longueur L_0 , largeur W_0), et un ensemble R de m plus petites pièces rectangulaires $R = (l_1, w_1), \dots, (l_m, w_m)$.

On associe à chaque pièce de R une valeur v_i et un nombre maximal b_i de pièces du type i qui puisse être découpé dans A_0 . Le problème consiste à trouver la valeur maximale de :

$$z = \sum_{i=1}^m b_i v_i$$

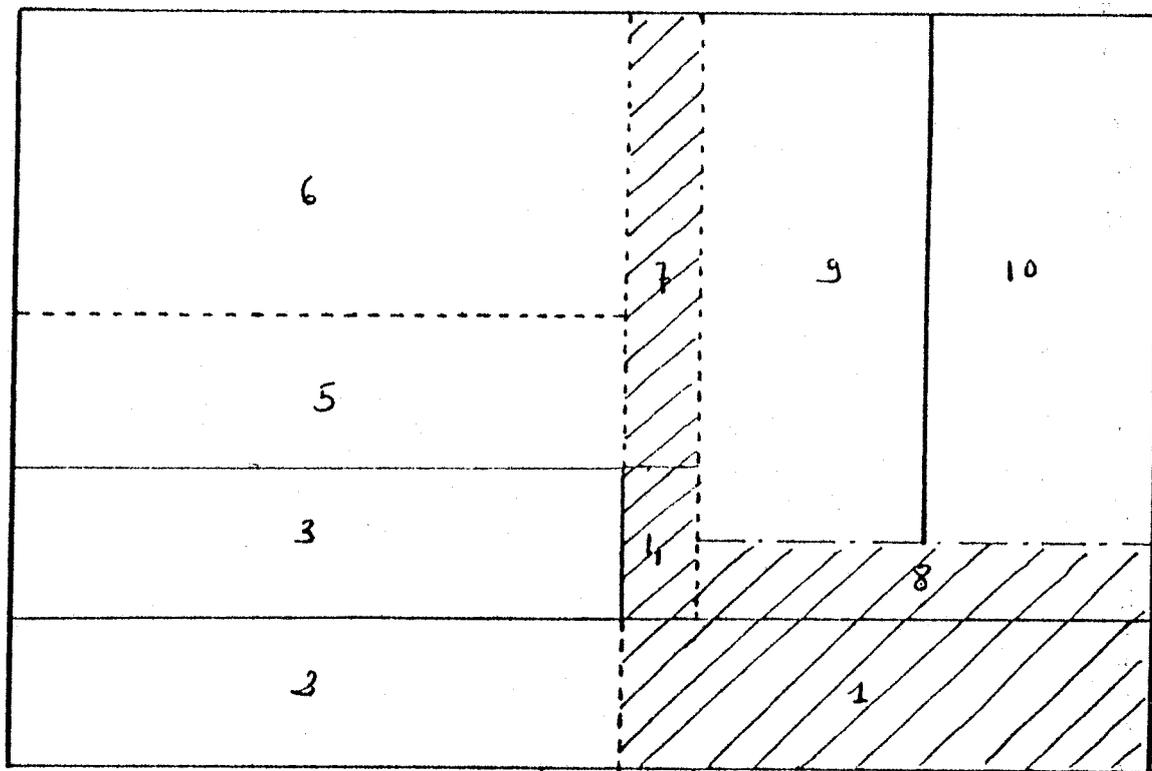
de telle sorte que $b_i \leq b_i$, $i = 1, \dots, m$ et qu'il existe une série de découpages sur A_0 telles que b_i pièces du type i de R soient découpées dans A_0 , les b_i étant des variables entières positives ou nulles.

On ne considère que des données entières, et les pièces seront orientées (une pièce de longueur l et de largeur W est différente d'une pièce de longueur W et de largeur l).

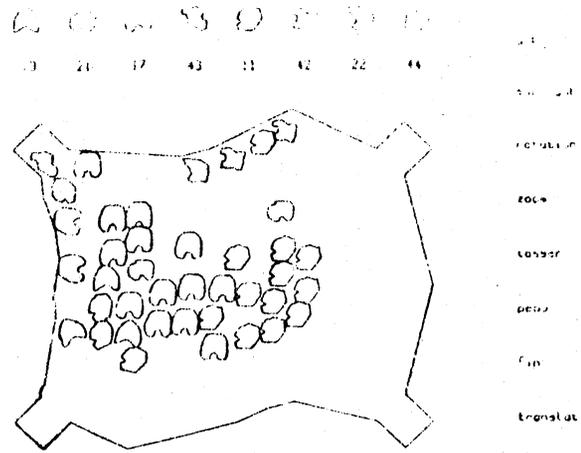
On considère un découpage de type guillotine, c'est-à-dire que toute découpe partage un rectangle en deux rectangles (donc tous les rectangles représentent l'ensemble des rectangles à découper).

Le principe de l'algorithme est de parcourir un arbre énumérant tous les découpages possibles tels que les branches représentent les découpages sur un rectangle donné. Lors du parcours de l'arbre, un rectangle est sélectionné dans la liste des rectangles présents à un noeud et un sous-arbre est engendré en calculant tous les découpages possibles de ce rectangle. Afin d'optimiser l'algorithme, on tient compte d'un certain nombre de propriétés (effets de symétrie, etc..).

Il faut remarquer que, contrairement à la plupart des algorithmes qui donnent une solution "satisfaisante", l'implantation que nous avons faite permet de trouver la meilleure solution, mais qu'en contrepartie, les temps de calcul deviennent rapidement très importants.



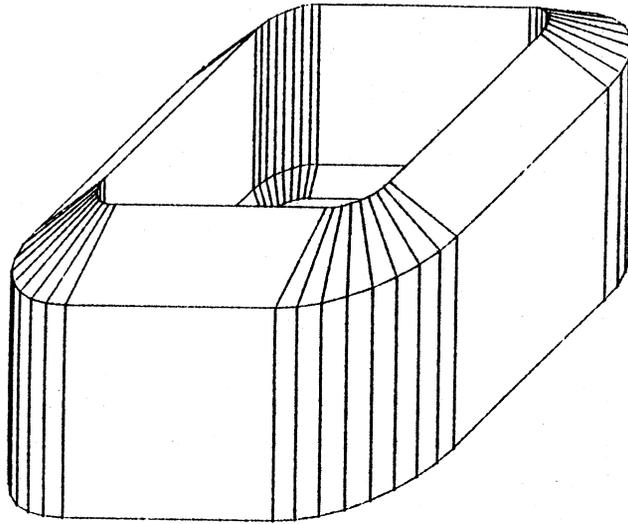
F.III.10. EXEMPLE DE PLACEMENT AUTOMATIQUE (Bois)



rendement: 24%

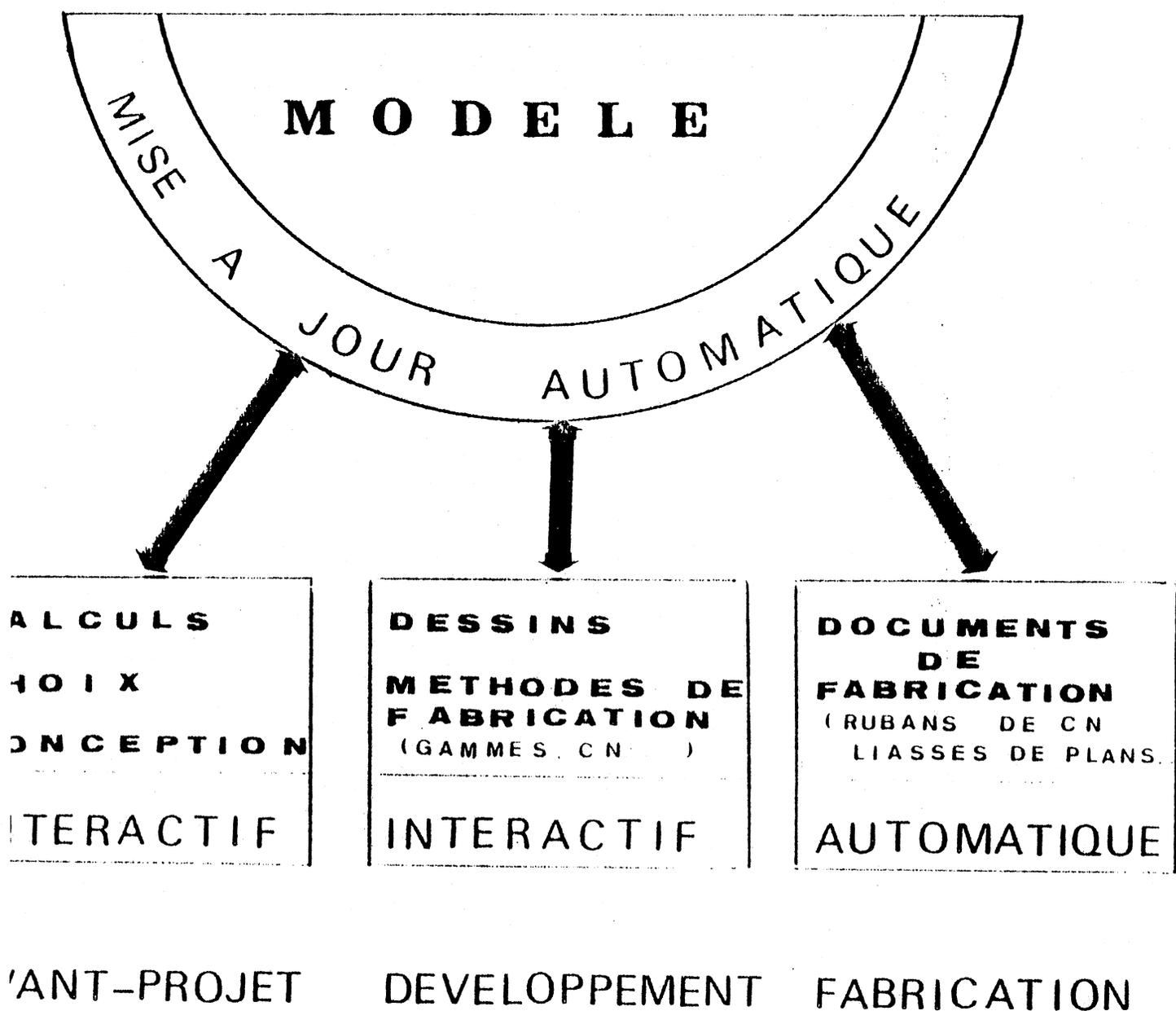
**F.III.11. EXEMPLE DE PLACEMENT INTERACTIF
(Chaussure : (BOG 81))**

**IV. METHODOLOGIE POUR LA REALISATION DE SYSTEMES DE CFAO :
APPLICATION A LA MODELISATION GEOMETRIQUE**



(GRI 3D)

Nous avons vu dans le chapitre III les méthodes que nous préconisons pour l'introduction de la CFAO dans les entreprises. Nous nous proposons maintenant de montrer le schéma de réalisation d'un système de CFAO. De façon globale, on peut définir les différentes étapes par le schéma suivant :



F.IV.1. SCHEMA GLOBAL D'UTILISATION
D'UN SYSTEME DE CFAO

/...

Le processus de conception doit être considéré comme un processus "informationnel" c'est-à-dire que des informations sont manipulées (modèles, maths...) (mis à part les maquettes physiques), contrairement au processus de fabrication qui est un processus matériel et énergétique (mais qui devrait pouvoir également être modélisé).

Le modèle est tout d'abord connu par sa définition fonctionnelle. La définition fonctionnelle débouche sur le stockage du modèle. Une exécution de ce modèle avec valuation permettra d'extraire les méthodes, les schémas fonctionnels etc... et ainsi les documents pour la fabrication (plans, gammes bande de CN).

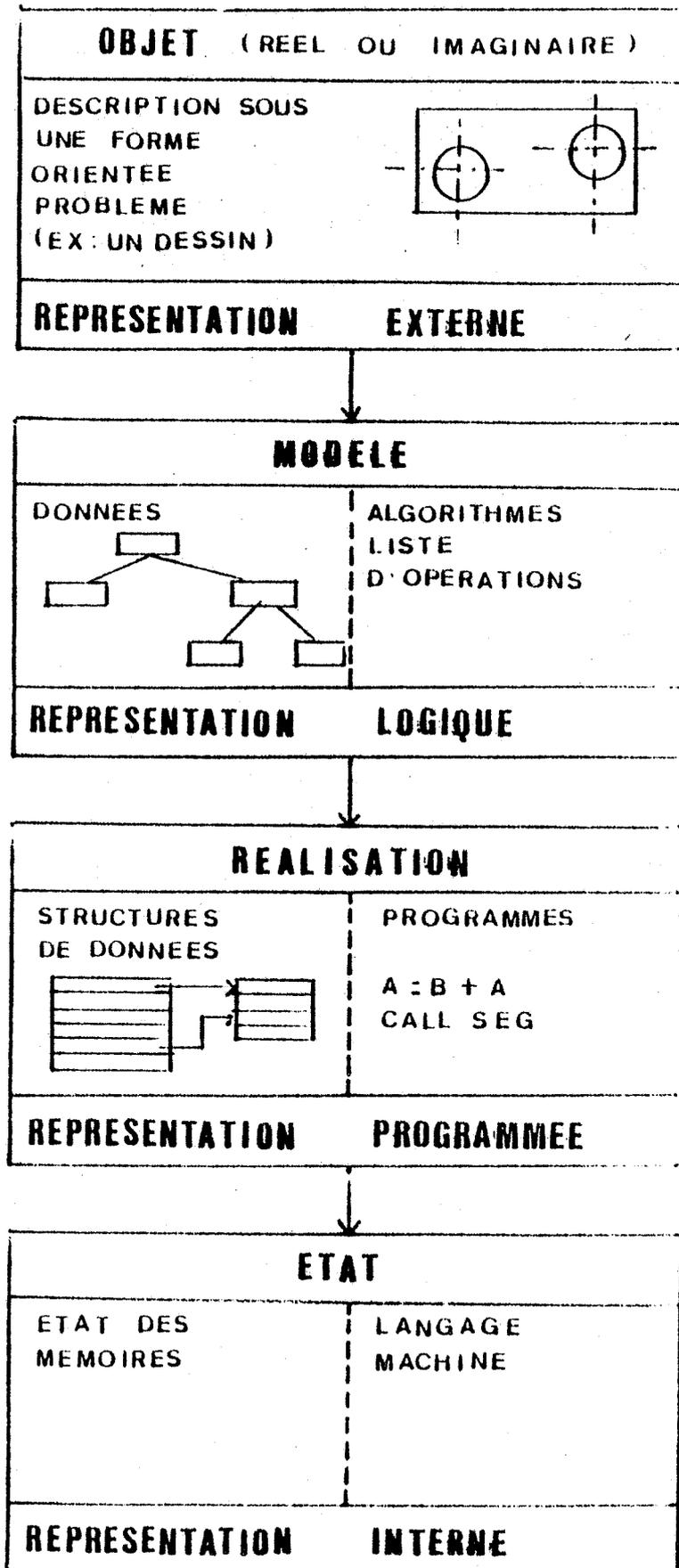
Afin de bien montrer les différentes formes qui définissent l'objet en cours de conception, nous donnons dans la figure F.IV.2 les représentations possibles d'un objet à un moment donné.

L'aspect qui nous intéresse principalement est la modélisation de l'objet (ou du processus) en cours de conception. Les actions qui vont devoir être accessibles durant tout le processus seront globalement de trois types :

- . des actions d'interactions, tant en entrée (entrée de valeurs, désignation d'un objet...) qu'en sortie (visualisation d'une pièce mécanique avec élimination des parties cachées, résultat d'un calcul...)
- . des calculs (cinématiques, calculs sur la géométrie, calculs de structures...)
- . des gestions d'information : l'information pourra être aussi bien le modèle que des plans terminés, etc...

La figure F.IV.2 permet d'une part, de montrer les différentes représentations d'un objet en cours de conception, ou d'un objet utilisé en cours de conception, d'autre part, d'insister sur l'aspect utilisation, en effet :

- . la phase 1 représente l'interface utilisateur. Cette interface doit permettre à l'utilisateur de concevoir l'objet (ou le processus) sous une forme aussi facile à utiliser que possible (c'est pourquoi nous l'avons représentée par un dessin) et adaptée au problème à résoudre. Cette interface va souvent nécessiter des outils très sophistiqués pour l'affichage de formes complexes par exemple.



- . l'interface réalisant la phase 1 doit permettre, dans la phase 2 de modéliser l'objet en cours de conception. Cette modélisation représente en fait, le cahier des charges de l'objet.
- . le modèle, pour être utilisable par le calculateur doit pouvoir être stocké. C'est ce qui est fait dans la phase 3 Ce stockage aboutit ainsi à la représentation informatique du modèle.

Nous allons examiner un peu plus en détail la modélisation géométrique. Différents types de modélisations seront présentés dans les chapitres V et VI (géométrique et fonctionnelle). Nous montrerons également les aspects les plus importants de la gestion des données et quelques aspects des calculs possibles.

IV.1. LA MODELISATION GEOMETRIQUE

La représentation d'objets réels du point de vue de leurs propriétés géométriques (et non pas fonctionnelles) est connue sous le terme "modélisation géométrique". Il s'agit donc d'une partie de la modélisation d'un objet ne prenant pas en compte ses aspects physiques, sauf la forme.

La modélisation géométrique est un aspect important de la CFAO. En effet, cette modélisation est le point de départ de nombreuses autres fonctions tant au niveau des études qu'au niveau de la fabrication. Par exemple, le modèle géométrique sera utilisé pour une modélisation par éléments finis, pour la sortie de plans de fabrication ou pour créer les bandes de commande numérique.

Nous aborderons les points suivants :

- . Conditions que doit remplir un modèle géométrique pour assurer entre autres conditions, qu'un objet du modèle (virtuel) peut correspondre à un objet physique (réel);
- . Méthodes de construction d'un objet par l'utilisateur (dessinateur) d'un modèle géométrique ;
- . Représentations internes possibles d'un modèle géométrique.

IV.1.A. Conditions à remplir pour une bonne modélisation géométrique

Le but final d'une modélisation géométrique est de représenter des objets. Dans le cas qui nous intéresse, ces objets sont des solides et leur représentation devra respecter un certain nombre de conditions inhérentes au fait qu'il s'agit d'un objet destiné (dans la plupart des cas) à être fabriqué.

Nous dirons que le modèle est d'autant meilleur qu'il prendra en compte un nombre plus important de conditions relatives aux contraintes liées à l'objet réel et à sa fabrication.

Par exemple, un modèle bi-dimensionnel se contentant de gérer des vues composées de segments et d'arcs de cercles sans même prévoir de correspondance entre les vues sera considéré comme très pauvre. Par opposition, un modèle qui assure à tout moment que les objets représentés dans le modèle sont des solides, sera considéré comme de très bonne qualité (cf Modélisation solide).

Les conditions que nous allons étudier sont donc les conditions à remplir pour une modélisation géométrique de haut niveau, c'est-à-dire, respectant au mieux les points suivants:

- . elle assure que tout modèle constructible peut correspondre à un objet réel (validité du modèle) ;
- . elle permet de construire le modèle de tout objet (puissance du modèle) ;
- . elle permet de calculer un certain nombre de grandeurs géométriques telles que le volume... ;
- . elle peut être utilisée par différentes fonctions (CN, gammes, calcul de structures) ;

Nous partirons du postulat que les entités géométriques virtuelles sont des sous-ensembles d'un espace Euclidien à trois dimensions $E3$ et permettent ainsi de modéliser des solides. En fait, peu de sous-ensembles de $E3$ sont des modèles possibles de solides. Il est donc essentiel de résoudre les propriétés suivantes qui sont les propriétés nécessaires et suffisantes que doit avoir un objet pour être un solide (REQ80).

- a) Homogénéité : un solide doit avoir un intérieur.
- b) Finitude : un solide doit occuper une portion finie de l'espace
- c) Rigidité : un solide doit avoir une forme invariante quelles que soient sa position et son orientation.

De plus le système informatique doit respecter les conditions suivantes :

1. cohérence des opérateurs : toute opération appliquée sur des solides doit produire des solides (déplacements ou opérations booléennes) ;
2. description : un solide quelconque doit pouvoir être représenté dans l'ordinateur ;
3. cohérence de l'information : un point de l'espace doit appartenir à un solide au plus (c'est-à-dire que pour tout point de l'espace, il est possible de dire s'il appartient à un solide ou à aucun.

IV.1.A.a Caractérisation mathématique des solides

Les implications des propriétés ((a) (b) (c) (1) (2) (3)) discutées dans (REQ 77) montrent que les modèles corrects de solides sont des classes de congruence de sous-ensembles de E3 (un sous-ensemble est noté S) :

- . bornés
- . fermés
- . réguliers
- . semi-analytiques.

Une classe de congruence étant la collection de sous-ensembles de E3 qui peuvent être obtenus l'un de l'autre par des séquences de translations et rotations (REQ 80).

Il est important cependant de noter que nous n'avons pas inclus la "connectivité", ce qui permet de prendre en compte des solides en plusieurs morceaux.

Avec les définitions suivantes (DIE 68), (KUR 68)

Intérieur : un point P est un élément de l'intérieur de A (iA) si il existe un voisinage de P contenu dans A

$$P \in iA \text{ si } \exists V(p) \subset A$$

Fermeture : un point P est un élément de la fermeture de A (kA) si chaque voisinage de P contient un point de A

$$P \in kA \text{ si } \forall V(p) \exists p' \in V(p) / p' \in A$$

Frontière : un point P est un élément de la frontière de A (fA) si P est un élément de la fermeture de A et de la fermeture du complément de A

$$P \in fA \text{ si } (P \in kA \wedge P \in k \complement A)$$

Ensemble régulier : un ensemble A sera dit régulier si il est égal à la fermeture de son intérieur :

$$A = kiA = rA$$

Ensemble fermé : un ensemble A sera dit fermé si il est égal à sa fermeture.

$$A = KA$$

Ensemble borné : un ensemble A sera dit borné si il existe une boule fermée $B(c, r)$ telle que $A \subset B(c, r)$.

Ensemble semi-analytique :

Une fonction $F \# D \rightarrow E$ est algébrique ($D \subset E^3$) si $F(x, y, z)$ est un polynôme pour les coordonnées (x, y, z) .

Un ensemble est semi-algébrique si il peut être exprimé comme une combinaison finie d'opérations booléennes d'ensembles de la forme.

$$(x, y, z) : F_i(x, y, z) \leq 0$$

où les F_i sont algébriques.

Une fonction $F \# D \rightarrow E$ est analytique ($D \subset E^3$) dans D si pour tout $P \in D$, il existe une boule ouverte $\Delta : |P - P_0| < r$ contenue dans D tel que l'on ait dans cette boule :

$$F(P) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n(P - P_0)^n$$

où le second membre est une série entière en $P - P_0$ convergente dans Δ .

Tout polynôme en (x, y, z) est évidemment une série entière qui converge pour tout $(x, y, z) \in E^3$.

Un ensemble est semi-analytique si il peut être exprimé comme une combinaison finie d'opérations booléennes d'ensembles de la forme :

$$(x, y, z) : G_i(x, y, z) \leq 0$$

Où les G_i sont analytiques.

Fermeture pour les opérations

Nous considérons, comme une propriété fondamentale, que les opérations booléennes sur les ensembles ayant les propriétés ci-dessus, soient fermées, c'est-à-dire :

Soit $\langle OP \rangle$ une opération booléenne

Soient A, B deux ensembles ayant les propriétés p_i

$$\forall (A, B) / (p_i(A) \text{ vraies} \wedge p_i(B) \text{ vraies}) \Rightarrow p_i(A \langle OP \rangle B) \text{ vraie.}$$

En effet, cette propriété va permettre, à condition que les "objets" de base soient corrects d'assurer que tout objet constructible sera correct.

Nous discutons ci-dessous quelques aspects de cette propriété sur les opérations d'union (\cup) et d'intersection (\cap).

Les opérations booléennes sont fermées pour la propriété "bornée", puisque il suffit de :

$$\begin{aligned} A \text{ borné} &\Rightarrow \exists (\gamma, r) / A \subset \mathcal{B}(\gamma, r) \\ B \text{ borné} &\Rightarrow \exists (\gamma', r') / B \subset \mathcal{B}(\gamma', r') \end{aligned}$$

$$A \cup B \subset \mathcal{B}(\gamma, r + r' + d(\gamma, \gamma'))$$

$$A \cap B \subset \mathcal{B}(\gamma, r + r' + d(\gamma, \gamma'))$$

$$A - B \subset \mathcal{B}(\gamma, r + r' + d(\gamma, \gamma'))$$

où d représente la distance de γ à γ' .

Pour les ensembles fermés :

L'espace des ensembles fermés est topologique. Il vérifie (KUR 68) :

$$(1) k(A \cup B) = kA \cup kB$$

$$(2) k(kA) = kA$$

$$(3) A \subset kA$$

$$(4) k\emptyset = \emptyset$$

Il est facile de montrer que l'intersection de deux ensembles fermés est un ensemble fermé par :

$$A \subset B \equiv A \cup B = B$$

$$\text{par (1) } kA \cup kB = kB$$

$$\text{et } kA \cup kB = kB \equiv kA \subset kB$$

$$\text{d'où les résultat (a) } A \subset B \Rightarrow kA \subset kB$$

$$\text{Or on a } \begin{cases} A \cap B \subset A & (b) \\ A \cap B \subset B & (c) \end{cases}$$

Le résultat (a) appliqué à (b) et (c) permet d'écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} k(A \cap B) \subset kA \\ k(A \cap B) \subset kB \end{array} \right. \Rightarrow k(A \cap B) \subset kA \cap kB \quad (d)$$

Or par l'axiome (3) $A \cap B \subset k(A \cap B)$

par (d) $k(A \cap B) \subset kA \cap kB$

d'où $A \cap B \subset k(A \cap B) \subset kA \cap kB$

Si l'on prend comme hypothèse que $A = kA$ et $B = kB$,
on trouve $A \cap B \subset k(A \cap B) \subset kA \cap kB = A \cap B$

d'où le résultat :

Si ($A = kA$ et $B = kB$) alors $k(A \cap B) = A \cap B$

D'autre part, l'axiome 1 montre que l'union de deux ensembles fermés est un ensemble fermé :

Si ($A = kA$ et $B = kB$) alors $k(A \cup B) = A \cup B$

Pour les autres propriétés

Il est facile de comprendre que deux ensembles réguliers peuvent après une opération booléenne produire un ensemble non régulier.

En effet, considérons l'exemple de la figure F.IV.3 qui, pour simplifier, est pris dans le plan E^2 (la même remarque peut s'appliquer à l'espace E^3).

A est l'ensemble des points à l'intérieur de A et sur la frontière de A.

B est l'ensemble des points à l'intérieur de B et sur la frontière de B.

$$A = iA \cup fA$$

$$B = iB \cup fB$$

L'exemple de la figure montre que le résultat de l'opération $A \cap B$ peut être un ensemble de points ne répondant pas à nos définitions. En particulier, le point P noté sur la figure F.IV.3 est tel que :

$$P \in A \cap B = C \quad (P \in fA \wedge P \in fB)$$

C est non régulier.

$$P \notin iC \text{ donc } C \neq kiC$$

L'ensemble des ensembles réguliers n'est pas fermé pour les opérations ensemblistes. On définit des opérations OP^* permettant d'assurer la fermeture, c'est-à-dire que :

$$\forall (A, B) / \begin{matrix} (A \text{ régulier, } B \text{ régulier}) \\ \text{borné, fermé borné, fermé} \end{matrix} \Rightarrow A \text{ Op}^* B \text{ régulier} \\ \text{borné, fermé}$$

Ces opérations sont définies par :

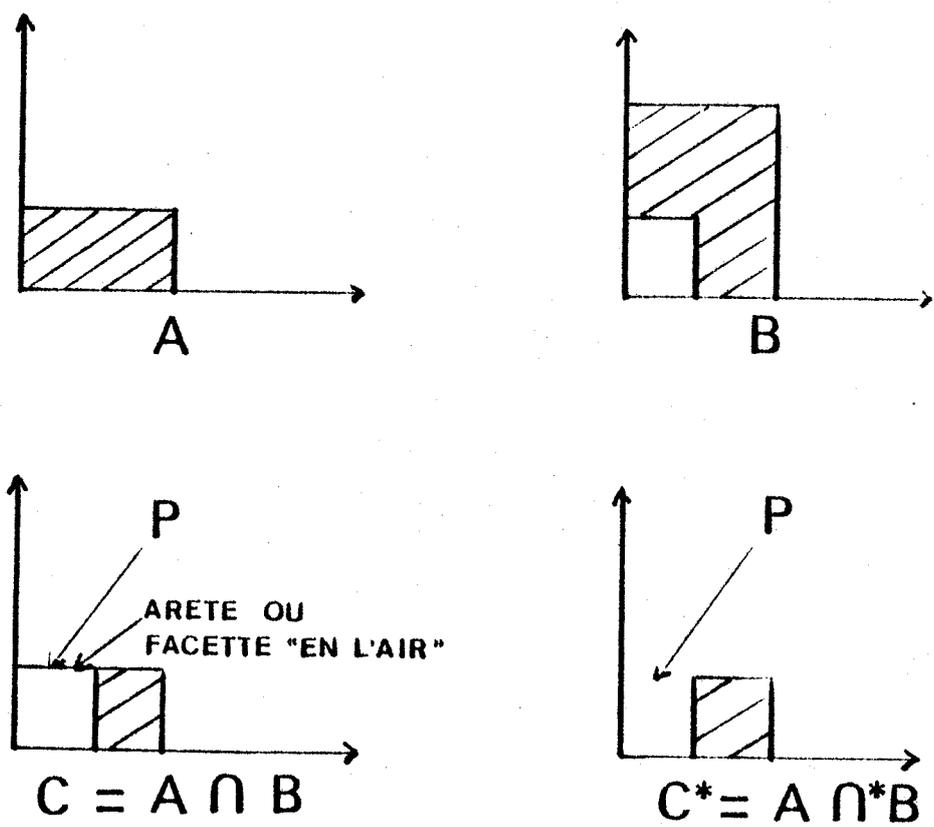
$$A \cap^* B = r(A \cap B)$$

$$A \cup^* B = r(A \cup B)$$

$$A -^* B = r(A - B)$$

$$C \uparrow^* A = r(cA)$$

Nous verrons en IV.1.A.c comment il est possible de réaliser pratiquement (c'est-à-dire de manière informatique) la régularisation d'un objet.



F.IV.3. INTERSECTION D'OBJETS

IV.1.A.b Représentation informatique des solides

Nous définissons à partir du modèle mathématique M , une représentation qui est définie par une relation $s : M \rightarrow R$ où R est l'espace de représentation informatique structurée.

L'espace R peut être considéré comme un langage engendré par une grammaire, sans que nous ayons mis de restrictions sur la grammaire et en ne limitant pas la représentation à des chaînes de caractères (ce peut être un arbre ou un graphe).

Le domaine de s est noté D et l'image de D par s est notée I . Une représentation dans I est valide puisqu'elle est syntaxiquement et sémantiquement correcte.

$D \subset M$ tous les objets ne sont pas forcément modélisables

$I \subset R$ toutes les représentations syntaxiquement correctes ne sont pas forcément valides

On peut ainsi retrouver les deux premières qualités que nous donnions pour un "bon" modèle géométrique avec les définitions suivantes :

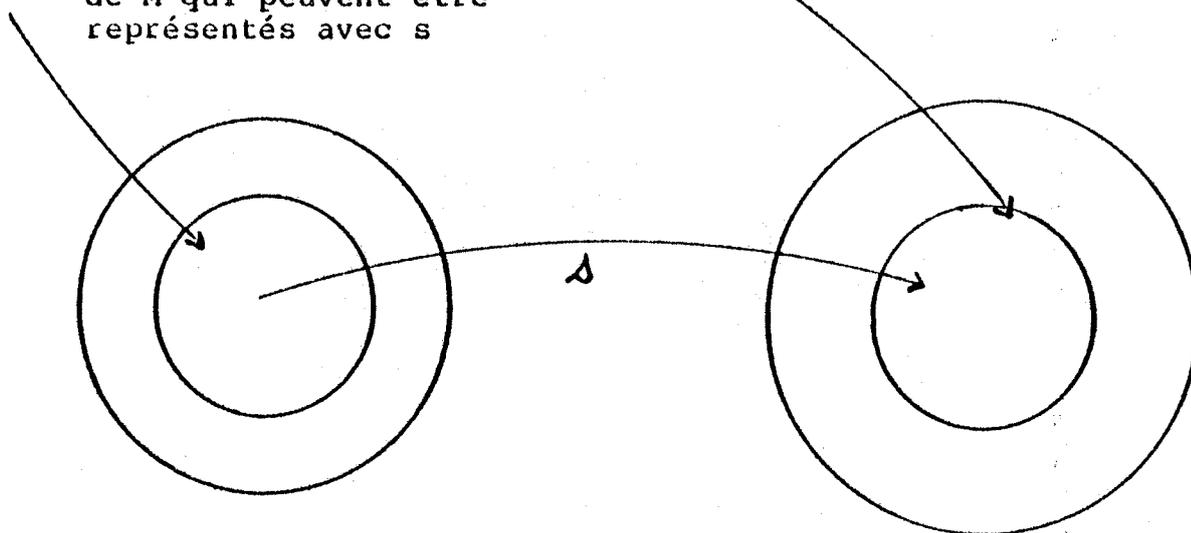
- 1) non ambiguïté : une représentation $r \in I$ est non ambiguë si elle correspond à un seul objet, c'est-à-dire si $s^{-1}(r)$ est un élément unique de D . Le modèle I sera dit non ambigu si tout élément de I est non ambigu.
- 2) Unicité : une représentation r de V est dite unique si l'objet correspondant n'admet pas d'autre représentation que r , c'est-à-dire : $(s(s^{-1}(r))) = r$. Le modèle I sera dit unique si tous ses éléments sont uniques.
- 3) Invalidité : Une représentation $p \in I$ est invalide si elle ne correspond à aucun objet ($p \notin I$).

Les qualités du modèle sont alors :

- a) Validité du modèle (ou cohérence) : le modèle ne doit pouvoir comporter que des représentations valides. (La meilleure "solution" étant que toutes les représentations syntaxiquement correctes soient valides ($I = R$)).
- b) Puissance du modèle : l'étendue du domaine définit la puissance du modèle, c'est-à-dire l'ensemble des objets modélisables.
- c) Suffisance : une représentation non ambiguë r de I contient assez d'informations pour définir un objet et est donc une source d'informations suffisante pour tout calcul mathématique.
- d) Unicité : la plupart des modèles ne sont pas uniques. La vérification que deux représentations d'un modèle donné sont images du même objet imposera, même dans les rares cas où c'est décidable, la mise en oeuvre d'algorithmes complexes.

D : Ensemble des éléments
de M qui peuvent être
représentés avec s

I : Espace image



M : Modèle mathématique

E : Espace des représentations
correctes syntaxiquement

F.IV.4. MODELISATION

De nombreux modèles sont possibles, ce qui pose le problème de la cohérence entre des modèles.

Deux relations de représentations s et s' sont équivalentes si chaque image r de s possède un équivalent r' de s' et inversement, r et r' étant équivalents s'ils représentent le même ensemble d'objets ($s(r) = s'(r')$).

Deux relations de représentation non ambiguës sont équivalentes si et seulement si elles ont le même domaine.

Deux représentations r de R et r' de R' sont cohérentes si il existe au moins un objet m de M tel que $s(m) = r$ et $s'(m) = r'$. Si les modèles ne sont pas uniques, m peut avoir plusieurs images dans R et R' . Si les modèles sont ambigus, d'autres éléments de M peuvent avoir pour images r et r' .

La cohérence est une notion importante dans le cas de représentations ambiguës. Il est fondamental, par exemple, en dessin industriel, d'assurer la cohérence d'une vue de face et une vue de côté d'un objet qui sont deux représentations ambiguës. Elles n'ont pas à être équivalentes, ce qui tendrait à dire que deux objets ayant la même vue de dessus sont identiques.

Enfin, d'autres quantités difficilement formalisables peuvent être demandées à un modèle géométrique, en particulier:

- . la concision : la concision d'un modèle correspond à la "quantité" d'informations nécessaires pour une représentation donnée. Cette notion n'est cependant pas indépendante des traitements et une certaine redondance des informations sera parfois utile pour l'efficacité de certains algorithmes (cf. IV.1.C.).
- . l'ouverture pour des applications : le ou les modèles devront être utilisés pour différents algorithmes et applications (C.N., études d'encombrements...). Là encore, cette notion reste assez floue, mais il est évident que plusieurs représentations seront souvent utiles (avec les notions de cohérence).

IV.1.A.c Evaluation d'un modèle

La représentation par un arbre des opérations booléennes (cf. IV.1.C.b.) qui semble la plus naturelle pose deux problèmes fondamentaux (d'autres représentations pourront conduire à des problèmes similaires).

- 1) Evaluer une représentation, par exemple pour passer de ce modèle à un modèle de visualisation
- 2) Evaluer un certain nombre de caractéristiques qui peuvent être nécessaires pour un traitement donné, par exemple, appartenance d'un point P donné à un solide S.

En ce qui concerne le problème 1, cela revient à réaliser de façon informatique les opérations booléennes régularisées.

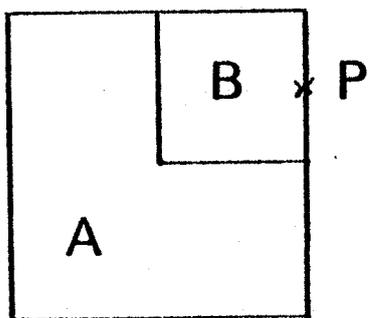
Ceci est en général pris en compte de façon spécifique dans les algorithmes de calculs d'intersection, d'union et de différence. C'est-à-dire que le concepteur de l'algorithme étudie de façon précise l'ensemble des cas qui peuvent se présenter et traite tous les cas particuliers par algorithme. Un algorithme "correct" pour calculer le polygone intersection de deux polygones implantera ainsi "naturellement" l'opération régularisée.

Ainsi, dans l'algorithme de Atherton et Weiler (ATW 78) pour l'élimination de parties cachées, une opération effectuant la "différence" d'un polygone P1 et d'un polygone P2 est réalisée en recherchant les intersections entre les deux polygones (en traitant tous les cas particuliers) et en déterminant ensuite les polygones résultants.

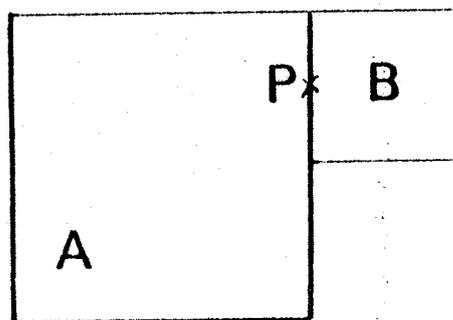
Cette méthode implique donc la recherche et le traitement de tous les cas particuliers. C'est ainsi que dans l'évaluation des opérations booléennes sur des solides, le traitement est en général différent suivant que des faces sont coplanaires et se superposent ou que des faces se coupent. Il est évident, par ailleurs, que certaines opérations "filtres" peuvent améliorer grandement les performances d'un tel algorithme en vérifiant par exemple par des tests simples que les deux solides sont disjoints. Pour simplifier l'exposé de cette idée, nous l'illustrons

sur des polygones : soit un polygone P1, et un polygone P2, on calcule leurs abscisses maximales et minimales (xmin, xmax) pour P1, (x'min, x'max) pour P2. Si (xmax < x'min) ou (x'max < xmin), les deux faces sont disjointes, sinon on effectue la même opération sur les ordonnées. Ces tests simples permettent d'éviter d'effectuer des calculs conséquents (d'intersection) pour un certain nombre de cas.

En ce qui concerne le problème 2, il peut s'avérer très difficile, voire impossible à résoudre sans évaluation préalable du modèle. En effet, si l'on s'intéresse à un point P, et que l'on cherche à savoir si $P \in S$ avec $S = A \cap B$, la figure F.IV.5 montre dans un cas simple que si $P \in A$ et $P \in B$, si $S = A \cap B$, P peut appartenir ou non à S. Il est donc impossible de connaître la propriété de P par rapport à S à partir des propriétés de P par rapport à A et de P par rapport à B.



$$A \cap B = B$$



$$A \cap B = \emptyset$$

F.IV.5.

/...

IV.1.B. METHODES DE CONSTRUCTION

Nous allons examiner dans cette partie les différentes méthodes possibles pour créer le modèle d'un objet, sans tenir compte de la représentation interne qu'elles impliquent.

IV.1.B.a. Dessin technique

Nous entendons par dessin technique (D.T.) l'utilisation à travers des moyens informatiques (écrans, moyens de dialogue...) de méthodes analogues à celles qui sont traditionnellement d'usage chez les dessinateurs. Les programmes informatiques permettront ainsi à l'utilisateur final de réaliser et modifier interactivement ou non des plans. Cette entrée du modèle se contente donc de lui fournir un ensemble d'éléments bi-dimensionnels (en général des segments et des arcs de cercles) (voir V.2).

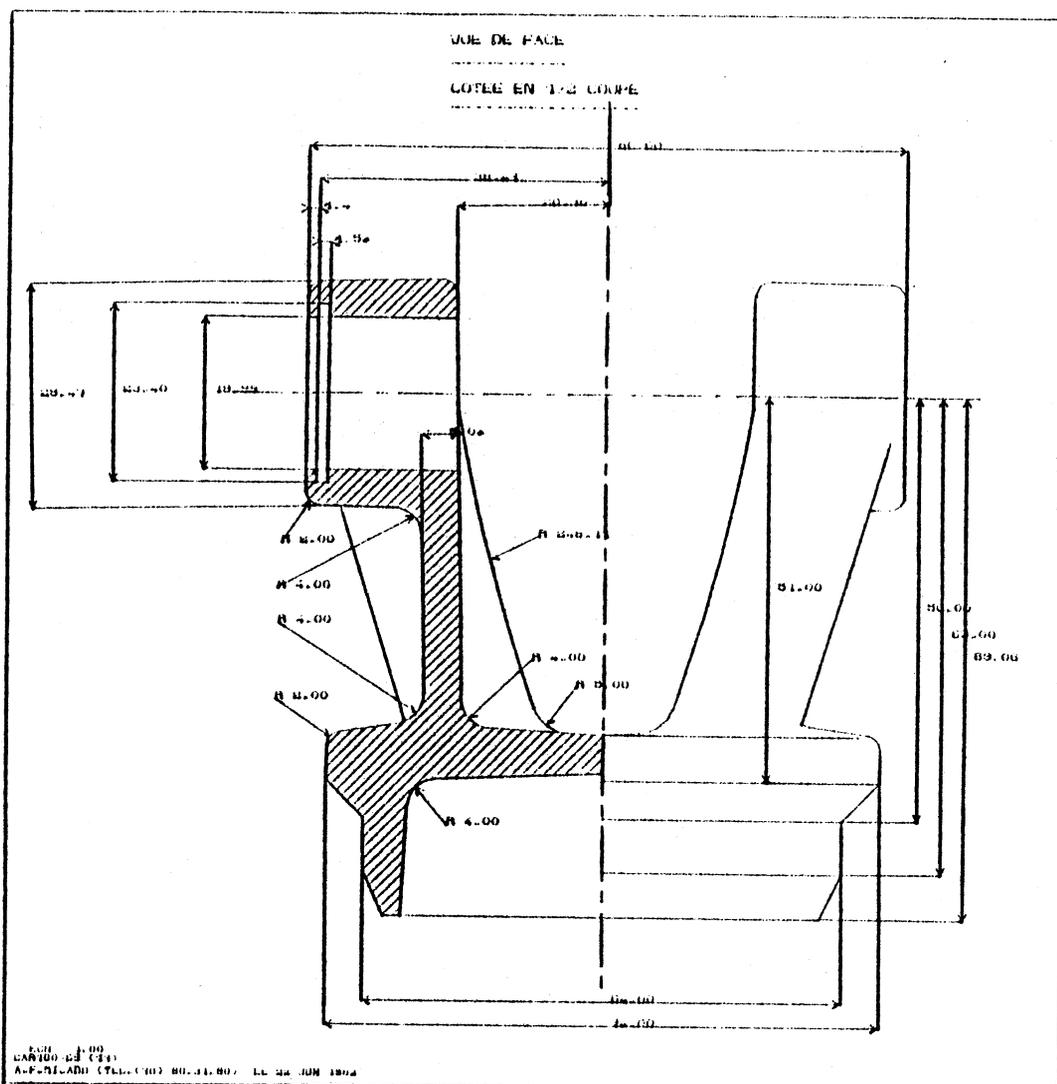
A ce niveau, le modèle ne connaît un objet que par une vue et possède donc un niveau de connaissances très faible. Si plusieurs vues ont été réalisées, le modèle ne connaît en général pas les relations possibles entre les vues et , de ce fait, toute modification sur une vue devra être répercutée par l'opérateur sur les autres. Signalons cependant que des tentatives ont été faites pour reconnaître un objet tri-dimensionnel à partir de plusieurs vues. Cette méthode peut être efficace dans le cas d'objets simples mais peu réaliste dans des cas habituels de l'industrie, pour ce qu'il ressort de notre expérience actuelle (VII.).

IV.1.B.b. Epaisseur et révolution

Les objets pouvant être définis par une vue et une épaisseur et les objets de révolution constituent une classe particulière d'objets qui peuvent être décrits à l'aide d'une entrée D.T. et des paramètres définissant l'objet dans l'espace (épaisseur ou axe et angle). Il s'agit donc d'une extension très simple d'un modèle de D.T. (cf V.4.).

IV.1.B.c. Mouvement

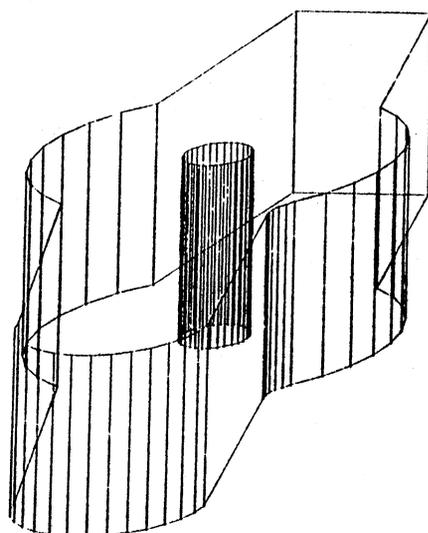
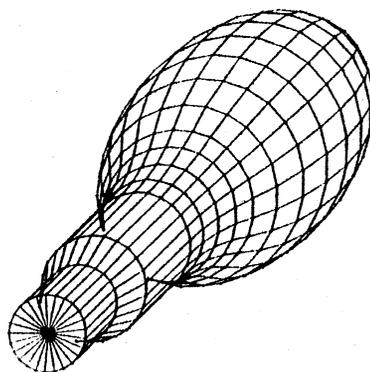
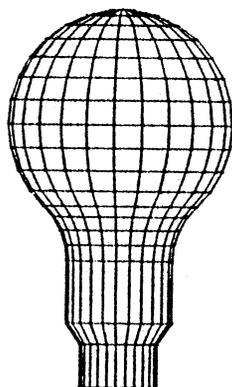
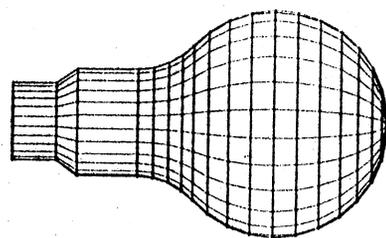
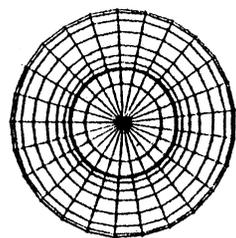
Un objet peut être défini à partir d'une entité (par exemple une face ou un solide) et d'une trajectoire dans l'espace. Il s'agit donc d'une généralisation de IV.1.B.b. Elle découle pour une bonne part, des méthodes de fabrication. Par exemple, une machine outil peut enlever de la matière d'un solide par un outil de forme donnée se déplaçant suivant une trajectoire donnée.



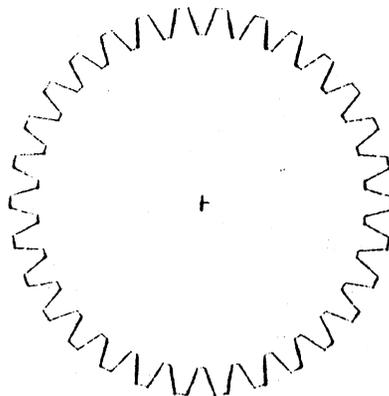
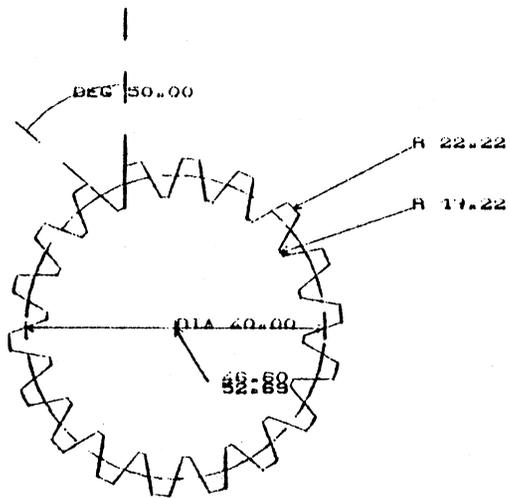
F.IV.6. EXEMPLE DE PLAN : DESSIN TECHNIQUE (GRI 2D)

IV.1.B.d. Paramétrisation

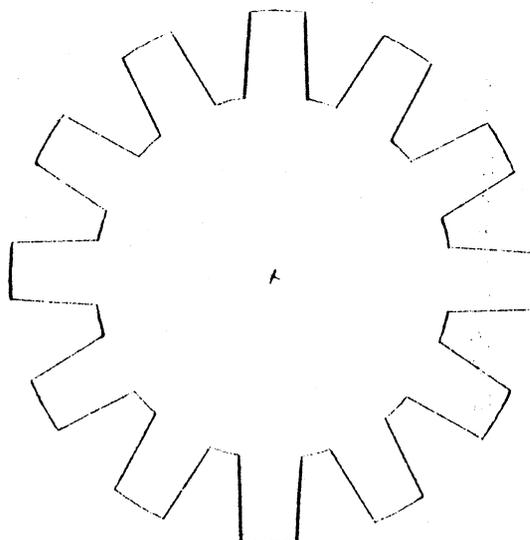
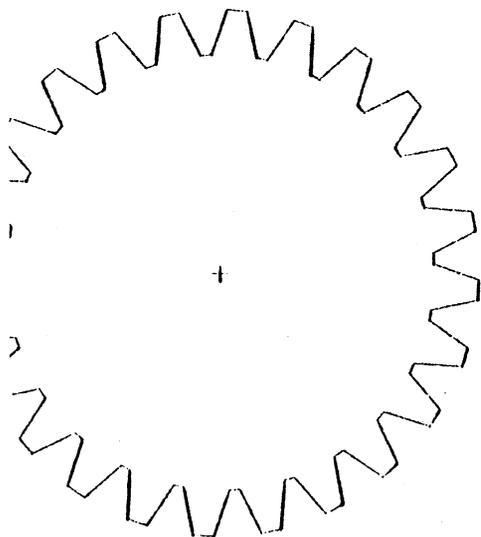
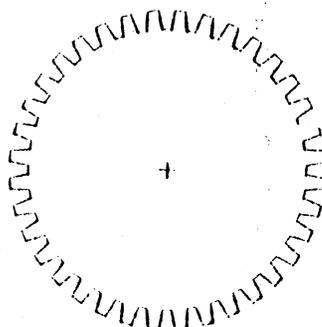
Cette notion découle de la notion de famille de pièces. Une famille de pièces est composée d'entités ne différant entre elles que par les valeurs de certains paramètres (géométriques dans le cas présent). L'entrée d'un solide particulier se fera alors simplement en donnant les valeurs des paramètres qui définissent la famille.



F.IV.7. EPAISSEUR ET REVOLUTION
L'OBJET EST UN CYLINDRE



DE PARAMETREE
IN PRIMITIF
RE DE DENTS
E DE PRESSION



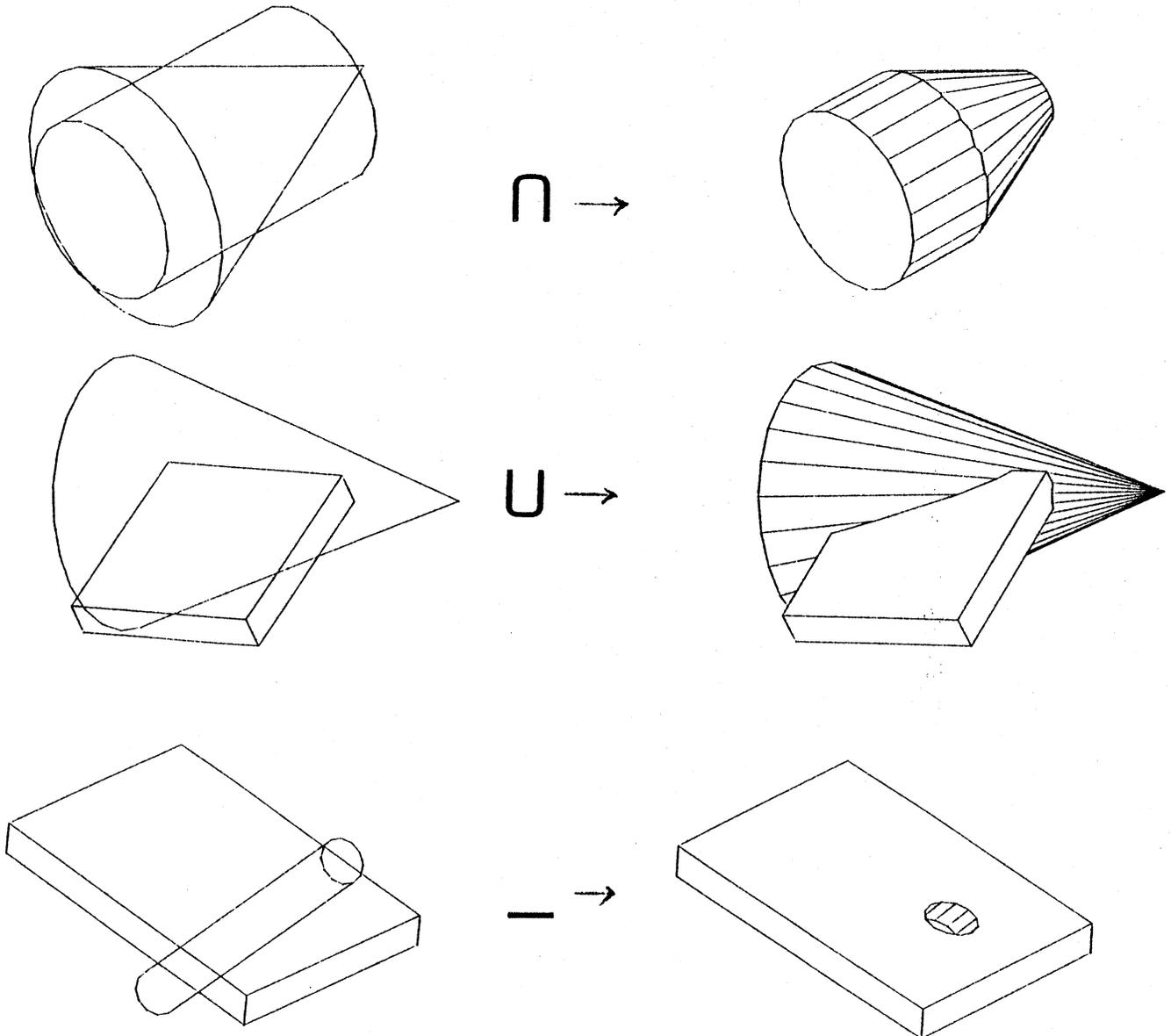
F.IV.8. EXEMPLE DE CONSTRUCTION PARAMETREE
(GRI 2D)

/...

IV.1.B.e. Construction à partir d'objets de base

Cette méthode consiste en la génération d'objets complexes à partir d'opérations booléennes sur des objets plus simples. Les objets de base peuvent être la boîte, le cylindre, la sphère et le cône. Les opérations sont, en général, l'union, l'intersection et la soustraction.

Son caractère génératif lui donne l'avantage si l'on définit rigoureusement la sémantique des opérations de base, de ne créer que des solutions acceptables.



F.IV.9. OPERATIONS BOOLEENNES

IV.1.C. Représentation interne

Si l'on analyse les différentes représentations internes utilisées pour les modèles géométriques "solides", on peut définir deux modes de représentation interne.

. la représentation par les limites de l'objet : le modèle conserve pour un solide ses limites, par exemple par ses Faces Arêtes et Sommets.

. la représentation par l'arbre de construction : Les noeuds non-terminaux représentant les opérateurs, les feuilles représentant les objets de base.

Avant d'analyser un peu plus longuement ces modes de représentation, signalons pour mémoire, la représentation d'un solide par l'énumération des positions occupées dans l'espace, qui peut être simplifiée par un assemblage de boîtes élémentaires "collées" les unes aux autres. Nous n'insistons pas sur cette représentation, d'une part parce qu'elle est "infiniment" gourmande en place mémoire et ne peut être ainsi utilisée que dans quelques cas particuliers, d'autre part, parce que l'opération "collage" de deux boîtes peut être considérée comme une union de deux boîtes. Cette décomposition peut cependant être utile pour les calculs d'éléments finis. L'un des avantages que l'on peut trouver à cette représentation est le fait qu'on sait toujours si un point donné appartient ou non à un solide alors que cette opération devient complexe dans les autres représentations.

IV.1.C.a. Représentation par les limites : exemple des polyèdres

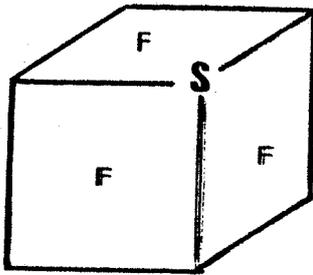
Nous allons expliciter ce type de représentation en l'appliquant, pour faciliter l'explication, à un ensemble de faces planes limitées par des arêtes elles mêmes limitées par des sommets. Les informations sont alors de 3 types :

. l'information géométrique, par exemple, les coordonnées des sommets, les équations des arêtes ou des faces. Ces informations sont souvent conservées en représentations homogènes qui ont l'avantage d'avoir une formulation plus homogène, et un degré supplémentaire qui permet d'éviter certains problèmes d'overflow, underflow ou troncatures, et de déterminer l'intérieur et l'extérieur du solide pour une face donnée. Enfin, elles facilitent le câblage de certaines opérations. Leur principal inconvénient est qu'elles sont gourmandes en place mémoire et en temps calcul.

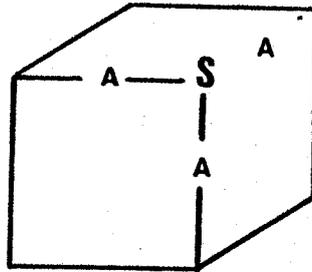
TOPOLOGIE

(NEUF RELATIONS D'UN POLYEDRE)

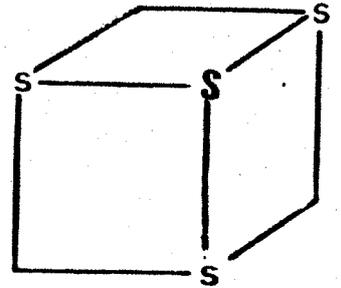
S (F)



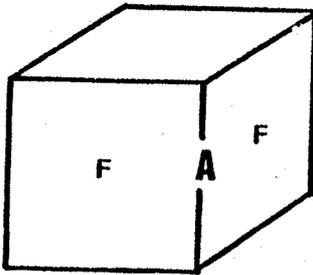
S (A)



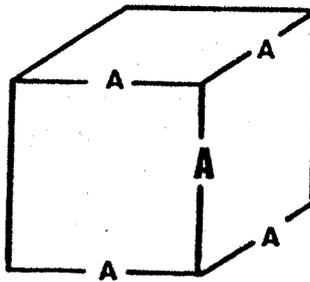
S (s)



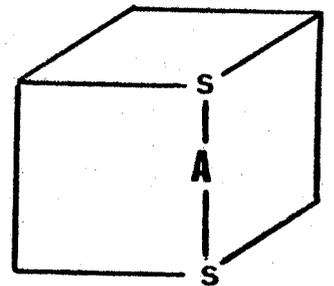
A (F)



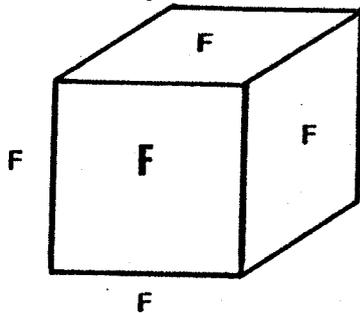
A (A)



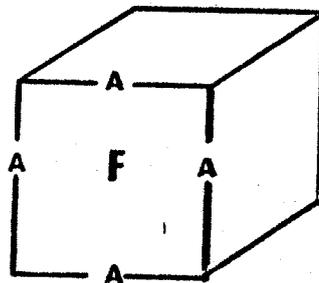
A (s)



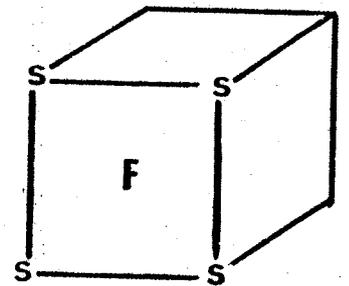
F (F)



F (A)



F (s)



GEOMETRIE (EXEMPLES)

1) $S(X, Y, Z)$

2) $S(X, Y, Z), F(A, B, C, D)$

. l'information topologique : si l'on ne conserve que l'information géométrique, la représentation est incomplète, sauf dans le cas d'objets convexes. On conserve donc également l'information permettant de connaître la topologie de l'objet.

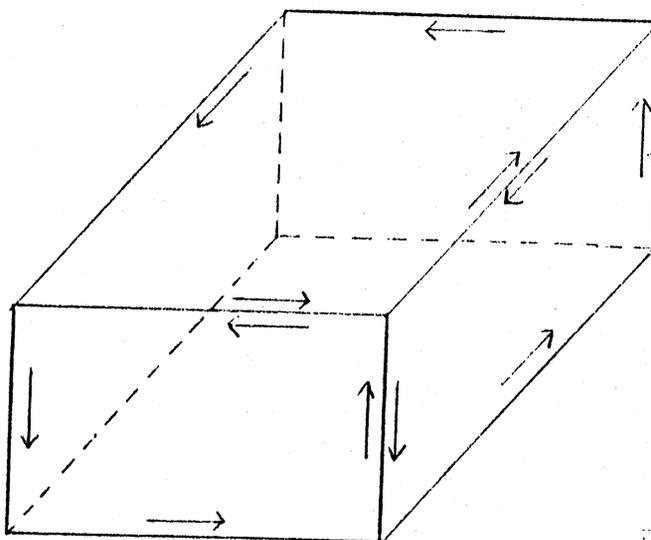
. l'information annexe : cette information concerne certains éléments importants tels que couleur de la face, degré de transparence d'une face, etc...

La topologie et la géométrie sont souvent bien séparées. Cette séparation peut avoir pour avantage, par exemple, d'effectuer une translation en multipliant les coordonnées des sommets par la matrice de translation sans modifier la topologie. Il est clair cependant, que topologie et géométrie ne sont pas indépendantes. En effet, une représentation peut devenir incorrecte par une modification sur la géométrie, par exemple en amenant le sommet d'une pyramide dans le plan de sa base.

REMARQUE : ainsi que le montre la figure F.IV.10, les informations géométriques et topologiques conservées peuvent être plus ou moins redondantes, le choix du degré de redondance étant un compromis entre la place occupée et les temps pour reconstituer (ou calculer) l'information abandonnée. Ce choix est cependant également lié aux travaux que l'on veut effectuer sur le modèle. Par exemple, si l'on travaille en dessin au trait, il est très intéressant de savoir comment les sommets doivent être joints et donc de conserver une relation concernant les sommets (A(S) par exemple).

L'un des problèmes essentiels de la représentation par les limites de l'objet est de pouvoir affirmer qu'elle définit toujours un solide. Les conditions que doit remplir un bon modèle géométrique ont été exprimées en III.1.A. Les surfaces qui définissent un solide doivent en particulier être fermées, orientables ne doivent pas se couper elles-mêmes, être bornées et être d'un seul morceau.

Une face orientable est une face qui possède deux côtés que l'on peut distinguer (bilatère). Le mathématicien MOEBIUS a donné la règle suivante pour déterminer si la surface englobant un polyèdre est orientable : on parcourt pour chaque face les arêtes la composant dans l'ordre et de telle sorte que l'intérieur de la face soit à droite. On marque par une flèche la direction sur chaque arête parcourue dans le sens de ce parcours. La surface est orientable (et fermée) si et seulement si chaque arête se voit affecter deux flèches de sens opposés. Cette propriété est très souvent incorporée dans le modèle.



F.IV.11. MOEBIUS

Toujours dans le cas de polyèdres, le mathématicien EULER avait proposé une règle dont l'énoncé est le suivant :

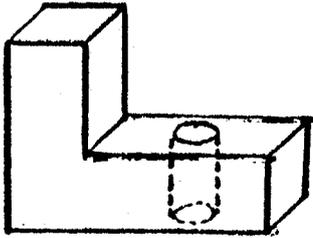
La différence entre la somme du nombre de faces et du nombre de sommets et le nombre d'arêtes est égale à 2"

$$F + S - A = 2 \quad \text{avec}$$

- (F = nombre de faces
- (A = nombre d'arêtes
- (S = nombre de sommets

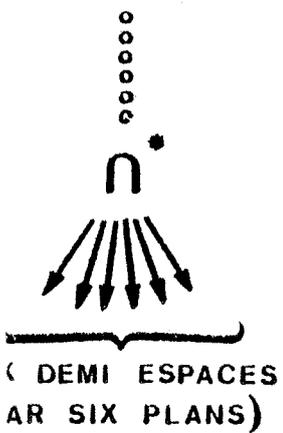
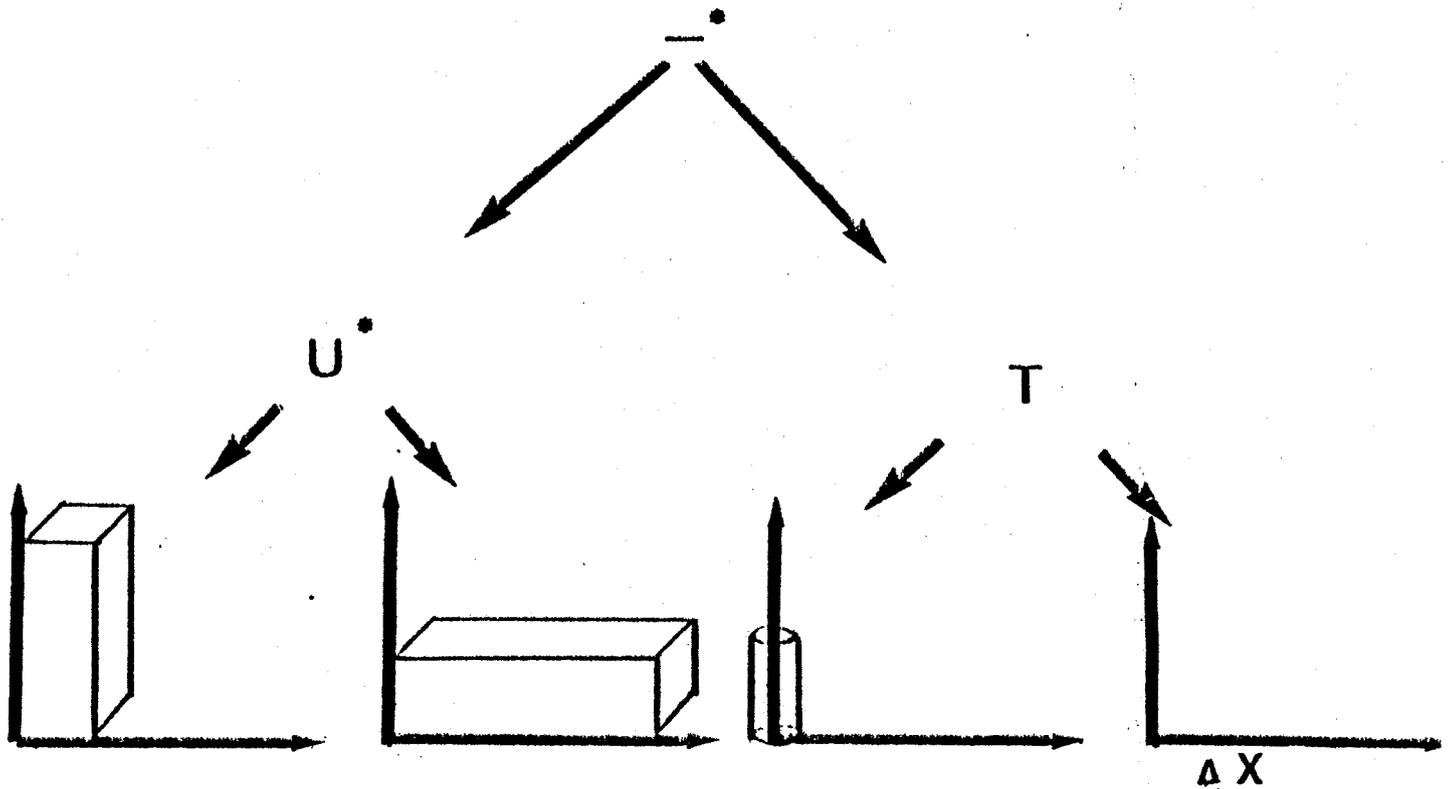
Remarquons que cette règle ne peut s'appliquer que lorsque les faces (et le solide) n'ont pas de trous et sont délimitées (és) par une suite de côtés adjacents.

REMARQUE : Cette règle est nécessaire mais non suffisante pour affirmer qu'un polyèdre est correct et la règle de MOEBIUS devra également être appliquée. La représentation par les limites a depuis longtemps été à la base de nombreux travaux en informatique graphique. C'est ainsi que les algorithmes permettant d'afficher le modèle sur un dispositif au trait ou par tâche (balayage télévision), avec ou sans élimination (s) de parties cachées sont bien connus.



OBJET MODELISE

ARBRE



F.IV.12. GRAPHE DE CONSTRUCTION

IV.1.C.b. Représentation par l'arbre de construction.

Nous pensons que cette représentation a été malheureusement trop peu employée dans la modélisation géométrique jusqu'à présent. Elle constitue une représentation de niveau supérieur à la représentation par les limites. Elle n'est en général utilisée que pour des opérateurs ensemblistes.

Elle est définie par (cf figure F.IV.12).

(arbre de construction) : = (objet de base) (arbre de construction) (noeud opérateur) (arbre de construction) (noeud de placement) (arguments de placements).

En fait, cette représentation est souvent plus compliquée qu'un arbre binaire du fait que certains sous-arbres peuvent être partagés (hiérarchie).

La représentation peut s'arrêter aux solides primitifs ou parfois descendre jusqu'aux demi-espaces. La figure montre ainsi qu'une boîte peut être représentée comme l'intersection régularisée de 6 demi-espaces plan, avec la définition :

Un espace plan est un ensemble $(P : f(p) \leq 0)$ ou P est un point de E^3 , $f = 0$ définit une surface plane ($ax + by + cz + d = 0$). Il est clair que l'utilisation de primitives "limitées" facilite les vérifications des propriétés décrites précédemment, dans le cas de demi-espace, la propriété "limitée" doit être vérifiée.

En particulier, l'utilisation d'un nombre limité de primitives permet de vérifier au niveau syntaxique la validité d'une construction.

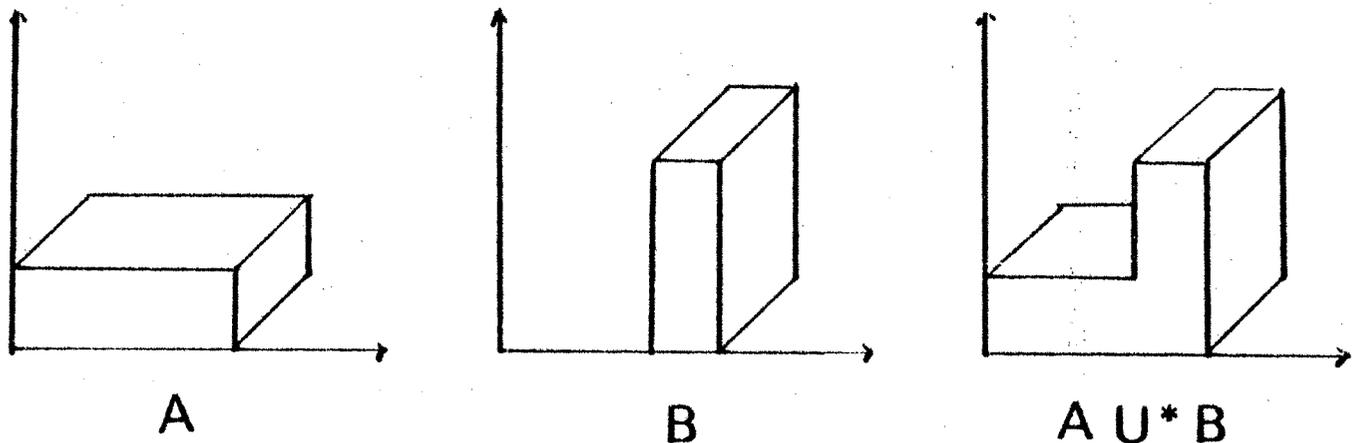
Les opérateurs pris en compte sont en général :

- . l'union U
- . l'intersection
- . la différence -
- . les transformations géométriques

Nous ne donnons ci-dessous que les avantages et les inconvénients que nous trouvons à cette représentation :

1. Elle doit être "évaluée" avant tout affichage ce qui impose souvent de conserver en parallèle pour éviter les calculs une représentation plus proche de l'affichage, en particulier la représentation par les limites.
2. Si les objets de base sont des solides, on peut définir comme solide tout objet évalué en respectant les règles données en IV.1.A.c.
3. Elle permet de conserver un aspect "fonctionnel" de la construction et peut ainsi être utilisée pour l'aspect conception. Si l'on ne conserve pas l'arbre de construction et que l'on passe directement à une représentation par les limites, certaines opérations deviennent impossibles.

Exemple : cf figure F.IV.13 : on cherche à construire l'objet C par l'opération $A \cup B$. Si on estime que le premier placement de P par rapport à A est mauvais et qu'on veut le déplacer de X, ou bien on a conservé l'arbre de construction et il suffit de le réévaluer ou bien on n'a conservé que la représentation de C par ses limites et il faut tout recommencer.



F.IV.13. EXEMPLE D'UNION

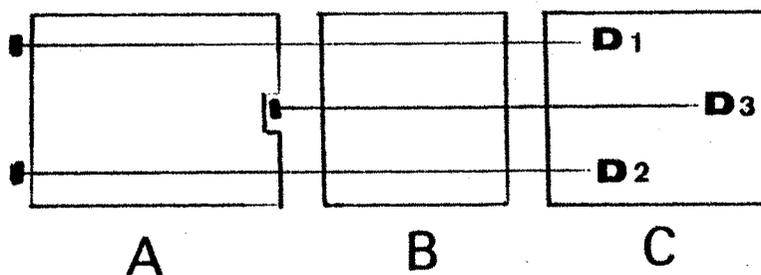
IV.2. LA GESTION DES DONNEES

Nous avons vu dans le chapitre II qu'il n'existe actuellement pas de système de gestion de base de données qui puisse être utilisé par des systèmes de CAO avec les caractéristiques que nous avons explicitées en II.2. C'est pourquoi, la plupart des systèmes de CAO ont leur propre SGBD. Malheureusement, très souvent le MODELE de l'objet et son modèle géométrique ont été confondus.

Nous ne reviendrons pas sur les modèles de SGBD qui peuvent être utilisés (le lecteur pourra se reporter à (DGM 80), mais nous voulons insister sur les différentes formes du MODELE, car nous pensons que la notion de MODELE a trop souvent été restreinte aux aspects visualisation (la modélisation des solides est par exemple, très souvent le "coeur" des systèmes CAO pour la mécanique).

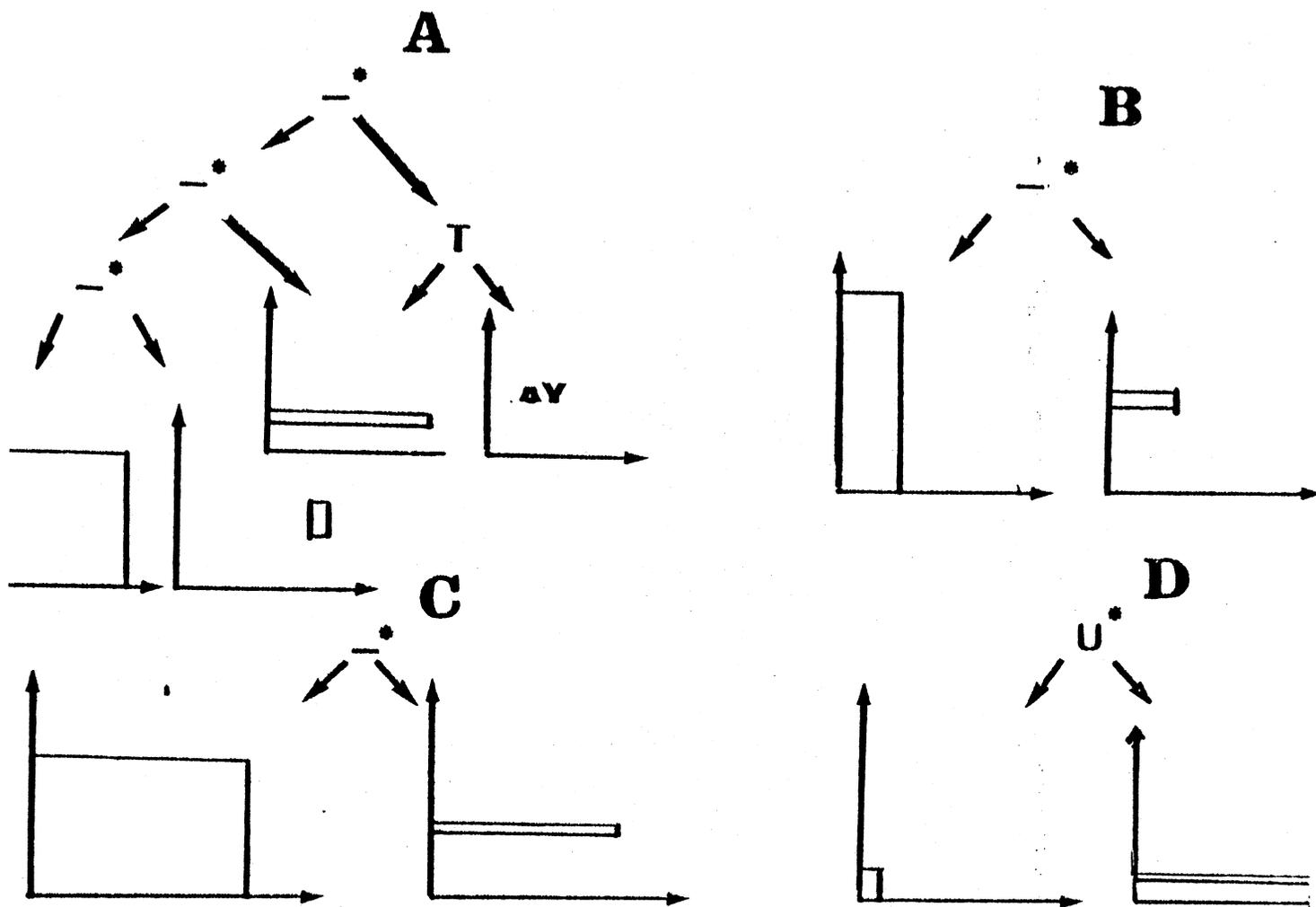
Or, si l'on prend, à titre d'exemple, une base de données d'un logiciel de modélisation géométrique fondé sur les notions de limites planes (cas très répandu dans les modélisateurs géométriques), il nous apparaît qu'il s'agit d'un modèle de visualisation utilisé uniquement parce qu'il permet un certain nombre d'opérations au niveau de la visualisation et de l'interaction. Il ne peut être considéré comme un "bon" modèle que pour des solides polyédriques. Dans les autres cas, une perte d'information est réalisée par le passage au modèle limité par des faces planes. Un modèle plus riche est (dans le cas de constructions à partir d'éléments de base) celui de l'arbre de construction, bien qu'il ne s'agisse encore que d'un modèle fondé sur la géométrie des objets. Il nous semble, par exemple, que l'un des aspects essentiels à conserver dans le modèle est celui de la logique employée par le concepteur pour le construire, ce qui permettra plus facilement la prise en compte du paramétrage que nous expliciterons plus complètement dans la présentation de PARAM 2D et de GRI 3D.

Mais les informations sont également de types différents. Considérons, à titre d'exemple une conception très simple où intervient un assemblage (cf figure F.IV.14) par vis.



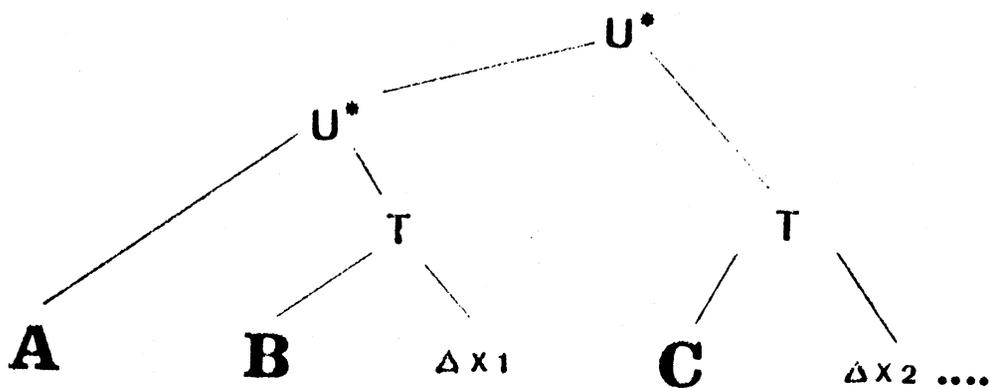
F.IV.14. EXEMPLE D'ASSEMBLAGE

Le graphe de construction de chaque constituant pourrait être le suivant :



F.IV.15. GRAPHE DE CONSTRUCTION DES OBJETS

et la mise en place pour l'ensemble pourrait être :



F.IV.16

Or cette représentation qui indique bien la géométrie de l'ensemble ne permet pas de caractériser l'assemblage lui-même, puisqu'il sera par exemple impossible de visser D3 si l'on visse d'abord D1 et D2. La modélisation de l'assemblage qui est elle aussi partie intégrante du modèle pourrait être :

Placer C → Placer B → Visser D3 → Placer A → Visser D1
→ Visser D2

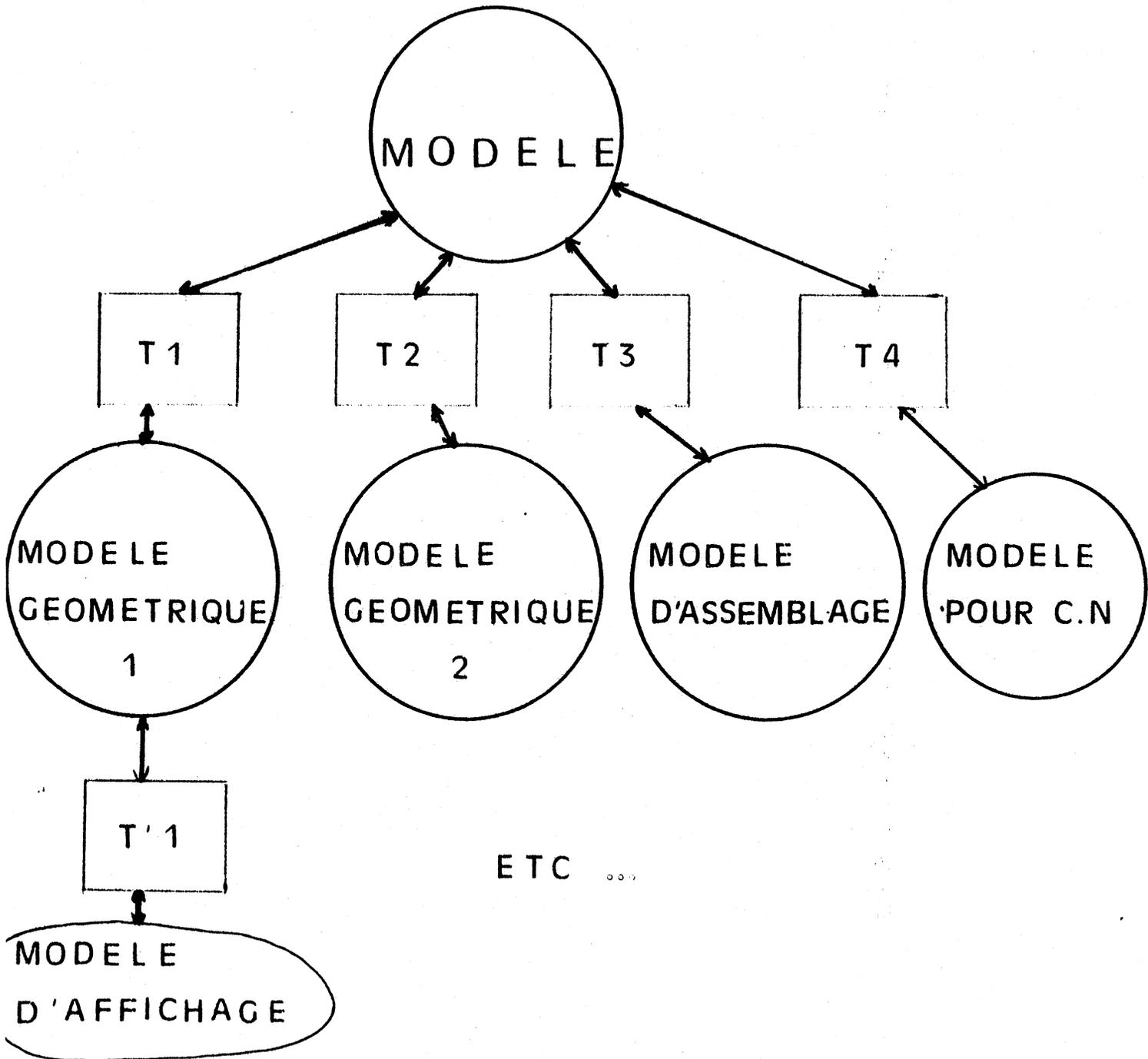
et l'on pourrait si besoin est, conserver au niveau du modèle d'autres informations comme par exemple, le fait que pour que l'assemblage soit valable, le trou dans C ait un diamètre DC compris entre le diamètre DD3 de la tête de vis D3 plus E1 et E2 (notion de tolérance), c'est à dire : $DD3 + E1 \leq DC \leq DD3 + E2$

On se rend compte ainsi facilement qu'il n'existe pas de modèle général pour toutes les applications, mais que pour que le système CAO soit efficace pour une application donnée, il faut qu'il conserve un ensemble d'informations bien plus vastes que les simples informations géométriques et même que les informations de type matière , etc...

Mais en revanche, ce modèle devra pouvoir être "dégénéré" vers des modèles facilitant certaines actions, comme un modèle géométrique, un modèle pour un calcul de structures ou un modèle pour une machine d'assemblage.

Il est évident que le choix de conserver en plus du modèle général un certain nombre de modèles "dégénérés" dépend des actions que l'on veut autoriser et qu'un traitement Ti peut n'être qu'une simple extraction du modèle général.

Puisqu'un certain nombre de modèles existent, il sera nécessaire lors de la création d'un modèle de base que celui-ci puisse communiquer avec tout modèle particulier et inversement. Comme les fonctions d'interaction existent vers des modèles particuliers, il faudra pouvoir utiliser ces entrées vers le modèle de base. Les facilités pour réaliser ces fonctions définissent, à notre sens, la notion d'ouverture d'un système de CAO particulier. Cette notion d'ouverture est donc essentiellement une notion de facilités d'accès du modèle de base, tant en écriture qu'en lecture (cf V).



F.IV.17. DIFFERENTS MODELES

Les modèles particuliers utiliseront en général une gestion des données qui leur est propre et qui sera très efficace pour les actions qui doivent être réalisées sur ces modèles (la qualité de l'interaction dépend pour une bonne part, de la structuration du modèle). En revanche, pour le concepteur de systèmes de CAO qui ne trouverait pas un modèle particulier (ou de plus haut niveau) correspondant à son application, un outil de SGBD devrait être fourni avec en particulier les qualités suivantes :

- . gestion d'objets de types différents : l'une des particularités de la C.F.A.O. est en effet qu'en plus d'informations de type "caractères" existent des informations de type "graphique". Ces deux types d'informations peuvent être en relation (par exemple une nomenclature avec le plan correspondant)
- . gestion d'objets (et de tables) de longueur variable. Les objets de même type peuvent être de longueurs différentes et ces longueurs peuvent varier pendant la conception. Par exemple, les tables décrivant les éléments des contours (doivent être soit toutes à une longueur maximum (nombre maximum d'objets d'un contour) soit de longueurs variables
- . gestion dynamique des schémas. Les relations dans un système de C.F.A.O. sont dynamiques, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être pré-spécifiées au niveau du langage de description et donc ne peuvent être pré-compilées
- . des facilités pour extraire (localisation) et "intégrer" (globalisation) des ensembles de données. Une des particularités due à l'utilisation interactive (en particulier de données graphiques) est non seulement la nécessité d'extraire une partie de ces données mais également de la "voir" de façon plus ou moins détaillée. Par exemple, pour travailler sur un assemblage, le concepteur demandera les formes des pièces et leurs aspects fonctionnels (surface de contact, axe de rotation...) alors que pour modifier une des pièces, il demandera à la voir avec tous les détails connus du système. Ces facilités d'"extraction" et l'utilisation interactive des données imposent également la nécessité de pouvoir interactivement donner (modifier) un nom à un objet afin de pouvoir accéder par la suite à cet objet par ce nom.

IV.3. LES FONCTIONS DE CALCUL

L'un des aspects essentiels des systèmes de CAO est l'aide qu'ils peuvent apporter au concepteur en lui permettant d'appliquer un certain nombre de fonctions sur le modèle. Cet aspect devrait, dans le cas idéal, être plus une aide à la conception qu'une vérification. L'importance des calculs a souvent imposé leur utilisation en temps différé, les nouvelles générations de calculateurs autorisent de grands espoirs sur leur utilisation en temps réel.

Les types de calculs utilisés sont de natures extrêmement différentes, citons pour exemple :

- . Les calculs simples d'aide à la conception qui sont utilisés en temps réel et qui sont essentiellement des aides au dialogue entre le concepteur et le modèle.

Il s'agit par exemple de calculs tels que distance entre deux droites, surface d'un contour etc... (cf fonction RENSAN dans GRI 2D en annexe 1).

- . Les calculs qui sont nécessaires sur le modèle géométrique pour remplir les fonctions de manipulation d'information graphique, entre autres :

- les calculs de contraintes ou de transformations géométriques ;
- les calculs de base (intersections de surfaces, etc...) ;
- les algorithmes d'élimination de parties cachées, etc... ;

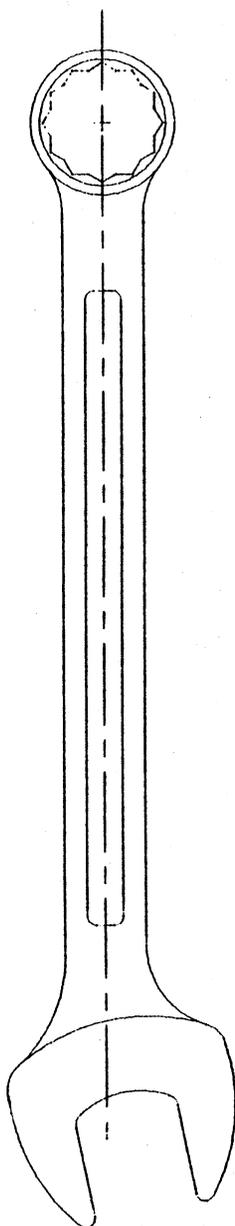
- . Les calculs de cinématique : un exemple de ces types de calculs est présenté en VI.1 avec la simulation de mécanismes de disjoncteurs.

- . Les calculs de structure pour vérifier que telle ou telle contrainte est respectée

- . des calculs permettant de trouver une solution à un problème donné, soit exacte, soit approchée (comme par exemple le calcul du placement de pièces de bois rectangulaires dans un panneau rectangulaire (cf III-C)).

- . les simulations de fonctionnement, soit du produit conçu lui-même, soit des outillages (parcours d'un outil ou simulation de la gamme).

V. LES COMPOSANTS DU SYSTEME NADRAG



CLE (GRI 2D)

Les composants du système NADRAG sont décrits dans la figure F.V.1. NADRAG est un schéma de réalisation de systèmes de CFAO dont les composants réalisés sont présentés dans ce chapitre.

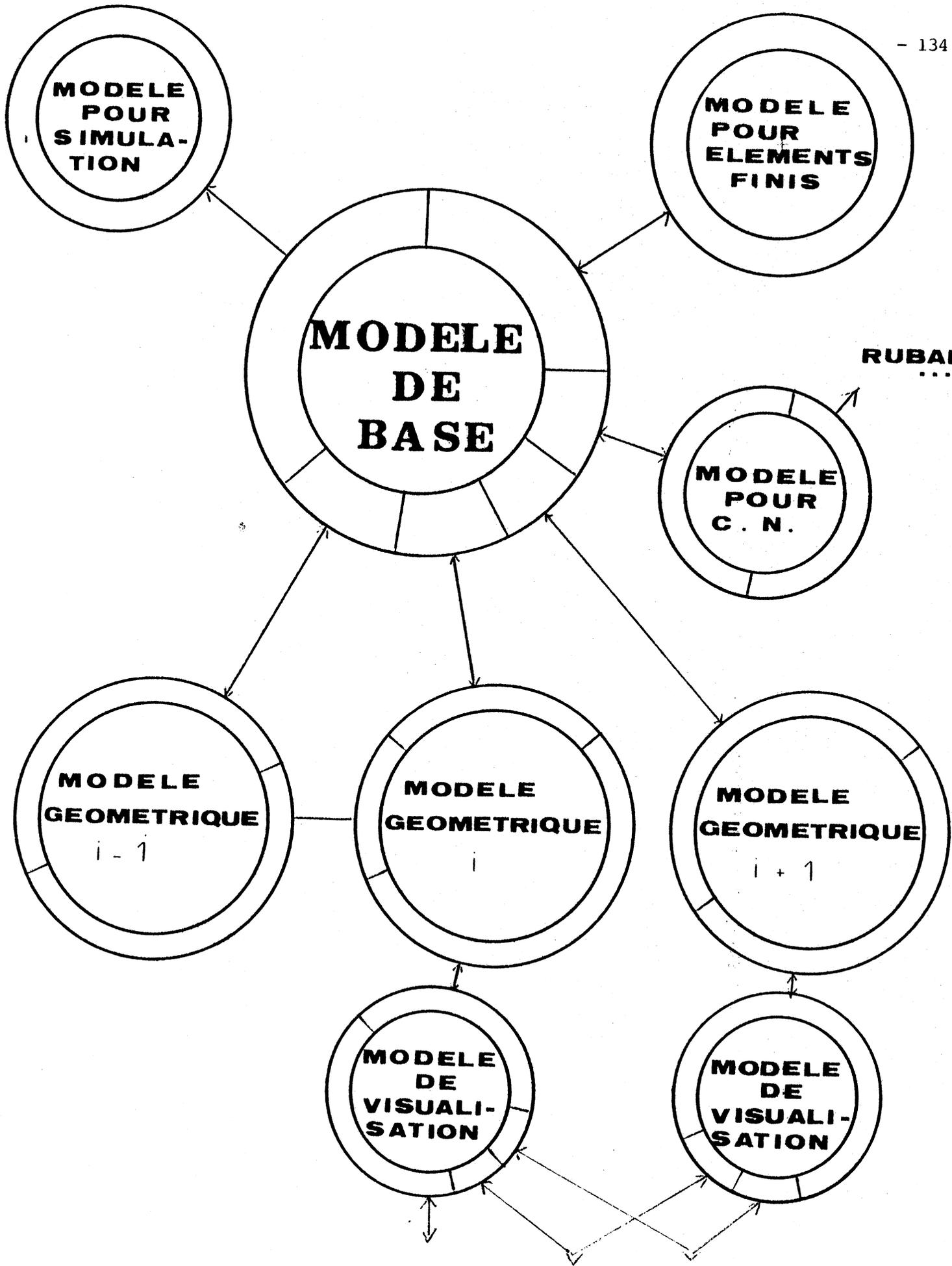
NADRAG est composé de :

. Différents modèles :

- le modèle de base qui comprend l'ensemble des informations nécessaires à une application donnée. Il peut s'agir d'informations géométriques, fonctionnelles (types et fonctions d'une pièce, matériaux...), d'assemblage, etc...La composition du modèle sera différente suivant les applications, puisque le type des informations fonctionnelles par exemple varie suivant l'application (cf VI.1 et VI.2.).
- des modèles spécifiques à une action donnée. Par exemple, pour l'habillage de plans, nous utilisons un modèle bi-dimensionnel (GRI2D:MOD) sur lequel un certain nombre d'outils permettront de coter, hachurer, etc...
- des outils spécifiques à une action donnée. Par exemple, pour l'habillage de plans, nous utilisons l'outil GRI2D : OUT. Ces outils peuvent, dans certains cas, être gérés par un moniteur et être considérés alors comme une application particulière. Par exemple, GRI2D, est un outil de dessin technique composé d'un ensemble d'outils (GRI2D:OUT) et d'un modèle bi-dimensionnel (GRI2D :MOD). Nous distinguerons parmi ces outils un outil spécialisé que nous appellerons logiciel de base qui a pour rôle de gérer le poste de travail.

REMARQUE 1 : L'ensemble des outils et modèles décrits dans la suite de ce chapitre ont été effectivement développés, soit jusqu'au stade de produits diffusables (c'est le cas de GRI2D diffusé dans l'industrie, parfois intégré dans des applications (cf VI. 1) et de PARAM 2D qui est diffusé dans les laboratoires universitaires et IUT à titre expérimental) soit sous forme de prototype pour valider certains concepts (c'est le cas de GRI3D dont seule une petite partie va être diffusée dans les laboratoires et IUT.).

REMARQUE 2 : Nous distinguerons souvent par la suite des banques de fonctions d'accès (qui seront notées avec le suffixe : ACC, par exemple les fonctions d'accès à GRI2D : MOD appartiennent à la banque GRI2D : ACC). En effet, les accès aux différents modèles gérés par NADRAG, ne sont possibles qu'à travers ces fonctions d'accès, aussi bien en lecture qu'en écriture, ce qui permet d'assurer une certaine cohérence de l'information (cf annexe 1 et annexe 2).



RUBANS
...

POSTES DE TRAVAIL (ECRANS, TRACEUR...)

REMARQUE 3 : Le modèle de base a un contenu qui dépend de l'application. Il est composé en général de données fonctionnelles non géométriques et de données géométriques. Ainsi le passage du modèle de base à un modèle géométrique peut n'être qu'une "extraction". En revanche, dans certains cas, il s'agira bien d'une transformation des données. Par exemple, dans le cas des roulements à billes, le modèle de base ne contient que les paramètres définissant le roulement, paramètres, eux-mêmes issus de calculs et d'interactions utilisateurs. La visualisation et les interactions passeront par un modèle géométrique et par un modèle de visualisation.

On peut remarquer que certains modèles géométriques peuvent communiquer directement entre eux. C'est le cas par exemple du modèle tri-dimensionnel de GRI3D qui s'appuiera pour toutes les interactions sur le modèle bi-dimensionnel de GRI2D. Remonter vers le modèle de base pourra alors se faire soit directement par le modèle de GRI2D en sachant alors qu'il ne s'agit que d'informations "dégradées" (en ce sens qu'elles ont perdu de leur valeur et qu'elles représentent, par exemple les données nécessaires à la constitution d'une liasse de plans), soit par le modèle de GRI3D.

REMARQUE 4 : La communication d'informations entre différents services devrait répondre à un certain nombre de critères qui sont définis dans les systèmes de téléconférences assistées par ordinateur. Nous avons précédemment expérimenté un système pour la tenue de réunions à travers un réseau d'ordinateurs avec la transmission de dessins : CONGRES (GAR 77). Ces dessins étaient limités à des schémas, mais en utilisant les mêmes concepts et à l'aide des algorithmes d'affichage et de manipulation associés aux outils de base de NADRAG (en particulier autour de GRI2D), un système de communication pourrait être mis en place. Nous rappelons tout d'abord les concepts essentiels pour la manipulation d'informations par un ou plusieurs groupes. (VJL 76), (TUR 76), (GAR 77).

L'un des concepts que nous avons voulu évaluer dans différentes mises en oeuvre est celui d'une approche interactive qui nous semble plus à la portée des concepteurs de bureaux d'études que la description par langage de commande ou de programmation. Cet aspect est tout particulièrement discuté dans la description de PARAM 2D (voir la discussion interactif par rapport à procédural) et dans le générateur de dialogue. Nous montrerons ainsi dans les trois parties suivantes les principaux outils et modèles autour de trois logiciels.

GRI2D : logiciel pour la réalisation et la modification de plans (dessin technique) ;

PARAM2D : logiciel pour la définition de manière entièrement interactive de familles de pièces ;

GRI3D : logiciel de modélisation solide dont nous présentons l'aspect visualisation et création de volumes à partir de contours (GRI3D : VCONT).

V.1. LA COMMUNICATION D'INFORMATIONS

Les informations concernant un objet en cours de conception sont, comme nous l'avons déjà montré, extrêmement diverses :

- . schémas fonctionnels,
- . plans d'encombrement
- . plans d'ensembles
- . plans de détails
- . notes de calcul
- . devis, etc...

et l'utilisation d'informations concernant d'autres projets est importante :

- . plans de pièces déjà conçues,
- . devis antérieurs, etc...

Les utilisations de ces informations sont de plusieurs types:

1. Modification de l'information originale,
2. Création d'une nouvelle information,
3. Consultation d'une information,
4. Modification d'une information pour créer une nouvelle information.

La différence entre 1. et 4. est fondamentale. Dans le cas de 1. il peut s'agir d'une modification sur l'information originale (qui disparaît donc en tant que telle) qui aura une influence sur tout projet utilisant cette information.

Exemple 1. Le prix d'une vis est modifié et passe de A à B. Tout projet utilisant cette vis devra être estimé avec le prix B.

Exemple 2. Le dimensionnement d'une pièce standard est modifié. Cette modification devra être prise en compte par tous les projets à partir d'une certaine date (dans ce cas, les projets antérieurs ne sont pas forcément modifiés).

Dans le cas de 4. il s'agit de modifications n'influant que sur le projet courant.

Exemple : une entreprise fabrique des tracto-pelles. Un tracto-pelle pour un projet en cours peut être obtenu à partir d'un projet antérieur ayant les mêmes spécifications avec simplement, modification de l'amplitude de la pelle.

Cette information peut être utilisée par plusieurs types de personnes : le chef de projet, un dessinateur de détail, un chargé d'affaires, un ingénieur chargé des calculs de devis, etc...

Les rôles et les droits de chacun par rapport à cette information ne sont pas égaux, en particulier, certaines modifications ne sont permises qu'à des personnes bien définies (chef de projet par exemple).

On s'aperçoit ainsi que toute l'information relative à un projet est manipulée de différentes façons et par différentes personnes. Toutes ces manipulations doivent être bien définies afin qu'une personne donnée ne puisse faire que ce qu'elle est autorisée à faire. Par exemple, une modification sur une pièce standard utilisée dans de nombreux projets, ne sera possible que dans des conditions très restrictives.

La plupart de ces problèmes doivent être résolus au niveau du SGBD. Nous estimons qu'une utilisation des techniques de téléconférences assistées par ordinateur, adaptées aux spécificités des bureaux d'études, en particulier l'utilisation d'informations graphiques, permettrait de résoudre la plupart des limitations dans la communication entre intervenants d'un projet donné.

L'expérience que nous avons faite (GAR 77), (GAR 79), avait ceci d'original que le dessin était considéré comme une information au même titre que le texte. Nous nous étions alors limités aux dessins de type schéma, pour des raisons de temps de développement et parce que c'était une forme de dessin utilisée dans la plupart des réunions usuelles. Depuis, quelques expériences ont été faites en considérant la transmission d'informations d'un projet CAO (PPP79).

V.1.A. Principes Généraux

Nous n'allons pas décrire toutes les caractéristiques des systèmes de téléconférences assistées par ordinateur que le lecteur pourra trouver dans (GAR 78), (VJL 76) et (TUR 76). Nous donnons simplement les éléments essentiels qui devraient servir de base à des systèmes de communication dans le cadre d'un projet de conception assistée par ordinateur.

- . Tenue de réunions synchrones : dans une réunion synchrone, tous les participants ont décidé d'une heure précise et sont présents en même temps. Ce type de réunions devrait pouvoir remplacer, en partie au moins, la méthode traditionnelle qui consiste à faire une copie des plans nécessaires et à se réunir dans un endroit donné pour discuter d'un certain nombre de choix. Pendant une réunion synchrone, les communications entre individus peuvent être cependant asynchrones (c'est-à-dire qu'émetteur et récepteur n'ont pas forcément à se synchroniser).
- . Tenue de réunions asynchrones : dans une réunion asynchrone, chacun participe lorsqu'il le désire, c'est-à-dire qu'à un instant donné, zéro, une ou plusieurs personnes sont présentes. Ce type de réunion peut remplacer un certain nombre de coups de téléphone et d'envois de courriers (courriers pouvant contenir de l'information textuelle ou graphique, par exemple des plans). On peut considérer une réunion synchrone comme une application particulière des réunions asynchrones. Toutes les personnes concernées par un projet devraient pouvoir faire partie d'une réunion asynchrone, certaines d'entre-elles pouvant provoquer des réunions synchrones restreintes ou générales.
- . N'importe qui (faisant partie d'une réunion) peut introduire des messages (textuels ou graphiques) à n'importe quel moment. En particulier, contrairement aux réunions "face à face", où chacun doit attendre son tour, plusieurs personnes peuvent taper un message au même moment. (asynchronisme des transmissions).
- . Tout ce qui est transmis est conservé. Ainsi, après une absence, un participant peut examiner tout ce qui lui a été transmis depuis sa dernière participation.
- . Plusieurs types de transmissions : les transmissions suivantes peuvent être autorisées :
 - . publiques (destinées à tous les participants) ou privées, (destinées à un individu ou un groupe particulier) ;
 - . Anonymes (le nom de l'émetteur ne peut être connu) ou signées (le nom de l'émetteur est connu).
- . Il est possible d'introduire des systèmes de votes ou des statistiques.

Les avantages et les inconvénients des systèmes de téléconférences assistées par ordinateur sont inhérents à leurs caractéristiques, en particulier l'asynchronisme des réunions et des transmissions (le destinataire peut prendre son temps pour "lire" l'information reçue et répondre à son gré), les possibilités de retrouver facilement de l'information, etc...

Dans tous les cas, nous pensons que ces systèmes sont adaptés à la résolution de certains problèmes et pas à d'autres et qu'ils ne vont pas remplacer les moyens actuels mais les compléter.

Si nous appliquons ces idées générales à un système adapté à la conception assistée par ordinateur, nous retrouvons un certain nombre de remarques exprimées dans (GAR77).

- . Nécessité de l'indépendance de logiciel par rapport aux consoles de visualisation, car les terminaux utilisées par les participants pourront être de types très différents (moyens d'interactions compris).
- . Types des informations transmises : les informations transmises pourront être de types très différents et avoir été préparées à l'aide de logiciels totalement incompatibles. Un schéma de principe aura par exemple, été préparé à l'aide d'un logiciel de schématique, un plan d'ensemble à l'aide d'un logiciel de conception de formes tri-dimensionnel très sophistiqué.

V.1.B. Application au processus de conception.

Des études faites dans les bureaux d'études et de méthodes de grandes entreprises ont montré que les concepteurs (ingénieurs, dessinateurs, concepteurs..) passaient jusqu'à 70 % de leur temps en communications d'informations.

Cette simple remarque peut imposer, comme cela a été le cas dans certaines grandes entreprises, l'utilisation de systèmes de téléconférences étendues (informations graphiques et alphanumériques) afin de faciliter ces communications et, ainsi, de gagner du temps qui deviendra à nouveau disponible pour les tâches de conception (amélioration de la productivité des concepteurs).

Le processus de conception d'un objet étant considéré comme un processus informationnel, il peut être décomposé en un certain nombre de phases notées PH1, PH2, PH3, ... PHn.

La phase PH1 peut correspondre par exemple à la définition du cahier des charges, la phase PH2 à la préparation des gammes de fabrication. Plusieurs phases peuvent être en cours simultanément.

Un certain nombre de personnes peuvent intervenir avec des droits définis au cours de chacune des phases. Ces droits s'appliqueront en particulier aux quatre utilisations que nous avons définies (modification de type 1, création, consultation, modification de type 2)

Il est en général possible de définir de façon exhaustive la matrice d'intervention de chaque personne au cours de chaque phase, par exemple :

Phases / Personnes intervenants	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5
P1	T	T	T	T	T
P2	T	L	L	C	C
P3	L	L	N	N	N
P4	N	N	N	L	L
.
.
.

où T signifie "tout autorisé"
 L signifie "autorisation limitée"
 C signifie "consultation"
 N signifie "aucune autorisation".

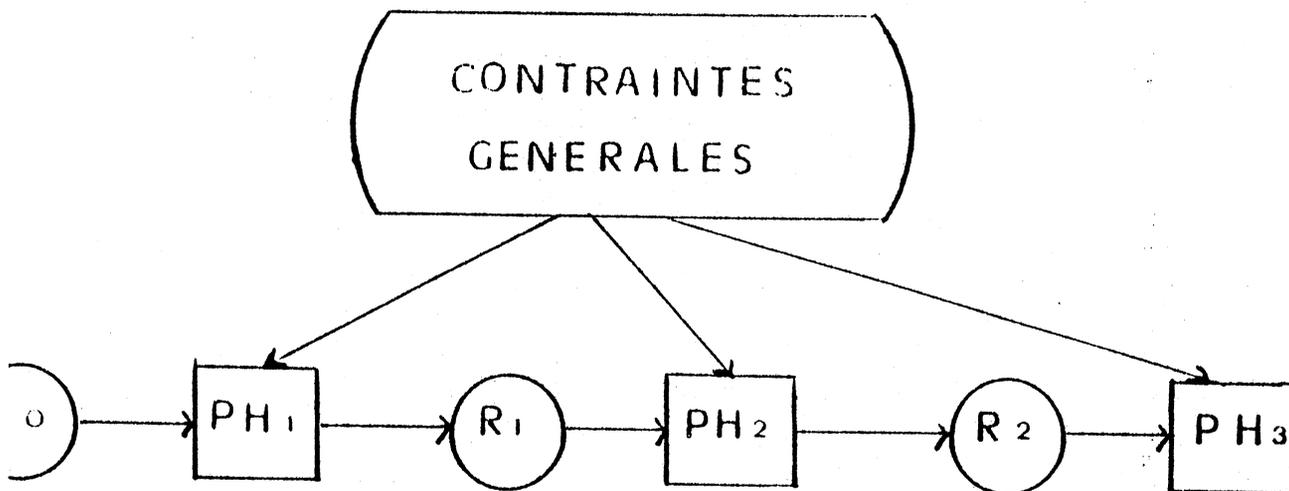
T.V.1. MATRICE D'INTERVENTION DES PERSONNES

Ces droits sont généraux pour une phase et une personne (ou groupe) données. Seul le droit "limité" a besoin d'être explicité sur les informations manipulées. Il peut être défini à nouveau par une matrice d'accès :

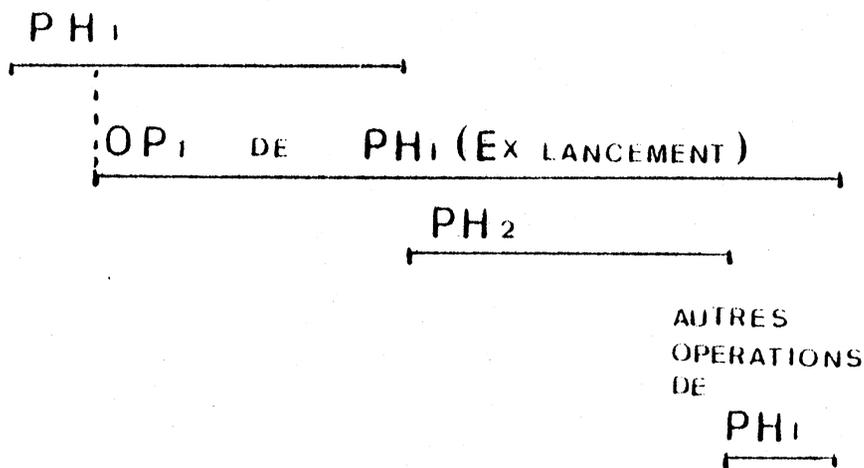
Informations / Personnes	I1	I2	I3
P1	T1	T1	T1
P2	CR	CR	MO
P3	CO	CO	CR
P4	CR	CR	CR
P5	N	N	CR
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

où T1 = modification de l'information originale
 CR = création d'une nouvelle information
 CO = consultation
 MO = modification d'une information pour créer une nouvelle information
 N = aucun droit

T.V.2. MATRICE D'ACCES



F.V.2. SCHEMA LINEAIRE DE CONCEPTION



F.V.3. SCHEMA PONCTUEL NON LINEAIRE

Toutes les informations prises en compte dans ces matrices d'accès sont des informations appartenant à la base de données projet. Il est clair qu'une autre matrice d'accès doit être mise en place pour l'accès aux informations des autres bases de données. Cette autre matrice comprendra en général des droits d'accès très stricts avec, très souvent, l'obligation d'une "approbation" de plusieurs personnes avant qu'une modification ne soit entérinée. C'est le cas, par exemple, d'une modification d'un standard d'une entreprise. Ce standard pourra être modifié par une personne donnée, puis vérifié et approuvé par différents responsables (de bureaux d'études et de méthodes et également de responsables de fabrication).

Enfin, l'une des caractéristiques fondamentales du processus de conception est que les phases opératoires ne se déroulent pas totalement de façon chronologique. Par exemple, il arrive très souvent que dès le début de la phase conception, un certain nombre d'opérations de lancement soient effectuées. La raison en est que certaines pièces ayant un cycle de fabrication très long (parfois par appel à des sous-traitants), il est nécessaire si l'on ne veut pas que le cycle total soit trop long de les lancer le plus tôt possible. Il n'est donc pas possible de se contenter d'un schéma par trop simpliste (figure F.V.2).

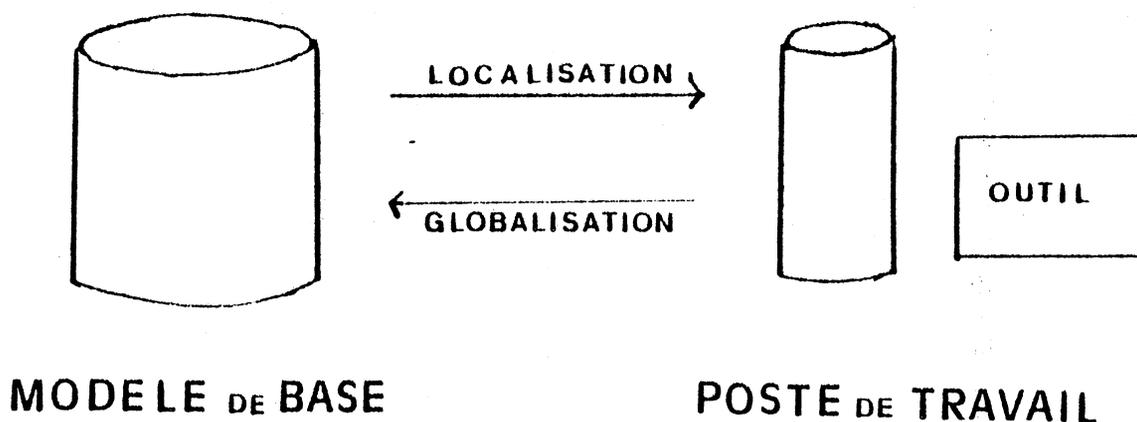
Dans la figure F.V.2. , PH_i représente la phase i , R_i le résultat de la phase i qui est considéré comme une partie du cahier des charges de la phase $i + 1$. L'autre partie du cahier des charges de la phase $i + 1$ est constituée des contraintes générales propres à l'entreprise (par exemple si PH_{i+1} est une phase méthode, les contraintes générales portent sur l'outil de fabrication dont dispose l'entreprise ou les sous-traitants auxquels elle peut faire appel).

Il est donc nécessaire de considérer l'ensemble des phases de manière plus globale. Une phase PH_i aura pour entrée un modèle d'entrée M_{i-1} et un modèle de sortie M_i . Le modèle d'entrée M_{i-1} doit être une "extraction" du modèle global M de l'objet en cours de conception (il s'agit donc d'une vision particulière du projet en cours). Des opérations d'une phase PH_i pourront ainsi être effectuées dès que la vision du modèle M_{i-1} le permet.

EXEMPLE (nous revenons sur l'exemple du lancement avancé de certaines pièces). Dans la conception de produits dont un sous-ensemble est considéré comme un standard (le coeur d'un compresseur par exemple), le concepteur définit en général les accessoires autour de ce sous-ensemble. Or, ce sous-ensemble peut faire appel à des sous-traitants qualifiés (par exemple d'appareils à pression soumis à des réglementations). La personne responsable des lancements doit alors pouvoir (soit par interrogation, soit encore mieux, par message indiquant que c'est possible) extraire du modèle de l'objet en cours de conception une nomenclature de pièces, dont il fera effectuer immédiatement le lancement.

Si l'on applique les notions des systèmes de téléconférences assistées par ordinateur, on mettra en place les outils suivants:

- mise en oeuvre du groupe : le groupe considéré dans son ensemble représente toutes les personnes qui peuvent intervenir dans un projet donné. Le responsable du projet définit ainsi les accès de chacun au niveau des phases opératoires et des informations,
- accès par les différents participants au modèle et aux opérations suivant les règles définies par le chef de projet,
- utilisation des fonctionnalités connues d'un système d'un système de téléconférences pour la transmission de messages, par exemple pour signaler à un participant que telle ou telle information qui lui est nécessaire est disponible,
- définition possible de modèles "personnels", c'est-à-dire d'une part d'informations que veut conserver un participant et dont l'accès lui est personnel (bibliothèques personnelles, etc...), d'autre part, des modèles locaux pour des outils donnés, par exemple un modèle géométrique. Cet aspect peut être rapproché de certaines notions de génie logiciel (ROR 82).



F.V.4. LOCALISATION ET GLOBALISATION

Le poste de travail sera considéré comme un environnement autonome avec ses outils et les modèles locaux.

CONCLUSION : Nous avons esquissé une approche nouvelle de la prise en compte des communications d'informations dans l'entreprise pour le suivi et la mise en oeuvre d'un projet. Ceci reste bien entendu un vaste domaine d'investigation pour lequel il nous semble que des techniques de téléconférences, mais également d'autres domaines tels que le génie logiciel, devraient être étudiés.

V.2.GRI 2D

GRI 2D est un logiciel graphique interactif qui se veut une réponse aux besoins rencontrés dans la création de plans en deux dimensions, particulièrement dans différents domaines de la mécanique (GAR 81a). Un certain nombre d'aspects développés dans cette partie peuvent s'appliquer également à PARAM 2D et GRI 3D. C'est le cas, par exemple de choix dans les algorithmes ou pour l'interactivité. Nous ne les détaillerons plus par la suite, ce qui explique que cette partie soit plus longue que les suivantes.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- GRI 2D est un logiciel graphique interactif indépendant des terminaux ;
- GRI 2D est destiné aux bureaux d'études, donc à des utilisateurs non informaticiens ;
- GRI 2D fonctionne sur des ordinateurs de types très différents (SOLAR, PRIME...) ;
- GRI 2D gère les constructions sous contraintes, les transformations géométriques, l'habillage (cotation semi-fonctionnelle, textes...), la notion de sous-ensembles, plusieurs niveaux de visualisation, une bibliothèque...
- GRI 2D peut être utilisé en tant que tel, comme logiciel de dessin 2D, mais l'une de ses caractéristiques essentielles est d'être ouvert et donc de servir de base à des applications CFAO.

Nous présentons les aspects essentiels de la conception de GRI 2D et quelques notions de réalisation et d'utilisation, essentiellement à partir de plans.

V.2.A. CONCEPTION

Au niveau de la conception de GRI 2D, les aspects suivants nous paraissent essentiels pour obtenir un modèle géométrique bi-dimensionnel de bonne qualité :

1. Concevoir un logiciel graphique interactif : nous avons toujours essayé de faciliter au concepteur non informaticien l'accès aux fonctions mêmes les plus sophistiquées (cf PARAM 2D).
2. Assurer une bonne indépendance du logiciel par rapport au matériel (terminaux et ordinateurs) et aux différents moyens de dialogue (clavier, tablette...) : notre but était de pouvoir utiliser GRI 2D à partir de postes de travail différents et de montrer la faisabilité de logiciels graphiques interactifs utilisables sur différents ordinateurs.

3. Choisir les types d'objets manipulables et les différents niveaux de composition de ces objets.
4. Gérer le dialogue et les calculs de constructions sous contraintes et des constructions par transformations géométriques.
5. Gérer la mise en page.
6. Régler les problèmes de mise au propre d'un dessin (effacement ou destruction de tout ou partie d'un objet).
7. Gérer l'habillage du dessin (cotation, textes, cartouche...). Cet aspect nous semblait, au début de nos travaux, particulièrement mal traité par les logiciels existants qui ne géraient absolument pas la relation cotation-objets cotés.
8. Gérer la bibliothèque.
9. Permettre la sortie de dessins sur papier.
10. Assurer une bonne "ouverture" du logiciel particulièrement au niveau des entrées (des entrées de type "paramétré" sont prévues), au niveau des traitements (adjonctions de nouvelles constructions, de nouveaux symboles), au niveau des entités traitées (adjonctions d'objets de type courbe par exemple) et surtout pour l'utilisation de GRI 2D dans des applications de CFAO (par des fonctions d'accès au modèle GRI 2D : MOD utilisables dans une application).

V.2.A.a. Le logiciel graphique de base

L'un des premiers choix qui s'est révélé nécessaire a été celui du logiciel graphique de base. Les points 1 et 2 nous ont poussés à choisir dans un premier temps le logiciel GRIGRI (LED 77), (LUC77) en particulier parce que GRIGRI possède les caractéristiques suivantes :

- bonne indépendance par rapport au matériel :

GRIGRI est structuré en deux modules, un noyau entièrement en Fortran, indépendant des matériels, et un interpréteur qui gère les terminaux (à un type de terminal est associé un interpréteur). Des interpréteurs existent ou sont en cours de réalisation pour un certain nombre de consoles (Tektronix 4010, 4012, 4014, IBM 2250, AFIGRAPH, IMLAC, SECAPA). L'avantage de GRIGRI est que le programme d'application n'a pas à être modifié lorsqu'on change de matériel.

- indépendance par rapport aux moyens de dialogue :

on n'a pas à se préoccuper au moment de la réalisation du logiciel des moyens de dialogue qui pourront être mis en oeuvre par l'utilisateur final. C'est cet utilisateur qui choisira à chaque interaction le moyen de dialogue qui lui semble le meilleur (par exemple : il peut donner des coordonnées à l'aide du clavier, d'une tablette ou d'un moyen de désignation comme le réticule ou le photostyle).

Les fonctions de GRIGRI sont :

- la gestion du dialogue :

- . menus ;
- . récupération de coordonnées ;
- . identification ;
- . messages opérateurs ;
- . récupération de valeurs alphanumériques ;
- . édition de valeurs alphanumériques.

- la gestion du dessin :

V.2.A.a. Le logiciel graphique de base

L'un des premiers choix qui s'est révélé nécessaire a été celui du logiciel graphique de base. Les points 1 et 2 nous ont poussés à choisir dans un premier temps le logiciel GRIGRI (LED 77), (LUC77) en particulier parce que GRIGRI possède les caractéristiques suivantes :

- bonne indépendance par rapport au matériel :

GRIGRI est structuré en deux modules, un noyau entièrement en Fortran, indépendant des matériels, et un interpréteur qui gère les terminaux (à un type de terminal est associé un interpréteur). Des interpréteurs existent ou sont en cours de réalisation pour un certain nombre de consoles (Tektronix 4010, 4012, 4014, IBM 2250, AFIGRAPH, IMLAC, SECAPA). L'avantage de GRIGRI est que le programme d'application n'a pas à être modifié lorsqu'on change de matériel.

- indépendance par rapport aux moyens de dialogue :

on n'a pas à se préoccuper au moment de la réalisation du logiciel des moyens de dialogue qui pourront être mis en oeuvre par l'utilisateur final. C'est cet utilisateur qui choisira à chaque interaction le moyen de dialogue qui lui semble le meilleur (par exemple : il peut donner des coordonnées à l'aide du clavier, d'une tablette ou d'un moyen de désignation comme le réticule ou le photostyle).

Les fonctions de GRIGRI sont :

- la gestion du dialogue :

- . menus ;
- . récupération de coordonnées ;
- . identification ;
- . messages opérateurs ;
- . récupération de valeurs alphanumériques ;
- . édition de valeurs alphanumériques.

- la gestion du dessin :

- . affichage de sections (textes ou traits) ;
- . effacement de sections ;
- . structuration à deux niveaux des données graphiques.

Il faut noter, cependant, qu'après avoir vérifié la validité d'un certain nombre de concepts, nous avons pour certaines versions industrialisées, remplacé le logiciel GRIGRI qui nous avait été fort utile dans la phase de développement par un logiciel de base plus adapté à GRI 2D (GRI2DMIN).

V.2.A.b. Types d'objets manipulables

Les types d'objets manipulés par le logiciel GRI 2D sont le point, le segment, la droite, l'arc de cercle, le cercle, une courbe par lissage de points, du texte et le contour avec les définitions suivantes :

- Objet : {point/arc/cercle/segment/droite/courbe}
- Point : {couple de coordonnées, niveau de visualisation}
- Arc de cercle : {point ; couple angulaire ; rayon ; visu}
- Cercle : {point ; rayon ; visu}
- Segment : {couple de points ; visu}
- Droite : {couple de points ; visu}
- Contour : {objet ; sens de parcours ; sens d'intersection/contour}
- Courbe : {liste de points ; type de courbe ; visu}
- Niveau de visualisation : {entier}
- Visu : {mode graphique}
- Mode graphique : {mode de tracé ; niveau de visualisation}
- Mode de tracé : {représentation des coordonnées ; épaisseur ; texture ; couleur}
- Représentation des coordonnées : {ligne brisée / segments disjoints}
- Épaisseur : {9 épaisseurs possibles}
- Texture : {continu/tireté court/tireté long/pointillé/mixte}
- Couleur : {vert/rouge/bleu/jaune}
- Texte : {point ; suite de caractères ; mode txt ; niveau de visualisation}
- Mode txt : {type ; taille ; orientation}
- Type : {majuscules/minuscules}
- Taille : {4 tailles possibles}
- Orientation : {angle avec l'horizontale}

Les entités non directement manipulables par l'utilisateur concernent l'habillage du dessin. Il s'agit en particulier de la cotation et du hachurage.

- . La cotation est une fonction d'objets, d'un point et d'une valeur.

Cote : {type ; objet 1 ; objet 2 ; couple de coordonnées ; valeurs}

type : {nombre d'objets ; valuation}

objet 1 : {objet}

objet 2 : {objet /0}

valeur : {réel}

valuation : {valeur exacte/valeur imposée}

Les objets manipulables peuvent être regroupés en ensembles. On pourra ensuite désigner un ensemble ou les objets qui le composent. A tout moment, l'utilisateur peut, par le dialogue, manipuler un objet ou plusieurs objets simultanément. Il peut également manipuler un ensemble, plusieurs ensembles ou le dessin.

V.2.A.c. Dialogue des constructions

Les constructions possibles sont essentiellement de deux types : les constructions sous contraintes et les constructions par transformations géométriques.

- . constructions sous contraintes :

Une construction sous contrainte s'applique à un objet. Une contrainte est définie par :

- . (type d'élément à construire) ((liste de ((contraintes), (type de l'élément sur lequel porte la contrainte.)))

La fonction à réaliser est donnée par le choix d'un objet à construire, du type de contrainte à lui appliquer et des paramètres (autres objets impliqués dans la contrainte et/ou valeurs).

Plusieurs solutions sont possibles pour mettre en oeuvre ce dialogue : l'une des plus répandues consiste à définir de manière exhaustive toutes les constructions possibles. Le nombre de solutions est assez grand et on fait donc correspondre à une construction une position de menu (sur tablette ou clavier de fonction en général).

Nous avons opté pour une réduction du nombre de choix par une analyse plus poussée des contraintes. Nous avons ainsi déterminé des contraintes majeures, le logiciel demandant ensuite les renseignements pour les constructions réalisables.

Le choix de l'objet et de la contrainte est fait par l'utilisateur (par menu).

Les objets impliqués dans le type de contrainte choisi sont montrés par l'utilisateur. Le logiciel se charge alors de déterminer le type de ces objets (point, arc...) et leurs paramètres. La donnée ou non de paramètres par valeurs permet de déterminer entièrement l'action que le logiciel doit réaliser.

Les types de contraintes majeures sont les suivants :

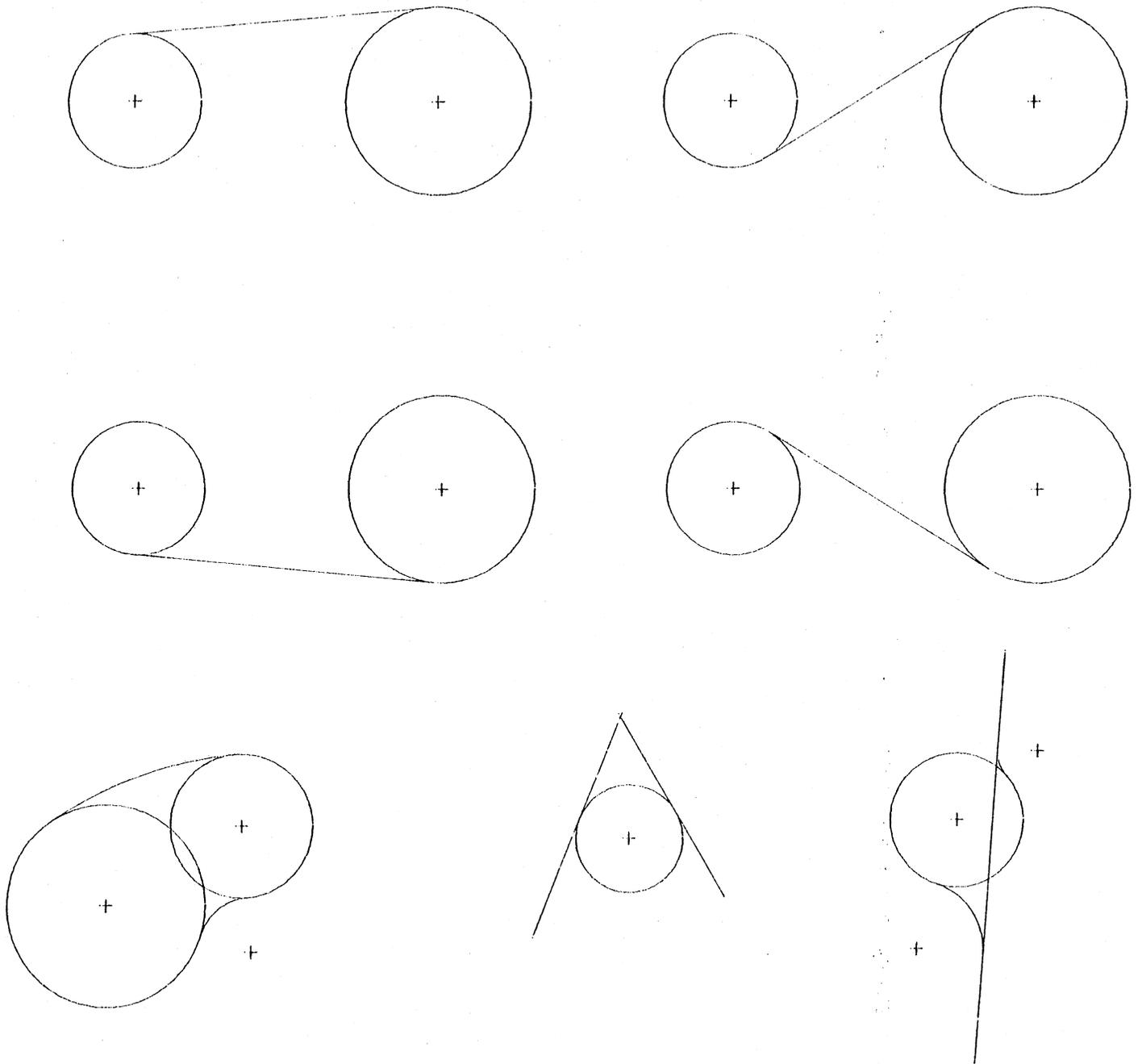
- passant par un point,
- passant par deux points,
- passant par trois points,
- passant par n points,
- tangent à un objet,
- tangent à deux objets,
- tangent à trois objets,
- parallèle,
- faisant un angle de,
- distant de.

De plus, certaines constructions qui sont très courantes ont été particularisées dans le dialogue, par exemple :

- raccord,
- bissectrice.

REMARQUE 1. La complexité du dialogue et de l'analyse syntaxique associée dépendent du choix des contraintes majeures.

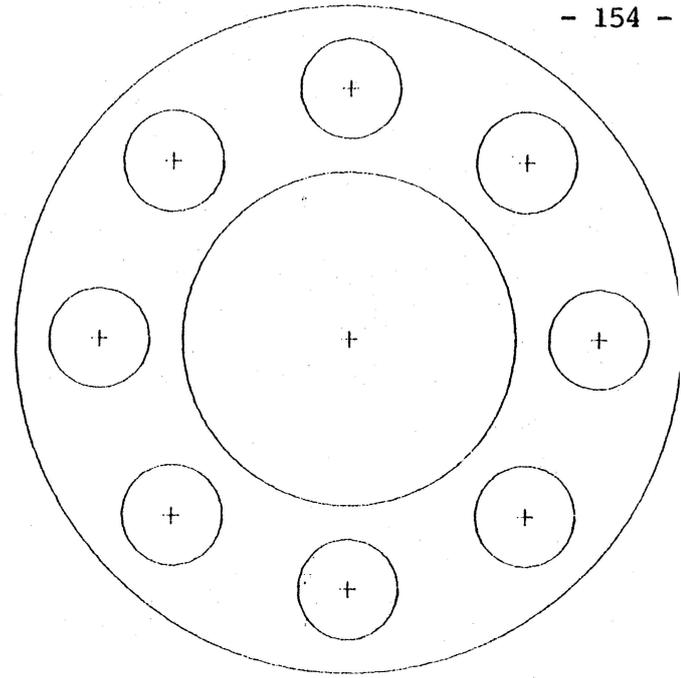
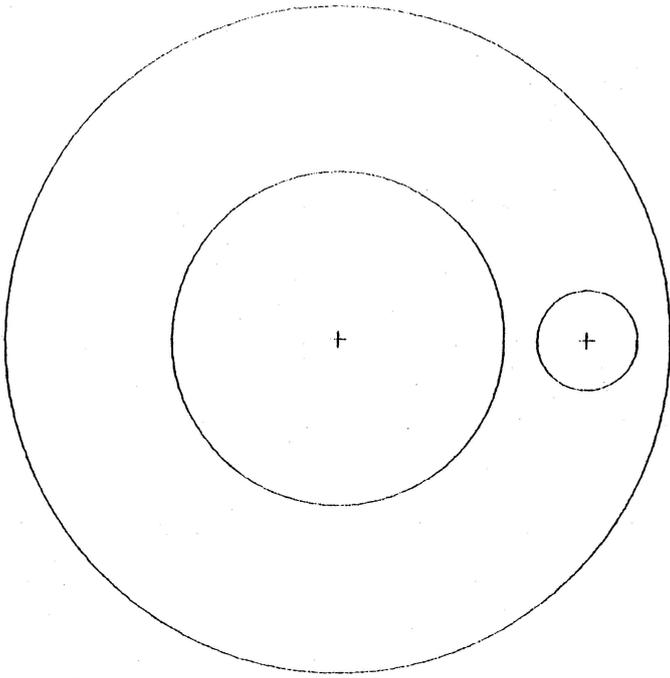
REMARQUE 2. Les moyens de dialogue du logiciel graphique de base ou des macro-fonctions définies au niveau de GRI 2D doivent résoudre les problèmes résumés par le tableau T.V.3.



F.V.5. EXEMPLES DE CONSTRUCTION SOUS CONTRAINTE

Point de vue de l'utilisateur	Point de vue du logiciel
<p>Introduire un point par : (introduction de base sans utiliser les constructions possibles);</p> <ul style="list-style-type: none"> . Coordonnées . Moyen de désignation quelconque (réticule, photostyle, tablette); . Désignation d'un point existant; . Intersection d'objets (droite-droite, droite-cercle...) <p>etc...</p>	<p>Reconnaitre qu'il s'agit d'un point et déterminer ses coordonnées (GRI2D)</p> <p>Pris en compte par le logiciel de base adapté à GRI2D (GRIMIN)</p>
<p>Désigner un objet quelconque (pour une construction, une transformation, un effacement...)</p>	<p>Recevoir un nom (GRIGRI)</p> <p>Reconnaitre le type de l'objet et toutes les valeurs le définissant (GRI 2D)</p>
<p>Introduire des valeurs alpha-numériques</p>	<p>Prendre en compte les valeurs (GRIGRI) et les affecter (GRI 2D)</p>
<p>A tout moment :</p> <ul style="list-style-type: none"> - valider une interaction, - annuler une interaction ou un groupe d'interactions, - refuser une interaction (ou terminer). 	<p>Reconnaitre le choix (GRIGRI)</p> <p>Prendre des "décisions" et choisir l'interaction suivante (GRI 2D).</p>

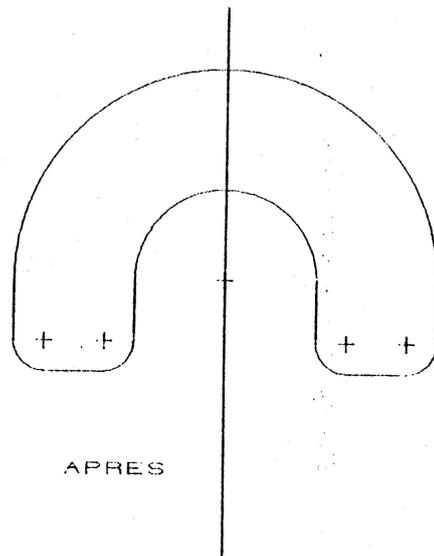
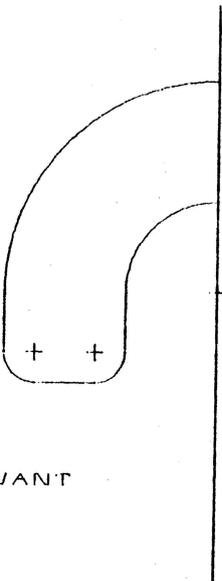
T.V.3. REALISATION DES INTERACTIONS



AVANT ROTATION

APRES ROTATION

(ROTATION 45DEG * 7)



AVANT

APRES

SYMETRIE

F.V.6. EXEMPLE DE TRANSFORMATION GEOMETRIQUE

Constructions par transformations géométriques

Quatre types de paramètres permettent de définir une ou plusieurs constructions par transformation géométrique.

- les transformations géométriques élémentaires (translation, rotation, symétrie) dont la composition donne la transformation globale à appliquer,
- les paramètres précisant ces transformations, paramètres soit graphiques (indication d'un centre de rotation, d'un axe de symétrie...), soit numériques (angle de rotation..),
- les objets (ou l'ensemble) sur lesquels on applique la transformation globale.
- le nombre de répétitions, c'est-à-dire :
 - . si E est l'ensemble des objets à transformer,
 - . si T est la transformation globale à appliquer,
 - . si N est le nombre de répétitions demandé,

on crée les ensembles d'objets, E_1, E_2, \dots, E_N , tels que :

$$E_i : T (E)$$

V.2.A.d. Calculs pour les contraintes et les transformations

Les contraintes

Deux solutions pourraient être envisagées :

a) Une solution générale que l'on peut décomposer en deux phases

- . construire à partir des types de contraintes, des éléments et des paramètres, un système d'équations algébriques,
- . résoudre ce système, les valeurs caractérisant l'élément cherché appartenant à l'ensemble des solutions du système d'équations.

L'avantage évident est que cette solution est générale, l'adjonction d'une nouvelle contrainte consistant uniquement à écrire les équations correspondantes.

Les inconvénients sont les suivants :

- le système d'équations peut être non linéaire, ce qui impose des méthodes de simplification, puis, éventuellement, une méthode interactive pour trouver une solution approchée (en général on utilise plusieurs méthodes afin de pouvoir les enchaîner dans le cas où certaines deviennent inefficaces).

- dans certains cas, il faut choisir une solution parmi plusieurs. Ceci impose de demander à l'utilisateur une première approximation de l'élément à construire.

b) Une solution par contrainte et par élément

qui consiste à écrire un sous-programme par triplet élément à définir, type de contrainte, autres éléments concernés.

EXEMPLE : Un sous-programme pour chercher les cercles de rayon donné tangents à une droite passant par un point.

L'avantage essentiel de cette solution est qu'elle n'impose pas des méthodes de calculs très complexes. On maîtrise parfaitement les recherches de solutions. Elle permet également de construire une bibliothèque de sous-programmes utilisable par plusieurs applications.

L'inconvénient majeur est que l'adjonction d'une contrainte ou d'un type d'élément impose l'écriture d'un ou plusieurs sous-programmes.

Nous avons adopté la seconde solution, pour deux raisons essentielles :

- . éviter l'utilisation de méthodes itératives qui peuvent, dans certains cas, se révéler inefficaces.
- . compléter une bibliothèque de constructions géométriques servant de base à de nombreuses applications (formes paramétrées, etc...).

Les transformations géométriques

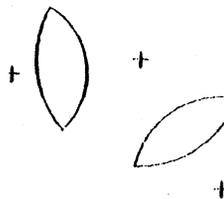
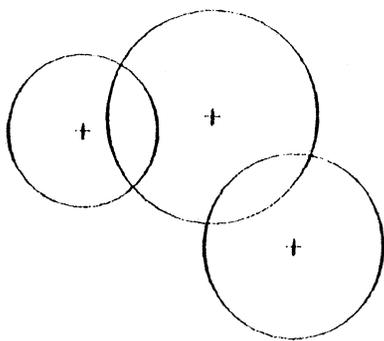
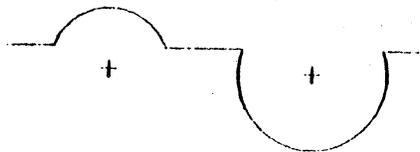
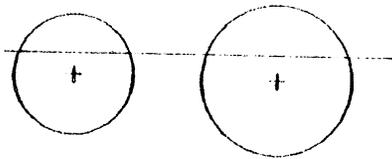
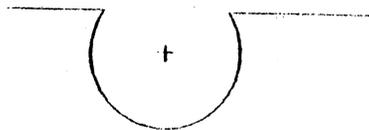
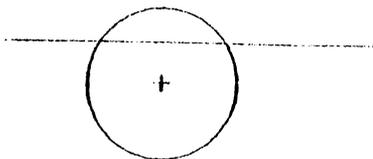
Un ensemble de sous-programmes permet de construire les matrices définissant les différentes transformations prises en compte et d'effectuer les opérations par multiplication de matrices.

La prise en compte des transformations consiste donc à :

- déterminer la matrice définissant la transformation globale par appels de sous-programmes de définition de transformations et de multiplication de matrices.
- effectuer les appels de multiplications de matrices par vecteurs pour tous les points caractéristiques des objets à transformer. Pour les angles, on effectue le calcul permettant de se ramener à des points, puis, on applique la multiplication matrice-vecteur.

AVANT

APRES



F.V.7. EXEMPLES DE MISE AU PROPRE

V.2.A.e. Gestion de la mise en page

La mise en page peut signifier :

- . un choix d'échelle pour le dessin,
- . le placement sur écran de différents ensembles,
- . des agrandissements (zoom).

Le choix d'échelles et le zoom peuvent être effectués interactivement à tout moment par l'utilisateur. Une commande lui permet, dans tous les cas, de pouvoir afficher le dessin dans son ensemble sur son écran.

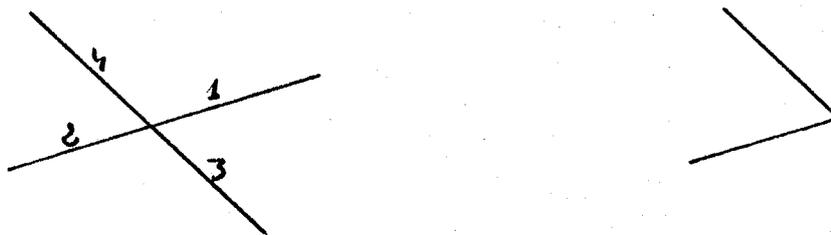
Pour le placement de différents ensembles sur l'écran, il est possible d'utiliser les transformations géométriques avec l'option effacement de l'ensemble à transformer.

V.2.A.f. Mise au propre d'un dessin

Destruction d'une partie d'objet

Le problème est de supprimer des parties d'objets par coupure.

Exemple : Deux segments se coupent : supprimer les parties 1 et 3, ce qui donne :



Nous avons mis au point un algorithme interactif dont nous ne donnons ici que le fonctionnement général.

1. Identification de tous les éléments concernés par la coupure.
2. Recherche et classement par objet de toutes les intersections entre éléments déterminés en 1.
3. Affichage au centre de chaque partie d'élément déterminé par 2 points d'un symbole permettant de l'identifier (ce symbole est ramené dans la fenêtre pour pouvoir être identifié).
4. Suppression dans la structure de données et réaffichage.

REMARQUE 1. Cet algorithme fonctionne aussi bien que l'on indique les éléments que l'on supprime ou les éléments que l'on conserve (positionnement d'un indicateur).

REMARQUE 2. Cet algorithme permet également de traiter les compléments :

Exemple : compléter 1 jusqu'à 2



Création de contours

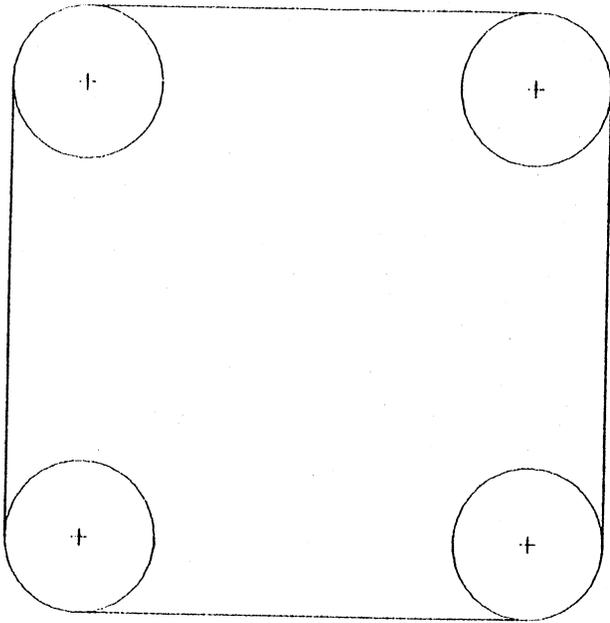
Un contour est une liste ordonnée d'objets. Il peut être ouvert ou fermé. Un contour peut être défini interactivement, l'opérateur montrant les différents objets (dans l'ordre) composant le contour et pouvant modifier le sens de parcours d'un objet ainsi que le point d'intersection de deux objets.

Un contour fermé définit un extérieur et un intérieur. Le hachurage ne pourra ainsi être appliqué qu'à un ensemble de contours fermés.

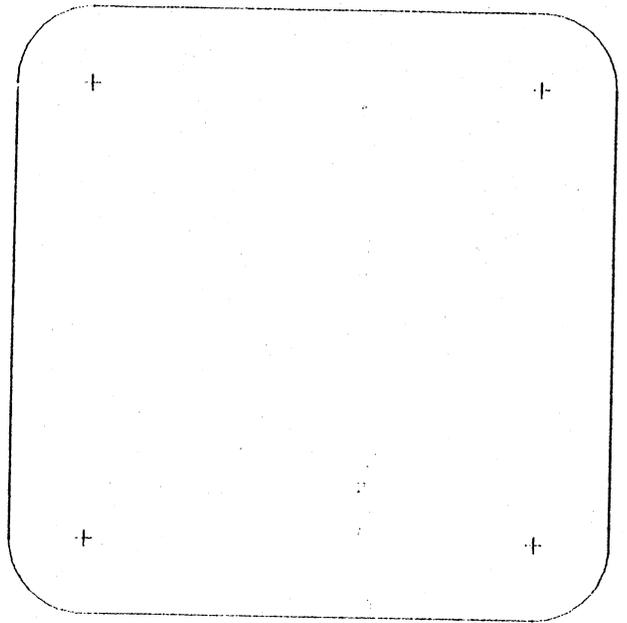
V.2.A.g. Habillage d'un plan

La cotation que l'on désire mettre en place concerne des objets. Les opérations que l'on veut effectuer sont donc les suivantes :

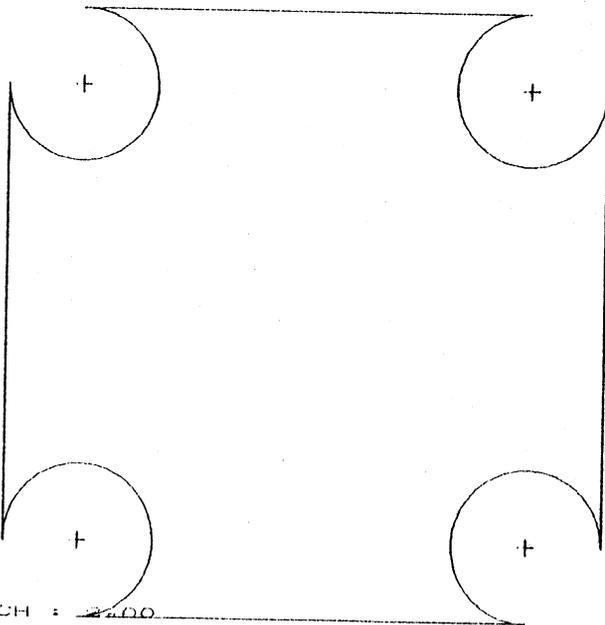
- . identifier le ou les éléments à coter,
- . indiquer où placer la cotation,
- . calculer automatiquement la valeur de la cotation,
- . autoriser l'utilisateur à modifier la valeur de la cote et son emplacement,
- . gérer l'affichage de textes en un endroit quelconque,
- . gérer différents autres types d'habillage du dessin (hachurage).



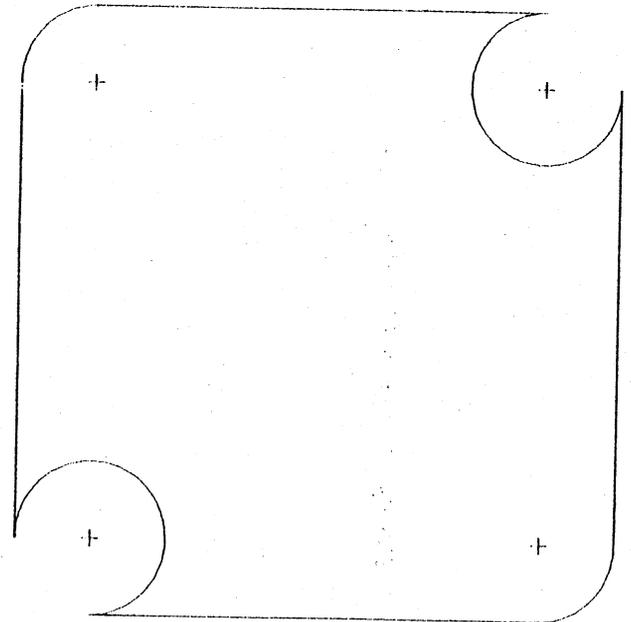
TRAITS DE DEPART



CONTOUR 1



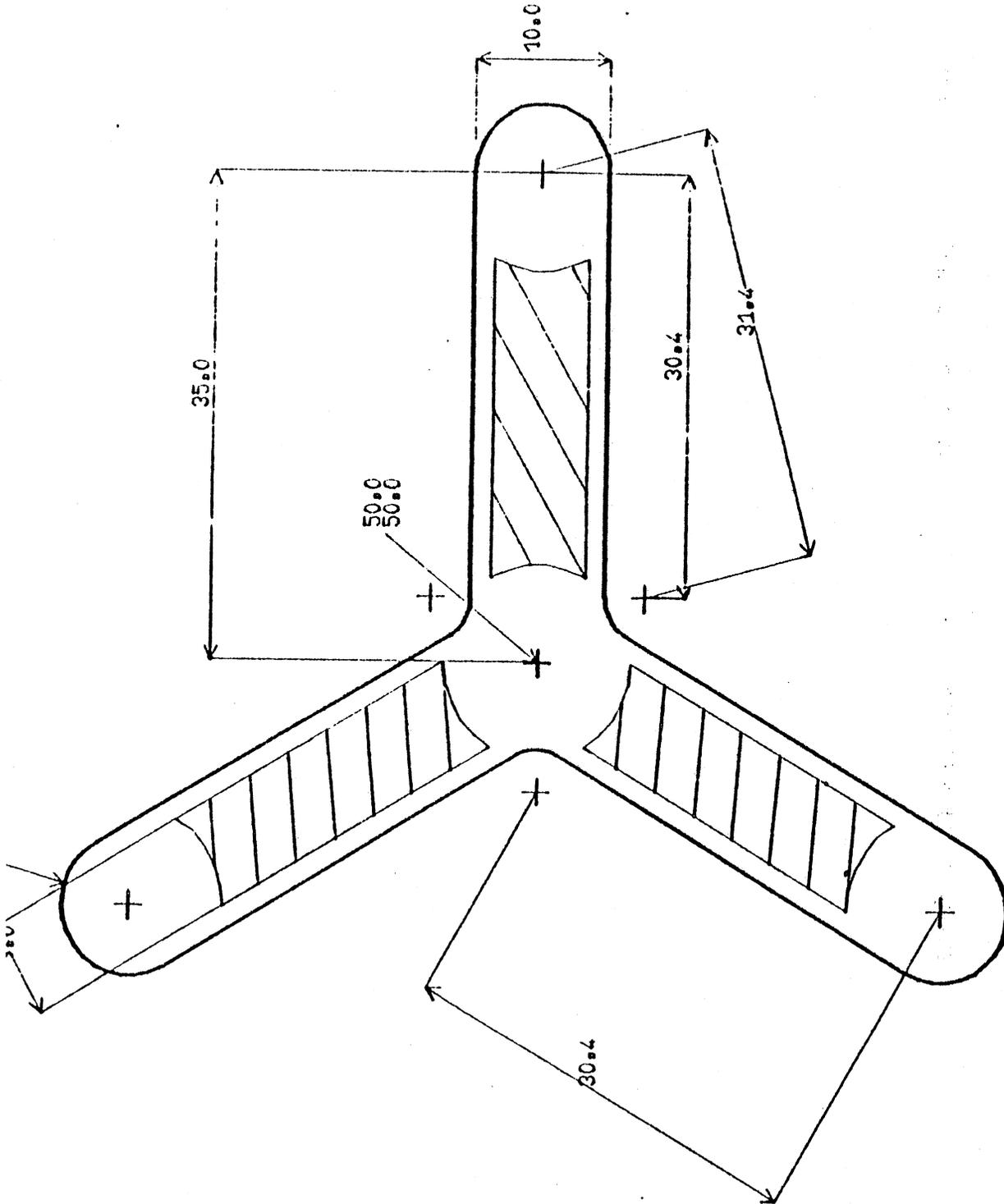
CONTOUR 2



CONTOUR 3

ECH : 1/200

F.V.8. EXEMPLES DE CONTOURS



		DATE	PAI 80
	DESSINE		
	T.C.		
GRID			

F.V.9. EXEMPLES DE COTATIONS ET DE TEXTES

La cotation

. l'identification des éléments à coter permet de traiter les cas suivants :

- un objet
 - . cercle (diamètre),
 - . segment (longueur),
 - . point (coordonnées).
- deux objets
 - . point-point (en précisant éventuellement un angle),
 - . point-arc (en précisant éventuellement un angle et un côté de l'arc),
 - . point-segment (automatique),
 - . segment-arc (plus éventuellement côté des arcs).

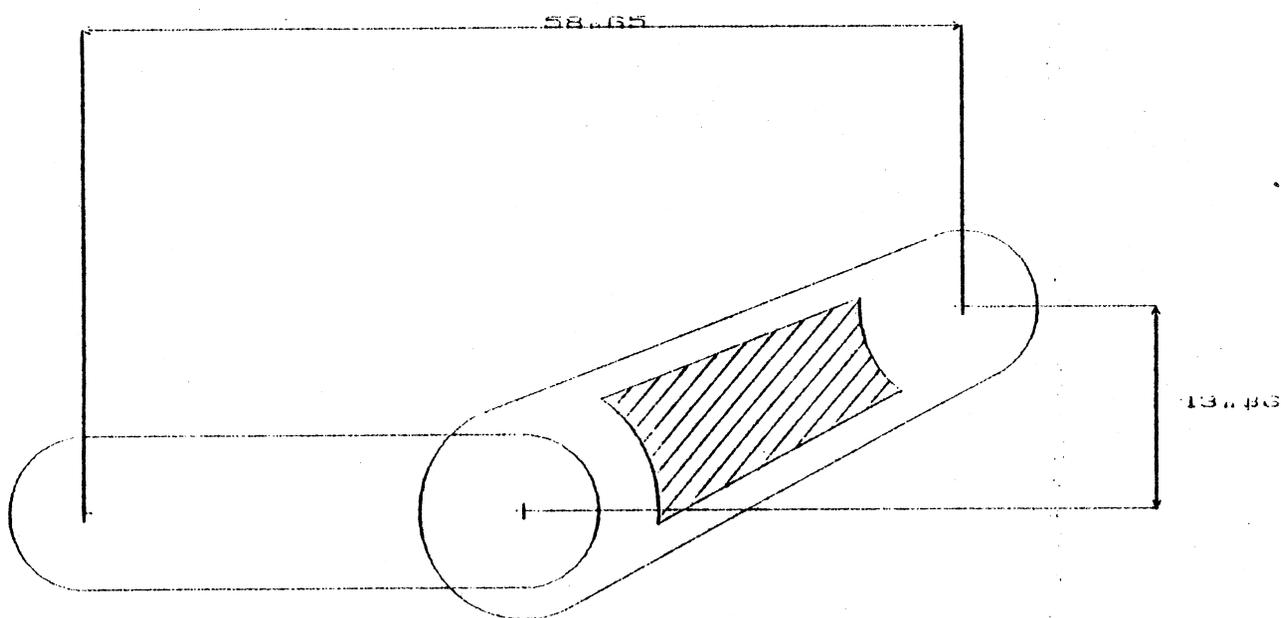
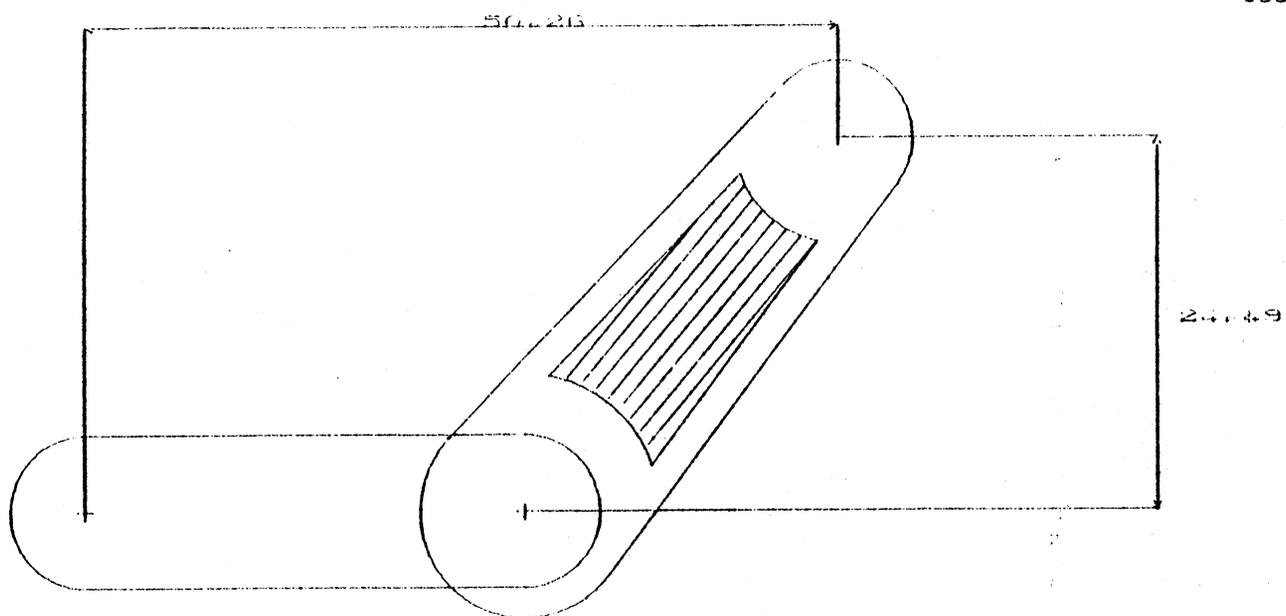
La connaissance ensuite de l'endroit approximatif où l'on doit mettre la cotation permet de remplir la structure de données habillage contenant pour une cote :

- un code de cote (1 = point-point, 2 = point-segment,...)
- le ou les objets cotés,
- les coordonnées de l'endroit approximatif où la flèche de cote doit apparaître,
- un indicateur permettant de savoir si la cote doit être calculée ou a été donnée précisément par l'utilisateur,
- la valeur de la cote.

Un sous-programme peut traiter chaque élément de cette structure pour calculer le dessin correspondant.

REMARQUE : Un certain nombre de cotations particulières ont été mises en place, telles que :

- distance entre deux points,
- cotation entre deux points suivant une direction qui peut être définie par :
 - . un angle,
 - . une parallèle à une droite donnée,
 - . une perpendiculaire à une droite donnée.



ROTATION DE -25° DEG
SUR UNE PIECE
HACHURES ET
COTATIONS "SUIVENT"

F.V.10. COTATION ATTACHEE AUX OBJETS

Gestion des symboles

L'utilisateur peut se servir de symboles selon deux méthodes.

- symboles qui existent dans le système (ex : symbole de diamètre, d'axes...). Il lui suffit alors de demander (par menu) le type de symbole et de le placer sur son dessin. La liste des symboles peut être complétée, mais cela consiste à écrire des sous-programmes en Fortran,
- symboles créés interactivement par l'utilisateur qui peut se servir de GRI 2D pour construire des symboles qu'il pourra ensuite appeler et mettre en place sur l'écran comme tout dessin ou ensemble GRI 2D. Cette méthode ne nécessite pas l'écriture de sous-programmes en Fortran pour créer un symbole.

Textes et autres habillages

L'utilisateur peut placer des textes à tout endroit d'un dessin (récupération d'un point et d'une chaîne alphanumérique). Différents types de caractères, différentes tailles et orientations peuvent être pris en compte. Le hachurage peut être demandé, en désignant les différentes entités à prendre en compte. L'angle et la distance entre hachures peuvent être choisis.

Modifications

Il est possible d'effacer tout élément d'habillage par identification.

Pour la cotation, deux modifications sont possibles :

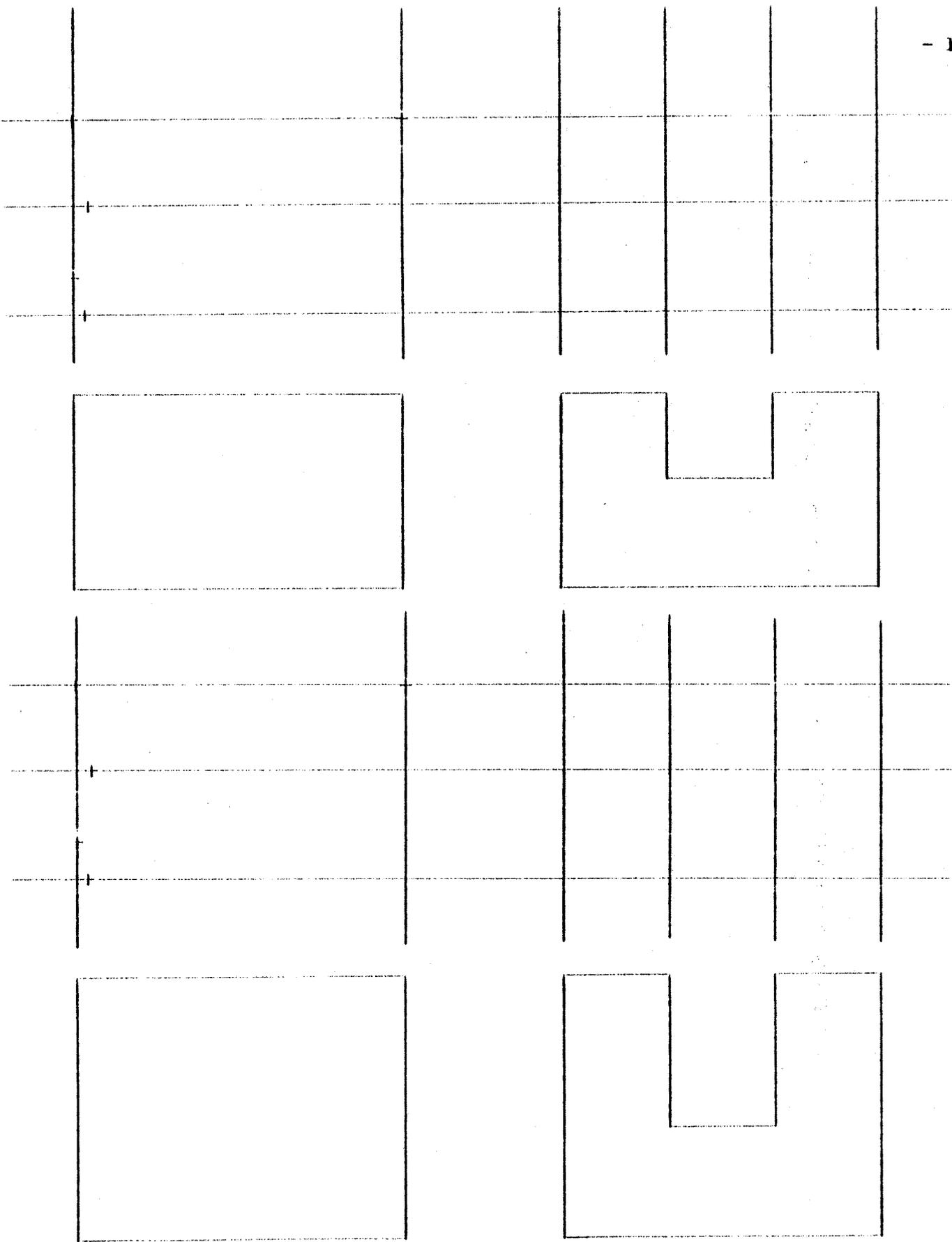
- désigner la valeur de la cote et la modifier en donnant une valeur (forcer la valeur de la cote),
- modifier l'endroit où la flèche s'affiche.

V.2.A.h. Autres fonctionnalités

Un certain nombre de fonctionnalités de structuration en particulier existent dans GRI2D. Elles s'appliquent à deux niveaux :

- le niveau visualisation :

Il s'agit, par exemple, de la possibilité de choisir ou modifier la texture d'un trait (épaisseurs, tiretés...). Une autre fonction importante concerne les niveaux de visualisation.



F.V.11. NIVEAUX DE VISUALISATION

Ces niveaux peuvent être considérés comme un ensemble de feuilles transparentes que l'on retire ou remet les unes au dessous des autres. Ceci permet par exemple (l'utilisateur peut à sa guise modifier la signification des différents niveaux qui sont au nombre de 16) de mettre les traits de construction au niveau 1, les traits de définition au niveau 2 et l'habillage au niveau 3. Il est possible alors de visualiser les traits de construction et de définition sans voir l'habillage, ou de visualiser les traits de définition avec l'habillage (sans les traits de construction), etc...

La notion de niveau de visualisation peut permettre la mise en oeuvre de fonctionnalités très intéressantes dont l'une des plus caractéristiques et des plus remarquables est la liaison entre plusieurs vues d'un même objet. En effet, si l'on considère la figure F.V.11, l'utilisateur a commencé par définir les traits de rappel sur lesquels vont s'appuyer les traits de définition. Si ces traits de rappel sont placés au niveau de visualisation 1, l'utilisateur peut les visualiser à sa guise. Il peut construire des contours à partir de ces traits de rappel en plaçant les contours à un niveau différent. Il peut ensuite visualiser les contours sans les traits de construction. Supposons maintenant que l'utilisateur désire modifier la vue numéro 1 : s'il agit sur le trait de rappel, la modification sera prise en compte automatiquement au niveau du contour (puisque'il s'appuie sur les objets de base) et la vue numéro 2 est donc mise à jour automatiquement. Il est clair cependant que la responsabilité de la mise en oeuvre de ces liaisons est entièrement du ressort de l'utilisateur final.

- le niveau structuration du plan :

Il est possible dans l'implantation actuelle de créer deux niveaux d'objets, ce qui permet de créer des pièces qui peuvent être manipulées en tant que telles. D'autres implantations pourraient mettre en oeuvre des arborescences ainsi que nous l'avons fait pour ASSEMB 2D (cf VII). Les figures montrent l'utilisation de cette notion pour réaliser des plans à partir d'objets.

V.2.B Le modèle : GRI 2D : MOD

Le modèle manipulé par GRI2D est très spécifique et sa structuration a eu dès le départ pour but de :

- . prendre en compte un maximum d'aspects fonctionnels du dessin,
- . permettre une ouverture vers des applications et donc des liaisons fonctionnelles entre les applications et les données géométriques.

Les informations manipulées sont les suivantes :

V.2.B.a. Informations géométriques

Les informations géométriques manipulées concernent les points (PO), les valeurs d'angles (PA) et des scalaires (R) pour les rayons, distances...

PO (X,Y)
PA (XA, YA)
R (r)

V.2.B.b. Informations topologiques

La structuration du dessin s'appuie sur un grand nombre d'informations topologiques, avec les notations :

segment ou droite = SG)
arc ou cercle = CE) objets de base OB
contour = CO)

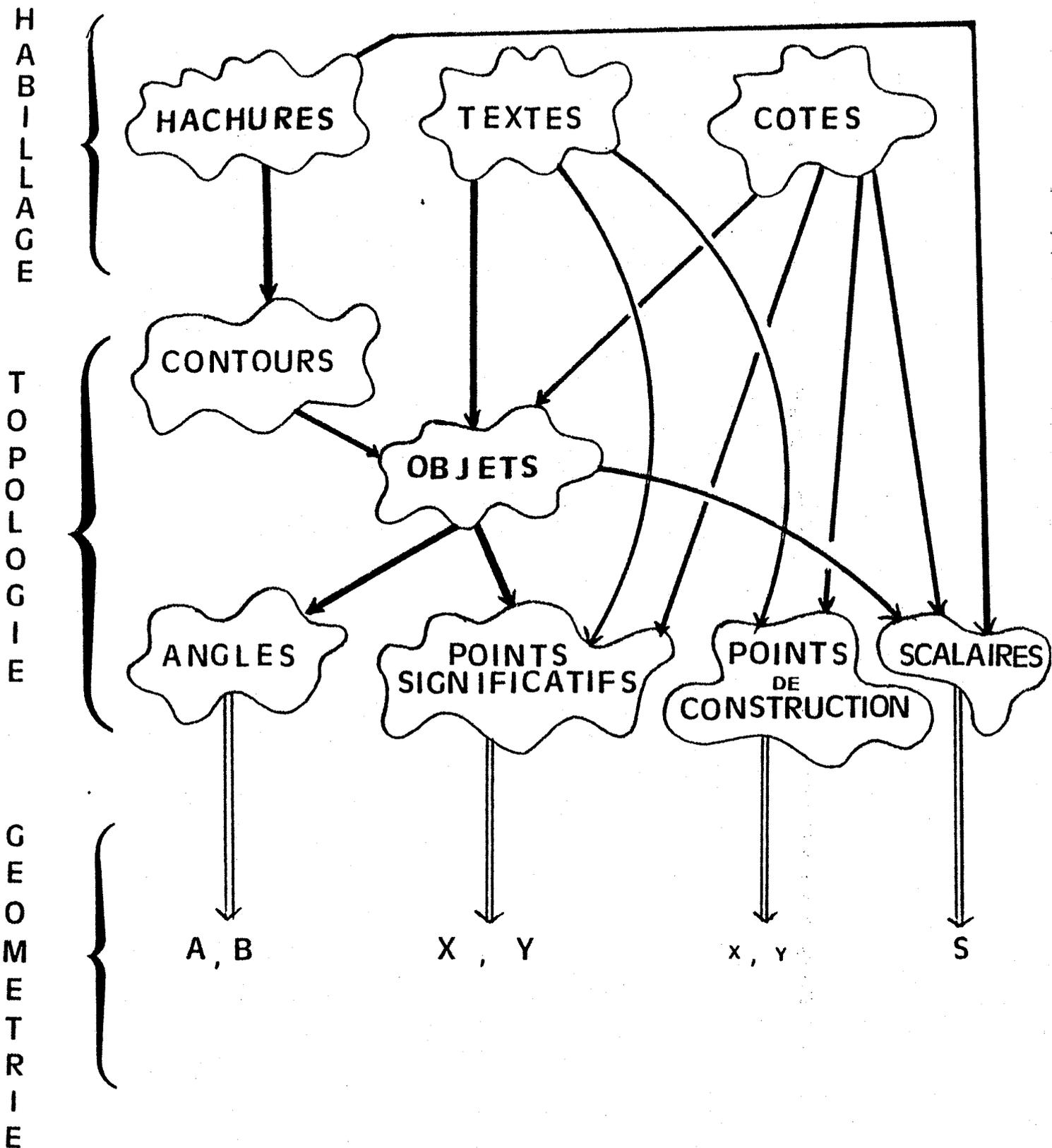
SG (POi, POj)
CE (POi, PAj, Rk)
CO ((OBi), Informations)

Pour un contour, les informations complémentaires indiquent pour chaque objet son sens de parcours et une information d'intersection (puisque dans une intersection droite-cercle ou cercle-cercle, il existe 2 points d'intersection). Cette information d'intersection peut être déterminée en fonction d'un sens de parcours ("premier" ou "deuxième" point d'intersection).

V.2.B.c. Informations d'habillage

Nous avons essayé de conserver la liaison fonctionnelle entre l'habillage et les objets concernés, ce qui donne avec les notations :

hachurage : HA
cotation : CT
texte : TX



F.V.12. LE MODELE GRI 2D (GRI 2D:MOD)

HA ((COi, i = 1, n), R1, R2)

avec R1 = angle, R2 = distance entre hachures (Remarque : R1 et R2 peuvent être soit donnés par l'utilisateur soit imposés par le type de hachures).

CT1 (Tn (OBi, POj, Rk)) Cotation d'un objet

CT2 (Tn (OBi, OBj, POj, Rk)) Cotation de deux objets

CT3 (Tn (OBi, OBj, POj, Rk, OBp)) Cotation complexe (direction fonction d'un angle ou de la direction d'un segment ou d'une droite).

avec Tn = type de cotation

TX = (POi, CHAINE, OBj)

REMARQUE : Dans les versions de GRI 2D commercialisées la liaison OBj n'existe pas pour TX.

V.2.B.d. Informations de structuration

A chaque objet de base (OB) est associée une information de structuration fonctionnelle (ensemble, sous-ensemble...),

Pièce (OBi)

A chaque objet de base (OB) et chaque point (PO) est associée une information de visualisation (niveau de visualisation) et de graphisme (type de trait...)

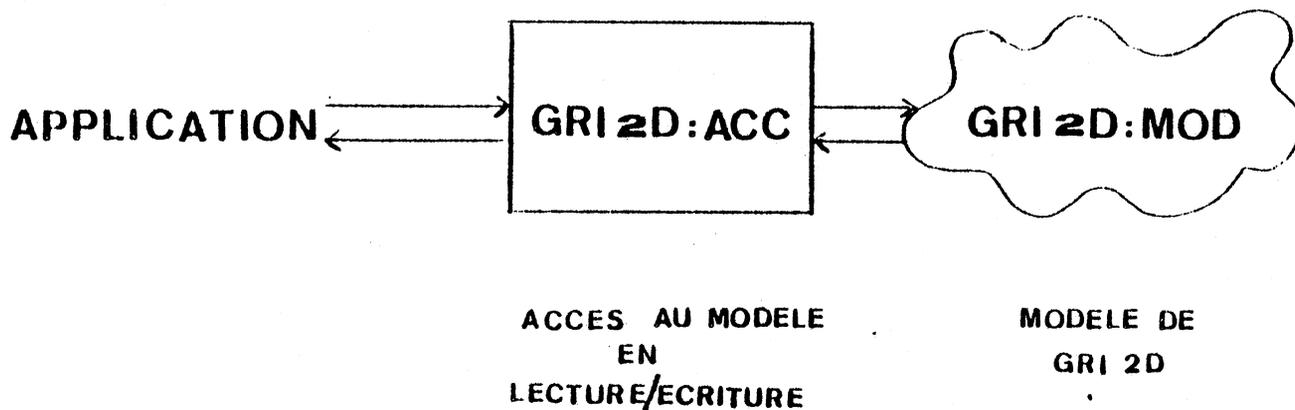
TYPE (POi)

NIVISU (OBi)

GRAF (OBi)

V.2.B.e. Accès au modèle

Les accès au modèle doivent permettre de créer une application en utilisant le modèle bi-dimensionnel de GRI 2D. Les primitives d'accès sont explicitées en annexe 1, l'exemple des mécanismes de disjoncteurs montrant une application.



V.2.C. REALISATION

GRI 2D a été implanté ou va être implanté sur une dizaine d'ordinateurs (SOLAR, PRIME, MITRA, MINI6, ...) et plusieurs terminaux (TEKTRONIX, AFIGRAPH, IMLAC, SECAPA..). Son implantation dépend de la réalisation de GRIGRI sur l'ordinateur et le terminal du site donné. GRI 2D est entièrement écrit en FORTRAN. Il est modulaire et prévu pour fonctionner en overlay. Sa puissance dépend de la taille des données spécifique à chaque implantation. Dans tous les cas, une version de GRI 2D nécessite (avec GRIGRI) au moins 40 Kmots 16 bits résidents (même avec une pagination spécifique gérée directement par les fonctions d'accès à GRI2D :MOD). L'implantation sur micro-ordinateur 16 bits pour les stations mono-postes est en cours (coût matériel + logiciel de quelques dizaines de KF).

La structure générale de GRI 2D est décrite par les 2 schémas suivants :

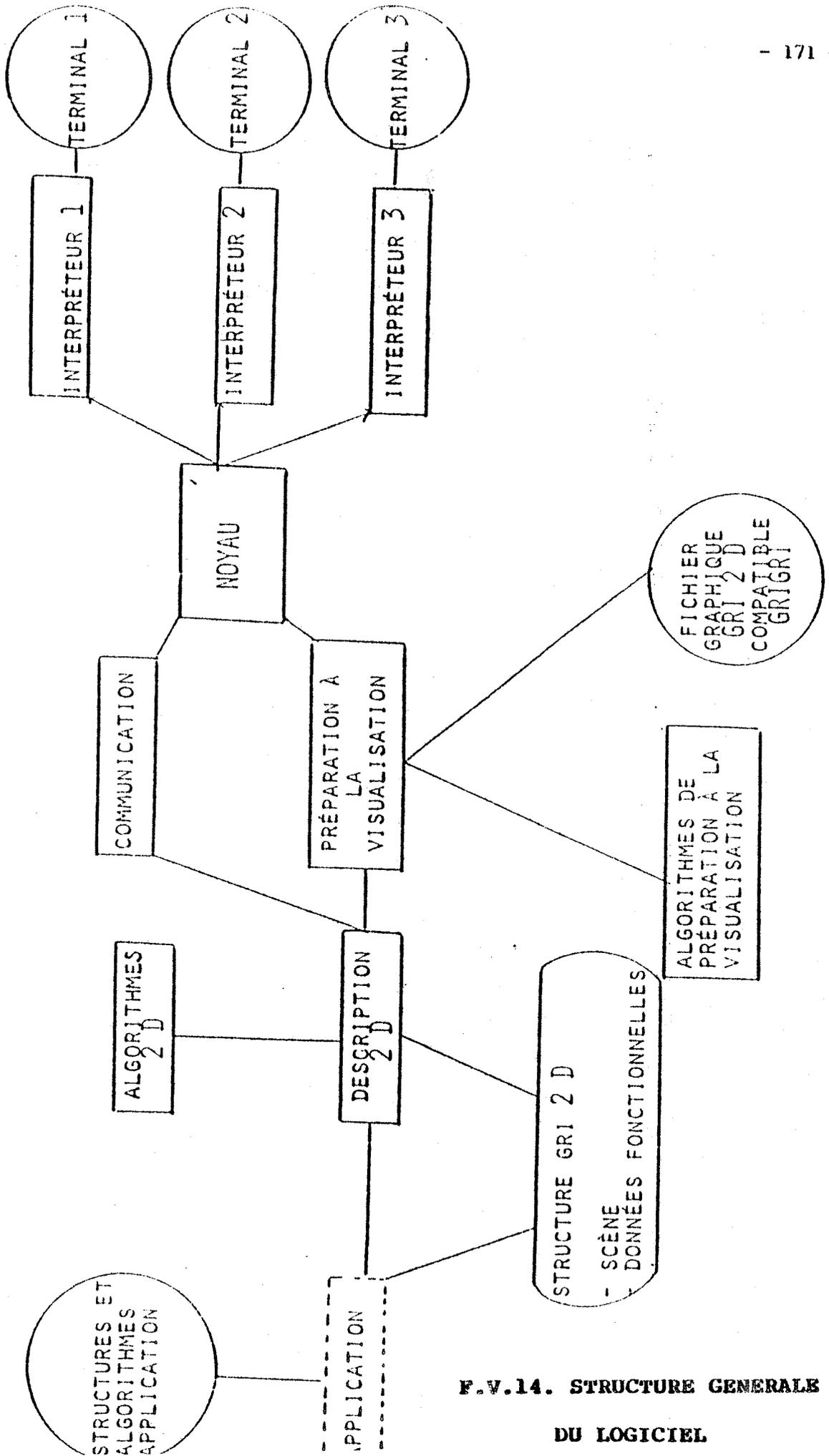
- la figure F.V.14 montre la structure générale des logiciels concernés ;
- la figure F.V.15 montre essentiellement la structuration modulaire du logiciel GRI 2D lui même .

Les principales caractéristiques de réalisation sont les suivantes :

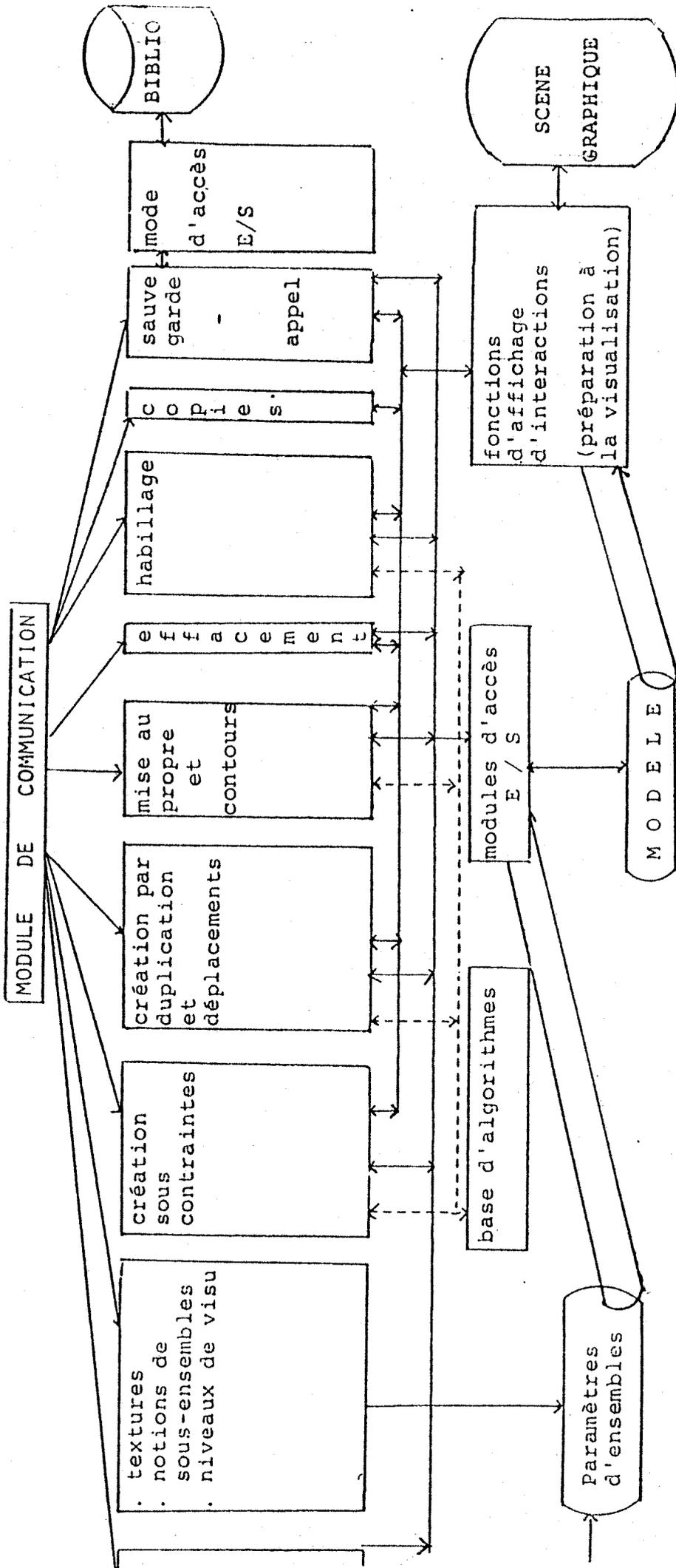
- indépendance relative vis-à-vis des terminaux : lorsqu'une nouvelle console est mise en oeuvre, l'implantation de GRI2D passe par l'écriture de l'interpréteur correspondant au terminal.
- indépendance presque totale vis-à-vis du calculateur et du système d'exploitation : les seuls modules dépendant du matériel et du système d'exploitation spécifiquement GRI 2D sont le module d'accès à la bibliothèque et le module de gestion de la pagination qui sont centralisés (cf annexe 2). Mis à part ce module, le traitement de caractères (1 subroutine) et du mode graphique (1 subroutine) sont également à vérifier en fonction de la taille de mot du calculateur (16 bits ou 32 bits).
- souplesse de la mise en oeuvre d'une application CAO sur GRI 2D qui peut se faire suivant deux modes :
 - a) l'application a besoin de toutes les fonctions GRI 2D : dans ce cas, la mise en oeuvre se fait directement au niveau du module de communication.
 - b) l'application n'a besoin que d'un sous-ensemble des fonctions GRI 2D. Il suffit alors d'intégrer au niveau de l'application C.A.O. les modules utiles, sachant que les modules sont indépendants les uns des autres.

Dans tous les cas, les accès à la bibliothèque, au modèle ou à la scène graphique se font uniquement par les modules d'accès en remplissage du modèle ou en récupératin de renseignements du modèle (cf Annexe 1).

GRI GRI



F.V.14. STRUCTURE GENERALE DU LOGICIEL



V.2.D.Utilisation

Nous nous contentons de rappeler ci-dessous les principaux aspects de l'utilisation de GRI 2D qui est illustrée par les exemples :

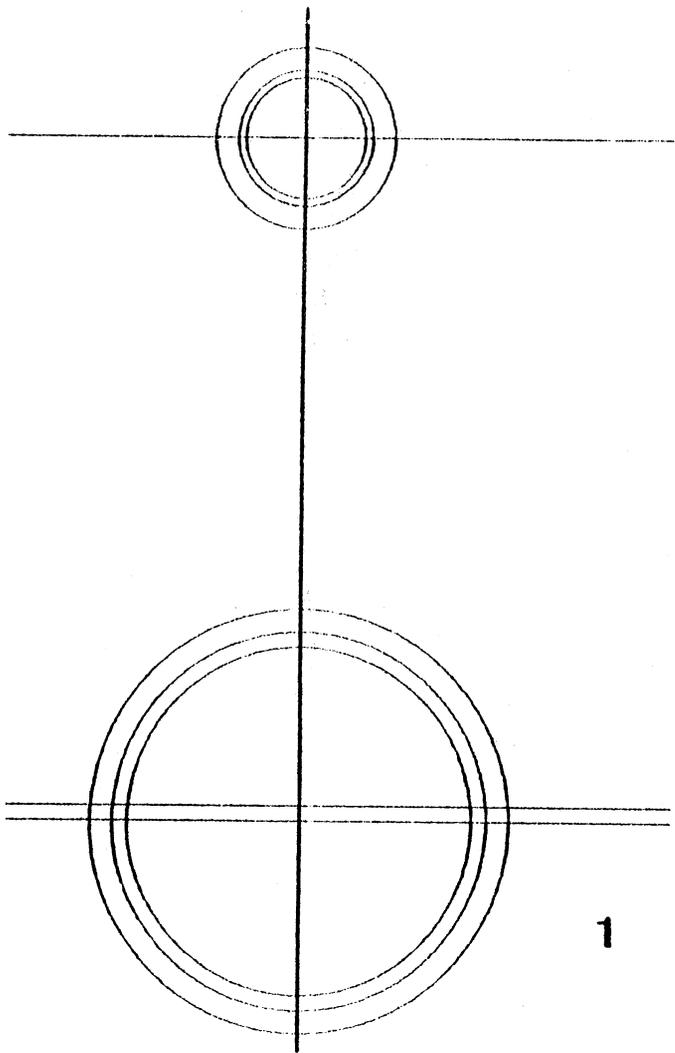
- le dialogue entre l'opérateur et GRI 2D se fait essentiellement à l'aide des menus et de messages. En particulier, le menu principal permet de choisir une action correspondant à un module.
- un maximum de renseignements est donné de façon graphique.
- l'utilisation de GRI 2D dépend du matériel à la disposition de l'opérateur, tant au niveau de l'interaction (moyen de désignation, tels que photostyle, réticule, tablette) qu'au niveau des sorties (possibilités de l'écran). Cependant, GRI 2D étant un logiciel fortement interactif, il est nécessaire de disposer en entrée au moins d'un clavier et d'un moyen de désignation.

F.V.16. EXEMPLES DE PLANS

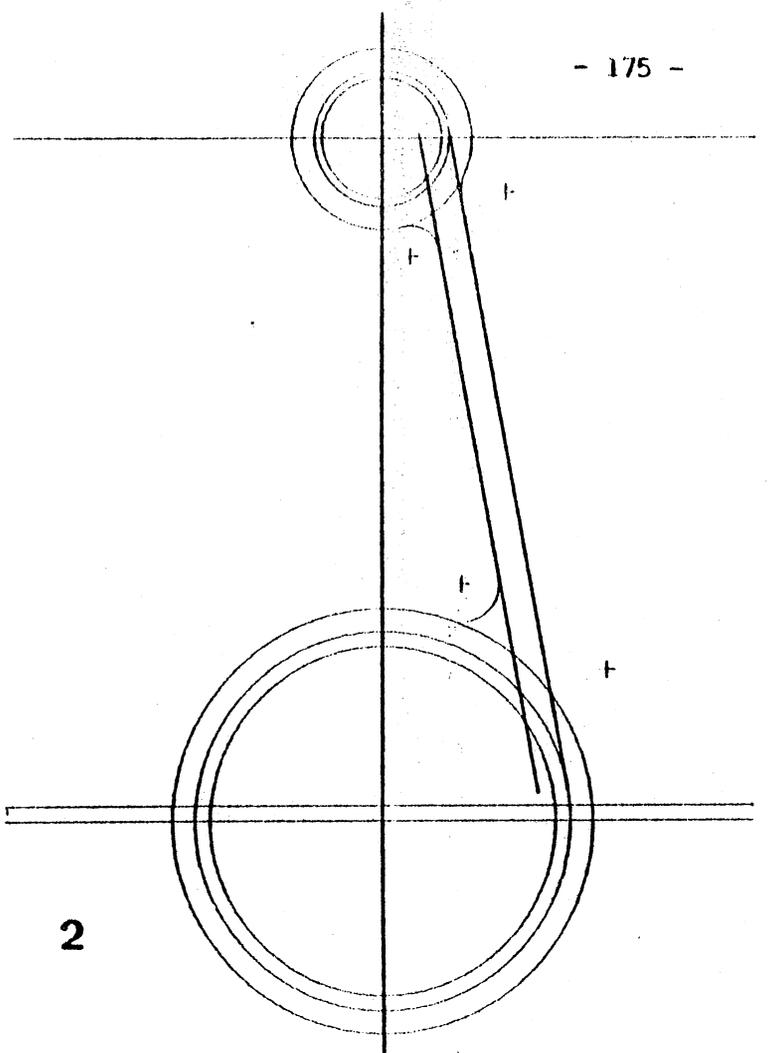
- PHASES DE REALISATION D'UN PLAN

- 1) Axes et cercles
- 2) Construction d'objets par contact avec des cercles de travail
- 3) Coupure (élimination de parties de droites)
- 4) Symétrie partielle
- 5) Coupure des cercles en bas
- 6) Droites de construction
- 7) Coupures
- 8) Symétrie partielle

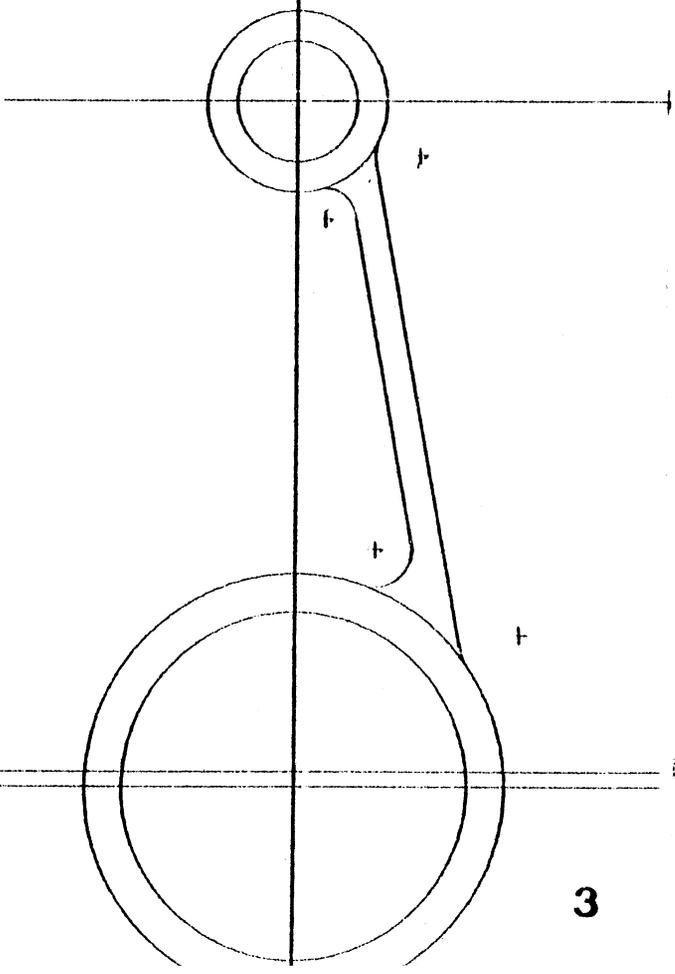
- EXEMPLE DE PLAN FINI



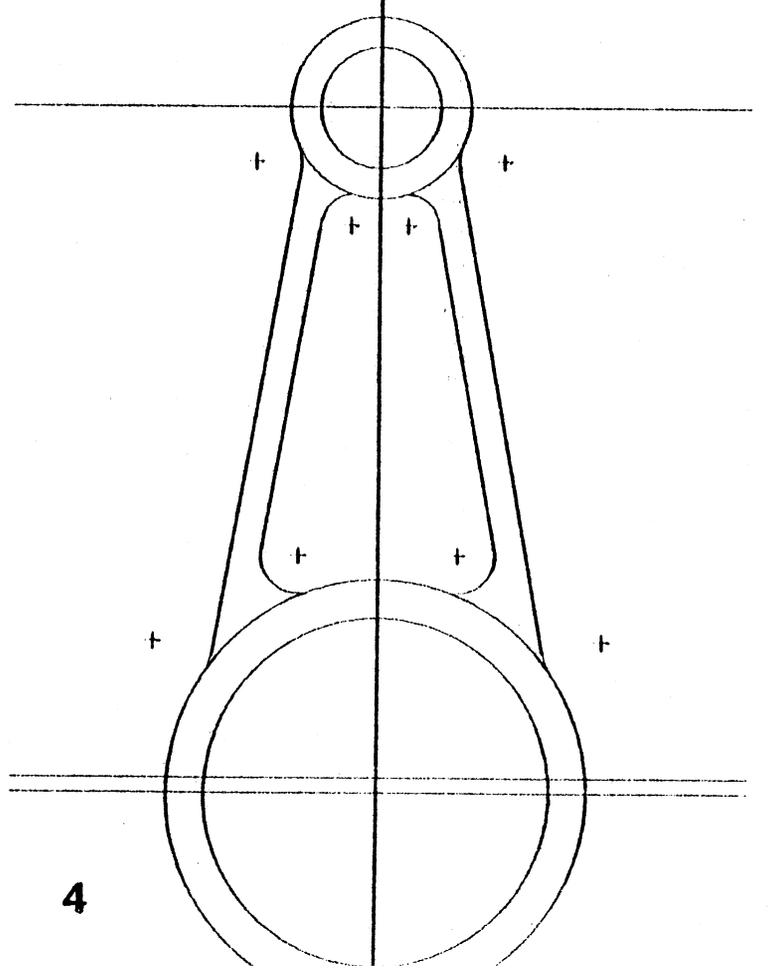
1



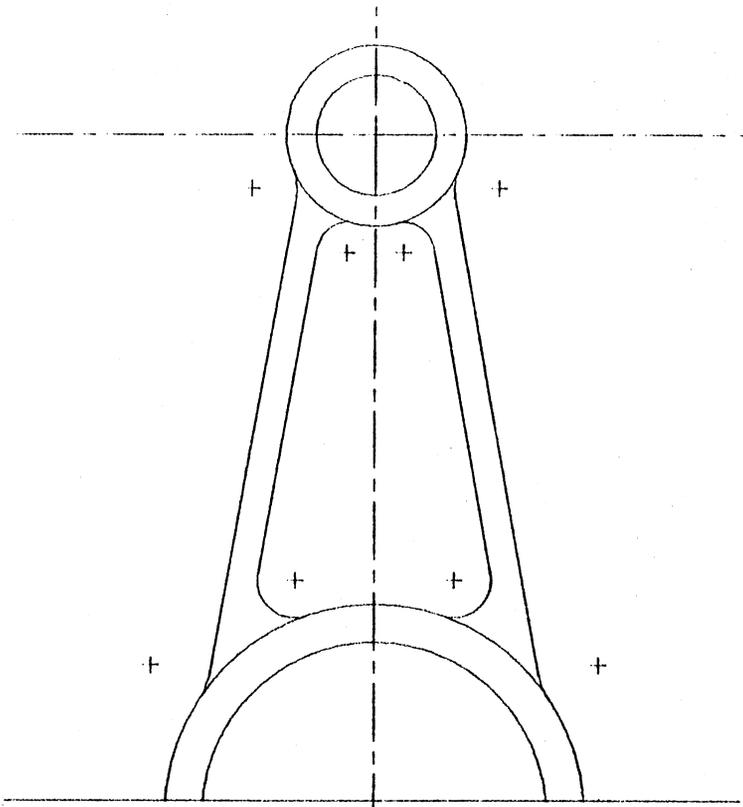
2



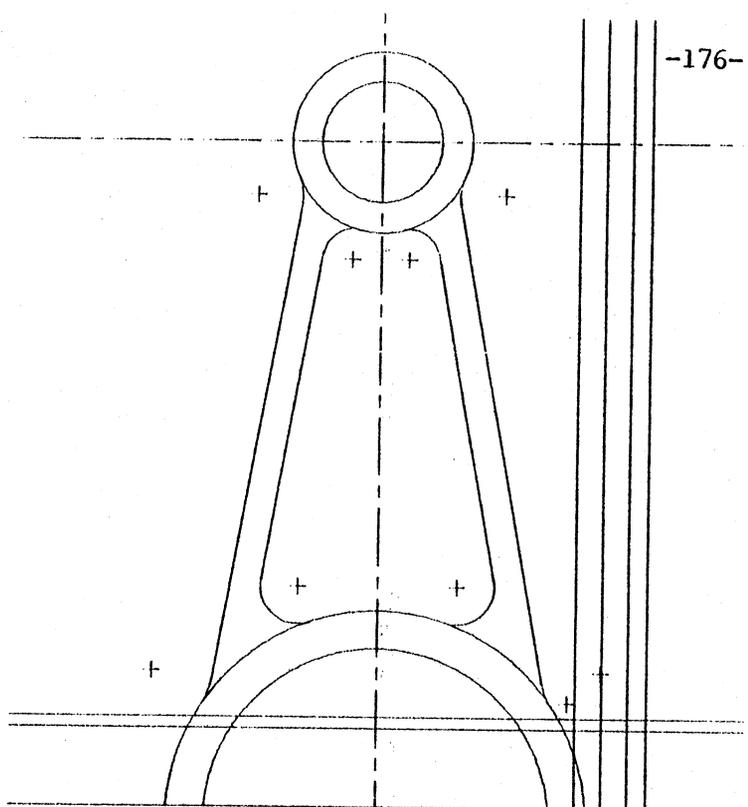
3



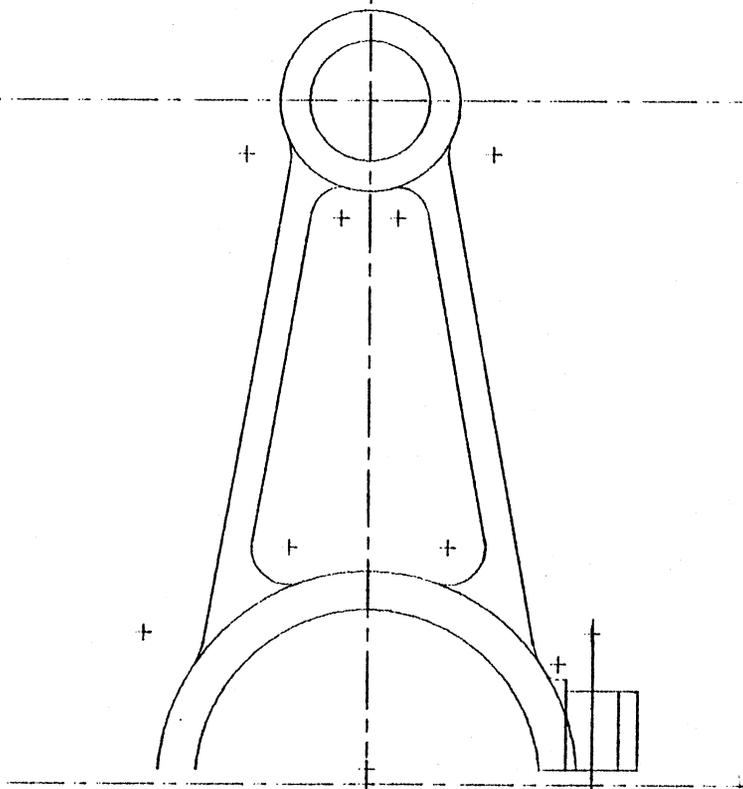
4



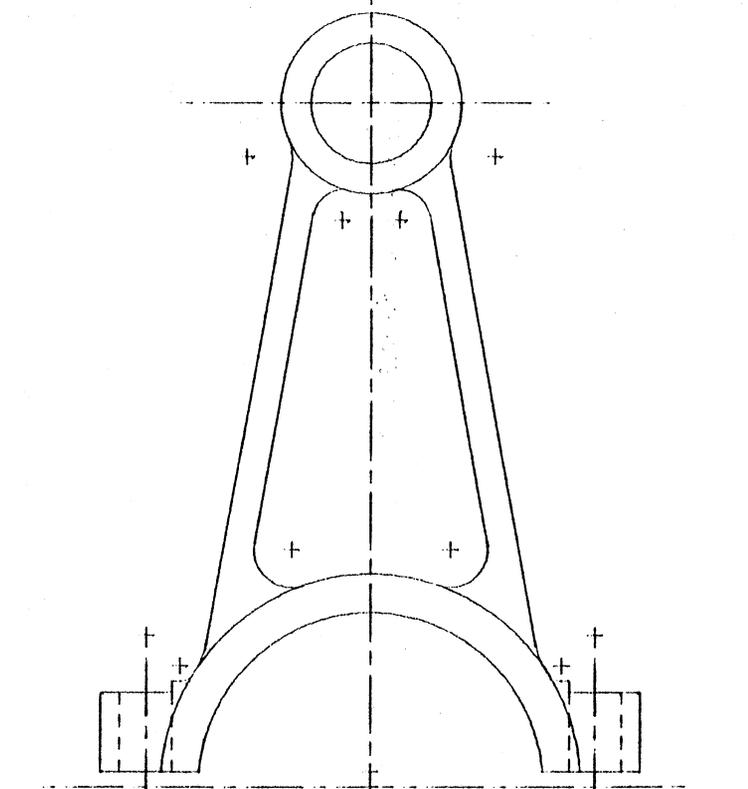
5



6

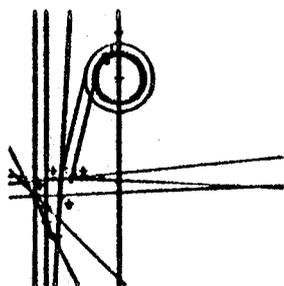


7



8

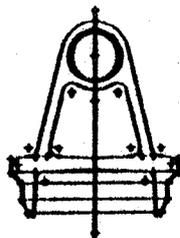
DIFFERENTES ETAPES DE CREATION D'UNE VUE D'UNE PIECE



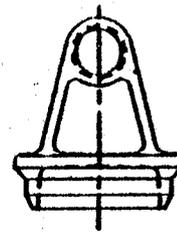
Eléments de base



Contours

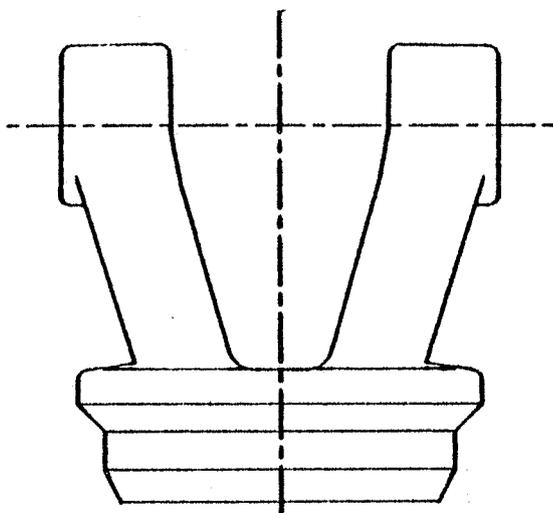


Symétrisation

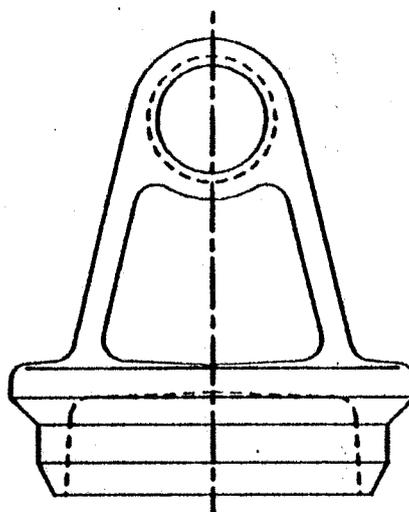


Tracé final

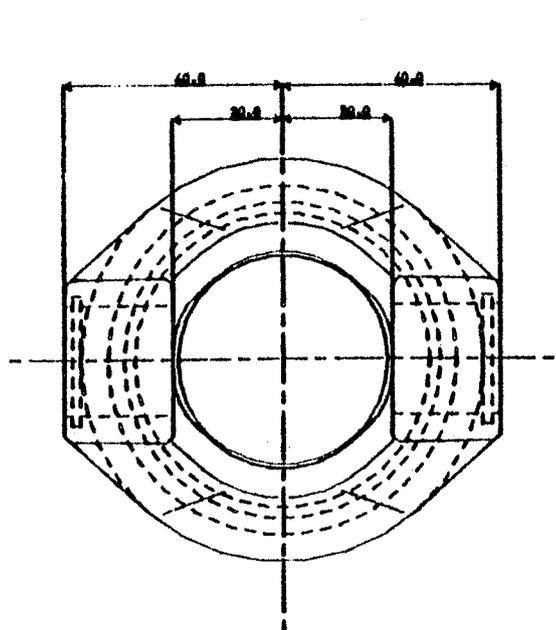
EXEMPLE DE DESSIN DE PIECE : JOINT DE CARDAN - FOURCHETTE



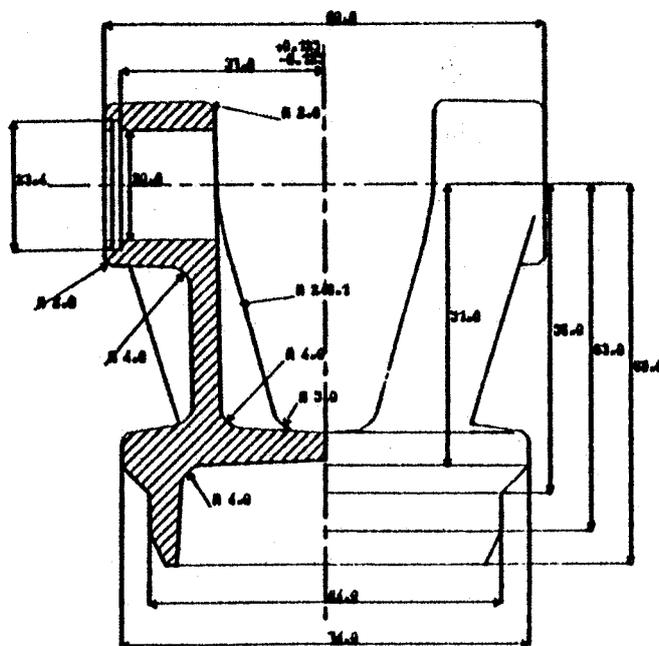
Vue de face



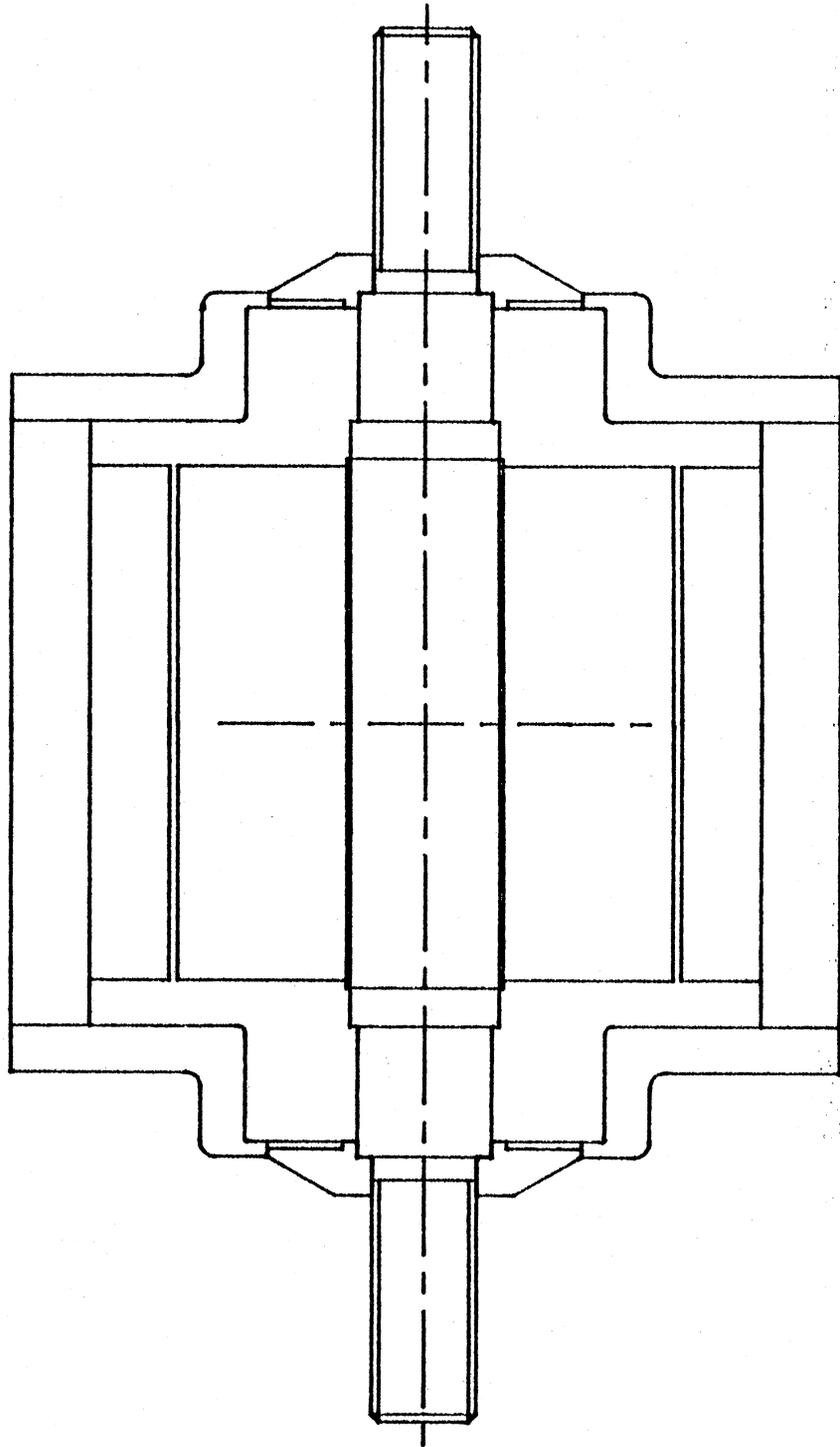
Vue de gauche



Vue de dessus



Vue de face cotée en 1/2



V.3.PARAM 2D (GAR 82a), (GAR 82d),

V.3.A. Définition du problème

Dans de nombreux bureaux d'études, l'utilisation de standards de pièces est quotidienne. Ces standards peuvent être en général décrits comme une fonction de plusieurs variables appelées par la suite paramètres. Ces paramètres peuvent être des variables géométriques (coordonnées d'un point, diamètre d'une billes, etc...) ou logiques (présence de tel ou tel élément, nombre de billes, etc...).

A ces paramètres s'ajoutent souvent des coordonnées indiquant un point de base de la pièce pour son placement avec d'autres pièces.

Une famille de pièces est donc définie par :

$$F (P1, G1, G2, G3 \dots, L1, L2, L3 \dots)$$

Le résultat de F étant en général un dessin (en fait le modèle géométrique de la pièce).

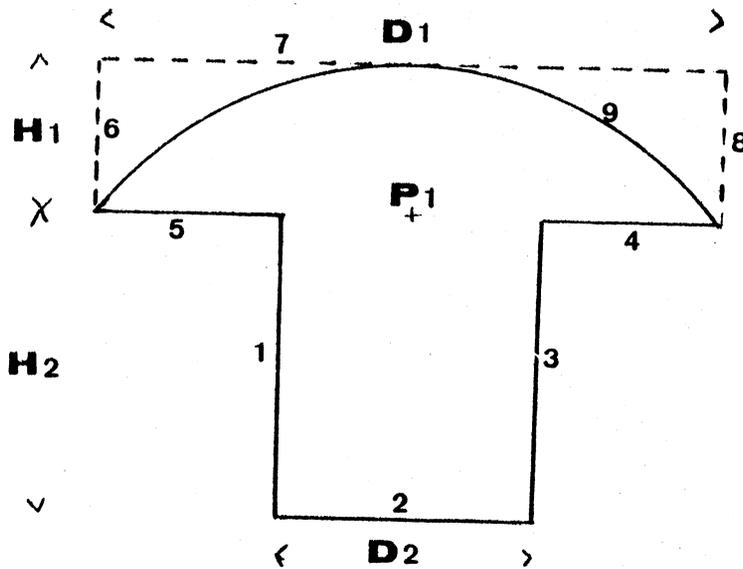
P1 : point particulier (cette notion peut se compléter par une matrice indiquant que la pièce doit subir une rotation par exemple).

Gi : paramètres géométriques,

Li : paramètres logiques.

En conception assistée par ordinateur, il était naturel de définir cette fonction par une procédure s'appuyant éventuellement sur un logiciel de base adapté (c'est-à-dire possédant des primitives de créations d'éléments géométriques tels que cercles, segments, points, d'affichage graphique de ces éléments et de calculs spécifiques, tels que tangences, etc....

Si l'on considère l'exemple simplifié de la figure F.V.17., la description par une procédure pourrait être (en équivalent FORTRAN).



F.V.17. OBJET A PARAMETRER

subroutine VIS (X1, Y1, D1, D2, H1, H2, L1)

Commentaire : L1 = 1 indique qu'il s'agit d'une tête arrondie

C L1 = 2 indique qu'il s'agit d'une tête
parallélépipédique

C création du segment 1

CALL CRESEG (X1 - D2/2, Y1, X1 - D2/2, Y1 - H2)

C création du segment 2

CALL CRESEG (X1 - D2/2, Y1 - H2, X1 + D2/2, Y1 - H2)

C création du segment 3

CALL CRESEG (X1 + D2/2, Y1 - H2, X1 + D2/2, Y1)

C création du segment 4

CALL CRESEG (X1 + D2/2, Y1, X1 + D1/2, Y1)

C création du segment 5

CALL CRESEG (X1 - D2/2, Y1, X1 - D1/2, Y1)

IF (L1. EQ.1) GOTO 1

C Tête parallélépipédique (segments 6, 7, 8)

CALL CRESEG (X1 - D1/2, Y1, X1 - D1/2, Y1 + H1)

CALL CRESEG (X1 - D1/2, Y1 + H1, X1 + D1/2, Y1 + H1)

CALL CRESEG (X1 + D1/2, Y1 + H1, X1 + D1/2, Y1)

GOTO 2

C Tête arrondie

```
1 CALL ARC 3 PTS (X1 - D1/2, Y1, X1, Y1 + H1, X1 + D1/2,  
Y1, XC, YC, R, ALP, BET)
```

```
CALL CRECER (XC, YC, R, ALP, BET)
```

```
2 RETURN
```

```
END
```

avec les conventions suivantes :

CRESEG (X1, Y1, X2, Y2) crée un segment du point (X1, Y1) au point (X2, Y2) dans le modèle.

CRECER (X1, Y1, R, A, B) crée un arc de cercle de centre (X1, Y1) de rayon R, l'angle de départ est A par rapport à l'axe des X, celui d'arrivée est B (cercle complet si A = B) dans le modèle.

ARC 3 PTS (X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3, XC, YC, R, ALP, BET) est une procédure qui calcule le centre (XC, YC), le rayon (R) et les angles de départ et d'arrivée (ALP, BET) de l'arc partant du point (X1, Y1) jusqu'au point (X3, Y3) en passant par le point (X2, Y2).

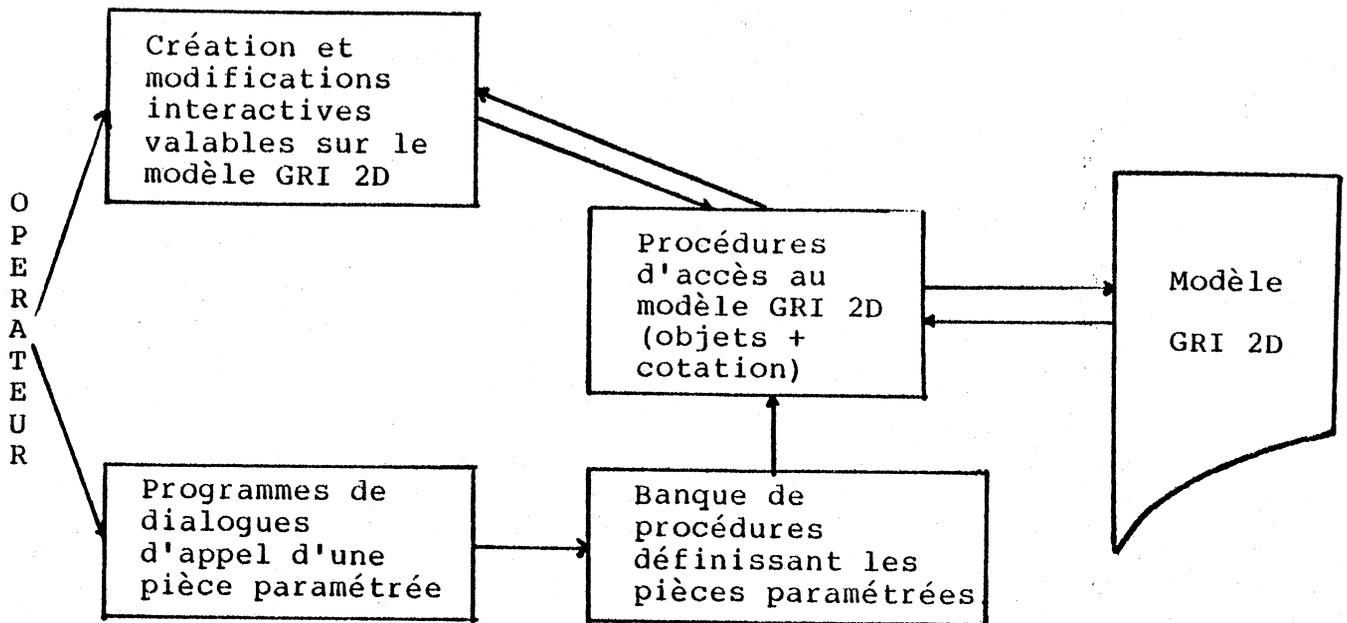
Pour compléter l'utilisation de la méthode procédurale précisons qu'aux programmes de définition des standards doit être associé lors d'une utilisation en interactif, un programme de dialogue qui consiste essentiellement à demander à l'opérateur, les valeurs qu'il désire donner aux différents paramètres. De plus, on peut ajouter une vérification de la validité des valeurs données par rapport à des tables de définition, et éventuellement, changer cette valeur en la valeur standard la plus proche.

Exemple : la longueur totale d'une vis ne peut varier que de 0,5 mm en commençant à 2 mm. Si l'opérateur demande une longueur de 6,2 mm, le programme lui fournira la vis de longueur 6 mm.

De plus, l'utilisation des standards en mode interactif impose deux contraintes :

- pouvoir associer ces standards à des éléments géométriques créés de façon entièrement interactive.
- pouvoir modifier une pièce à partir d'un standard de manière interactive, pour "sortir du standard" dans des cas particuliers.

Ceci peut être réalisé assez facilement à condition de le prévoir dans la conception du logiciel interactif. C'est ce que nous avons fait en particulier dans le logiciel GRI 2D de la manière résumée par la figure F.V.18.



F.V.18. PROGRAMMATION DE PIÈCES PARAMÉTRÉES SUR GRI 2D

Qu'un élément soit créé interactivement (Ex : créer le segment tangent à deux cercles montrés à l'écran, de tel côté montré à l'écran) ou par appel d'un standard (Ex : placer une vis de longueurs 5 et 10 de diamètre 5 et 2 en (X1, Y1)), il est répercuté dans la structure GRI 2D par les mêmes procédures d'accès (Ex CRESEG, CRECER) ce qui le rend accessible interactivement à toute modification ou utilisation.

REMARQUES SUR LA METHODE PROCEDURALE

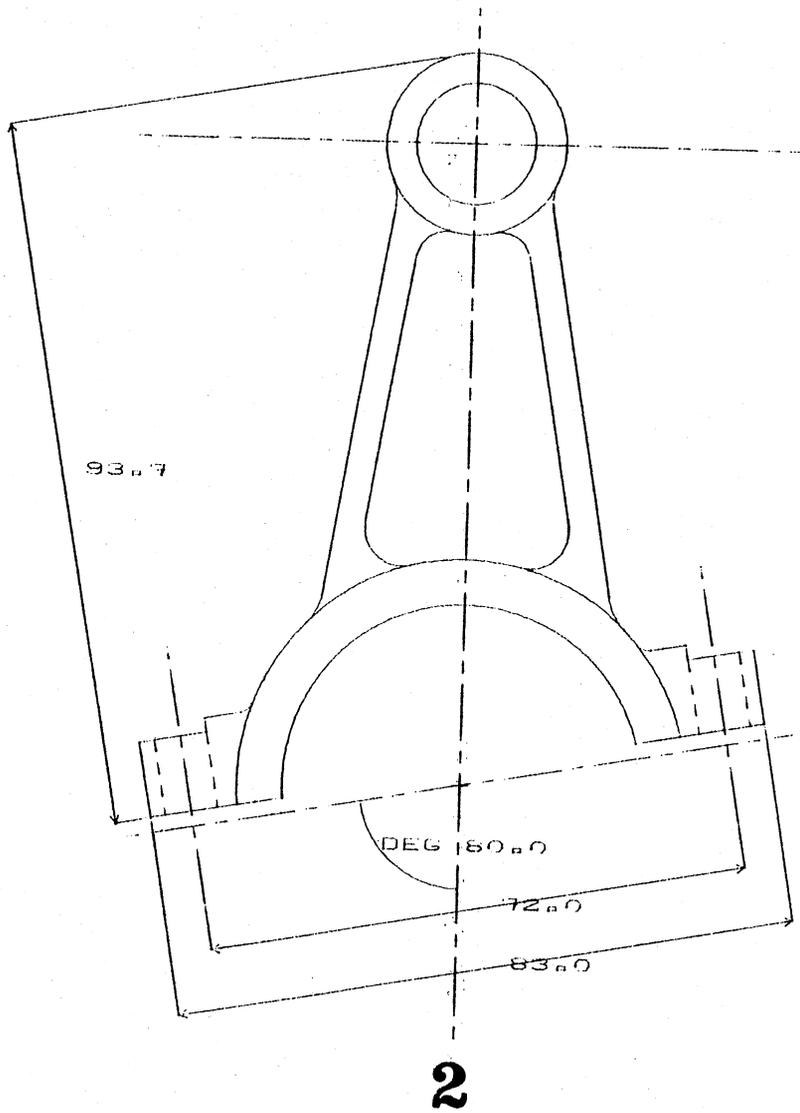
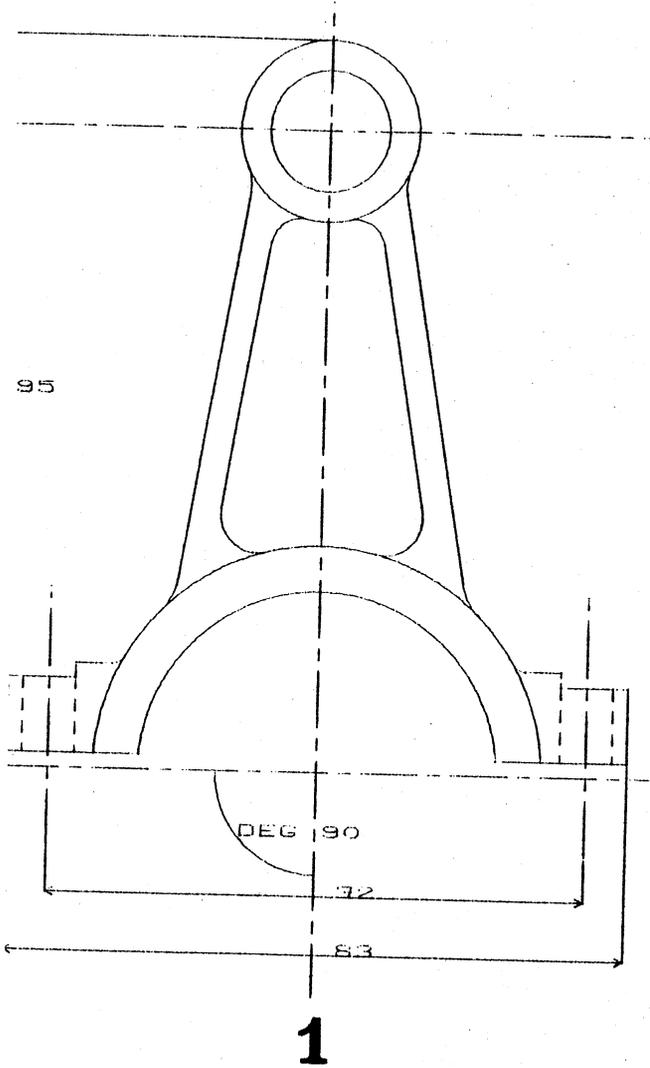
La méthode procédurale comporte un certain nombre d'avantages, dont le plus important est qu'elle permet d'utiliser toute la puissance des langages de programmation classiques.

Ses inconvénients vis-à-vis de systèmes de CFAO. sont les suivants :

- . Elle n'est pas directement accessible à l'opérateur (dessinateur) qui ne connaît pas forcément un langage de programmation.
- . Les familles de pièces peuvent être réparties en deux catégories :
 - les standards communs à toute une profession (Ex : la visserie) pour lesquels les procédures peuvent être décrites une fois pour toutes éventuellement par des concepteurs de systèmes C.A.O.
 - les standards internes à une entreprise pour lesquels une programmation particulière devra être faite, souvent par du personnel de l'entreprise, ce qui implique l'existence d'un service informatique. Comme le dialogue du concepteur de produits et de l'informaticien augmente les temps de développement et de mise au point, cela conduit souvent à former les concepteurs de produits à la programmation.
- . Comme tout développement informatique, cette méthode impose des temps de mise au point (toujours avec des interventions nécessaires des utilisateurs finals qui sont concernés au premier chef), de compilations et d'éditations de liens parfois difficiles sur des ordinateurs pas nécessairement destinés à ce type de tâche.

REMARQUES SUR LA COTATION

Lorsqu'on définit à partir d'un standard une pièce particulière, on décrit souvent toute la cotation lors de la définition de la procédure. Pour l'associer correctement à un logiciel de modélisation interactif, il est nécessaire que celui-ci dispose d'un système de cotation "semi-fonctionnel" ce qui signifie en fait que la cotation est associée aux objets. C'est-à-dire que si l'on cote à un moment donné deux objets et que ces deux objets sont modifiés (déplacés par exemple), la cotation "suivra". La figure F.V.19 montre un exemple obtenu à l'aide de GRI 2D d'un dessin créé et modifié interactivement. Il ne suffit donc pas de considérer la cotation comme un habillage du dessin mais comme une information fonctionnelle.



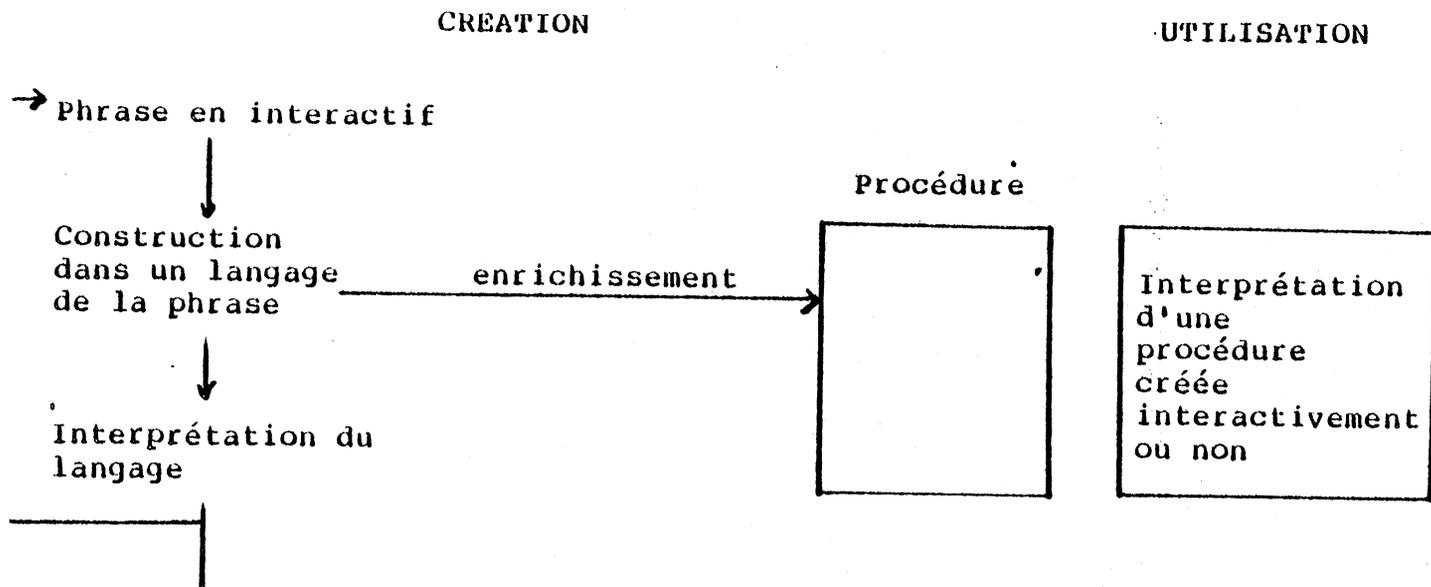
F.V.19. COTATION CONSIDEREE COMME UNE INFORMATION FONCTIONNELLE

V.3.B. Méthode pour la définition de famille de pièces en mode interactif.

V.3.B.a. Généralités

Il est intéressant de fournir à l'opérateur un moyen de définir ses standards à travers l'utilisation habituelle d'un logiciel de dessin technique. Sa méthode de travail serait donc naturelle et en modifiant interactivement les valeurs géométriques de certaines constructions, il créerait à volonté des exemplaires d'un standard.

Pour résoudre ce problème, on peut appliquer une première méthode qui a été utilisée en particulier pour des logiciels qui ont fonctionné en batch avant d'être définis pour une utilisation interactive. Cela consiste lors de toute construction en interactif à créer les procédures. On a donc le schéma suivant:



F.V.20. DEFINITION PROCEDURALE

La méthode que nous proposons pour créer interactivement des standards comporte quatre composants :

1. GRI 2D (cf V.2) dont le rôle est de fournir à l'opérateur l'ensemble des outils lui permettant de construire interactivement un dessin à l'aide de points, segments, droites, arcs de cercles et cercles avec les points essentiels :

- . constructions sous contraintes
 - passant par ..
 - tangent à ...
 - etc...
- . transformations géométriques
 - rotation, translation...
 - sur un objet ou des ensembles d'objets (pièces)..
- . Mises au propre
- . Habillage (textes)
- . Cotation semi-fonctionnelle et hachurages

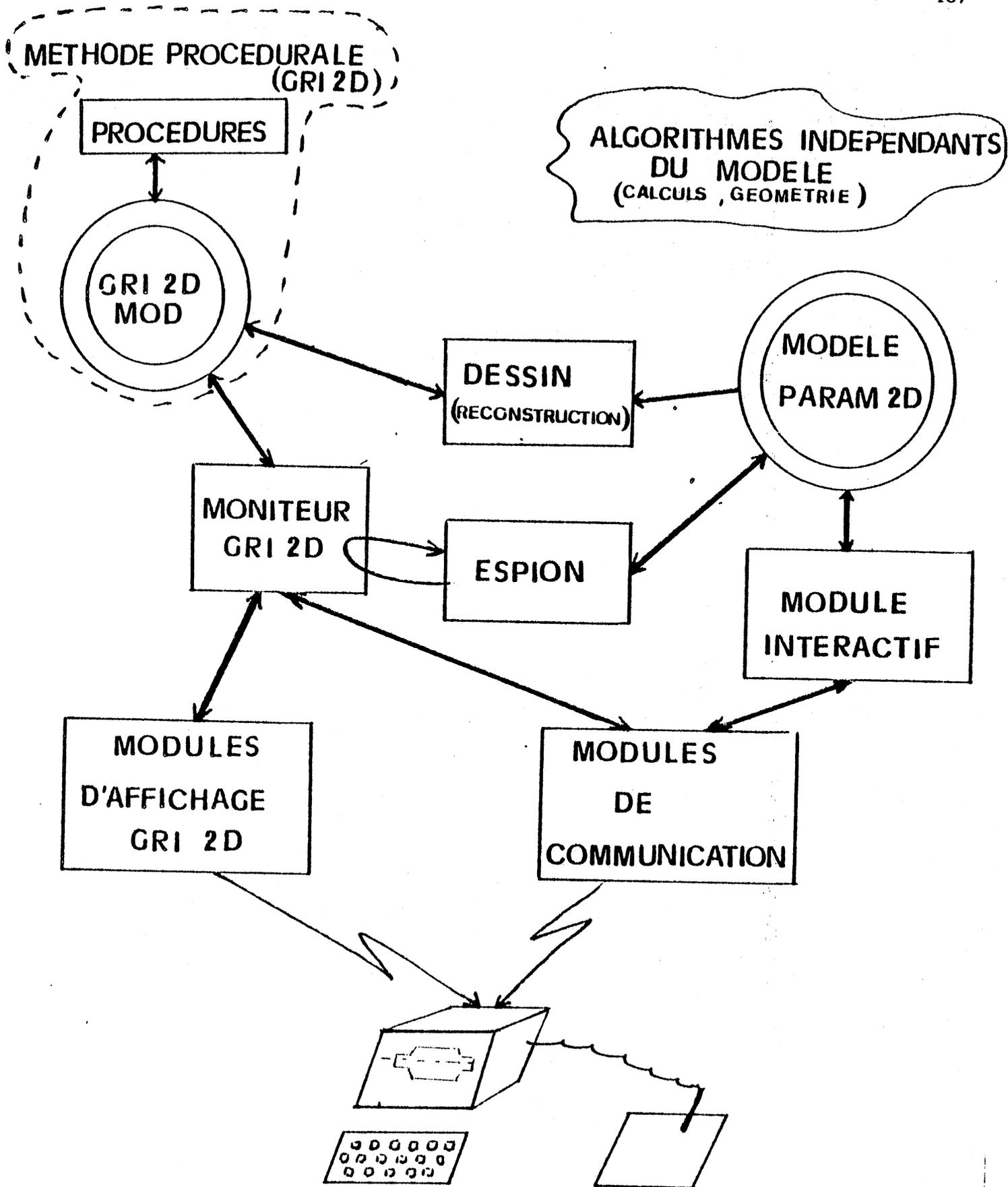
2. Un module d'espionnage dont le rôle est de noter tout ce qui est réalisé par GRI 2D. Par exemple, si l'opérateur demande la construction d'un cercle tangent à deux cercles, GRI 2D lui demande trois renseignements :

- a) montrer les deux cercles
- b) donner une valeur du rayon
- c) donner un centre approximatif du cercle cherché.

Le module d'espionnage exécutera les points suivants :

- a) répertorier la création d'un objet cercle
- b) noter dans une liste.
 - . code construction :
cercle tangent à deux cercles de rayon donné.
 - . adresse du cercle 1
 - . adresse du cercle 2
 - . pointeur vers un tableau de valeurs contenant le rayon
 - . pointeur vers un tableau de points contenant la valeur du point (point approximatif)

La famille de pièces est donc définie par GRI 2D et conservée par le module d'espionnage.



F.V.21. COMPOSANTS DE PARAM 2D

c) Un module de reconstruction.

Ce module a pour rôle d'interpréter la structure créée par le module d'espionnage et éventuellement modifiée par le module de dialogue. Il parcourt donc la liste en interprétant suivant le code construction tous les renseignements conservés.

d) Un module de dialogue.

Le rôle de ce module est de permettre à l'opérateur de créer une entité parmi une famille créée sous GRI 2D.

La pièce "standard" c'est-à-dire avec les valeurs de la première création s'affiche sur l'écran. L'opérateur montre alors l'élément sur lequel il veut faire une modification. Le module de dialogue analyse le code de l'objet, lui rappelle la construction utilisée et toutes les modifications possibles (par des marqueurs et des messages).

Exemple : dans le cas du cercle tangent à deux cercles, le module de dialogue indiquera les cercles en contact et le rayon. Il autorisera également l'opérateur à modifier le point indiquant le centre approximatif.

Le module de dialogue agit sur la structure engendrée par le module d'espionnage.

V.3.B.b. Gestion des contraintes :

Le module d'espionnage note les éléments de la contrainte (cf ci-dessous)

Un enregistrement correspondant à une construction sous contrainte peut être défini par :

C1, O1, O2....., P1, PT1,.....

C1 : code construction

Oi : adresse des objets sur lesquels s'appuie la contrainte (points, segments, droites, arcs, cercles)

Pi : pointeur vers une liste de coordonnées définissant des points dits "de travail", dont le seul rôle est de préciser la construction (ex : côté de l'arc à construire, ou centre approximatif lorsque plusieurs solutions sont possibles).

V.3.B.c. Gestion des transformations et des mises au propre

- . transformations géométriques : la méthode est la même que pour les contraintes, c'est-à-dire que l'on conserve le code de la transformation géométrique, les arguments qui la définissent (ex : vecteur de translation) et les arguments sur lesquels elle s'applique.
- . destruction : le code objet est modifié (négatif) pour indiquer que l'objet a été détruit.
- . coupure : la première méthode de mise au propre de GRI 2D est la coupure (cf V.2.A.c).

Elle est facilement prise en compte en définissant :

1. un code "coupure"
2. la liste des objets pris dans la coupure
3. les numéros des sous-objets effacés

En effet, lors d'une exécution du module de reconstruction, on utilisera l'algorithme de GRI 2D, qui créera toujours dans le même ordre, avec une liste d'objets donnée, les sous-objets.

- . contour : la seconde méthode de mises au propre de GRI 2D est le contour :

Cette opération est simplement prise en compte par :

1. un code "contour"
2. la liste des objets,
3. les sens des parcours des objets,
4. les différentes intersections à prendre en compte.

On utilisera donc là aussi, l'algorithme de contour de GRI 2D (en fait, cette contrainte est conservée au niveau de GRI 2D:MOD)

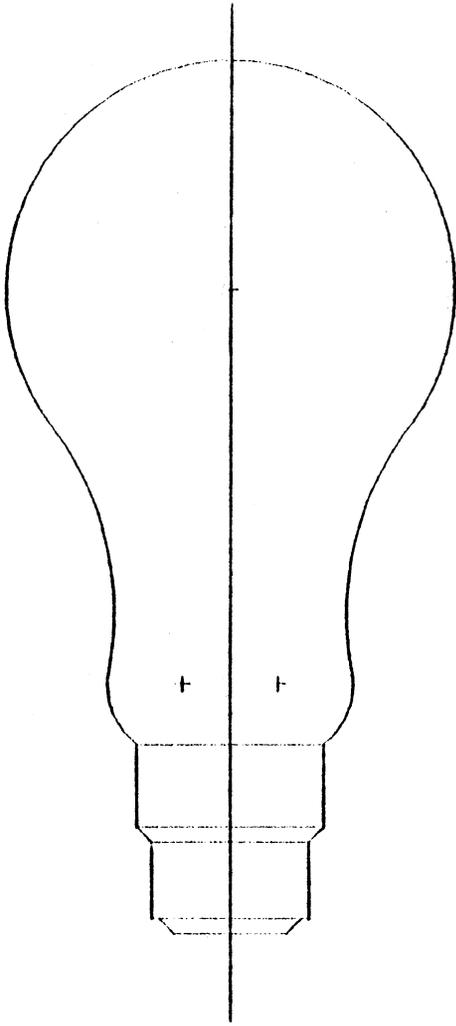
REMARQUE SUR LA COTATION

La cotation de GRI 2D étant semi-fonctionnelle, (c'est-à-dire fondée sur les objets), après une reconstruction elle suivra automatiquement l'ensemble des objets.

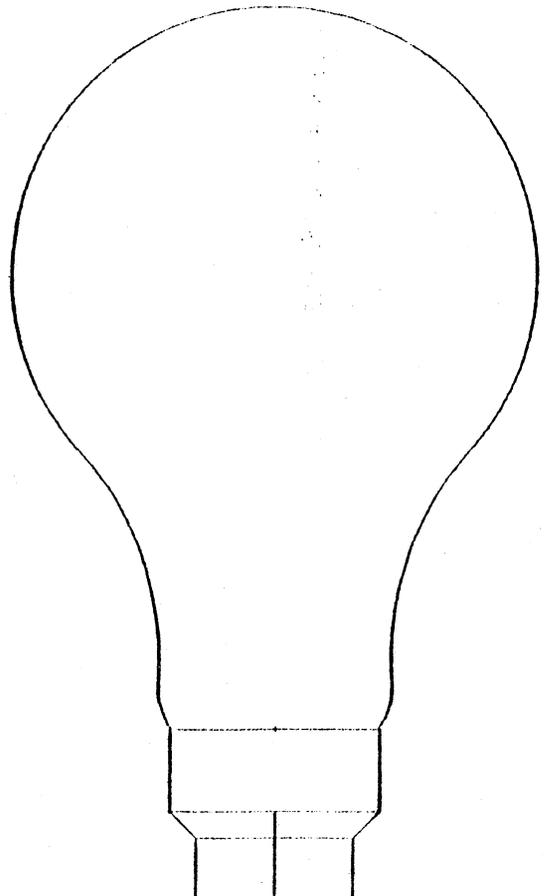
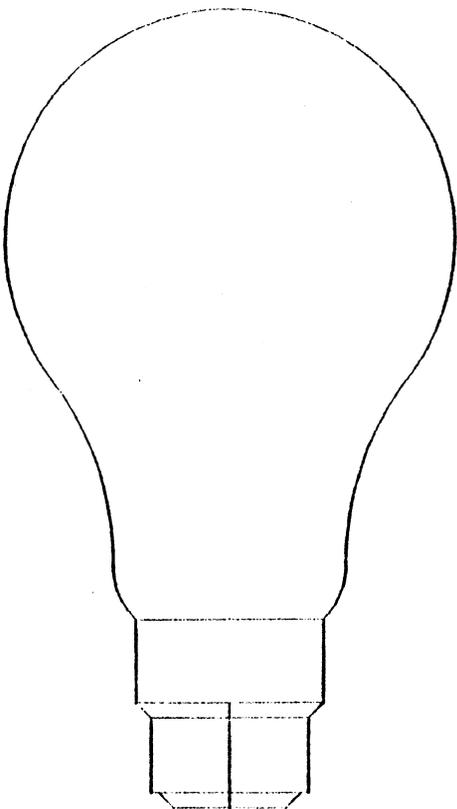
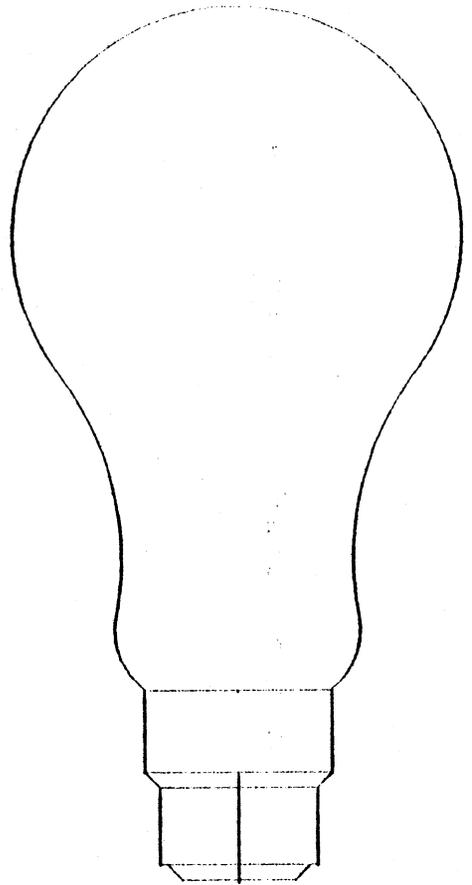
V.3.B.d. Gestion de l'information logique

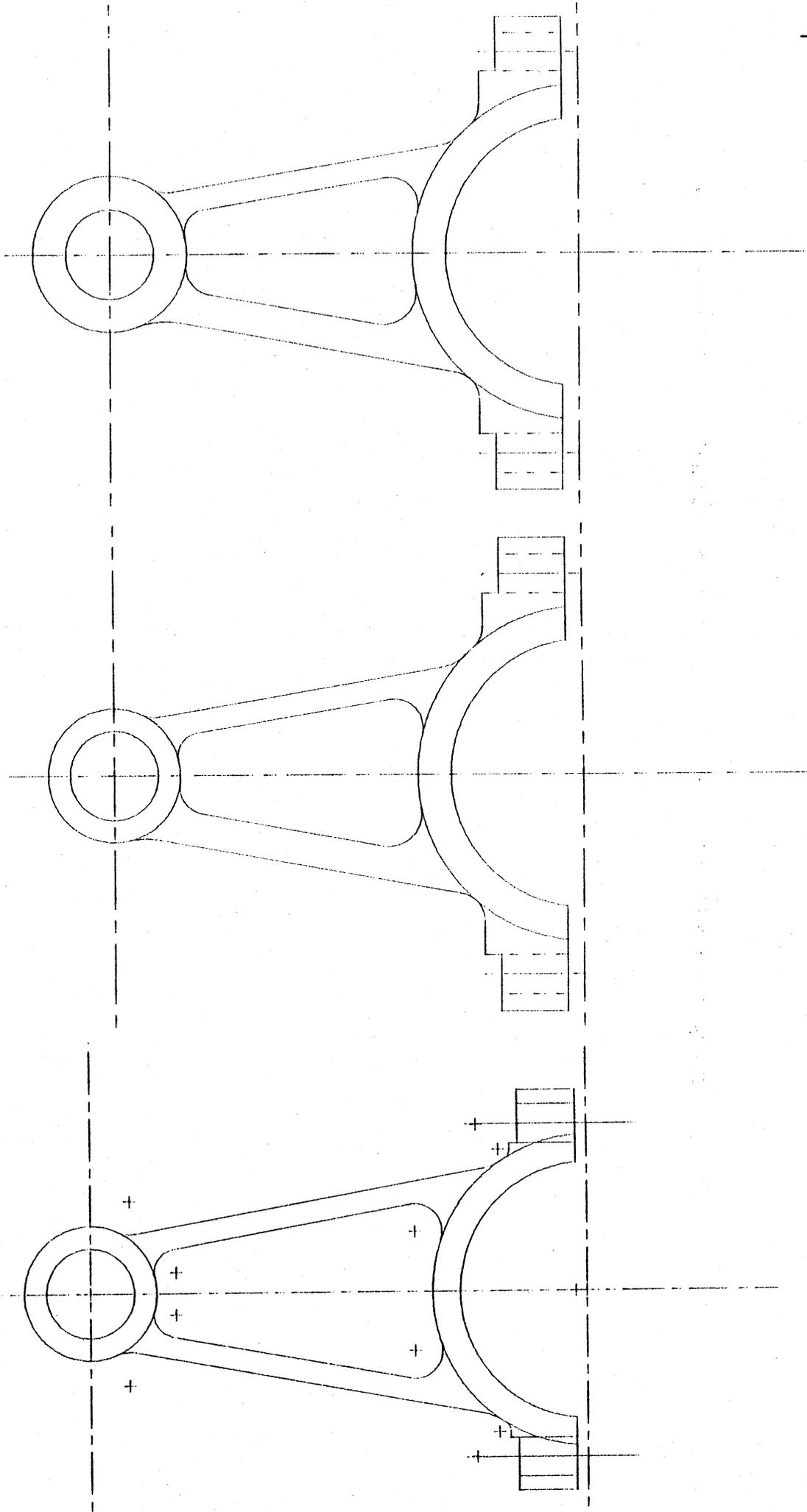
Nous avons pris en compte pour le moment l'information du type "plage de validité" d'un paramètre. C'est-à-dire que l'opérateur peut imposer à chaque paramètre de la construction (distance, rayon...) une valeur minimale et une valeur maximale. Lors d'une modification cette information sera vérifiée.

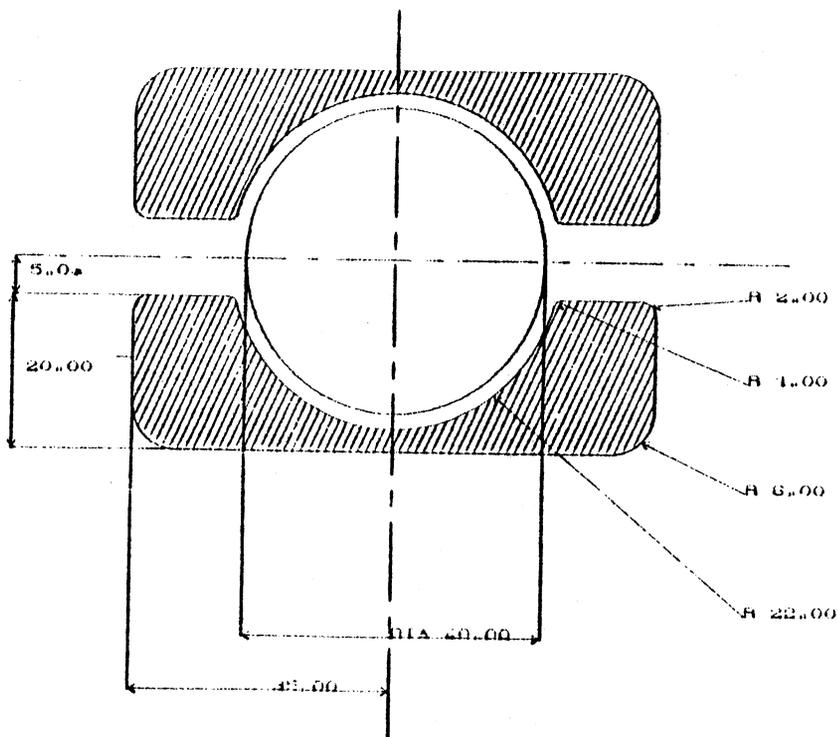
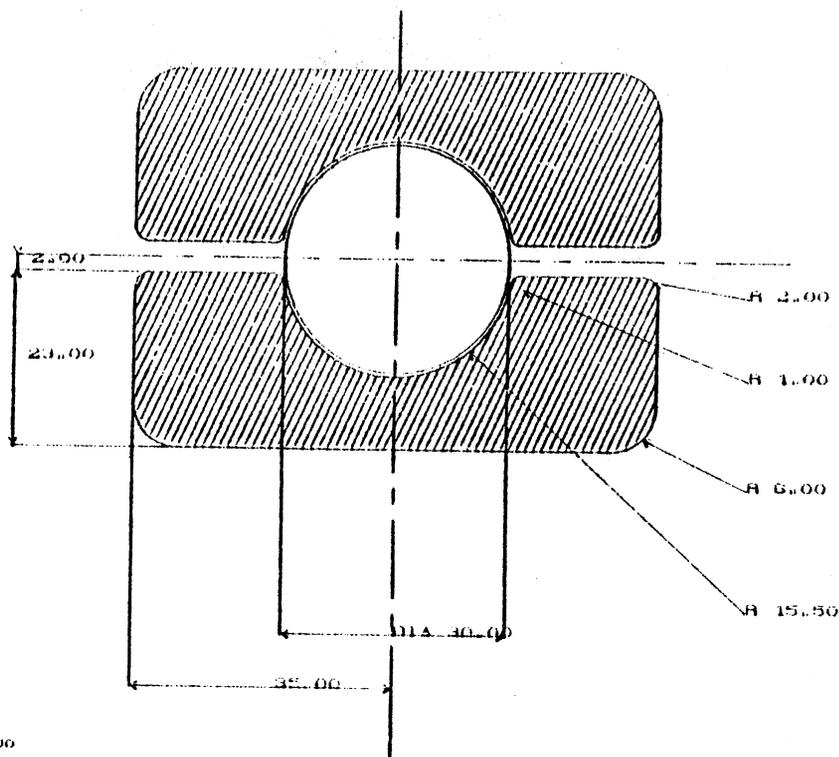
F.V.22. EXEMPLES DE PLANS CONSTRUITS AVEC PARAM 2D



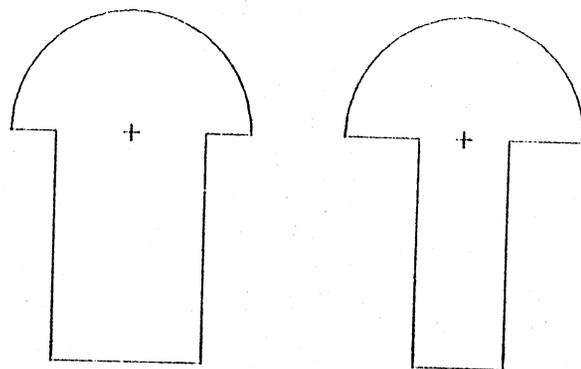
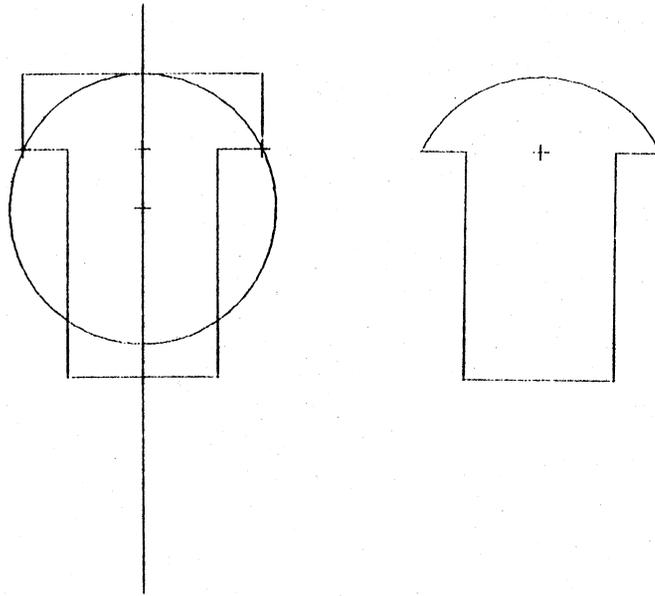
+







PARAM 2D : Coupe d'un roulement à billes avec modification des diamètres de billes et du roulement (remarquer que la cotation GRI 2D suit automatiquement les modifications, tant au niveau des traits de rappel et des flèches que de la valeur de cote).



V.4. GRI 3D (GAR 82d)

Nous avons essayé de matérialiser nos idées sur la modélisation des aspects fonctionnels des dessins dans un logiciel de modélisation géométrique tri-dimensionnel. L'aspect fonctionnel que nous avons cherché à privilégier est l'ensemble des méthodes de construction pour conserver les méthodes du concepteur.

Nous avons ainsi fait ressortir la liste suivante (non exhaustive) :

- . épaisseur et révolution : l'objet est alors décrit par un (ou plusieurs) contours créés dans GRI 2D,
- . contours de base : l'objet s'appuie sur plusieurs contours situés dans des plans différents,
- . opérations booléennes sur des objets de base.
- . autres constructions : nous nous sommes assez peu intéressés à la modélisation de surfaces, à part les surfaces définies par une équation de deux variables $z = f(x,y)$

La figure F.V.1 décrit globalement la modélisation du processus de conception d'un objet. Ce processus peut être exécuté pour obtenir un modèle de visualisation de l'objet, par exemple un modèle à facettes. Le modèle de visualisation qui peut être considéré comme un modèle dégradé du modèle de construction de l'objet peut devenir le seul modèle utilisable si des modifications ont été autorisées à partir de ce modèle et qu'aucune possibilité de remonter au modèle global n'existe.

En revanche, si l'on n'utilise que des modifications sur le modèle de construction, il est facile de constater qu'une partie importante des problèmes de paramétrisation peut être traitée interactivement.

Prenons deux exemples simples :

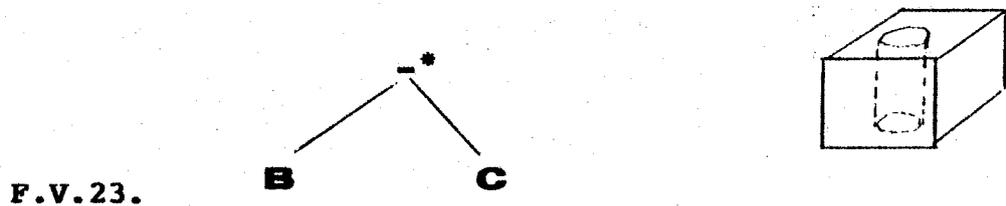
Exemple 1 : soit l'objet A créé à partir d'un parallélépipède B et d'un cylindre C

$$A = B - C$$

C peut être connu par son axe, sa hauteur et son diamètre

C (Axe, Hauteur, Diamètre)

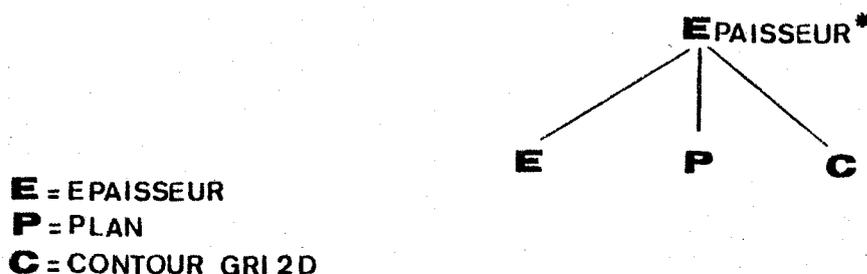
Le modèle de construction de l'objet A est :



On utilisera pour visualiser cet objet un modèle par facettes. Simplement le passage du modèle de construction vers le modèle de visualisation sera matérialisé pour chaque facette affichée par un code représentant son origine. Dans le cas présent, le code doit permettre pour une facette donnée de savoir si elle appartient à B seul, à C seul (ce qui, dans le cas de la différence ne peut pas être) ou provient du calcul $B - C$, c'est à dire appartient à B et à C. L'identification d'une facette permet ainsi de retrouver le ou les objets de départ et après un dialogue avec l'utilisateur (par exemple en réaffichant les uns après les autres les objets possibles à partir du modèle de construction et en demandant à l'utilisateur d'arrêter le processus quand le bon objet s'affiche), on peut retrouver l'objet à modifier, remonter au modèle de construction pour trouver les paramètres, attendre la modification de l'utilisateur et l'intégrer dans le modèle de construction. Un nouvel affichage peut alors être réalisé à partir de ce modèle.

Exemple 2 : Soit l'objet A créé à partir d'un contour GRI 2D et d'une épaisseur. On a vu que GRI 2D associé à PARAM 2D permettait un paramétrage interactif de ce contour. Ce contour peut ainsi être modifié dans la base de contours et l'objet A recalculé.

Le modèle de construction de l'objet A est :



De même son épaisseur et le plan dans lequel le contour est placé peuvent être paramétrés.

Cela donne par exemple très facilement une famille de pièces telles que les biellettes (cf figure F.V.27).

Des modèles autres que le modèle de construction peuvent exister dans le modèle global de NADRAG, en particulier le modèle d'assemblage.

V.4.A. Constructions de solides à partir de contours (GRI3D.V CONT)

A partir de contours décrits dans un plan à l'aide de GRI 2D, l'utilisateur peut définir des solides par quatre méthodes :

- EPAISSEUR

$$S = F1 (C, P, D, L, F)$$

Le contour de référence C est placé dans le plan P (par défaut le plan $z = 0$), un second contour est créé par translation du contour C de vecteur directeur D et de longueur L. Un facteur de polygonalisation F peut être ajouté pour le modèle de visualisation (nombre de points maximum pour représenter un cercle).

- REVOLUTION

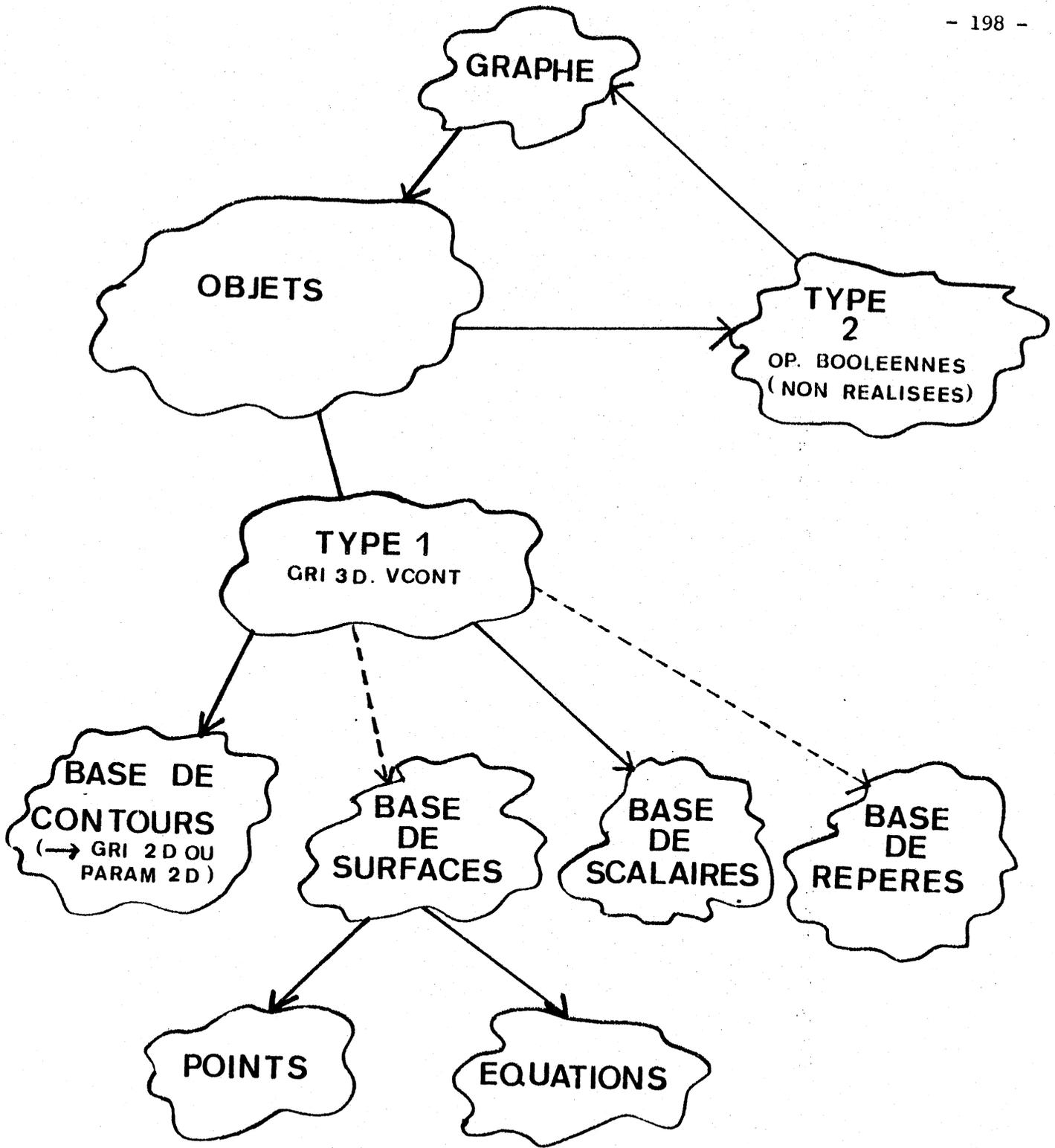
$$S = F2 (C, A, R, F)$$

A partir du contour C (ouvert ou fermé,) on crée le volume engendré par révolution autour de l'axe A, R représentant le nombre de méridiens, F le facteur de polygonalisation.

- LIAISON DE CONTOURS

$$S = F3 (LC, LP, LR, LS, F)$$

LR est la liste des contours à raccorder. Si LR(i) est le ième contour, LP(i) est le plan dans lequel il doit se trouver, LR(i) est le premier objet pour le raccordement, LS(i) le sens de parcours du contour.



F.V.25. MODELE TRI-DIMENSIONNEL DE NADRAG

F est le facteur de polygonalisation.

Le solide est alors défini comme étant limité par :

- . le premier contour
- . le dernier contour
- . pour deux contours consécutifs $LC(i)$, $LC(i + 1)$, on crée une facette (non forcément plane) à partir de deux objets de même rang dans chacun des contours (connaissant le premier objet de chaque contour $LR(i)$ et $LR(i + 1)$ et le sens de parcours de chaque contour $LS(i)$ et $LS(i + 1)$).

L'idée de base est donc de faire correspondre des objets entre eux. On peut donc rencontrer trois cas :

- . un segment S_{ik} du contour. $LC(i)$ correspond à un segment $S_{i,j}$ du contour $LC(i + 1)$. La facette alors composée de quatre arêtes joignant les points : début (S_i, k) , début $(S_{i + 1}, j)$, extrémité (S_{i+1}, j) , extrémité (S_i, k) , début (S_i, k) .

- . un arc de cercle $A_{i,k}$ du contour $LC(i)$ correspond à un arc de cercle $A_{i+1,j}$ du contour $LC(i+1)$. Afin d'obtenir des facettes dont les cotés soient des segments, on décompose alors les deux arcs de cercles en un nombre égal de segments (polygonalisation). Les segments se correspondent alors deux à deux, on effectue la même opération que décrite précédemment pour chaque couple de segments se correspondant.

- . Un arc de cercle $A_{i,k}$ du contour $LC(i)$ correspond à un segment $S_{i+1,j}$ du contour $LC(i+1)$ ou inversement. Afin d'obtenir des facettes on décompose l'arc de cercle et le segment en un nombre égal de segments et l'on revient à l'opération déjà définie.

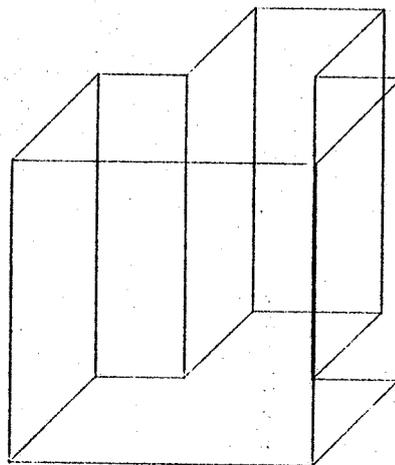
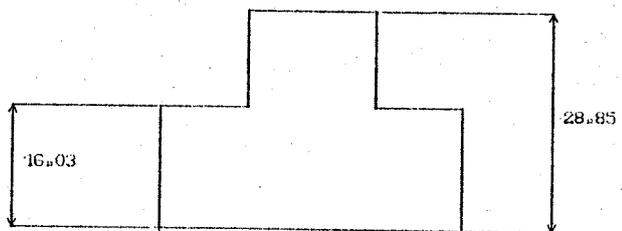
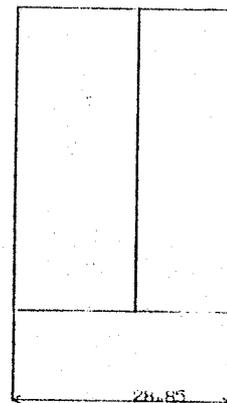
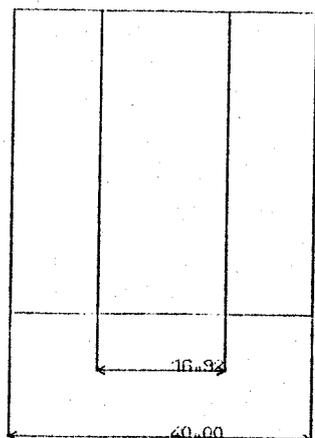
- EPAISSEUR TROUEE

$$S = F4 (LC, D, L, F)$$

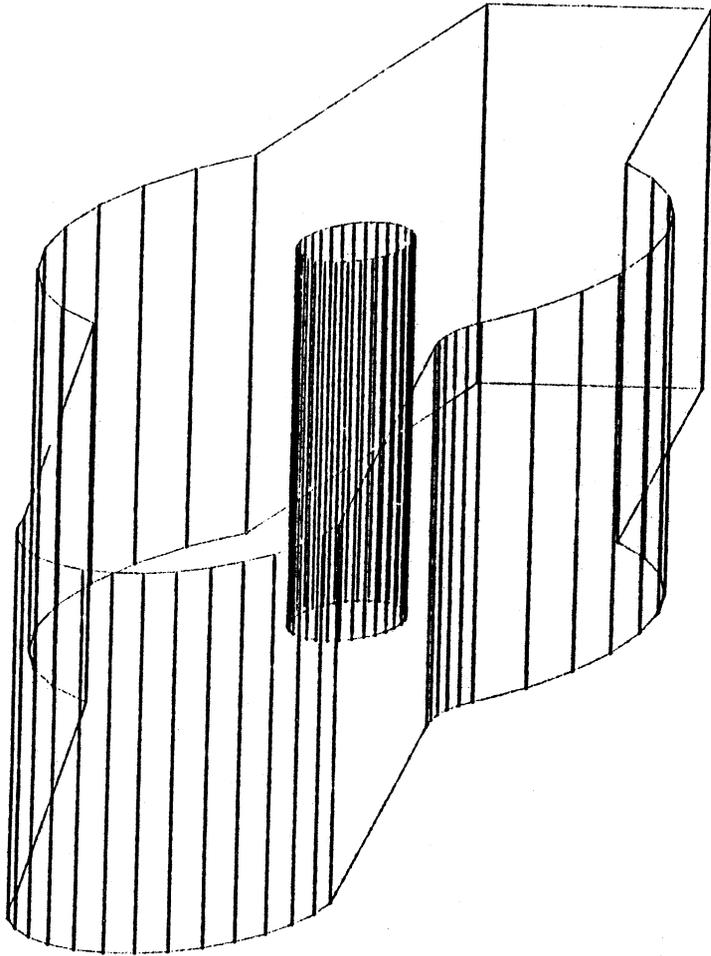
Cette construction s'apparente à la première construction explicitée (F1). Le mode de construction en est identique, sachant que $LC(1)$ est le contour "extérieur", les contours suivants ($LC(2)...LC(n)$) - étant des contours "intérieurs" (donc des trous).

REMARQUE : Il est important de souligner que la validité des objets construits (ensemble des qualités d'un bon modèle) est prise en compte au niveau des algorithmes de construction.

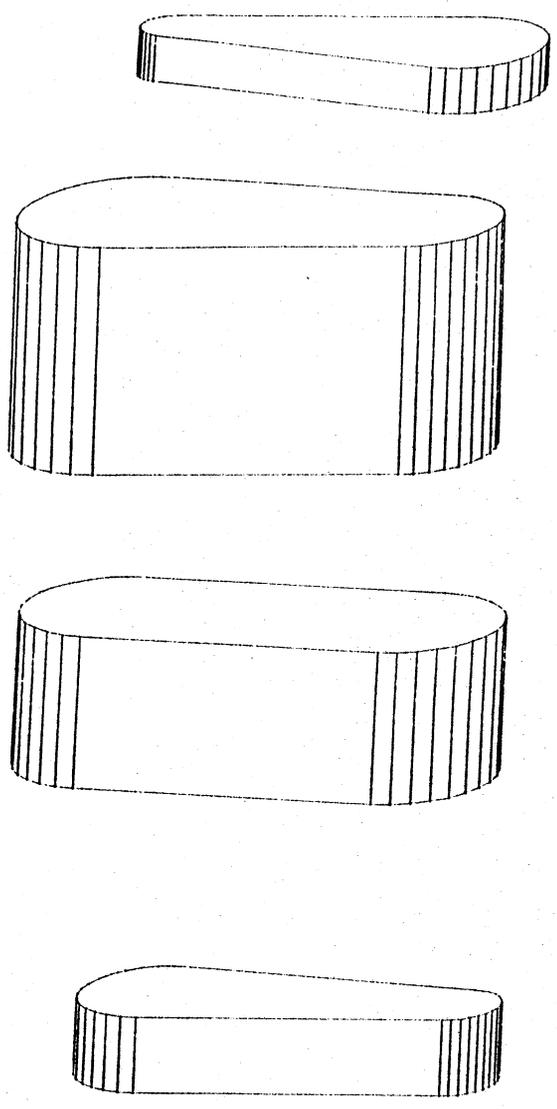
Tout objet construit par l'une des méthodes de GRI3D.VCONT est donc considéré comme valide (à condition bien sûr que les algorithmes de construction soient corrects).



F.V.26. OBJET SIMPLE



F.V.27. MODELE SIMPLE



F.V.28. FAMILLE DE PIECES

V.4.B. Autres constructions

D'autres types de constructions de volumes sont en cours de développement :

Construction par opérations booléennes

Cette méthode n'est pas actuellement réalisée explicitement dans GRI 3D. Elle devra comporter quatre opérations :

- . l'union,
- . l'intersection,
- . la différence,
- . le "collage"

Le modèle de GRI 3D conservera l'arbre de construction comme décrit en IV. La valuation de cet arbre sera faite uniquement au moment d'un affichage. Elle utilisera ainsi le modèle de visualisation par facettes planes pour calculer effectivement les solides créés par les suites d'opérations.

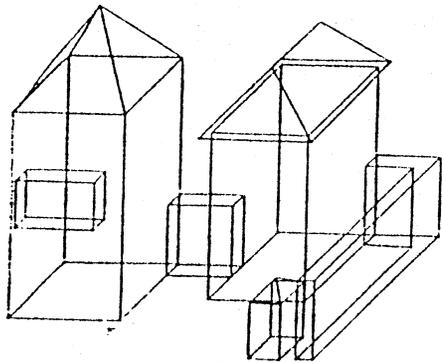
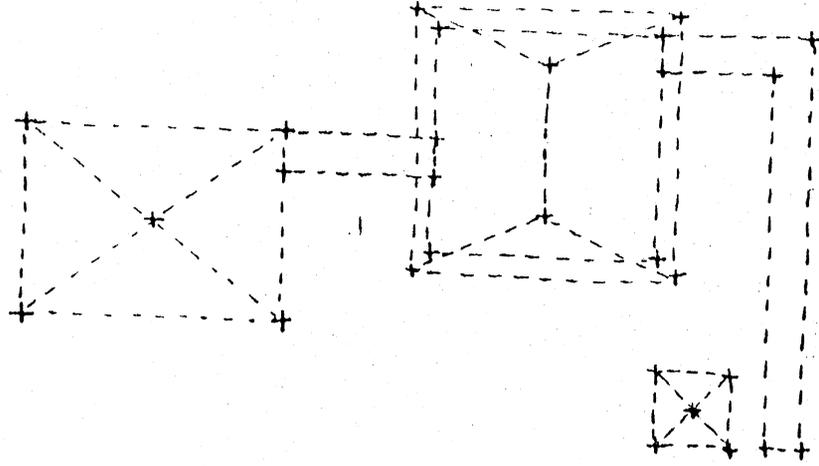
Les essais que nous avons faits ont porté sur une fonction simple de collage. Une fonction de collage peut être considérée comme un cas particulier de l'union. Nous voulions utiliser le modèle de visualisation de GRI 3D pour visualiser des scènes composées de bâtiments simplifiés. Ces bâtiments peuvent être définis à partir de :

- . élévation de planchers,
- . élévation de façades,
- . ajouts de toits (2 pans, 4 pans),

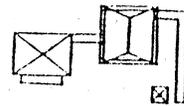
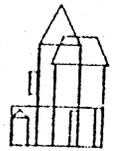
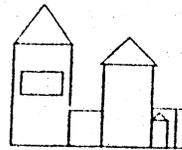
L'opération de collage réalisée permet donc simplement lorsqu'un toit est "posé" sur un parallélépipède de "coller" ce toit de telle sorte qu'un objet soit créé globalement. L'une des facettes (le "dessous" du toit) d'un objet correspondant exactement à une facette (le "dessus" du parallélépipède) de l'autre objet, l'algorithme est extrêmement simple puisqu'il suffit d'éliminer ces deux facettes et de conserver toutes les autres pour décrire le solide correspondant à l'opération de collage.

Surfaces définies à partir d'une équation $z = f(x,y)$

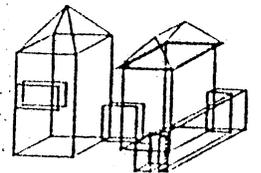
La prise en compte de ces surfaces a été faite uniquement à titre expérimental. Les méthodes utilisées étant largement décrites par ailleurs (GRI 82) (WRI 73) (WIL 72) , nous nous contentons de donner ci-dessous un exemple de sortie. Nous remarquerons simplement que le modèle de visualisation et l'algorithme d'élimination des parties cachées (WIL 72) est spécifique à ce type d'objets, ceci pour des raisons de performances.



277 1.05

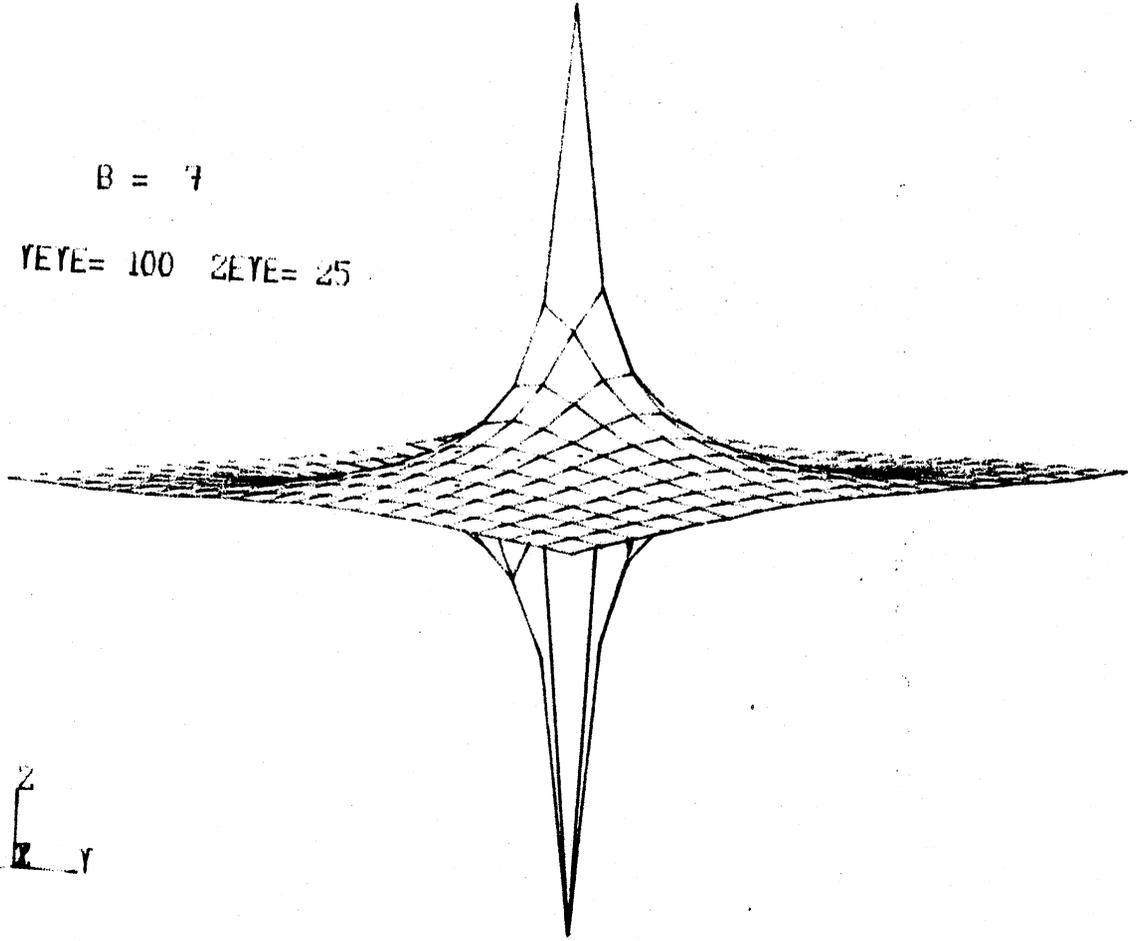


ECH 0.52

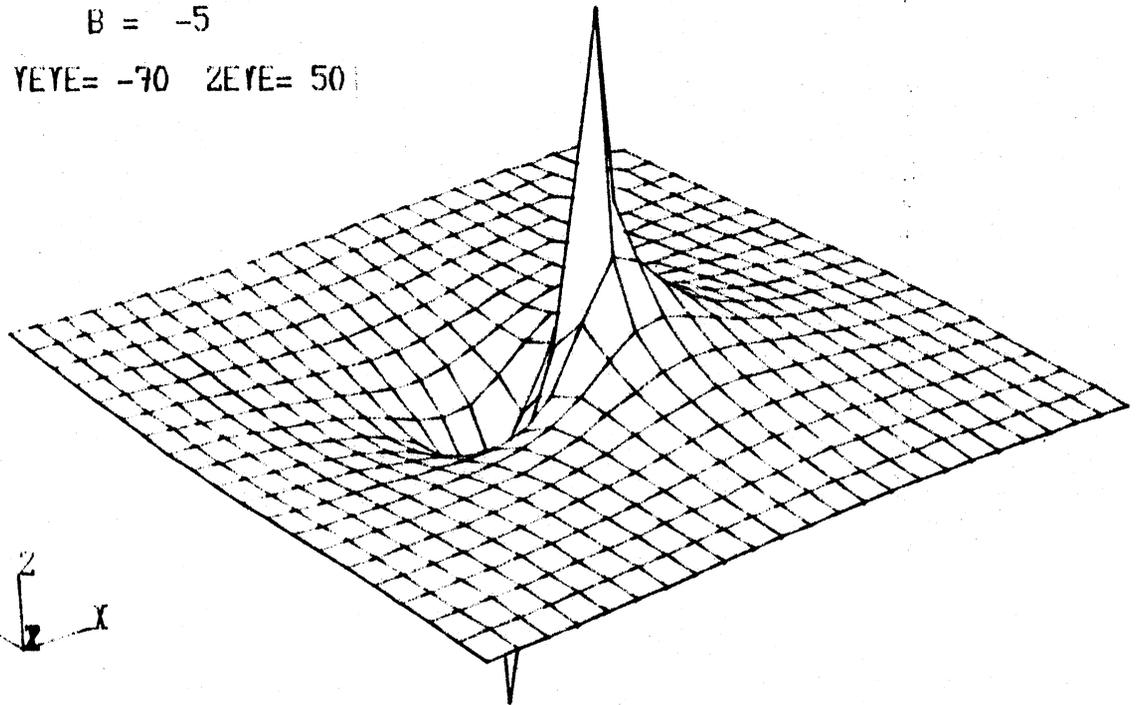


F.V.29. CREATION DE SCENES ET EXEMPLES DE VISUALISATION

A = 6 B = 7
XEYE = 100 YEYE = 100 ZEYE = 25



A = 5 B = -5
XEYE = -60 YEYE = -70 ZEYE = 50



F.V.20. VISUALISATION DE $z = (Ax + By)(x^2 + y^2)$

V.4.C. Le modèle de visualisation

V.4.C.a. les informations du modèle de visualisation

Le modèle de visualisation que nous avons utilisé est un modèle borné par des facettes (planes ou non). Il se compose :

- . pour la géométrie :
- . des coordonnées des points PE (X, Y, Z)
- . des équations définissant la surface sur laquelle s'appuie chaque facette (non utilisée dans les exemples qui suivent).

- . pour la topologie :

Nous avons choisi pour la topologie de conserver suffisamment d'informations pour faciliter l'usage des algorithmes et le modèle conserve :

- A (S) Arêtes en fonction des sommets
- F (A) Facettes en fonctions des arêtes
- O (F) Objet en fonction des facettes

La topologie est ainsi représentée par un graphe orienté. (Cf figure F.V.32).

Le contour d'une facette est orienté de telle sorte que l'on sache de quel côté de la facette est la matière de l'objet modélisé (conditions d'un bon modèle en IV) . Les objets considérés dans ce modèle ont la propriété qu'une face détermine un côté "matière" et un côté "vide" : $(x, y, z,)/f(x, y, z) 0$.

IV.4.B.b Les algorithmes liés au modèle de visualisation

Les algorithmes liés au modèle de visualisation concernent essentiellement le passage de ce modèle à la visualisation proprement dite et la gestion de l'interaction sur cette visualisation.

Afin de faciliter toutes les opérations d'interaction et de permettre un habillage de plans issus de ce modèle de visualisation, le modèle utilisé pour la visualisation bi-dimensionnelle est celui de GRI 2D (cf figure F.V.31).

Pour cette opération, on utilise strictement les accès à GRI 2D en entrée et en sortie (cf annexe 1). On conserve, de la même façon que pour une application utilisant GRI 2D (cf VI.1 mécanismes de disjoncteurs) la correspondance entre éléments du modèle 3D et éléments du modèle 2D, ce qui permet une interaction facile.

Nous décrivons rapidement, ci-dessous, les algorithmes de projection et d'éliminations de parties cachées applicables à ce modèle.

1. Projections (perspectives ou planes).

Nous avons utilisé la méthode la plus courante en infographie qui consiste à gérer une bibliothèque de création de matrices homogènes, correspondant aux différentes transformations souhaitées. Pour une projection choisie par l'utilisateur on crée la matrice correspondante et il suffit alors de multiplier les vecteurs points de la géométrie du modèle par cette matrice. En considérant cette nouvelle géométrie, il suffit d'appliquer la topologie du modèle pour pouvoir créer le modèle bi-dimensionnel.

2. Eliminations des parties cachées (en cours de développement)

Choix généraux

De nombreuses études ont été faites par le passé sur les algorithmes d'élimination des parties cachées (BOU 80) (SSS 74). Le choix d'un type d'algorithme doit tenir compte d'un certain nombre de critères parmi lesquels ceux qui nous semblent importants sont les suivants :

- Nature des objets :

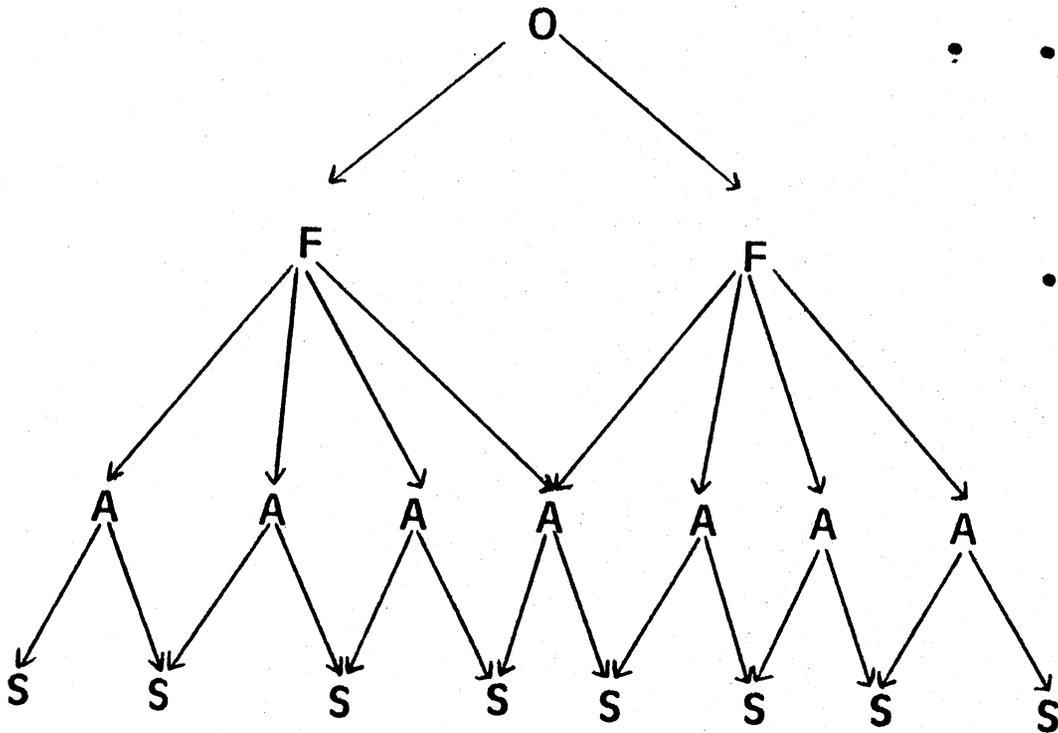
Les objets traités sont, pour notre modèle de visualisation, du type à facettes planes. Nous ne nous intéresserons donc qu'à cette classe d'algorithmes, en notant toutefois que pour l'affichage de surfaces définies par une fonction de deux variables, nous avons utilisé l'algorithme de Williamson (WIL 72).

- Nature des calculs :

Il a souvent semblé inutile pour la visualisation de dépasser en précision de calculs, la précision imposée par les unités d'affichage. C'est ainsi qu'un certain nombre d'algorithmes (WAR 69), (WAT 70) opèrent dans l'espace image, c'est à dire se contentent de résoudre le problème dans un espace restreint (par exemple 1024 X 1024 points ou 512 lignes par 512 colonnes) ce qui permet de travailler par exemple en entiers.

Nous avons choisi de travailler dans l'espace objet car, ceci permet de conserver une bonne précision, ce qui est important dans notre cas. En effet, le passage 3D à 2D est en fait un passage d'un modèle géométrique 3D vers un modèle géométrique 2D (GRI 2D).

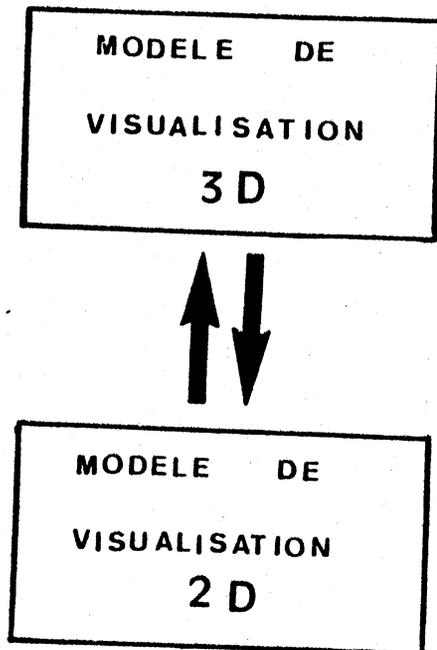
TOPOLOGIE



GEOMETRIE

S (X ; Y ; Z)

VISUALISATION



F.V.31. MODELE DE VISUALISATION

Or ce passage ne doit pas seulement permettre une visualisation mais également des opérations telles que :

- . la cotation : cette cotation est effectuée directement sur le modèle 2D et elle doit être suffisamment précise.
- . le zoom : un zoom réalisé en 2D sur un modèle 2D suffisamment précis évite de remonter au modèle 3D.
- . la mise au propre : un plan tiré d'un modèle 3D peut avoir besoin d'être "habillé" par des cotations, des textes..., mais il peut également subir des modifications au niveau du dessin qui nécessitent à nouveau un modèle bi-dimensionnel précis. Il faut noter que ces modifications ne seront en général pas répercutées au niveau de modèle 3D : le plan ainsi créé, sera reconnu comme un plan n'ayant pas de correspondance 3D, mais il fera partie du modèle du projet en cours.

- Nature de la présentation :

On distingue de façon générale deux types de présentations :

- le dessin au trait,
- le dessin par taches (images).

La plupart des algorithmes sont liés au type d'affichage. Nous avons choisi de traiter l'élimination des parties cachées par une méthode qui permette l'utilisation de présentations différentes.

- Utilisation de filtres et de priorités.

Nous avons essayé de "filtrer" l'information et d'utiliser des listes de priorités afin de traiter tous les cas aussi correctement que possible, et de limiter le temps de calcul. Le but de l'utilisation de filtres est de déterminer les cas où les calculs seront inutiles (il ne sert à rien d'optimiser les calculs, si l'on oublie d'éliminer les cas où ces calculs sont inutiles).

Le filtrage devra être d'autant plus fin que la scène à traiter sera complexe. On utilise dans la mesure du possible un filtrage progressif, un filtre i étant adapté aux éléments que n'auront pas pu traiter les filtres 1 à $i - 1$.

Description de l'algorithme

a) les filtres

- . Filtre "pas vu - pas pris" : ce filtre doit rejeter toutes les facettes situées en dehors de la pyramide dont l'oeil est le sommet et dont le cadre de vision choisi est la base. Il n'est pas pour l'instant utilisé dans notre algorithme puisque les scènes que nous avons traitées étaient presque toujours dans cette pyramide et qu'il suffisait donc de traiter les cas particuliers au niveau du découpage 2D.
- . Filtre "solide" : un solide possède, par définition, un intérieur et un extérieur. Il est donc suffisant pour une facette donnée de savoir qu'elle tourne sa face interne vers l'oeil pour conclure que cette facette est invisible. Nous avons choisi de traiter cette propriété au niveau de la construction des objets, c'est à dire que pour une facette donnée, son sens de parcours est créé de telle sorte que la matière soit toujours située à droite lorsqu'on la parcourt. Ce filtre peut être utilisé pour tous les solides, il est même suffisant pour traiter complètement le cas des solides convexes.

b) Les tris

- . tris sur les solides : contrairement aux algorithmes les plus connus travaillant par listes de priorité ((NNS 72) , (ATW 79)), nous ne trions pas directement les facettes, mais nous commençons par un tri sur les objets. En effet, si nous pouvons éliminer les cas où 2 objets O_i et O_j ne se superposent pas, cela nous évitera de comparer par la suite une face F_{ik} de O_i à toutes les faces F_{jn} de O_j . Nous créons ainsi pour un objet O_j une liste d'objets O_k qui peuvent entrer en conflit avec O_j pour l'élimination des parties cachées.
- . tri sur les facettes : Le tri initial permet de traiter par groupes de facettes. Pour un groupe de facette, on effectue un tri sur z qui permet de classer les facettes en fonction de leur distance à l'observateur, avec découpage des faces lorsqu'un ordre ne peut être établi.
- . Affichage de type "trait" : on commence par la face F_1 la plus proche de l'observateur car elle a des "chances" de cacher des faces placées derrière elle. Pour la deuxième face, trois cas sont possibles :
 - . elle est contenue dans F_1 , donc non visible,
 - . elle est disjointe de F_1 , donc entièrement visible,
 - . elle coupe F_1 et il faut donc calculer le ou les contours de F_1 qui sont extérieurs à F_2 et qui sont ainsi visibles.

On conserve ainsi une liste de contours (1,...Cn) visibles et le traitement d'une face F_i se fait comme le traitement de la seconde face, appliqué sur la liste des contours et non pas sur un seul contour.

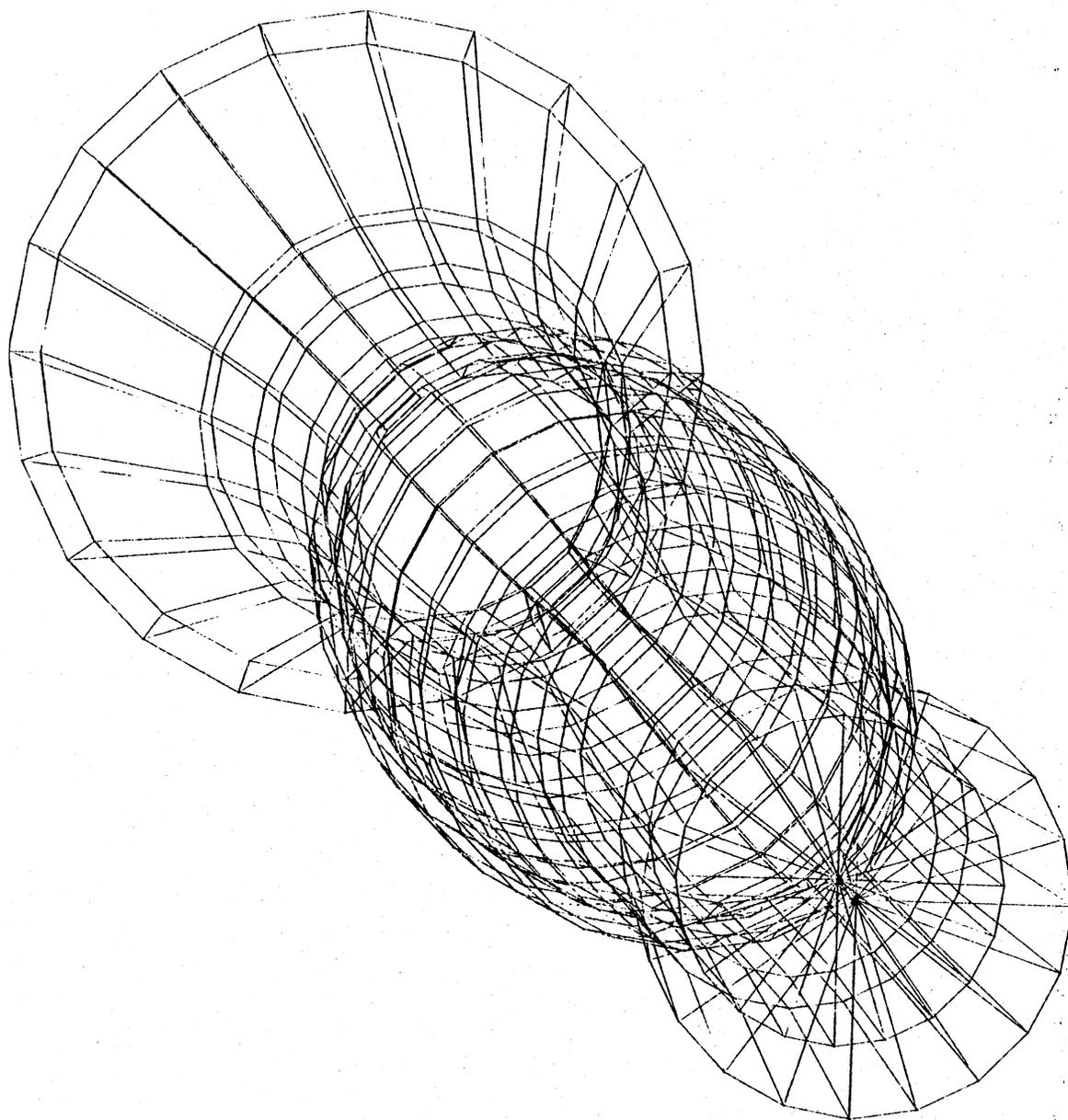
A la fin du traitement, le modèle comprend un ensemble de contours visibles qui peuvent être affichés.

- . affichage de type "image" : Il peut être simplifié à partir de tri sur les facettes. En effet, si l'on projette les facettes suivant leur classement en partant de la facette la plus éloignée de l'observateur, toute facette F_i en cachant une autre F_j sera traitée après celle-ci et sa projection viendra en superposition de la projection de F_j (NN 72).

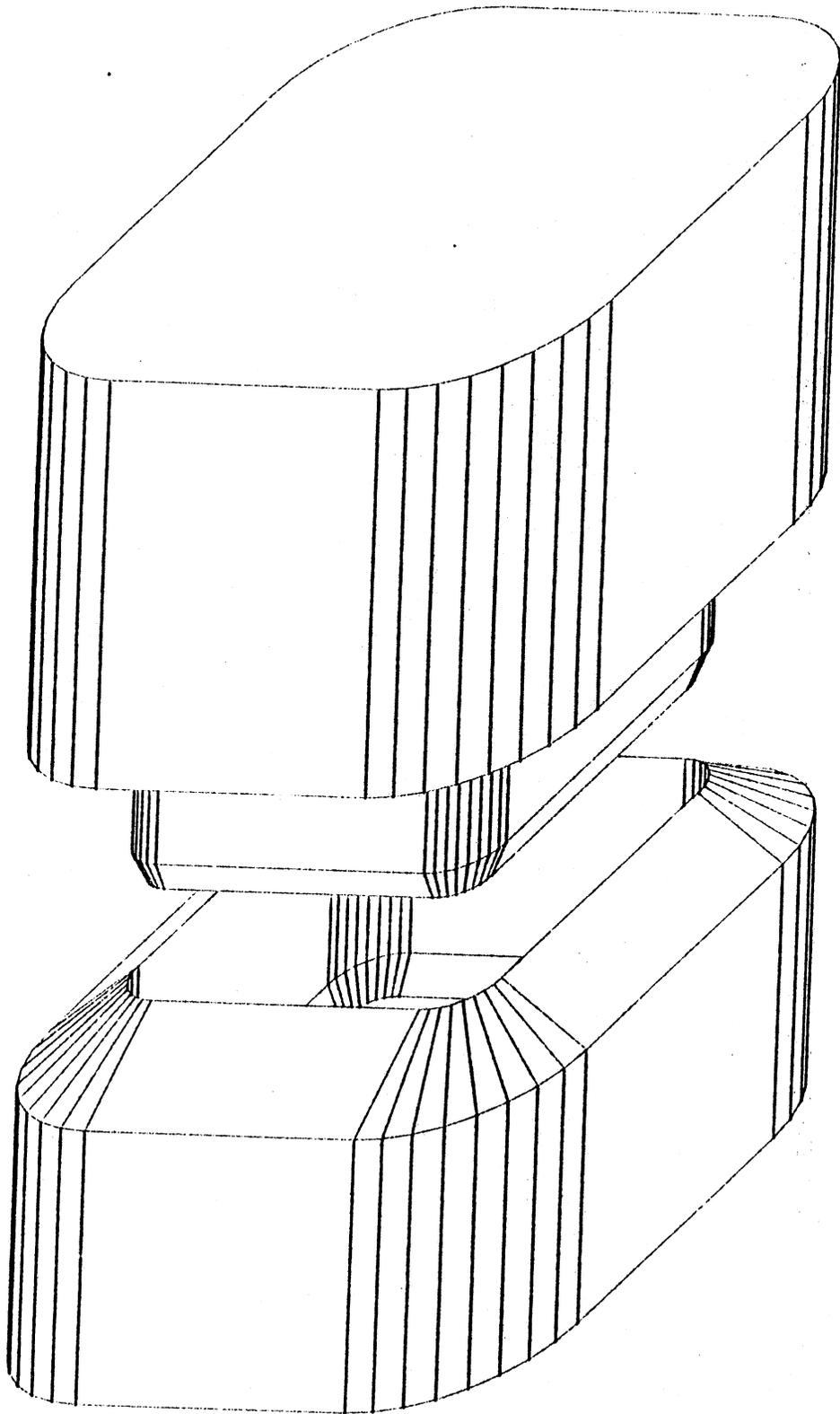
V.4.D. Remarques sur l'utilisation de GRI 3D

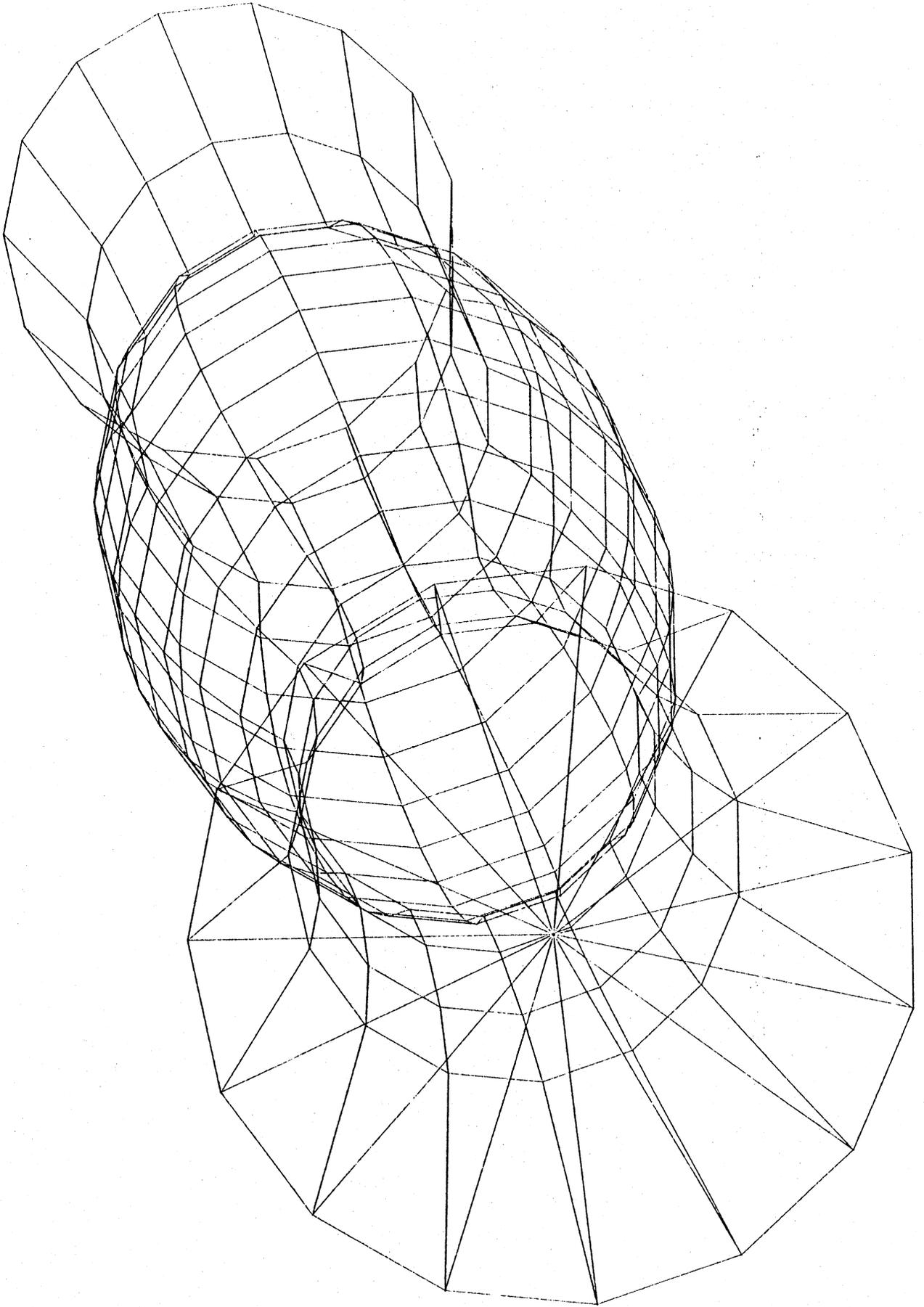
Il est évident que GRI 3D n'en étant actuellement qu'à une première version prototype, il nous est impossible d'émettre des conclusions définitives sur son intérêt. Nous avons mis en oeuvre un ensemble d'outils permettant de visualiser un modèle (avec possibilité de trois vues et une perspective) et de manipuler au niveau tri-dimensionnel ce modèle (récupération de points 3D à partir de plusieurs vues, identification d'un solide..). Les outils d'accès au modèle de visualisation (identification d'un point, d'une arête ou d'une facette) permettent même de faire des modifications locales en déplaçant par exemple un point, la topologie permettant de reconstruire le solide. Les exemples de dessins montrent les types d'objets qui peuvent être réalisés avec GRI 3D actuellement. L'utilisation de GRI 2D pour le modèle d'affichage apporte une grande puissance au niveau de la cotation par exemple.

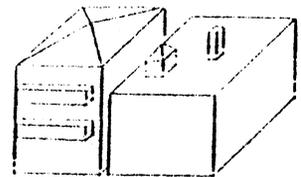
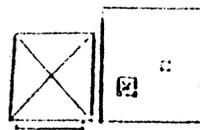
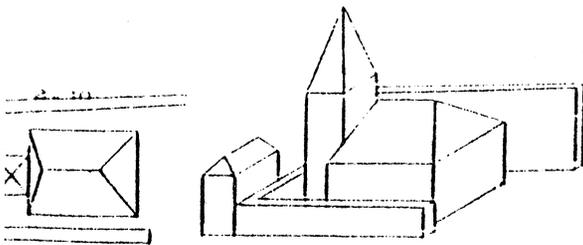
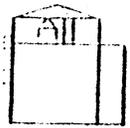
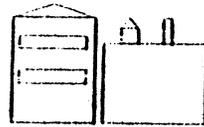
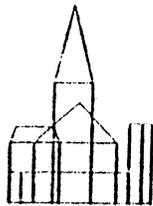
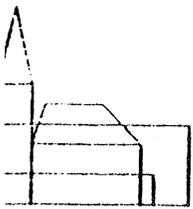
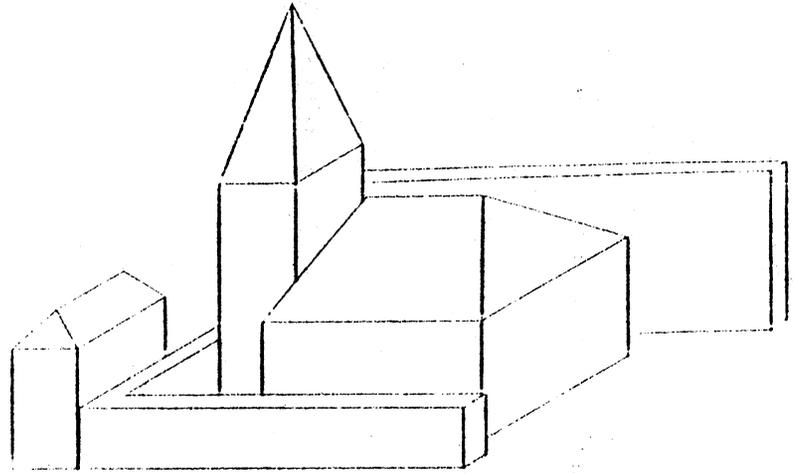
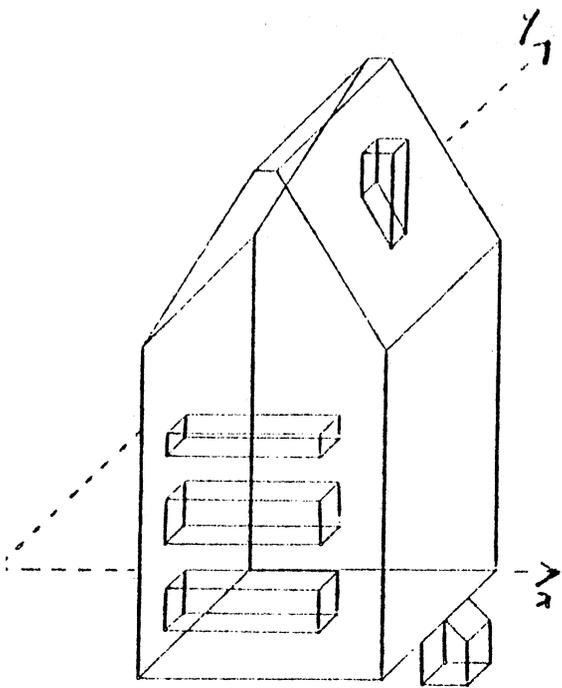
GRI 3D est implanté sur un ordinateur 16 bits (il fonctionne sur ordinateur 32 bits également avec de meilleures performances), ce qui nous pose des problèmes de développement et de performances, avec en particulier une gestion paginée du modèle traité, comme pour GRI 2D par des outils spécifiques (puisqu'il n'existe pas de mémoire virtuelle dans l'ordinateur).



F.V.32. EXEMPLES
(certaines mises au propre ont été traitées interactivement)

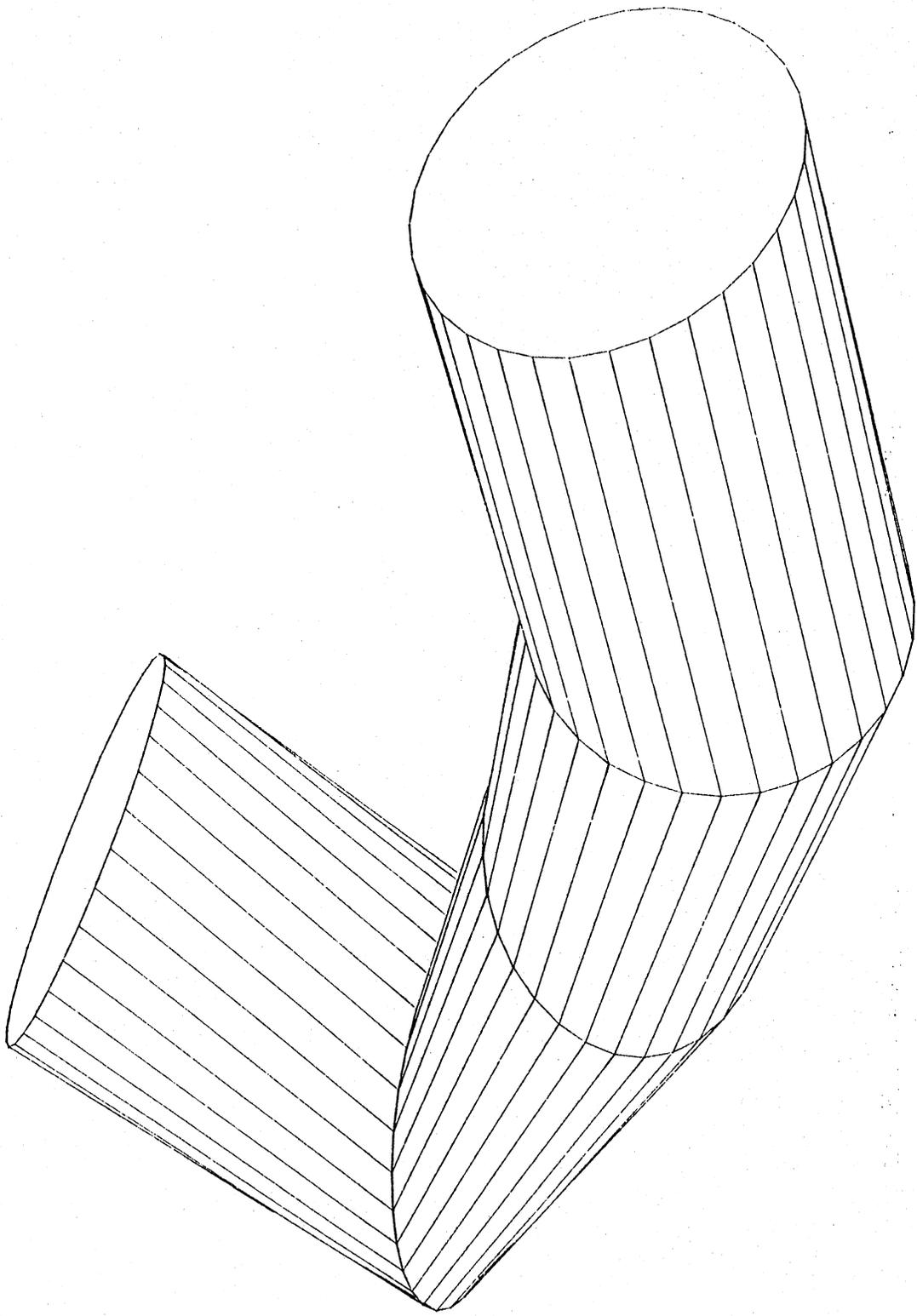






0-26

6CH 0-35



CONCLUSION

Les outils que nous avons décrits dans ce chapitre, même s'ils n'ont pas tous atteint un stade de diffusion industrielle, nous ont permis de valider un certain nombre d'idées que nous avons, en particulier :

- la prise en compte d'aspects fonctionnels : nous avons essayé de mettre en oeuvre des relations fonctionnelles de plus haut niveau que celles utilisées jusqu'à présent. Ces aspects ont été inclus dès 1977 sur les notions de cotation de GRI2D par des liaisons COTATION-OBJETS COTES. Nous avons également appliqué ces idées au niveau des modèles qui sont de type relationnel pour les informations directement prises en compte, et qui permettent la mise en oeuvre d'applications en utilisant ces modèles, ainsi que nous le montrons dans le chapitre suivant.
- l'acquisition interactive de connaissances par les modèles que nous avons montrée par la réalisation de PARAM 2D. Nous reviendrons sur ces notions dans le chapitre VII. Notre but était, dans tous les développements, de permettre à l'utilisateur de dialoguer avec le système dans un langage "naturel" (pour le dessinateur ou le concepteur, c'est le dessin) et que le système enregistre certains aspects du raisonnement pour le reproduire.

Enfin, nous ajouterons que certains de ces outils sont en cours d'implantation sur des micro-ordinateurs 16 bits. Le premier à être diffusé est une émanation de GRI2D dont le nom est MICA2D sur un micro-ordinateur 16 bits R2E. Il sera en particulier utilisé pour l'enseignement de la CFAO dans les établissements d'enseignement supérieur.

VI : APPLICATIONS UTILISANT NADRAG

Le but de cette partie est de montrer sur des applications l'utilisation des logiciels présentés dans le chapitre précédent, en particulier l'intérêt de l'ouverture de ces logiciels et des modèles associés. Afin de montrer la faisabilité d'applications utilisant des modèles géométriques, nous avons choisi de présenter des applications que nous avons réalisées et qui sont utilisées industriellement.

La première concerne la conception de mécanismes de disjoncteurs et elle est fortement interactive.

La seconde concerne la réalisation des plans clients de roulements à billes une rangée et elle comporte une grande part d'automatisation (pièce "paramétrée").

VI.1. MECAN : UN SYSTEME D'AIDE A LA CONCEPTION DE MECANISMES DE DISJONCTEURS

VI.1.A Le problème

Nous présentons cette application pour deux raisons essentielles.

- . c'est un système de CAO alliant des aspects de dessin et de simulation en temps réel.
- . MECAN utilise depuis 1980 GRI 2D en tant que logiciel de modélisation bi-dimensionnel ce qui nous a permis de vérifier les qualités de GRI 2D en tant que support d'application (la première version de MECAN en 1978 ne comportait qu'une partie spécifique et restreinte de dessin interactif) (GAR 78b).

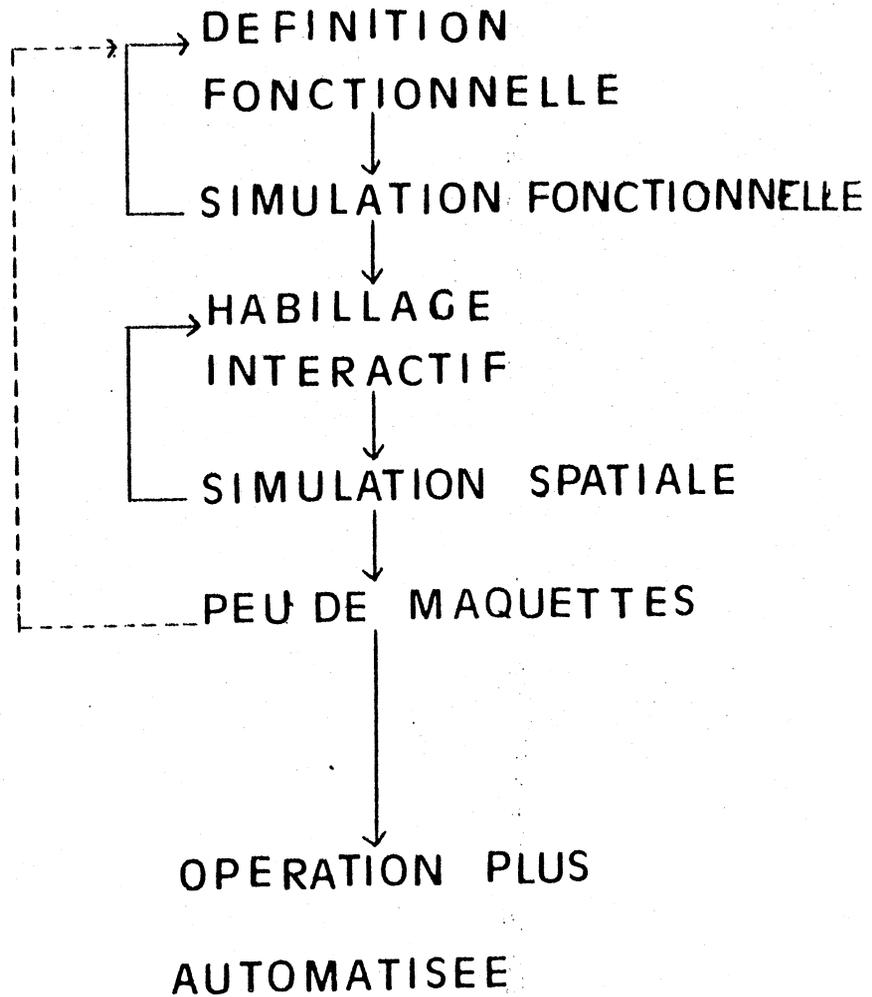
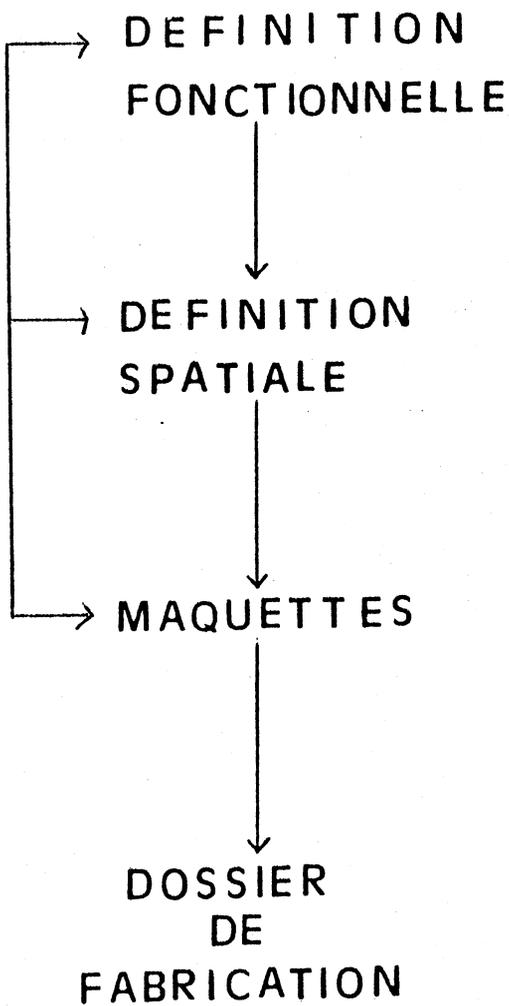
Il s'agit donc d'une application de la CAO dans un domaine spécifique, celui des mécanismes de disjoncteurs basse tension (précisons qu'il existe des différences importantes entre les mécanismes de disjoncteurs "haute", "moyenne", et "basse" tension).

Par rapport à l'ensemble des activités de l'entreprise concernée, la conception de mécanismes de disjoncteurs basse tension est un aspect particulier dont le processus est décrit par la figure F.VI.1.

PROCESSUS DE CONCEPTION

MANUEL

AVEC CAO



F.VI.1. PROCESSUS DE CONCEPTION

Les fonctions que doit réaliser un disjoncteur basse tension sont :

- . conduire et couper les courants nominal et de défaut ;
- . se conformer aux normes en ce qui concerne la tension électrique et la dissipation thermique ;

Une cinématique complexe doit être mise en place pour :

- simuler le mécanisme qui permet l'ouverture - fermeture commandée et l'ouverture sur défaut de l'appareil. Cette simulation est liée aux dispositifs de verrouillage et de déclenchement adoptés.
- vérifier les interférences entre pièces car l'une des difficultés importantes de la conception d'un mécanisme basse tension réside dans la grande imbrication au plan constructif entre les différentes fonctions que l'appareil doit remplir (il n'est pas rare d'avoir 50 pièces élémentaires dans un volume voisin de celui d'un paquet de cigarettes).

La conception sans ordinateur d'un mécanisme se déroulait ainsi en trois étapes essentielles :

1. La conception fonctionnelle du mécanisme,
2. L'habillage de ce mécanisme . Les pièces peuvent être représentées en plan, car le fonctionnement du mécanisme est plan à l'épaisseur près des pièces,
3. Essais sur maquette.

Le système de conception assistée par ordinateur respecte l'ordre des deux premières phases. Il permet cependant, grâce à une simulation fonctionnelle puis spatiale de vérifier le "bon" fonctionnement du mécanisme (les vérifications spatiales concernant des pièces qui se chevauchent etc... sont faites visuellement). Ces simulations permettent un gain au niveau des maquettes et surtout une meilleure qualité de la conception.

Afin de permettre au concepteur de décrire, d'habiller et de tester la cinématique d'un mécanisme de disjoncteur basse tension, MECAN a pour caractéristiques essentielles :

- la création, les modifications et les tests cinématiques faits à l'aide d'un écran graphique et de moyens de dialogue associés (clavier, moyen de désignation, tablette...)

- une bonne indépendance par rapport au calculateur et moyens graphiques (écrans, moyens de dialogue...) en partie par l'utilisation du logiciel de base GRIGRI (utilisation de TEKTRONIX 4014 et d'IMLAC 3205 en bureau d'études),
- des outils fournis pour des extensions que réalise d'ailleurs l'industriel.

Le logiciel comprend quatre modules :

- . le module de définition fonctionnelle du mécanisme (unifilaire)
- . le module de cinématique : Ce module est unique pour la simulation fonctionnelle et spatiale, la cohérence de l'information manipulée étant prise en compte par GRI 2D
- . le module d'habillage (définition des contours, textures cotations, hachurages) pris en compte par GRI 2D
- . le module de gestion de la base de données qui peut comporter soit des ensembles d'informations décrivant un mécanisme (terminé ou en cours de réalisation) ou des sous-ensembles (données fonctionnelles et géométriques), soit des ensembles d'informations représentant des habillages ou pièces pouvant être utilisées dans différents mécanismes (données géométriques).

Sous ces différents modules, sont accessibles des sous modules de visualisation : zoom, changement d'échelle, visualisation des différents niveaux d'un point de vue fonctionnel (unifilaire, habillage, cotation) ou géométrique (traits de définition ou de construction).

VI.1.B. Conception de MECAN (GAR 81a)

Afin de faciliter les aspects géométriques nécessaires à MECAN, nous avons utilisé comme modèle géométrique bi-dimensionnel GRI 2D:MOD, ce qui a permis également de tester l'insertion de GRI 2D dans une application spécifique.

Les liaisons entre les traitements fonctionnels de MECAN et le modèle bi-dimensionnel étaient les suivantes :

- . connaissance au niveau de MECAN par son nom P_i d'un point créé dans le modèle géométrique ;
- . liaisons fonctionnelles connues au niveau de MECAN par leur nom L_j entre ces points (matérialisées graphiquement par des segments et, donc modélisées dans GRI 2D par un objet OBJ),

Pour le dialogue, MECAN utilise les fonctions de GRI 2D pour récupérer des points, montrer des objets ou des points. Pour plus de facilités, deux fonctions spécifiques d'affichage ont été écrites pour l'affichage des noms de points et de liaisons fonctionnelles et lier ainsi cet affichage aux points et liaisons nommés (cf exemples).

Le modèle de MECAN comprend donc :

- les noms des points : les informations sur ces points (géométriques ou fonctionnelles) sont conservées au niveau du modèle GRI 2D. Ces informations peuvent être lues ou créées à l'aide des fonctions d'accès de GRI 2D (cf annexe 1) ;
- les noms des liaisons : les informations sur ces liaisons rigides sont conservées au niveau du modèle GRI 2D et peuvent être lues ou créées à l'aide des fonctions d'accès de GRI 2D (cf annexe 1) ;
- des informations fonctionnelles complémentaires nécessaires au programme de simulation. Par exemple, un engrenage est connu par trois liaisons et deux rayons, une rigidité (pièce) entre plusieurs liaisons est connue par les noms de ces liaisons.

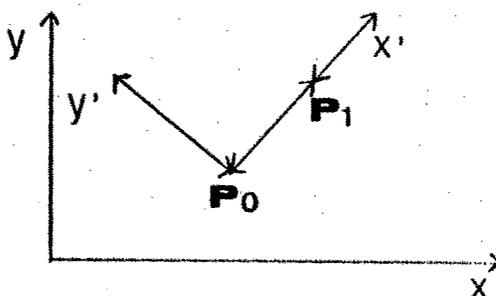
Les avantages de l'utilisation du modèle de GRI 2D sont les suivantes :

- . Le programme de cinématique calcule à partir des points fonctionnels et des informations sur le mécanisme (liaisons rigides, engrenages...) les nouveaux points en fonction des contraintes imposées par le concepteur (pièce déplacée et déplacement angulaire ou linéaire). Il suffit alors d'écrire ces nouveaux points dans la structure de points de GRI 2D pour que le mécanisme unifilaire (points fonctionnels + liaison) soit créé dans sa nouvelle position dans GRI 2D. Tout affichage peut alors être réalisé.

. Prise en compte de la géométrie des pièces de la façon suivante :

- les éléments de géométrie créés autour d'une liaison Li (ou d'une pièce dont la première liaison est Li) sont affectés dans GRI 2D du nom Li .
- avant l'appel du programme de cinématique, la géométrie, affectée à une liaison Li est transformée dans un repère R_i , lié à la liaison Li (cf figure).
- après l'appel du programme de cinématique, la géométrie, affectée à une liaison Li est transformée dans le repère général.

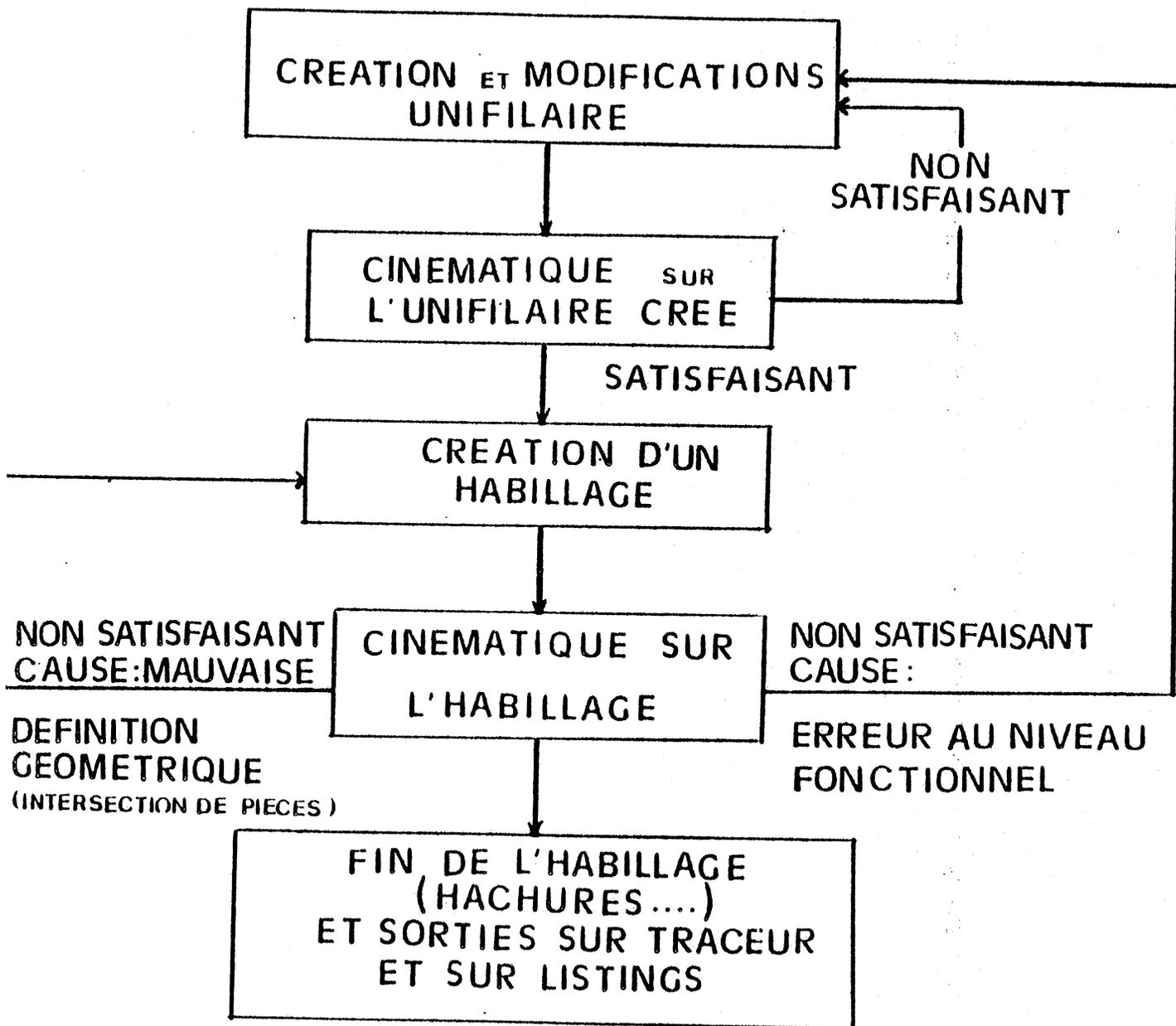
Cette méthode permet de ne se préoccuper de la géométrie au niveau de l'application qu'au moment d'une simulation. Pendant le reste du temps d'utilisation, le modèle de GRI 2D fonctionne normalement dans un repère général.



. La cotation de GRI 2D (et tout l'habillage) est liée aux objets de GRI 2D. L'affichage du mécanisme dans différentes positions imposera automatiquement à la cotation d'être calculée et affichée dans cette nouvelle position.

VI.1.C. Exemples d'utilisation.

Lors de la création d'un mécanisme, l'utilisation est globalement la suivante :



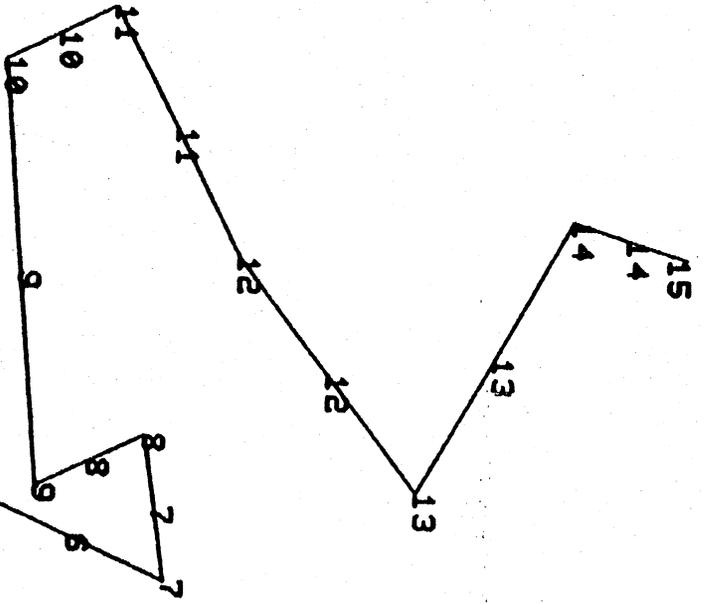
F.VI.2. UTILISATION DE MECAN

Afin de ne pas trop entrer dans les détails, nous donnons à titre d'illustration des sorties écran correspondant à diverses étapes du processus de conception.

```

130 11
131 11
132 11
133 11
134 11
135 11
136 11
137 11
138 11
139 11
140 11
141 11
142 11
143 11
144 11
145 11
146 11
147 11
148 11
149 11
150 11
151 11
152 11
153 11
154 11
155 11
156 11
157 11
158 11
159 11
160 11
161 11
162 11
163 11
164 11
165 11
166 11
167 11
168 11
169 11
170 11
171 11
172 11
173 11
174 11
175 11
176 11
177 11
178 11
179 11
180 11
181 11
182 11
183 11
184 11
185 11
186 11
187 11
188 11
189 11
190 11
191 11
192 11
193 11
194 11
195 11
196 11
197 11
198 11
199 11
200 11

```

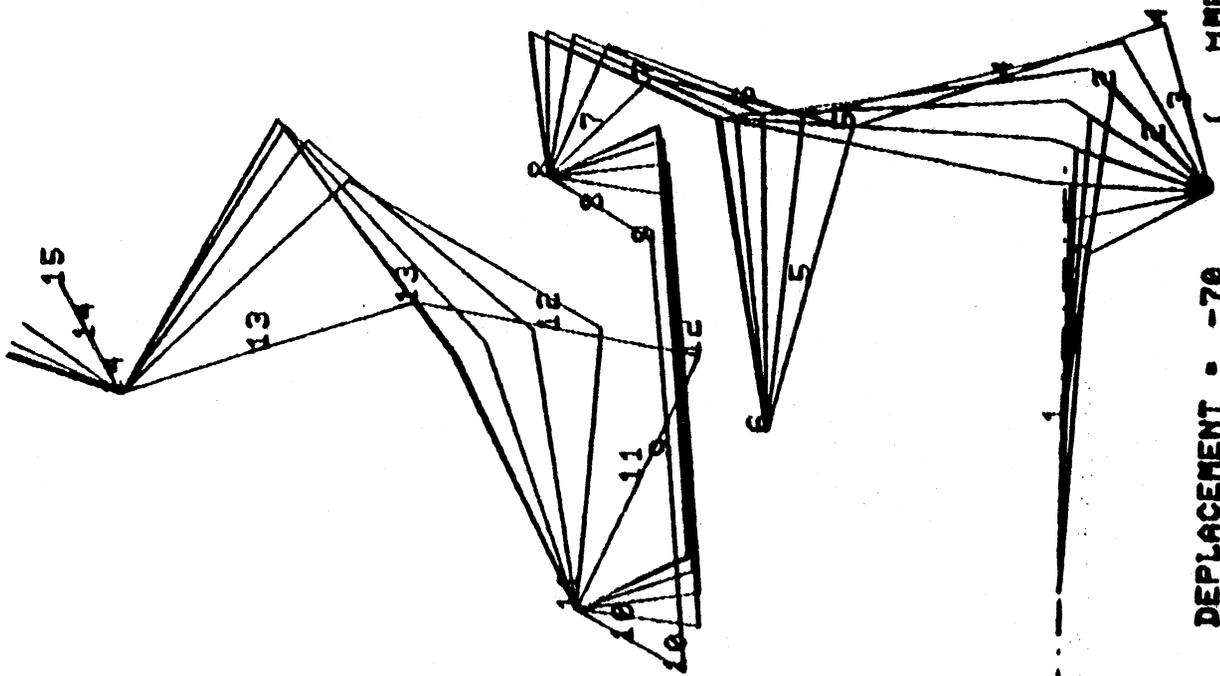


```

MENU
MULTIPLE
P.POL.
POINT
LIAISON
ENGRNEN
PIECE
BUTEE
RESSORT
CINEMA
UIT.LIE
RESULT
COURBE
FORCE
ANGLES
ETAT
ET.RES.
$$$NEU
DYNAMIC
MODIF
EFFACE
FIN.UNIF

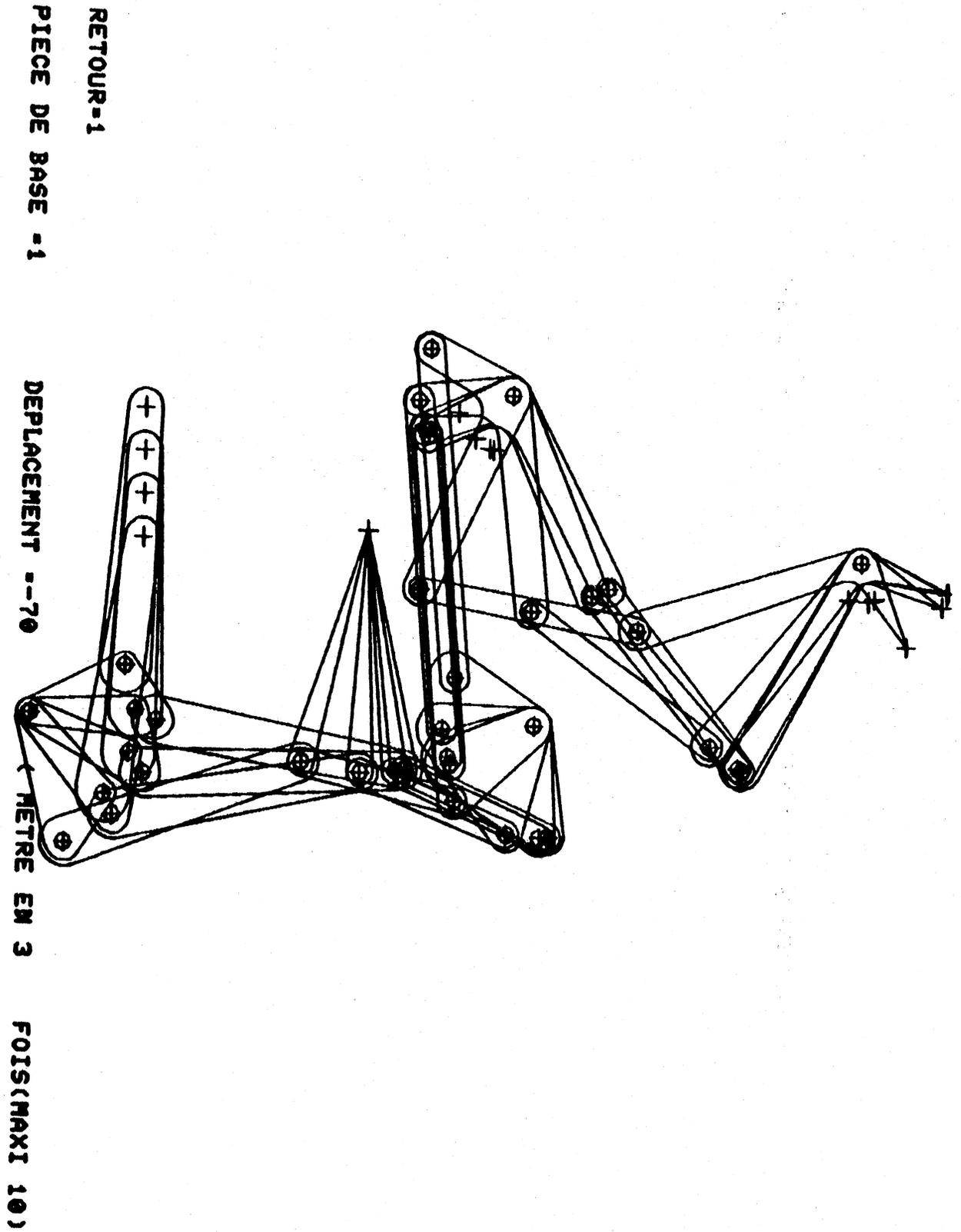
```

F.VI.3. EXEMPLE 1 : SCHEMA UNIFILAIRE

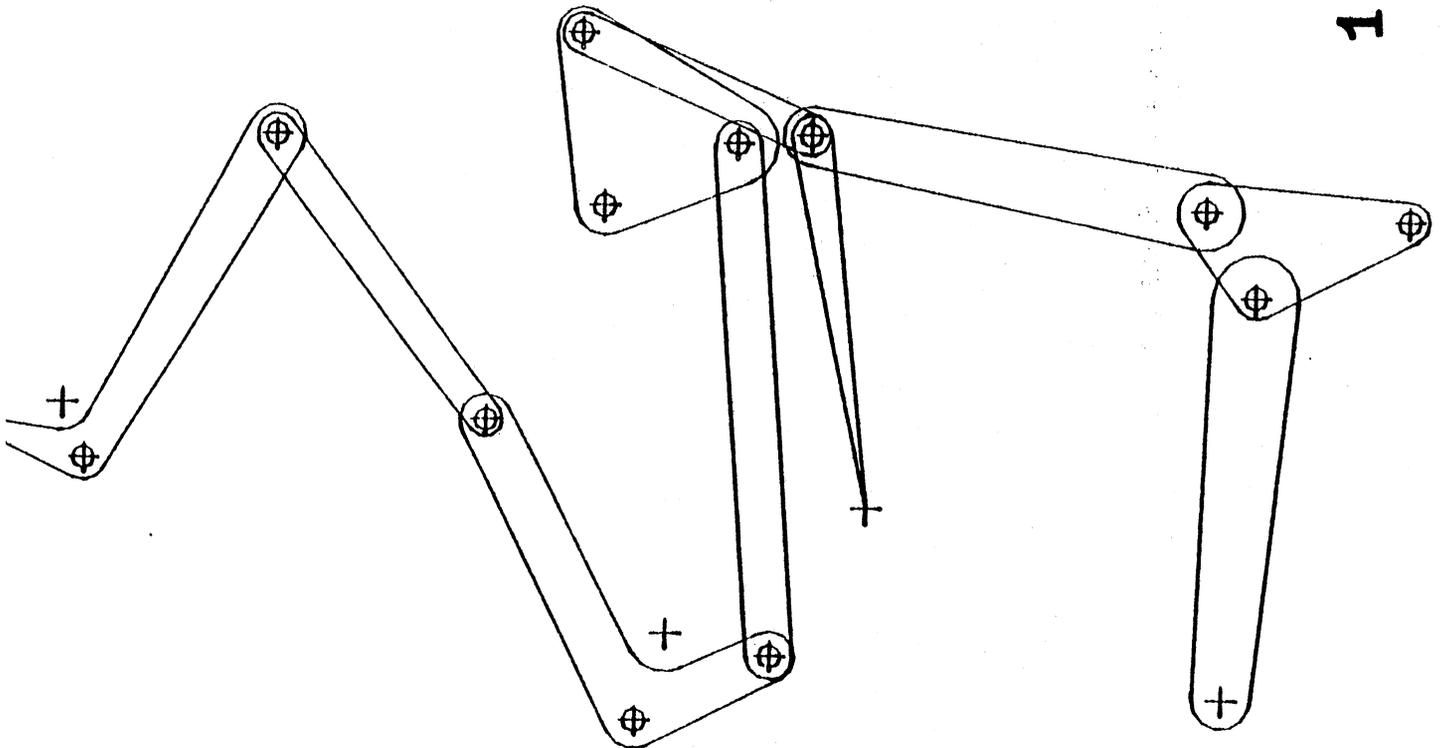
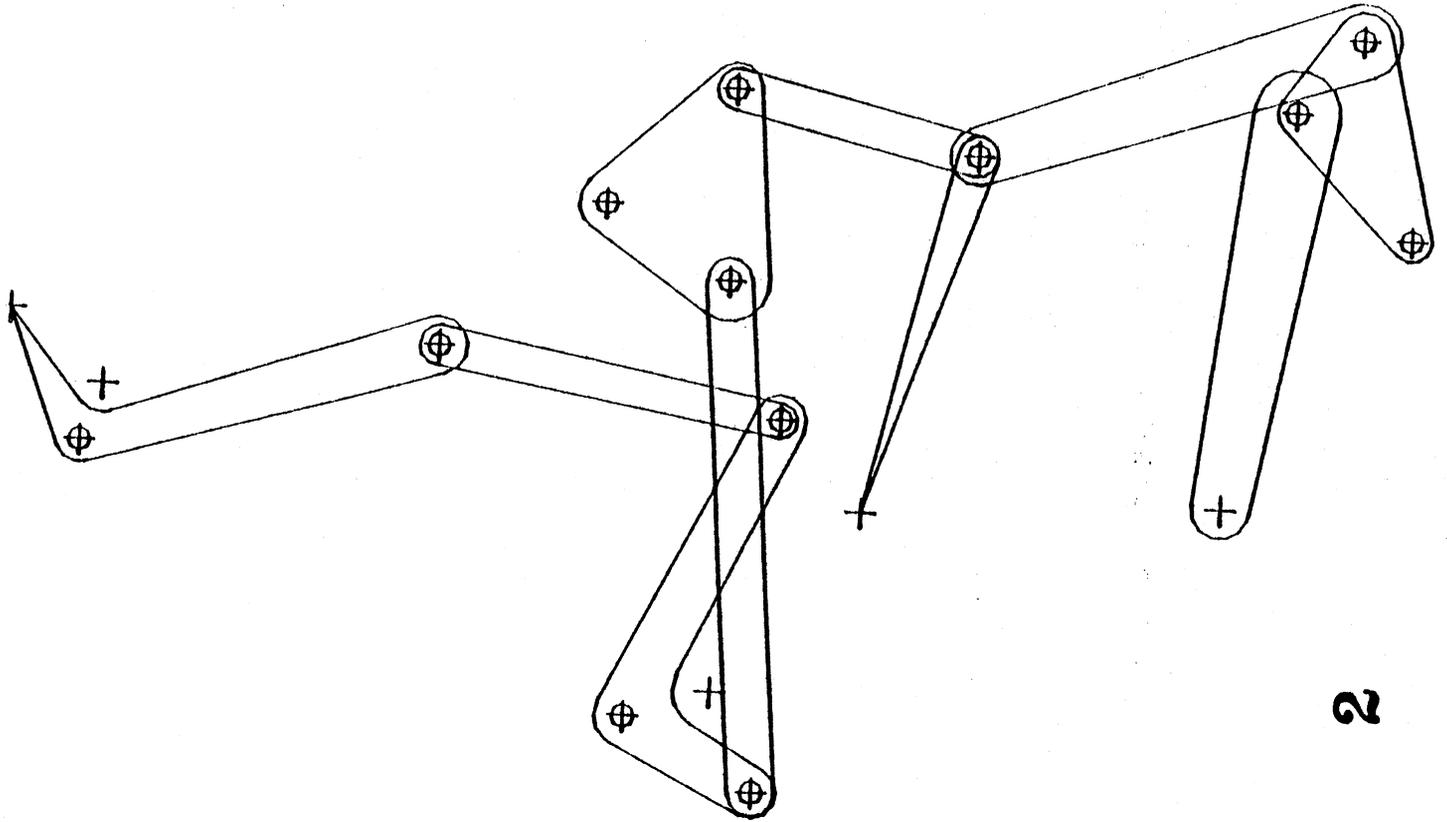


RETOUR - 1
PIECE DE BASE - 1
DEPLACEMENT - -70
(MMETEN 5 FOIS

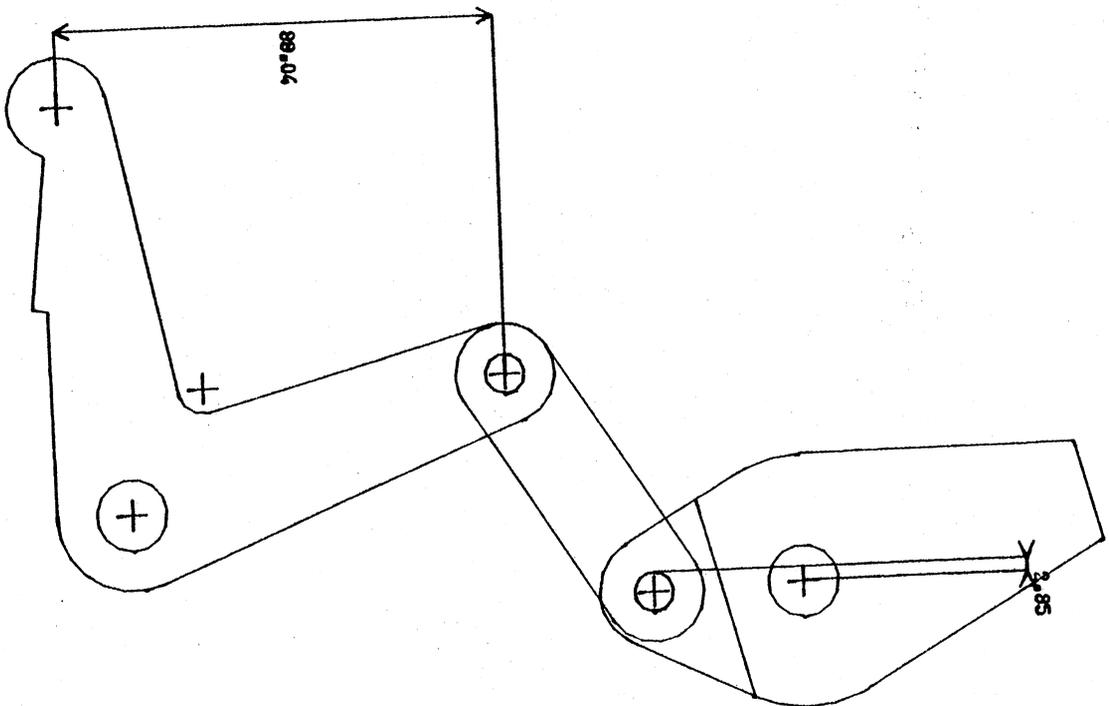
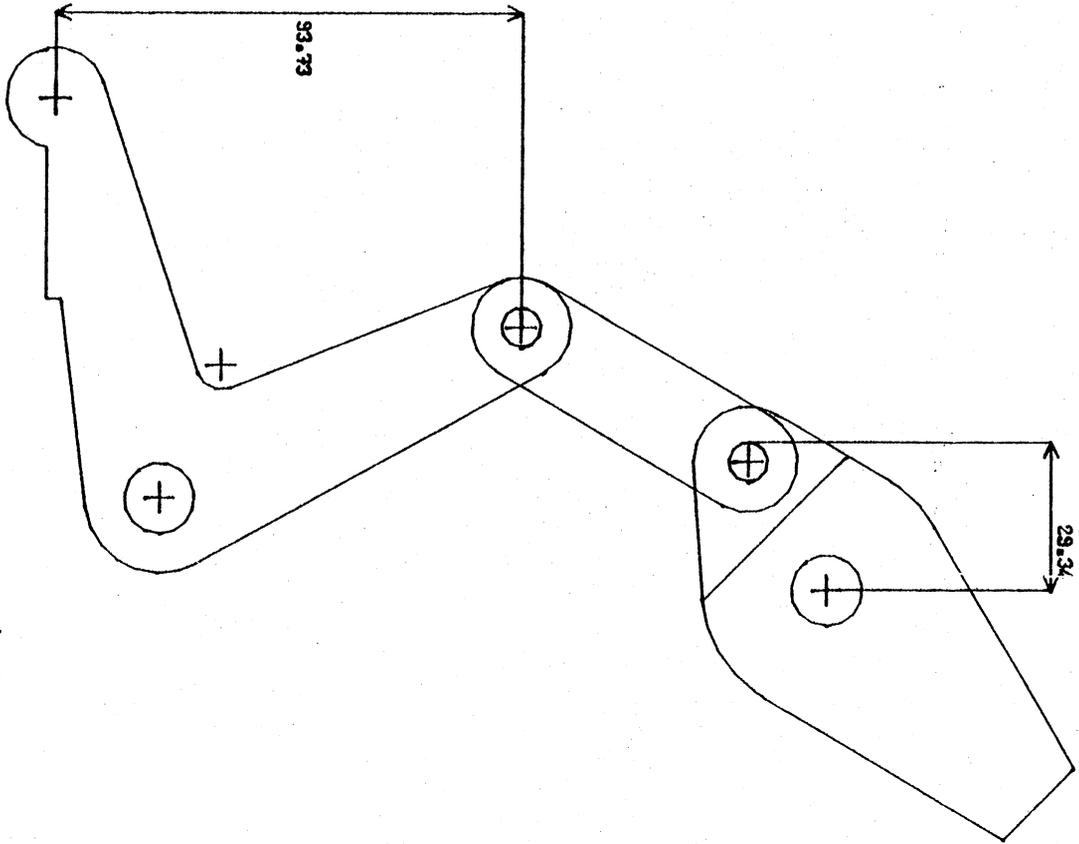
F.VI.4. EXEMPLE 1 : CINEMATIQUE UNIFILAIRE



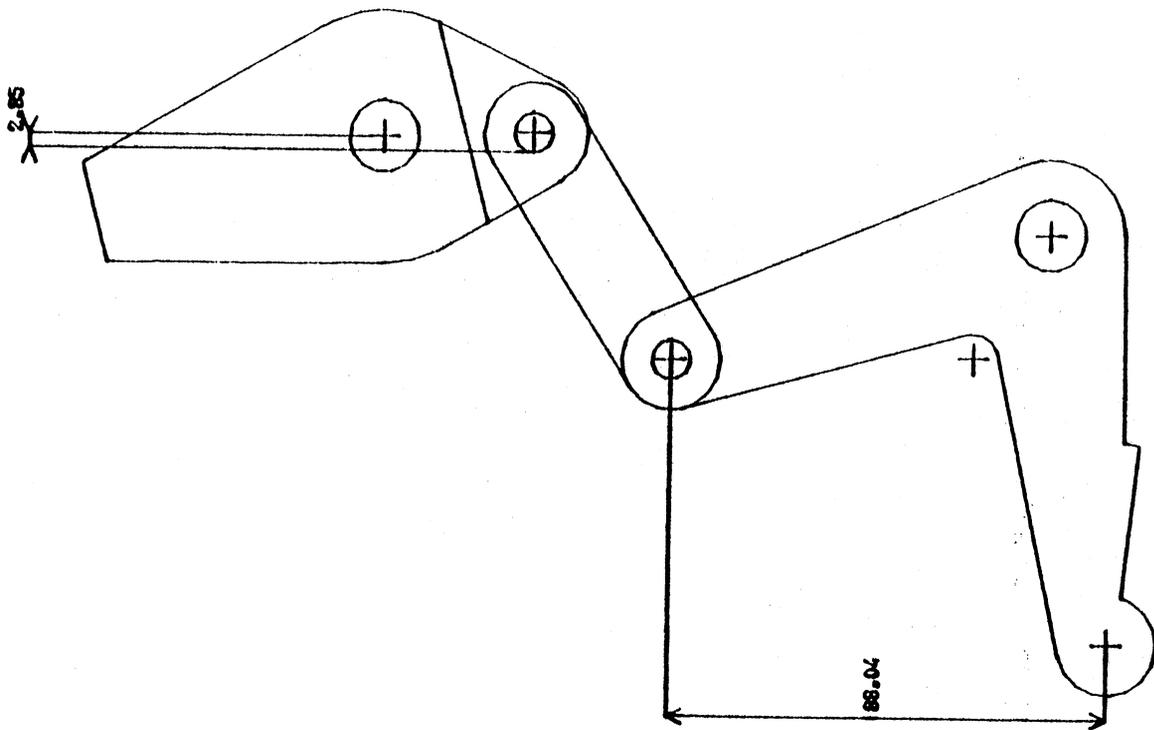
F.VI.5. EXEMPLE 1 : CINEMATIQUE HABILLAGE



F.VI.6. EXEMPLE 1 : AVANT ET APRES CINEMATOIRE



F.VI.7. EXEMPLE 2 : HABILLAGE COTE AVANT ET APRES CINEMATIQUE



F.VI.8. EXEMPLE 2 : APRES DEPLACEMENT DE LA COTE

Remarque : l'exemple 2 montre que la cotation est bien attachée aux objets. En effet, dans la figure F.VI.7., la cotation a été automatiquement remise à jour. En revanche, une intervention de l'utilisateur peut être nécessaire pour "replacer" l'endroit où se trace la cote en "tirant" sur la cote (F.VI.8).

VI.1.D. Conclusion

La version de MECAN que nous avons présentée est celle qui a été installée chez le client final (l'entreprise Merlin Gerin à Grenoble). Nous avons réalisé en 1977-1978 une première version de MECAN sur le 360/67 du Centre Interuniversitaire de calcul de Grenoble. A la suite du choix par Merlin Gerin de son matériel (ordinateur PRIME, écrans IMLAC et TEKTRONIX) la version opérationnelle a été installée début 1980. Depuis cette date, MECAN est utilisé dans les bureaux d'études de Merlin Gerin et l'équipe informatique interne à cette entreprise en étend les fonctionnalités.

Les fonctionnalités que nous avons présentées sont celles de MECAN tel que nous l'avons implanté en 1980.

Merlin Gerin a fait de gros efforts depuis quelques années dans le domaine de la CFAO. MECAN a été en quelque sorte, un premier dans un domaine bien spécifique.

VI.2. UN EXEMPLE DE PIÈCE PARAMÉTRÉE : PLAN CLIENT D'UN ROULEMENT À BILLES.

VI.2.A. Le problème posé

Le plan client d'un roulement à billes se compose d'une partie dessin avec cotation et d'un cartouche. Le roulement à une rangée de billes peut être défini à partir de deux types de paramètres :

- des paramètres géométriques tels que le diamètre extérieur du roulement, le diamètre des billes etc... Une vingtaine de paramètres suffisent pour décrire la géométrie du roulement à billes ;
- des paramètres logiques par exemple, le fait qu'existent ou non des joints ou des déflecteurs, le nombre de billes que comporte le roulement, le type de cage utilisé, etc...

Il s'agit à partir de ces paramètres de définir entièrement automatiquement le plan client du roulement à billes. Étant donné la complexité de la mise en page du plan client, nous avons choisi l'option d'écrire un logiciel spécialisé.

Pour que ce logiciel puisse être créé, il a fallu faire une recherche avec les bureaux d'études pour définir les paramètres géométriques et logiques et pour automatiser la mise en page. Comme on le constate souvent dans ce type de collaboration, la définition des paramètres par les concepteurs mêmes du produit n'est pas aussi évidente qu'il y paraît au premier abord. C'est pourquoi, nous avons créé une maquette en quelques jours afin de faire réagir les concepteurs et d'obtenir d'eux les paramètres réels avant d'écrire le logiciel final.

VI.2.B. Conception et réalisation du logiciel.

Les problèmes essentiels que l'on rencontre dans la réalisation de ce type de logiciels ne sont pas d'ordre géométrique (une fois les bons paramètres définis, les calculs géométriques sont en général très simples) mais concernent plutôt la mise en page.

En effet, celle-ci doit être autant que possible parfaite sans intervention de l'utilisateur final. Ceci pose par exemple quelques problèmes pour la mise en place de la cotation. De même, les choix d'échelle doivent être automatisés et l'on peut remarquer sur une des figures que le roulement à billes étant très petit, le logiciel le dessine à l'échelle 2,5 et le schématise à l'échelle 1 en haut et à gauche.

Nous avons donc créé un logiciel qui permet la sortie automatique du plan client des roulements à une rangée de billes (mais applicable aux autres types de roulements à billes) avec les fonctions suivantes :

- création d'un plan (en donnant les paramètres) ;
- modification d'un ou plusieurs paramètres ;
- gestion de la bibliothèque de plans.

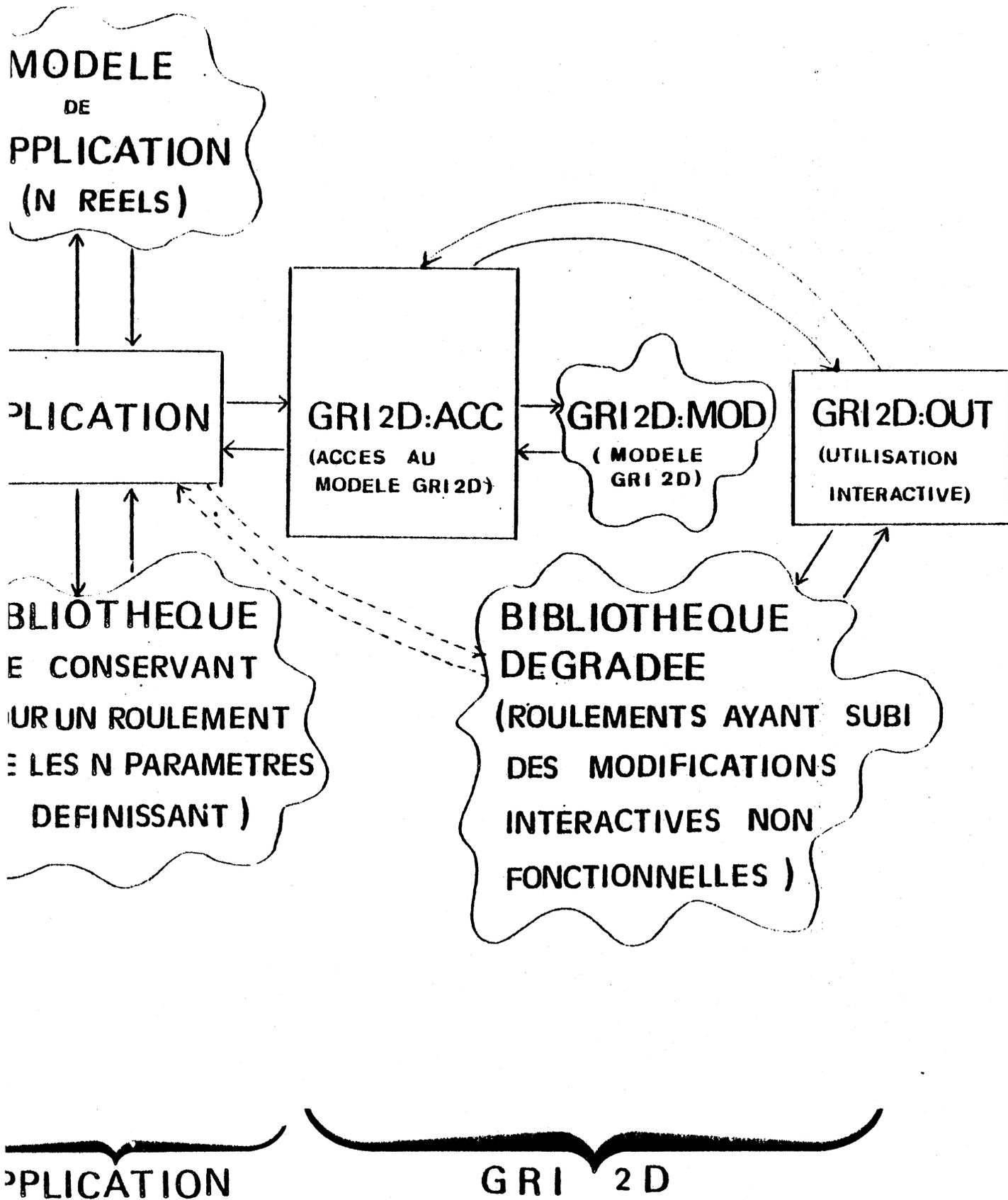
Les plans ci-après montrent des sorties réalisées avec ce logiciel.

En ce qui concerne la conception du logiciel, nous avons appliqué les méthodes que nous avons déjà décrites précédemment c'est-à-dire que le logiciel a été écrit de telle sorte qu'il puisse utiliser un modèle géométrique bi-dimensionnel.

Actuellement, le logiciel n'est utilisé que dans sa fonction sortie automatique, de plans clients, mais l'utilisation du modèle géométrique bi-dimensionnel GRI2D.MOD est prévue afin de permettre des modifications interactives en utilisant toutes les fonctionnalités liées au modèle bi-dimensionnel (la photo du poste de travail montre un roulement créé interactivement).

Ce schéma impose quelques remarques :

- . l'application crée un modèle bi-dimensionnel et peut, ainsi utiliser en affichage les primitives liées au modèle ;
- . une modification interactive peut être réalisée très facilement puisqu'au modèle sont associées toutes les opérations de GRI 2D ;
- . une modification interactive est reportée au niveau du modèle bi-dimensionnel et sera ainsi prise en compte au niveau de l'affichage ;



F.VI.9. MODELES POUR UNE PIECE PARAMETREE

- cependant, une modification interactive ne pourra pas forcément être prise en compte au niveau du modèle de l'application. En effet, ce modèle est constitué d'un ensemble de paramètres géométriques, logiques et de visualisation. Pour l'affichage et les modifications interactives, ce modèle est "dégradé" vers le modèle bi-dimensionnel à travers les primitives liées à ce modèle bi-dimensionnel. Si une modification interactive est faite sur le modèle bi-dimensionnel, ou bien il s'agit d'une modification fonctionnelle qui pourra être répercutée au niveau du modèle de l'application ou bien il s'agit d'une modification purement graphique qui ne pourra être conservée qu'au niveau du modèle bi-dimensionnel (il faut remarquer que les modifications fonctionnelles sont en général faites au niveau de l'application puisque le dialogue de celle-ci est prévu pour cela). On peut ainsi avoir obligation de conserver en bibliothèque des roulements à billes sous forme "dégradée" c'est-à-dire, sous forme du modèle bi-dimensionnel et sur lesquelles aucune modification fonctionnelle ne sera autorisée par la suite.

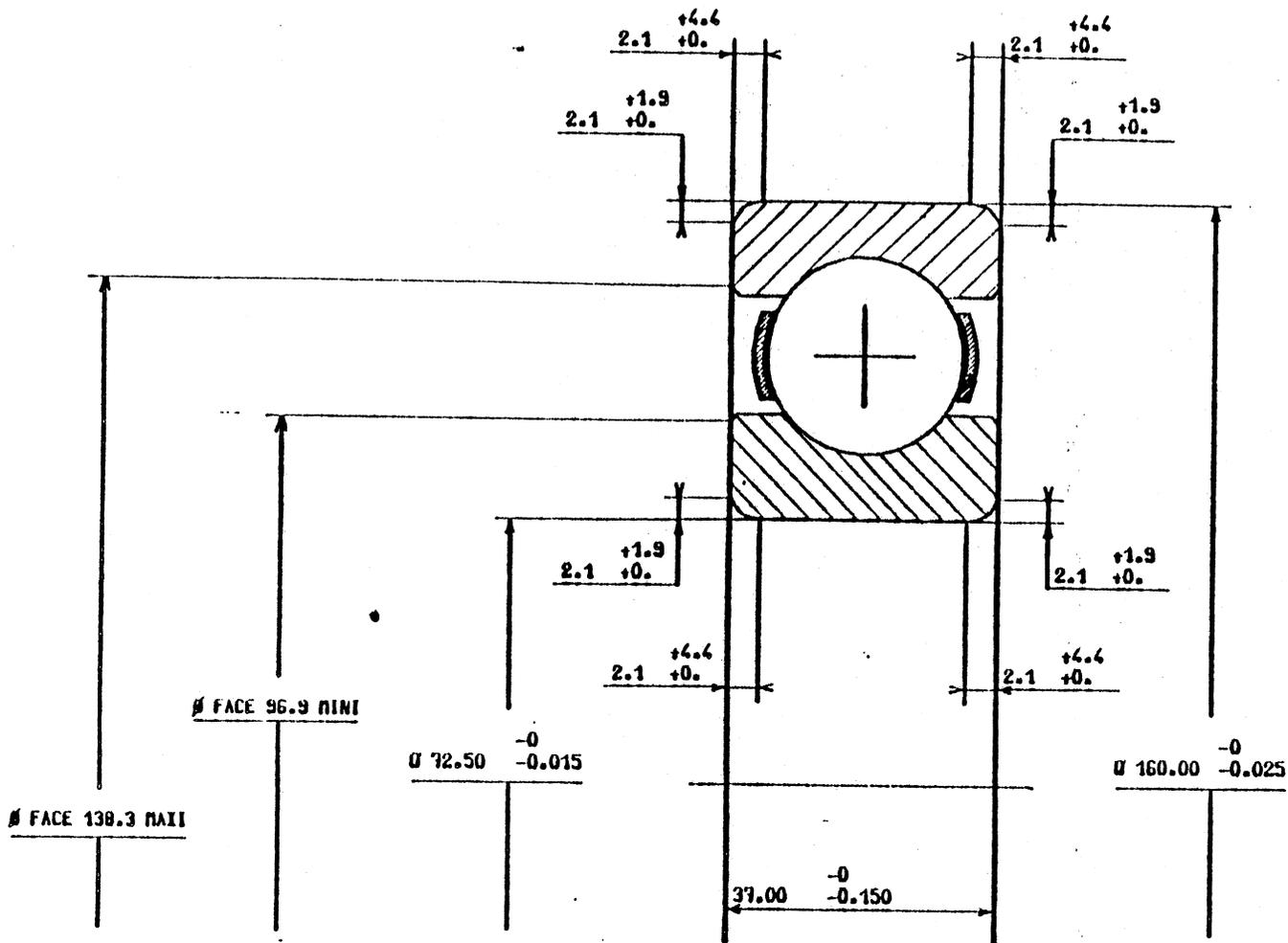
Pour conclure sur cet exemple qui avait pour but de montrer à nouveau l'utilisation du modèle bi-dimensionnel, nous signalerons que ce logiciel est lui aussi utilisé pour l'industriel concerné (SNR). Un plan client est ainsi créé et dessiné en un quart d'heure au lieu de 5 à 8 heures.

L'introduction dans l'entreprise s'est faite au moindre coût puisque l'application a été implantée sur le calculateur du service calcul (SOLAR 16/65) et qu'elle n'a nécessité que quelques extensions de mémoire. Le poste de travail a été installé dans un local au sein du bureau d'études concerné. L'équipe calcul interne ajoute des fonctionnalités au logiciel, prenant en compte d'autres types de roulements. L'installation d'un système de C.A.O. haut de gamme doit suivre cette expérience.

REMARQUE : Pour les exemples qui suivent, l'utilisateur n'a donné que les paramètres géométriques. Le programme se charge des calculs, de la mise en page, etc... y compris dans l'exemple 1, le fait de ne tracer qu'un demi-roulement car celui-ci est trop gros.

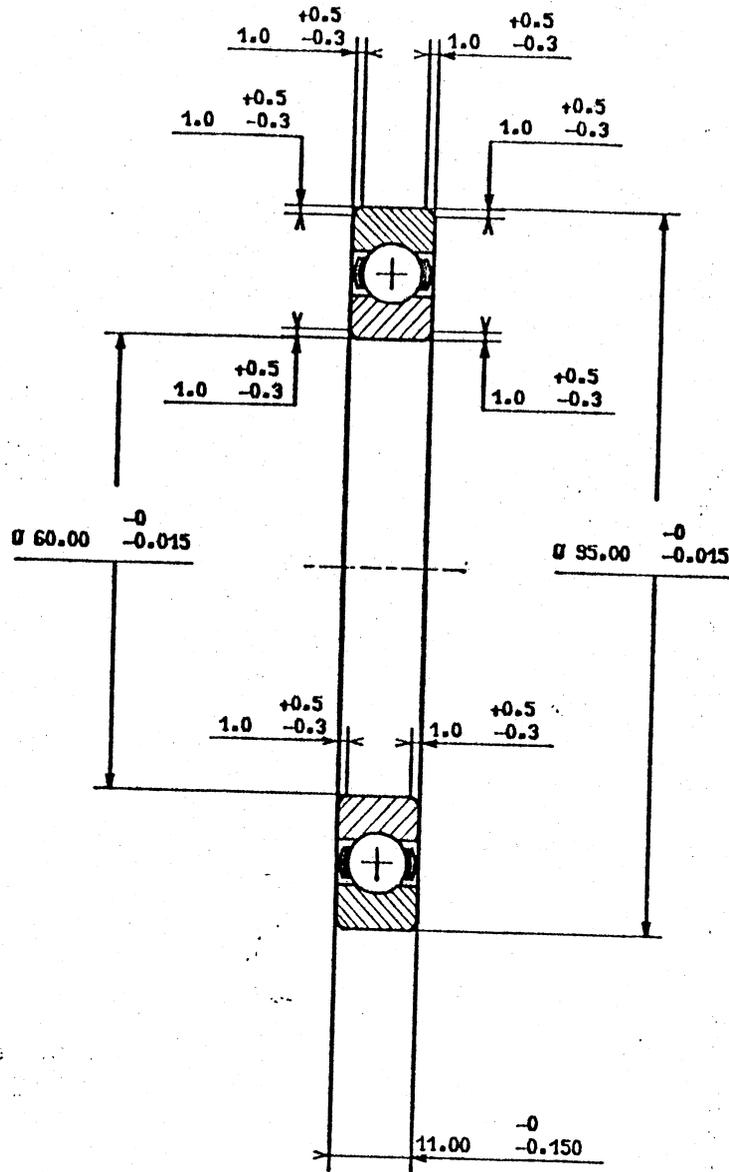
La photo montre un roulement en cours de création interactivement avec GRI 2D.

F.VI.10. EXEMPLE 1



JEU RADIAL:		MATIERE: BAGUES BILLES		CAPACITE ISO	
0.025 A 0.051		AFNOR TYPE 100 C 6		C	8700 DAN
8 BILLES ø 26.988		CAGE: TOLE		CO	7200 DAN
PRECISION:				CHARGE EQUIVALENTE	
ISO 492 CLASSE 0				DYNAMIQUE	
SAUF INDICATION CONTRAIRE)				COEFFICIENTS I.T.E.	
				SUIVIT ISO 281/1	
NO	MODIFICATIONS	DATE	VISA	SOCIETE NOUVELLE DE ROULEMENTS ANNECT FRANCE	
A	AJOUTONS ø FACE	11.03.81	R.6		
				ROULEMENT A BILLES ETB 130284	
				SMR	

F.VI.11. EXEMPLE 2 : 1er cas



UNIVERSITE PARIS 13
 UNIVERSITE PARIS 13
 75013 PARIS
 75013 PARIS
 Ce document ne sera pas
 révisé

PLAN EST LA PROPRIETE DE LA SOCIETE NOUVELLE DE ROULEMENTS . IL NE PEUT ETRE COPIE OU DIFFUSE SANS SON AUTORISATION

JEU RADIAL:		MATIERE: BAGUES BILLES		CAPACITE ISO	
0.023 A 0.043		AFNOR TYPE 100 C 6		C	1560 DAN
17 BILLES Ø 7.938		CAGE: TOLE		CO	1340 DAN
PRECISION:				CHARGE EQUIVALENTE	
ISO 492 CLASSE 0				DYNAMIQUE	
(SAUF INDICATION CONTRAIRE)				COEFFICIENTS I.T.E.	
				SUIVT ISO 281/1	

IND	MODIFICATIONS	DATE	VISA

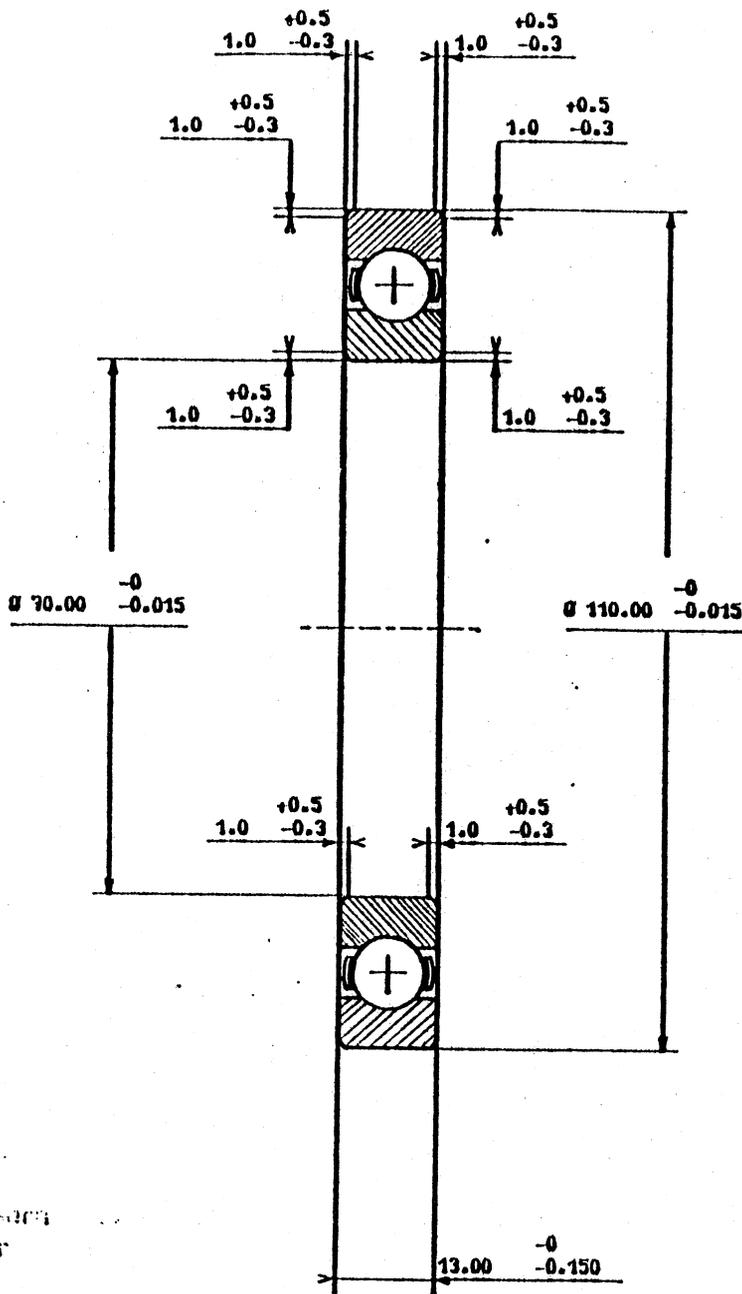
SOCIETE NOUVELLE DE ROULEMENTS

ANNECT
FRANCE

ROULEMENT A BILLES

SNR 16012 J30 A12

F.VI.12. EXEMPLE 2 : 2ème cas



JEU RADIAL:	MATIERE: BAGUES BILLES	CAPACITE ISO
0.025 A 0.051	AFNOR TYPE 100 C 6	C 2150 DAN
17 BILLES Ø 9.525	CAGE: TOLE	CO 1900 DAN
PRECISION:		CHARGE EQUIVALENTE
ISO 492 CLASSE 0		DYNAMIQUE
(SAUF INDICATION CONTRAIRE)		COEFFICIENTS I.T.E.,
		SUIVIT ISO 281/1

IND	MODIFICATIONS	DATE	VISA

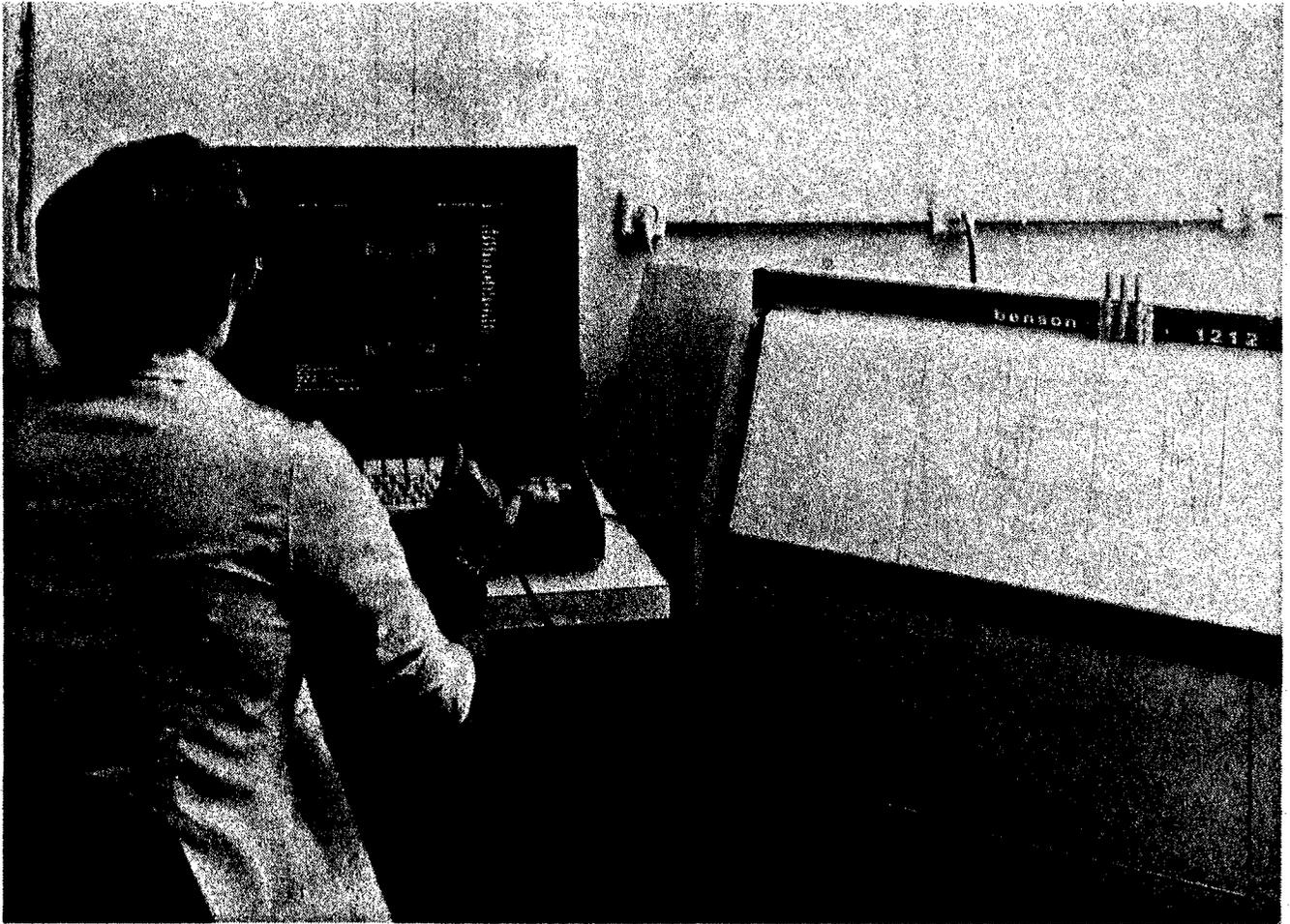
SOCIETE NOUVELLE DE ROULEMENTS

ANNECY
FRANCE

ROULEMENT A BILLES

16014 J30 A12

SNR



VII : INTERACTIVITE ET ACQUISITION DE CONNAISSANCES

En dehors des travaux sur les modèles géométriques, deux progrès nous semblent importants pour les systèmes de C.A.O. de demain. Ces deux évolutions devraient, à notre avis, être considérées comme complémentaires, bien que l'état de la technique actuelle semble les opposer. Il s'agit d'une part d'améliorer l'interactivité des systèmes, d'autre part de leur permettre d'acquérir une certaine expérience.

VII.1. L'INTERACTIVITE

Les qualités de l'interactivité dépendent des facteurs suivants :

- . le matériel,
- . le logiciel (les algorithmes),
- . la structuration des données,
- . les types logiques d'interaction.

Nous n'insisterons pas sur l'aspect matériel qui est bien connu (voir tous les travaux sur l'ergonomie des postes de travail (HUK 77), (LIR 80)), tant il est évident que la technologie des postes de travail par exemple, influe sur l'interactivité, ni sur l'utilisation d'entrées-sorties vocales qui commencent à être utilisées (LIM 79), (CALL 77).

L'aspect le plus important des logiciels est la qualité des algorithmes utilisés, en particulier leurs qualités en performances. En effet, l'utilisation de systèmes de C.A.O. en temps réel impose des temps de réponses extrêmement courts.

On constate, par exemple, que de nombreux chercheurs travaillent encore sur les problèmes d'élimination des parties cachées alors qu'il semble que des algorithmes existent depuis de nombreuses années et permettent de traiter tous les cas, aussi bien pour un affichage au trait que pour un affichage par tâche. Mais ces algorithmes, compte tenu de la technologie actuelle, sont bien peu performants lorsqu'il s'agit par exemple d'éliminer les parties cachées d'un groupe d'immeubles avec beaucoup de détails ou d'un ensemble complet en mécanique.

C'est ainsi qu'apparaissent encore des améliorations des méthodes existantes par l'ajout de filtres, une amélioration de la qualité des algorithmes de base qui peuvent avoir une influence importante sur les temps de réponse ou encore l'utilisation de fonctions micro-programmées et cablées.

Un autre aspect très important est la structuration des données pour les systèmes interactifs. Bien entendu, les aspects structuration des données et algorithmes sont très liés si l'on veut obtenir de très bonnes performances lors de l'exécution d'un algorithme donné. Nous pensons que selon les opérations interactives que l'on désire offrir à l'utilisateur, différents modèles doivent être créés. Par exemple, pour une application en mécanique et une application en schématique, la structuration des données ne sera pas la même. Mais pour aller plus loin encore, nous pensons que pour une même application, la structuration des données sur laquelle doivent être appliqués les algorithmes assurant une bonne interactivité peut (et souvent doit) varier.

En reprenant un exemple que nous avons déjà présenté, la structuration des données au moment de la conception d'une pièce en mécanique et au moment d'un assemblage devraient être différentes du fait même que les actions d'interaction ne seront pas au même niveau. Pendant la conception de la pièce, l'opérateur manipulera essentiellement les éléments de base, qu'ils soient droite ou cercle dans le plan, cylindre, cône, etc... dans l'espace, alors que lors de l'assemblage il manipulera essentiellement des pièces et des surfaces fonctionnelles pour les chaînes de cotes par exemple (notions de visions différentes d'un modèle).

En ce qui concerne les types d'interaction proposés à l'utilisateur, on a vu dans le chapitre 2 qu'au niveau des logiciels de base, on pouvait faire ressortir quatre types d'interaction :

- . entrée de valeurs alphanumériques,
- . entrée de coordonnées,
- . identification,
- . choix d'un menu.

A partir de ces fonctions de base, on crée au niveau des applications un certain nombre d'interactions figées. Or trois remarques nous semblent importantes.

1. Le dialogue d'une application de CFAO devrait être essentiellement adapté à l'utilisateur, en particulier en fonction de son degré de connaissances. En effet, la plupart des systèmes fonctionnent avec les mêmes messages par exemple, quel que soit l'utilisateur. Or, un utilisateur expérimenté a besoin d'être assez peu guidé et le système devrait donc passer d'un mode tutorial à un mode peu bavard.
2. Les fonctions d'interaction sont définies en général à la compilation du système de C.A.O. L'utilisateur a pourtant très souvent besoin de se créer un certain nombre de fonctions d'interactions spécifiques à son application. Nous nous sommes ainsi intéressés à la création interactive par l'utilisateur final de fonctions MENU. Encore une fois, notre but est de permettre à l'utilisateur, non informaticien, de créer sans l'écriture du moindre programme, des séquences réalisant certaines fonctions. L'exemple présenté en VII.3.B.c montre le but recherché en ce domaine.

3. Les fonctions de base généralement utilisées jusqu'à présent ont conduit à des moyens logiques d'entrée très pauvres à notre sens. Par exemple, pour créer un segment de droite, à partir de deux points, la méthode la plus couramment utilisée est de montrer la case menu "SEGMENT 2 POINTS" et d'indiquer par un moyen de dialogue quelconque les deux points extrémités du segment. Il nous semble important de définir des entrées graphiques généralisées, ce que nous avons entrepris pour un logiciel de modélisation géométrique bi-dimensionnel (GRI 2D) et pour une expérience, en entrée d'un logiciel de modélisation géométrique solide de polyèdres (GRI 3D) que nous aborderons en VII.3.B.b.

VII.2. EXPERIENCE DE SYSTEMES

Nous n'utilisons volontairement pas le terme "système expert" d'une part parce que notre but et notre approche diffèrent sensiblement de ceux des systèmes experts, d'autre part parce que d'autres que nous sont mieux placés pour parler de systèmes experts. Notre but est essentiellement que le système de CFAO puisse "comprendre" le mode de raisonnement de l'utilisateur (par ce que certains appellent un "espionnage") et "reproduire" avec certaines variations ce mode de raisonnement.

Avant d'aller plus avant dans cette direction, rappelons toutefois quelques notions sur les systèmes experts (LAU 79, (BON 81a).

Les chercheurs en Intelligence Artificielle ont effectué un certain nombre de travaux visant la construction de systèmes utilisant de grandes quantités de connaissances. Ces travaux ont eu jusqu'à présent pour applications, des systèmes ayant pour tâche de résoudre des problèmes dans les domaines géologiques ou médicaux (quelle est la maladie du patient étant donnés tels symptômes, telle analyse, etc...).

L'intérêt des chercheurs pour la représentation et l'utilisation de grandes quantités de connaissances avaient tout d'abord visé des systèmes très généraux (multi-disciplinaires). Or, à notre époque, étant donnée la masse considérable de connaissances accumulées par l'homme, il est clair qu'un expert d'un domaine est généralement peu performant dans un autre domaine. Afin de s'adapter à cette remarque, les chercheurs essayent maintenant de définir des programmes ayant de très bonnes performances dans des domaines bien définis.

Ce qui nous semble le plus important à exposer ici, sont les motivations de construction des systèmes utilisant de grandes quantités de connaissances parce que certaines d'entre elles rejoignent des préoccupations que nous avons eues, par exemple, par la réalisation de PARAM 2D. Les motivations essentielles de construction de systèmes experts nous semblent être les suivantes :

- aider les non experts d'un domaine à résoudre un problème nécessitant de nombreuses connaissances spécifiques à ce domaine. Le but n'est pas de remplacer l'expert humain du domaine mais d'aider des non experts dans ce domaine. En médecine, par exemple, un système expert dans le domaine des maladies cardiovasculaires peut être d'une grande aide pour les généralistes.

- essayer de mieux connaître le mécanisme de raisonnement d'un expert dans un domaine donné. L'analyse du processus de raisonnement des concepteurs dans les bureaux d'études montre que ces derniers ont des difficultés à exposer la façon dont ils traitent un problème, soit qu'ils aient des réticences à livrer leur savoir-faire, soit qu'il y ait des niveaux non explicités (boîtes noires). L'utilisation de systèmes experts, dans le sens transfert de connaissances de l'expert vers le système pourrait permettre non seulement de mieux connaître les mécanismes de raisonnement de l'expert, mais éventuellement par sa formalisation de le rendre plus rigoureux.
- faciliter l'acquisition de connaissances. Les systèmes experts comportent en général un programme d'explications permettant d'expliquer à l'utilisateur final par quels mécanismes et l'utilisation de quelles connaissances ils arrivent à telle ou telle solution. Ces programmes d'explications pourraient être utiles aux utilisateurs finals et, bien sûr, aux étudiants dans le domaine traité par le système expert.

VII.3. LES ENTREES GRAPHIQUES GENERALISEES POUR LA MODELISATION GEOMETRIQUE

VII.3.A. Acquisition d'expressions grapho-numériques

VII.3.A.a. Notion d'expression grapho-numérique

Lors de l'utilisation d'un logiciel de modélisation géométrique, l'opérateur est sans cesse amené à donner des valeurs à des paramètres intervenant dans la construction du modèle.

Il se trouve alors face à l'alternative :

- soit il connaît la valeur exacte à donner au paramètre (ou il peut la calculer facilement),
- soit il souhaite calculer cette valeur en fonction de données géométriques induites par le modèle sur lequel il travaille.

Le fait de donner une valeur exacte est une fonction existant dans tous les systèmes. Elle consiste essentiellement à l'entrée de réels. En revanche, les valeurs induites par le modèle sont plus difficiles à prendre en compte. Il peut s'agir d'exprimer par exemple que la distance d'une droite (à créer) par rapport à une droite existant est égale à 2 fois le rayon d'un cercle existant auquel on ajoute une valeur donnée. Cette opération est basée sur deux fonctions de base :

- l'identification qui permet de désigner des objets sur l'écran,
- l'acquisition d'une chaîne alphanumérique qui représente une expression arithmétique dans laquelle peuvent apparaître des fonctions graphiques de base valorisée. Une fonction graphique de base est une fonction du modèle valorisable telles que distance entre deux droites identifiées, rayon d'un cercle identifié, longueur d'un segment identifié, etc...

Exemple :

EG : $2 d(1, 2) + R(c)$
distance de Rayon du cercle C
droite 1 à
droite 2

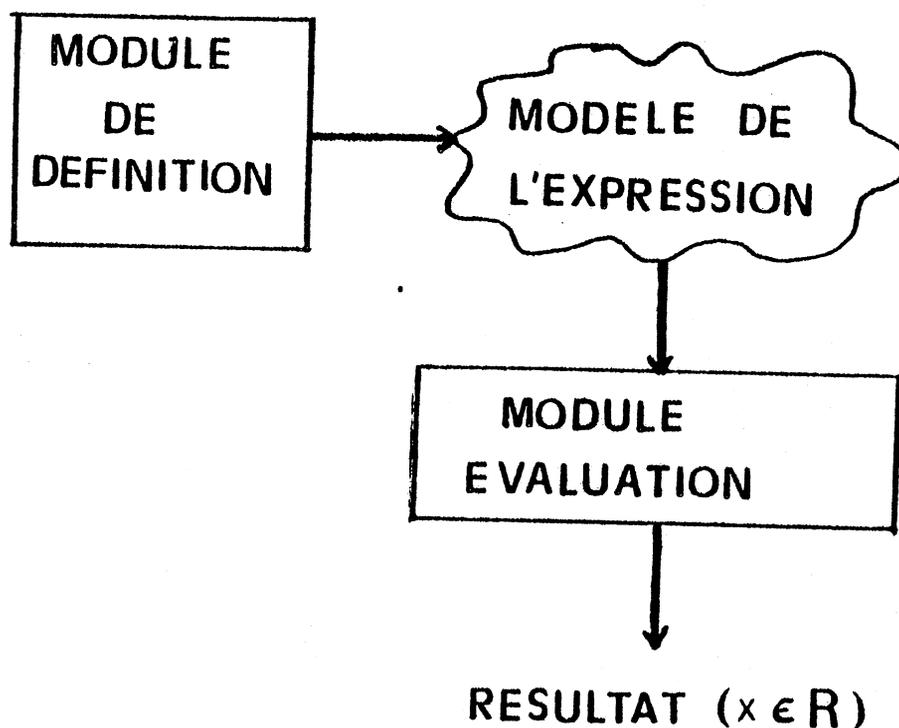
VII.3.A.b. Mise en oeuvre

L'outil mis en oeuvre permet à l'utilisateur final de définir par des interactions extrêmement simples une expression graphonumérique (cf syntaxe dans l'annexe 3).

L'expression est évaluée à la fin de l'interaction.

La mise en oeuvre impose donc la définition de deux modules:

- module d'interaction : ce module se charge de l'ensemble des interactions permettant à l'utilisateur de définir son expression graphonumérique. Il transforme l'ensemble des interactions en une forme interne avec une vérification syntaxique ;
- module d'évaluation : le module d'évaluation a pour objet d'évaluer une expression connue par sa forme interne.



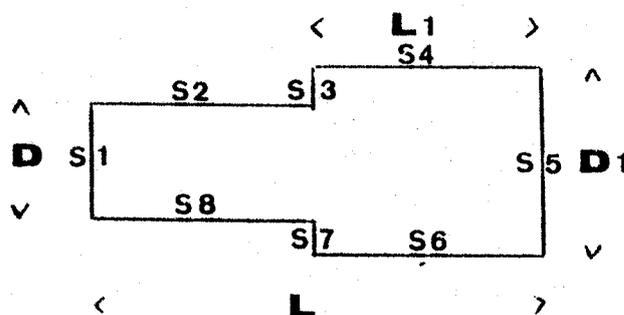
F.VII.1. EXPRESSIONS GRAPHONUMERIQUES

Le fait de passer par une forme interne de l'expression graphonumérique permet de respecter l'aspect acquisition de connaissances que nous avons voulu montrer. En effet, cette forme interne est définie en fonction des éléments utilisés : par exemple, si l'utilisateur définit une distance entre deux droites du plan, la forme interne conservera l'adresse de ces deux droites dans le modèle GRI 2D:MOD.

Ainsi, l'expression graphonumérique peut devenir un élément très important du paramétrage interactif par la définition de paramètres et de contraintes entre différents paramètres, qu'ils soient valorisés ou qu'ils soient attachés à des éléments variables du modèle.

Prenons un exemple pour préciser cette notion.

Soit la pièce ci-dessous (choisie volontairement très simple) :



F.VII.2. EXEMPLE DE PIECE NECESSITANT UNE EXPRESSION GRAPHONUMERIQUE

Elle est définie par un seul paramètre, le diamètre primitif D et par une variable V.

Les autres paramètres s'en déduisent par les relations :

$$L = 4 * D \quad L1 = L/2 \quad D1 = D + V * D$$

Le module de définition permet de définir ces expressions (qui sont toutes des distances dans le cas présent) (voir syntaxe en annexe 3) en utilisant PARAM 2D :

- 1) Construction d'une droite d2 horizontale (support de s2)
- 2) Construction d'une droite d8 support à distance D de d2 (support de s8)
- 3) Construction d'une droite d1 verticale (support de s1)
- 4) Construction d'une droite d5 verticale à une distance de d1 (à droite) définie par $4 * d(d2, d8)$ (support de s5)
- 5) Construction d'une droite d3 verticale à une distance de d5 (à gauche) définie par $d(d1, d5)/2$ (support de s3, s7)
- 6) Construction d'une droite d4 horizontale à distance de d2 (au dessus) $V * d(d2, d8)/2$ (support de s4)
- 7) Construction d'une droite d6 horizontale à distance de d8 (au dessous) $V * d(d2, d8)/2$ (support de s6)
- 8) Construction du contour s'appuyant sur (d1, d2, d3, d4, d5, d6, d3, d8, d1).

Les différentes expressions graphonumériques sont conservées dans le modèle des expressions :

Expression 1 : $4 * d(s2, s8)$

Expression 2 : $d(s1, s5)/2$

Expression 3 : $V * d(s2, s8)$

Expression 4 : $V * d(s2, s8)$

et une variable (V) reste non évaluée, D étant conservé au niveau du modèle des constructions de PARAM 2D.

A partir de cette pièce de base, l'utilisateur peut interactivement créer une pièce de la même famille par :

- a) modification de la distance de s8 à s2
- b) modification de la variable V.

Après une (ou les deux) modifications, il demande la réalisation de la pièce.

Par la logique de PARAM 2D, la reconstruction s'effectue en suivant les étapes 1 à 8 ci-dessus.

Prenons comme exemple l'étape 4. PARAM 2D comprend qu'il doit construire une droite (d5) à une distance de d1 (à droite). Mais la distance est connue sous forme d'une expression graphonumérique. L'évaluation de cette expression en fonction de la situation (c'est-à-dire de ce qui à déjà été construit) permettra d'évaluer et ainsi de réaliser l'action de l'étape 4.

VII.3.B Outils de saisie d'informations graphiques

VII.3.B.a Introduction

Le problème de la saisie d'informations graphiques est une contrainte importante pour l'introduction de la C.A.O. dans les entreprises, ceci sous deux formes :

- l'introduction de données représentant un univers physique existant est nécessaire à la conception .

C'est un cas que nous avons rencontré aussi bien dans l'habillement (GAR 81e) où il faut connaître la forme humaine pour concevoir le vêtement que dans la chaussure (MER 82) (BOG 81) où la forme de la chaussure doit être introduite.

Les solutions à ce type de problème peuvent être de natures très différentes. Nous avons expérimenté, avec l'aide de l'équipe traitement d'images du C.I.C.G., la technique des MOIRES pour l'habillement, et avec la société SPIC un numériseur tri-dimensionnel commandé manuellement pour la chaussure. Des techniques laser sont également utilisées, par exemple pour récupérer la forme d'un objet qui doit être saisi par un robot.

Les solutions choisies dépendent de nombreux critères, parmi lesquels :

- la taille, la forme et la nature de l'objet : il est très différent de saisir un petit objet de type chaussure et tout un environnement géographique pour l'implantation d'un bâtiment. De même, saisir un objet immobile (chaussure) d'un objet impossible à immobiliser (corps humain) impose des contraintes au niveau de l'instantanéité de la saisie ;
- précision nécessaire ;
- nombre de saisies à réaliser (si on n'effectue que quelques saisies, une méthode manuelle est envisageable (chaussure) dans le cas contraire, on cherchera à automatiser la saisie).
- l'introduction de données antérieures à l'utilisation de la CFAO

C'est un cas que l'on rencontre de manière classique au moment de l'introduction de la CFAO dans le processus de conception d'une entreprise. En général, l'utilisation du système CFAO nécessite l'introduction des standards (paramétrés ou non) et d'études antérieures.

Or, dans l'état actuel de la technique, on n'a découvert aucune méthode miracle permettant d'introduire dans une banque de données plusieurs milliers de plans en peu de temps.

Dans la plupart des systèmes, deux méthodes sont utilisées :

- pour les standards ou les pièces paramétrées, écriture de sous-programmes,
- pour les plans, reconstitution interactive du plan avec l'aide (le plus souvent) d'un numériseur.

Pour ce qui concerne l'introduction des standards et des pièces paramétrées, les essais que nous avons faits avec PARAM 2D en particulier, nous montrent que des méthodes n'incluant pas ou peu de programmation devraient être mises en place.

Certaines études sont faites maintenant pour utiliser des caméras (CGH 82). Elles devraient aboutir à des solutions opérationnelles dans certains cas (par exemple dans la récupération de schémas ou les objets de base ont une forme conue et donc "reconnaissable" grâce aux techniques de reconnaissance d'images). En revanche, dans le cas de la mécanique, cette reconnaissance est plus difficile, bien que l'avenir nous donnera certainement des solutions acceptables, pour des raisons de précision, complexité du dessin, variété des éléments de base, etc... Il est ainsi difficile de retrouver en plus de traits, l'aspect fonctionnel contenu dans le dessin et que prennent en compte les systèmes de CFAO (cotation, ensemble de traits formant une pièce...).

Il nous semble que pour la récupération de plans complexes (pour la mécanique par exemple) il faille associer à nouveau une bonne interactivité avec un système d'acquisition de connaissances. Nos travaux dans ce domaine portent sur deux aspects :

- . récupération d'un plan,
- . gestion dynamique de menus.

La plupart des moyens physiques de dialogue disponibles en graphique présentent une étroite ressemblance avec les moyens classiques du dessinateur. En particulier, le photostyle (lightpen) et la tablette suggèrent que l'on peut les utiliser comme le crayon, c'est-à-dire pour dessiner "à main levée". Bien que certaines expériences aient été faites dans ce domaine, il faut toutefois remarquer que d'autres méthodes sont en général utilisées. Ces méthodes sont souvent très liées au type de travail que soit réaliser l'opérateur humain. En effet, ce dialogue graphique dépend de deux facteurs :

- . le type de travail à réaliser par l'opérateur,
- . le fait que derrière le (ou les) moyen(s) d'entrée existent d'une part un ordinateur et, d'autre part un terminal graphique.

Il est donc fondamental lorsque l'on met en place les programmes permettant des entrées graphiques performantes de tenir compte des quatre paramètres suivants :

- . type de travail,
- . présence d'un ordinateur,
- . moyens d'entrée,
- . présence d'un terminal graphique.

Ainsi qu'on l'a vu dans le chapitre II, les entrées graphiques sont logiquement des types suivants (pour le dessin au trait) :

- . positionnement : récupération de coordonnées,
- . positionnement avec contraintes : Exemple : récupération de coordonnées en fonction d'une grille ou d'une direction privilégiées,
- . utilisation de feedback l'exemple le plus connu est celui de "l'élastique" (rubber band) : pour créer une ligne, l'utilisateur crée le point de départ, le système lui visualise ensuite en temps réel le segment qui serait créé à partir de ce point jusqu'à la position courante du curseur. Un autre exemple bien connu est d'afficher en temps réel les coordonnées du curseur (CIS 82),
- . positionnement dynamique : cette méthode permet de contraindre un ensemble graphique à suivre en temps réel le déplacement du curseur,
- . positionnement de textes,
- . identification : il peut s'agir de montrer un objet de la scène ou de choisir un menu.

Nous pensons donc qu'il est fondamental à partir d'un ensemble technologique classique et performant comprenant un ordinateur, un écran graphique et une tablette à numériser bi-dimensionnelle, de mettre au point un outil de saisie d'information graphique de qualité. Il nous semble important pour atteindre ce but de tenir compte, non pas d'un seul élément (ex : essayer de tout faire sur la tablette), mais de tous les éléments liés au problème.

- . le calculateur (mémorisation, calculs, interprétation),
- . la tablette (moyen d'entrées),
- . l'écran (moyen de contrôle, mais également support de dialogue),
- . l'énoncé du problème (ses contraintes).

Les entrées graphiques des logiciels que nous avons réalisés sont assez pauvres comme dans la plupart des systèmes actuels et l'ensemble des contraintes est exprimé à priori par l'opérateur humain (ex : pour créer un segment tangent à deux cercles, l'opérateur indique à l'aide d'un MENU, qu'il va créer un segment tangent à deux cercles puis donne deux points approximatifs de contact. Nous cherchons donc à améliorer ces entrées et à mettre en oeuvre un dialogue plus riche adaptable à l'utilisateur sans programmation de sa part.

VII.3.B.b Création d'une scène graphique

Les contraintes générales d'un problème donné peuvent s'exprimer sous forme de règles générales. Si nous cherchons à permettre l'entrée de plans à main levée, il est possible de définir des règles de base concernant les types de tracés possibles (arcs et segments par exemple) et des règles de contraintes entre objets, par exemple pour imposer un contact ou accepter une discontinuité.

Un certain nombre de travaux ont déjà été réalisés dans ce domaine (BEM 82) avec des techniques proches de celles utilisées par exemple en reconnaissance des caractères (BEJ 79), (BEL 79).

Nous avons ainsi réalisé un système permettant à partir de tracés approximatifs de plans sur une tablette une mise au net de ce tracé en l'interprétant de façon continue comme une suite de segments et d'arcs de cercles (DAN 79).

Les règles intervenant dans ces types de logiciels peuvent être définies comme des règles "à priori" dépendant du problème et d'un certain nombre de décisions de l'opérateur humain précisant ces règles pour une exécution donnée (seuils de précision).

Après avoir créé suivant ce mode interprété une scène, l'opérateur humain doit pouvoir accéder à deux classes de fonctions en utilisant divers moyens physiques (écran, moyen de désignation...).

- les fonctions d'un système interactif, bi-dimensionnel dans le cas présent pour effacer tout ou partie d'un objet, changer la texture d'un trait...
- la définition de contraintes à postériori. Le dessin entré à l'aide de la tablette aussi précises et complètes que soient les règles à priori sera probablement faux ou tout au moins manquera-t-il des informations. L'opérateur doit donc avoir la possibilité d'imposer des règles à postériori, par exemple imposer que tel segment soit parallèle à tel autre à telle distance.

Prendre en compte un ensemble complet de règles à postériori sur un plan est un problème complexe qui rejoint un certain nombre de préoccupations qui nous avaient poussés à développer PARAM 2D. Nous avons cependant testé le cas particulier de la reconstitution d'un solide à partir de deux ou trois vues avec la restriction que le solide à trouver soit un polyèdre.

Certains algorithmes ont été développés en particulier dans (LAF 76) mais ils comportent en général deux défauts :

- l'opérateur doit dessiner sur chaque vue un contour autant de fois qu'il existe de faces lui correspondant,
- la finitude de l'algorithme n'est pas démontrée.

Le premier défaut est important pour l'opérateur car celui-ci risque d'oublier de dessiner plusieurs fois certains contours (par exemple pour un cube, dans chaque vue, chaque contour doit être dessiné deux fois).

Nous avons donc voulu éliminer cette contrainte en augmentant la part d'interaction, car, encore une fois, l'opérateur sait en général quel type de solide il doit obtenir.

Le programme réalisé permet expérimentalement de reconstituer un solide (et un seul) sans trou à partir de deux ou trois vues. Dans chacune des vues, le dessin est connu sous forme de contours composés de segments .

On appelle P SOMMET, P ARETE et P FACE un point, une arête ou un contour dans un des quadrants (donc projetés) . On appelle SOMMET, ARETE et FACE, un sommet une arête ou une face dans l'espace.

La méthode est la suivante :

- . génération de tous les sommets possibles : soit $P(x, y)$ un sommet du quadrant 1, on cherche dans le quadrant 2 tous les P SOMMETS de même y et dans le quadrant 3 tous les P SOMMETS de même x . On crée ainsi deux ensembles A et B. On cherche ensuite les P SOMMETS de A et B ayant même z , ce qui donne l'ensemble C des sommets possibles.
- . Génération de toutes les arêtes possibles : une arête est créée si et seulement si dans chaque quadrant les projections de deux points sont reliées par une P ARETE ou sont confondues.

. Génération de toutes les faces possibles

Soit un contour donné (P FACE) avec :

$$PFACE_i = PP_1, \dots, PP_i, \dots, PP_n$$

avec $\begin{cases} PP_i \ (i = 1, n) \text{ sont des P SOMMETS} \\ PP_i, PP_{i+1} \text{ est une P ARETE} \\ PP_n = PP_1 \end{cases}$

On associe à chaque P POINT du contour l'ensemble des sommets (S) qui se projettent sur ce P POINT.

$$PP_i \longrightarrow (S_{i,1}, \dots, S_{i,k})$$

On crée ensuite une FACE possible en parcourant ces listes avec les règles suivantes :

$$\text{Soit } F = (S_{1,n}, S_{2,p}, \dots, S_{k,v})$$

une face en cours de construction.

Soit $S_{k+1, j}$, un sommet à étudier pour compléter la définition de F. Ce sommet sera acceptable (possible pour la face F) si $(S_{k,v}, S_{k+1, j})$ est une arête possible et si $S_{k+1, j}$ appartient au plan de F.

Cette création est faite en trois étapes :

- a) Tous les contours du premier quadrant sont analysés et on crée un ensemble de faces (F_1, \dots, F_k) .
- b) Tous les contours du second quadrant qui ne sont pas la projection d'une face F_i sont analysés. L'ensemble des faces devient $(F_1, \dots, F_k, \dots, F_n)$.
- c) Tous les contours du troisième quadrant qui ne sont pas la projection d'une face F_i sont analysés. L'ensemble des faces possibles devient $(F_1, \dots, F_k, \dots, F_n, \dots, F_p)$.

- validation : à la fin de ces étapes, on connaît des FACES, des ARETES et des SOMMETS "POSSIBLES". Le but de la validation est de rendre "VRAIS" ou "FAUX" un maximum d'éléments par des considérations topologiques et des considérations géométriques.

. Considérations topologiques.

- Si une FACE possible est la seule à se projeter sur un contour donné, elle est VRAIE
- Si une ARETE possible est la seule à se projeter sur un segment donné, elle est VRAIE.
- Si un SOMMET possible est le seul à se projeter sur un point donné, il est VRAI.
- Une ARETE possible appartenant à moins de deux FACES possibles est FAUSSE.
- Un POINT possible appartenant à moins de trois ARETES possibles est FAUX.
- Soit une P FACE et toutes les faces F_i engendrées par cette P FACE, les sommets et les arêtes communs aux F_i sont VRAIS.

. Considérations géométriques et topologiques.

- Si une face possible F_p est parallèle à une face vraie F_v et que F_p et F_v ont deux points communs, F_p est FAUSSE.
- Dialogue : si il ne reste que des éléments VRAIS, l'objet est considéré comme correct. Dans le cas contraire, l'ensemble des faces, arêtes et sommets VRAIS ou POSSIBLE sont créés dans un modèle de visualisation (dans le cas présent, celui de GRI3D). On demande alors un affichage, un dialogue permettant à l'utilisateur de choisir une perspective ou toute autre vue. A l'aide des moyens de dialogues, l'utilisateur peut rendre FAUX une arête ou un sommet.

Si une arête A_i est rendue FAUSSE, toutes les FACES contenant A_i sont rendues FAUSSES.

Si un sommet S_i est rendu FAUX, toutes les ARETES et toutes les FACES contenant S_i sont rendues FAUSSES.

- Ce dialogue se poursuit jusqu'à ce que tous les éléments soient VRAIS.

VII.3.B.c. Menus dynamiques

La plupart des logiciels de modélisation géométrique utilisent la notion de menus. Les menus sont en général figés pour une application donnée. Notre but est encore de donner les moyens à l'opérateur de définir des menus, sans avoir à programmer une fonction d'interaction comme c'est le cas dans la plupart des systèmes actuels .

Nous nous proposons donc d'étudier deux possibilités de menus dynamiques.

MENU SYMBOLE

Il s'agit de permettre à l'utilisateur de définir interactivement des menus composés de symboles graphiques qu'il aura pu définir à l'aide de différents outils (par exemple, pour les outils décrits dans cette thèse, GRI 2D pour des symboles de dimensions fixes, PARAM 2D pour des symboles variables en dimensions). Ce problème est relativement peu complexe à résoudre en ce sens que l'on utilise des MODELES déjà définis et sur lesquels les outils d'accès et d'affichage existent. En particulier, sur les modèles GRI 2D.MOD et PARAM 2D.MOD, il est très facile d'implanter la création et l'utilisation dynamique de menus symboles. Il s'agit en effet d'utiliser simplement les fonctions "affichage en un endroit donné d'une pièce" et "identification d'une pièce" pour réaliser l'affichage et l'utilisation du menu "symboles" sur un écran.

En réalité, l'utilisation du menu ne doit pas se limiter à l'identification des symboles, mais doit être considérée comme un outil de dialogue généralisé pour les différents modèles possibles.

C'est pourquoi, nous avons mis en place un outil qui permet à l'utilisateur final de définir des menus de façon dynamique (GAR 82e). Un menu est défini par :

- un nom générique,
- une suite de noms représentant les actions possibles.

Les accès possibles pour l'utilisateur final se font de manière interactive et lui permettent de :

- créer un menu : CRMENU (nom, liste, code).
- ajouter une action dans un menu : AJAMEN (nom, action, code).
- supprimer une action dans un menu : SUAMEN (nom, action, code).
- supprimer un menu : SUPMEN (nom, code).

avec les définitions :

- NOM = chaîne de caractères,
- LISTE = liste de chaînes de caractères. Chaque chaîne représente une action.
- ACTION = chaîne de caractères représentant une action,
- CODE = code permettant d'avoir des menus accessibles ou non à tel ou tel utilisateur.

Dans l'utilisation que nous souhaitons, les chaînes de caractères sont directement liées à des noms de pièces ou de dessins créés par l'utilisateur (interactivement ou par programme). L'utilisateur dispose également d'une fonction choix d'un menu définie par :

- CHMENU (nom, code).

avec :

- CODE : même signification que précédemment,

- NOM : chaîne de caractères représentant le nom générique d'un menu. Si l'utilisateur ne donne pas de nom, c'est qu'il désire effectuer une recherche parmi les noms existants.

La fonction CHMENU a une action définie par la figure

Suivant les cas, le menu choisi pourra être soit affiché sous forme de chaînes de caractères (nom des actions), soit sous forme de dessins, soit ne pas être affiché et être lié, par exemple, à des cases sur une tablette.

Lors du choix d'une action par l'utilisateur final à l'aide d'un moyen de dialogue quelconque, le dessin ou la pièce choisi apparaît à l'écran si l'action était indiquée par une chaîne de caractères. L'utilisateur peut alors, grâce à un outil de dialogue, (par exemple, celui d'assemblage décrit en VII.4) placer le dessin ou la pièce choisi en fonction d'un certain nombre de contraintes liées à l'outil choisi.

MENU "REGLES"

Les règles générales applicables aux moyens d'entrée doivent pouvoir être modifiées. Il s'agit en particulier des règles de contexte (précision du dessin, limitation des contraintes de tangence, etc..). La création ou la modification de règles est difficile à prendre en compte de façon simple. Cet aspect du dialogue rejoint en partie les préoccupations des chercheurs en Intelligence Artificielle qui voudraient utiliser le langage naturel pour définir et modifier des règles. En ce qui concerne la CFAO, le langage naturel doit être remplacé pour beaucoup par des interactions mettant en jeu une représentation graphique.

VII.4. MODELISATIONS NON GEOMETRIQUES POUVANT ACQUERIR DE L'EXPERIENCE

Nous n'utiliserons à nouveau pas le terme de système "Expert", bien que certains aspects de ce que nous voulons décrire dans ce court chapitre s'en rapprochent.

Nous avons vu dans le chapitre V la description de PARAM 2D qui est un système qui acquiert une certaine expérience.

Si l'on considère, par exemple, l'utilisation de PARAM 2D, elle devrait se faire suivant le schéma ci-dessous :

1) Acquisition des connaissances :

L'acquisition des connaissances consiste pour un spécialiste (connaissant bien la famille de pièces à créer dans le système) à dessiner une pièce de la famille en respectant l'ensemble des règles de construction définissant la famille et en précisant éventuellement les paramètres logiques et leurs domaines de variation. PARAM 2D acquiert ainsi toutes les connaissances nécessaires à la famille de pièces choisies (avec les limitations exposées dans le chapitre V).

2) Utilisation :

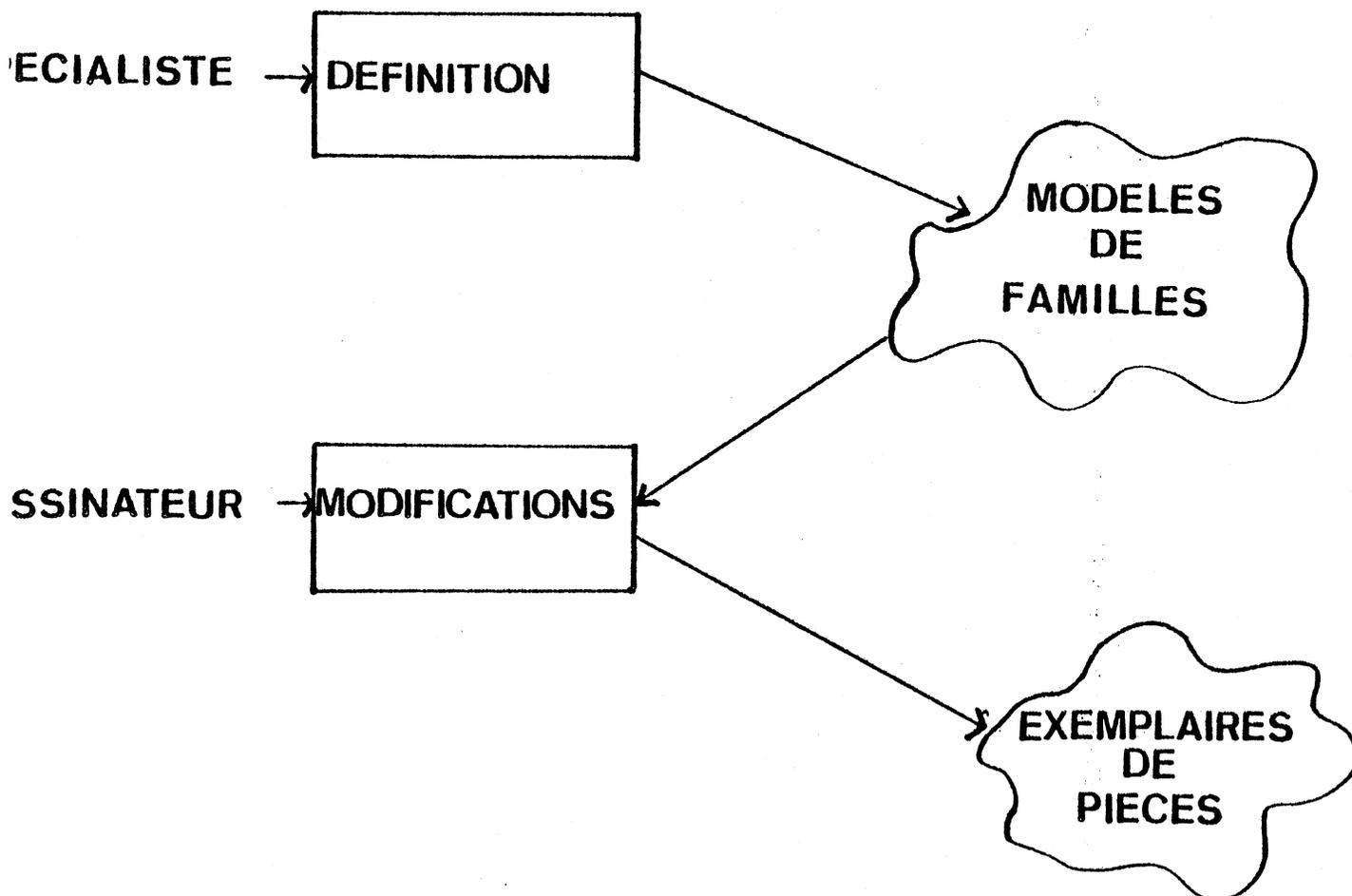
Un dessinateur a besoin d'une pièce appartenant à une famille "connue" par PARAM 2D. Il demande alors la visualisation de la pièce construite par l'expert. S'il veut modifier un paramètre, il bénéficiera d'explications données par PARAM 2D. Par exemple, s'il veut modifier un segment, PARAM 2D lui indiquera comment ce segment a été construit et quelles sont les modifications qui ont été autorisées par le spécialiste.

Nous pensons que d'autres types de logiciels pourraient également tenir compte de l'acquisition de connaissances. Par exemple, l'assemblage de pièces pourrait être fait de la façon suivante :

- 1) Un spécialiste exécute un assemblage pour un domaine donné (type "A"), en explicitant les types d'assemblages exécutés et les types de pièces assemblées. Il exécute cet assemblage en optimisant un certain nombre de paramètres, par exemple, le nombre de vis utilisées ou le nombre d'opérations à réaliser. Il peut expliquer les différentes opérations faites ainsi que les choix possibles en indiquant les paramètres importants.
- 2) Un utilisateur indique au système qu'il va effectuer un assemblage du type "A". Le système propose alors un assemblage en fonction des paramètres précisés par l'utilisateur en expliquant ses choix à la demande de l'utilisateur. Un dialogue avec le système permet à l'utilisateur de modifier ou de préciser des paramètres et de forcer certains choix.

Nous avons ainsi réalisé un prototype pour l'assemblage bi-dimensionnel qui sera étendu dans les mois à venir : ASSEMB 2D.

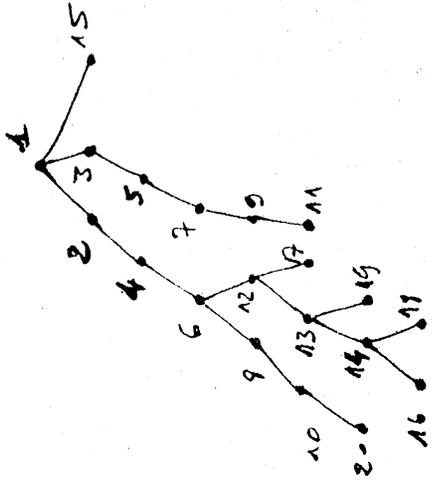
Il permet actuellement de réaliser des assemblages de type PLAN-PLAN et AXE-AXE, avec un espionnage de l'assemblage qui permettra de ré-interpréter la structure d'assemblage après certaines modifications, et sur lequel peuvent être greffés certains outils tels qu'un outil de nomenclature (cf). Les fonctionnalités que nous avons commencé à mettre en place pourront d'ailleurs tout aussi bien être appliquées à des assemblages tri-dimensionnels.



F.VII.3. UTILISATION DE PARAM 2D

F.VII.5. EXEMPLE D'ASSEMBLAGE

arbre de construction



SIMBLAGE : P21 FIFLICTRIQUE : <A

NOM DES PIECES	NUMERO	AV
AA		
TOTAL PIECES	20	

SEQUENCES D'ASSMBLAGE

TYPE ASSEMB	PIECE DE BASE	NUMERO	PIECE ASSEMBLEE	NUMERO	N0
		PROP		LOCA	
PLAN--PLAN	P3	1	AA	1	1
PLAN--PLAN	P3	1	AA	1	2
PLAN--PLAN	P4	1	AA	2	3
PLAN--PLAN	P4	2	AA	1	4
PLAN--PLAN	P2	1	AA	2	5
AXE--AXE	P1	1	AA	3	6
AXE--AXE	P1	2	AA	3	7
AXE--AXE	P1	3	AA	4	8
AXE--AXE	P1	4	AA	4	9
AXE--AXE	P1	1	AA	6	10
AXE--AXE	P1	2	AA	6	11
AXE--AXE	P1	3	AA	6	12
AXE--AXE	P1	4	AA	6	13
AXE--AXE	P1	5	AA	6	14
AXE--AXE	P1	6	AA	6	15
AXE--AXE	P1	7	AA	7	16
AXE--AXE	P1	8	AA	7	17
AXE--AXE	P1	9	AA	7	18
AXE--AXE	P1	10	AA	7	19
AXE--AXE	P1	11	AA	8	20

VII.5. PARAMETRAGE ET ALGORITHMIQUE

L'algorithmique fait partie des enseignements de base donnés aux informaticiens. Or, décrire un algorithme nécessite une connaissance parfaite du problème à résoudre et qui plus est, de la ou les méthodes de résolution du problème. Rechercher la tangente à deux cercles donnés, connaissant deux points approximatifs peut ainsi être fait de manière algorithmique. Les langages classiques permettent même de paramétrer l'algorithme. Nous avons vu lors de la description de PARAM 2D que les familles de pièces sont ainsi souvent décrites par des procédures.

Il est bien évident que l'utilisation d'algorithmes programmés dans des langages de haut niveau, ou micro-programmés pour des raisons de performances, est très intéressante en ce sens que l'utilisation des possibilités des langages permet de résoudre les problèmes, quand ils sont bien définis.

Malheureusement, en ce qui concerne la C.F.A.O., l'utilisation d'algorithmes présente, dans certains cas (et non pas dans tous les cas), des inconvénients. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- . l'obligation pour l'utilisateur final d'apprendre un langage de programmation et non plus de dialoguer dans un langage "naturel" avec la machine. Nous insistons sur le fait que dialoguer en langage naturel signifie très souvent l'utilisation du "dessin" comme support de communication et de réflexion. C'est ainsi que nous avons voulu étendre les possibilités de GRI 2D au paramétrage interactif à l'aide de PARAM 2D. Nous avons cependant constaté, dans l'état actuel de nos développements, certaines restrictions à l'utilisation de PARAM 2D, en particulier pour des familles de pièces complexes. Ceci est du essentiellement à des limitations dans l'utilisation de paramètres de type logique.
- . Lors d'une tâche de conception, il n'est pas toujours possible de définir exactement le processus de conception et le concepteur travaille, surtout pour un produit nouveau, avec une description partielle du problème. La démarche de résolution n'est pas guidée par un schéma précis et complet et ne peut donc être entièrement modélisée par un algorithme.

CONCLUSION

Des outils de CFAO existent et sont utilisés depuis de nombreuses années. Jusqu'à ces dernières années, ces outils étaient utilisés de manière ponctuelle, c'est-à-dire que les résultats d'un programme n'étaient pas, en général, les données d'entrée du programme suivant. Depuis quelques temps, la notion de système intégré apparaît comme fondamentale. La figure C.1. montre de façon schématique qu'autour du modèle de l'objet en cours de conception, un certain nombre d'outils vont enrichir le modèle, mais également utiliser des données du modèle pour effectuer des actions.

Lorsque nous avons commencé nos travaux, ces notions d'intégration en étaient à leurs premiers balbutiements. De plus, si ces notions s'appliquent aux aspects techniques, elles concernent également l'intégration du système de CFAO. dans son environnement humain et organisationnel.

C'est pourquoi nous avons essayé de proposer une méthode dans le chapitre III qui permettra d'introduire la CFAO dans les entreprises en tenant compte des aspects techniques, économiques et humains. Cette méthode a été appliquée à des cas très divers (citernes auto-portantes, vannes, compresseurs, matériels de chantier, architecture, habillement, chaussure, meuble, etc...). La mise en oeuvre de cette méthode permet de prévoir l'introduction éventuellement progressive d'une CFAO adaptée à l'entreprise (aux problèmes, à l'organisation, aux hommes) et liée à un plan général. S'il est vrai qu'actuellement le choix de systèmes sur le marché est relativement restreint, il ne faut pas négliger le fait qu'une fois un système choisi, l'utilisateur est fortement lié au fournisseur.

Nos expériences n'ont pas seulement porté sur des études d'opportunité, nous avons dans certains cas été amenés à développer et mettre en oeuvre des programmes pour résoudre des problèmes spécifiques. C'est ainsi que nous avons développé avec la société MERLIN GERIN la première version de MECAN en 1977. Ce sont des études de ce type qui nous ont montré la nécessité de certains outils et modèles de base dont GRI 2D.

Nous avons essayé de mettre en oeuvre une approche intégrée dont nous avons montré les principaux outils dans le chapitre V.

Cette approche a été appliquée à la modélisation géométrique et nous avons tenté de lui donner une assise théorique parce que, à notre avis, les concepteurs de systèmes de CFAO ont jusqu'à présent souvent paré "au plus pressé". Les notions de validité et de cohérence de modèles, en particulier, doivent dans l'avenir être incluses dans les systèmes de CFAO.

Enfin, nous avons tenté de montrer l'importance d'une part de l'interactivité, d'autre part de l'acquisition de connaissances par les systèmes de C.A.O.. Il nous semble en effet que le langage "naturel" d'un concepteur est dans de nombreux domaines assez largement graphique. C'est pourquoi nous essayons à partir d'outils très interactifs de lui permettre de se créer des outils puissants en remplaçant les méthodes procédurales. Cette idée peut être appliquée à la réalisation de familles de pièces ou à la création de menus.

Nos travaux à venir porteront ainsi sur deux aspects qui nous semblent mal résolus à l'heure actuelle :

- la modélisation : en construisant des modèles mieux formalisés et qui ne se limitent pas à des modèles géométriques.
- l'interactivité et l'acquisition de connaissances, en cherchant à donner à l'utilisateur final les moyens d'introduire dans le système certains aspects de son savoir. Nous insistons, cependant, sur le fait que l'interactivité nous paraît fondamentale et que les mécanismes désormais proposés devront respecter les qualités nécessaires à une bonne interactivité (temps de réponses, possibilités pour l'utilisateur d'intervenir à tout moment, etc...). Ces progrès n'apparaîtront pas seulement au niveau des logiciels et l'évolution des matériels pourra en constituer une part considérable.

ANNEXES

A N N E X E 1

Exemples de primitives d'accès au modèle de GRI2D (GRI2D:MOD)

Les primitives ci-dessous sont présentées uniquement à titre d'exemple.

1. PRIMITIVES DE CREATION

- . création d'un point ou d'un couple d'angles

CREPOI (X, Y, ITYP)

avec X, Y = coordonnées du point

ITYP = type du point

Si ITYP < 0 : point invisible

Si ITYP > 0 et ITYP < 1000 : point visible

Si ITYP > 1000 : couple d'angles

- . création d'un segment

CRESEG (IP1, IP2, IMOD, IPIEC)

Crée dans le modèle, le segment joignant les points IP1 et IP2 du modèle.

Avec IP1 : extrémité 1 (nom)

IP2 : extrémité 2 (nom)

IMOD : mode graphique (peut être défini interactivement ou donné par l'utilisateur). Décrit le type de trait, le niveau de visualisation, etc...

La primitive CACOUM permet de coder le mode graphique à partir de données utilisateur.

IPIEC : numéro de la pièce à laquelle appartient le segment

- . création d'un arc de cercle

CRECER (IP1, IP2, IMOD, IPIEC)

Crée un arc de cercle ou un cercle à partir d'un centre (point du modèle) et éventuellement d'un couple d'angles du modèle.

Avec IPI1 : centre du cercle (nom)

IP2 : couple d'angles (nom) (0 si c'est un cercle)

IMOD : idem CRESEG

IPIEC : idem CRESEG.

2. PRIMITIVES DE RENSEIGNEMENTS

RENSAN (IRENS, IOBJ, X, Y, X1, Y1, IT, R, PA, PB) permet d'obtenir des renseignements sur l'objet IOBJ existant dans le modèle. Cette primitive peut être utilisée en programmation d'une application ou en interactif. Dans ce dernier cas, un dialogue permet à l'utilisateur de préciser sa demande.

Avec IRENS < 0 Programmation

IRENS > 0 Interactif

|IRENS| = 1 renseignements sur des points ou des angles

Entrée : IOBJ = objet (nom)

Sortie : X, Y, IT : coordonnées (ou couple d'angles) et type

|IRENS| = 2 renseignements sur arcs ou segments

Entrée : IOBJ = objet (nom)

Sortie :

. pour un segment : PA, PB = nom des extrémités

(X, Y), (X1, Y1) = coordonnées des extrémités

. pour un arc :

PA = centre

PB = "nom" des angles (0 si cercle)

(X, Y) = coordonnées du centre

(X1, Y1) = valeur des angles (non défini si cercle)

R = rayon

A N N E X E 2

Exemples de primitives d'accès au modèle de visualisation

Les primitives ci-dessous sont présentées uniquement à titre d'exemple.

1° Accès au modèle de visualisation de niveau 1 (programmeur d'application).

. CREVO1 (MCON, DIR, EPAIS, MPOLYG)

Crée un objet de type contour + épaisseur dans le modèle visualisation avec :

MCON : nom d'un contour

DIR : vecteur directeur

EPAIS : épaisseur

MPOLYG : facteur de polygonalisation

. CREVO2 (MCON, IAXE, IPOLRE, IPOLCO)

Crée un objet de type contour + révolution dans le modèle de visualisation avec :

MCON : nom d'un contour

IAXE : axe de rotation

IPOLRE : nombre de révolutions

IPOLCO : facteur de polygonalisation des cercles dans les contours

. DRSUPS (noms)

Supprime un solide dans le modèle de visualisation, avec :

NOMS : nom du solide.

2° ACCES AU MODELE DE VISUALISATION DE NIVEAU 2 (programmeur "système").

. DASUPA (IARETE)

Supprime une arête dans le modèle de visualisation (et toutes les facettes utilisant cette arête).

avec IARETE : adresse de l'arête à supprimer.

. C3RFAC (NARET, IFM)

Crée le descripteur d'une facette dans la structure des facettes du modèle de visualisation

avec NARET : nombre d'arêtes composant la facette.

IFM : adresse de la description de la surface de la facette.

. DAFFVA (IPOIN, ITARET, NARET)

avec IPOIN : adresse du point dans le modèle de visualisation

ITARET : liste des adresses des arêtes contenant ce point.

NARET : nombre d'arêtes trouvées

A N N E X E 3

**Spécifications du langage et grammaire
pour l'entrée "graphonumérique" (extrait)**

On peut évaluer une expression parenthésée, le niveau de parenthésage est non limité - sauf par les contraintes d'implantation.

Notion de variable

A tout moment, lors d'un calcul de paramètre, l'utilisateur peut, s'il le désire, définir des variables et leur donner une valeur résultat d'une expression "graphonumérique".

Toute variable sera reconnue par le "caractère "\$" suivi d'un nom constitué au plus de deux caractères alphanumériques.

Ex : \$ A, \$ A1...

Pour définir une variable, on lui affecte le résultat d'une expression :

Ex : \$ A = 1
\$ B = 2 \$ A + 5

Caractères de contrôle d'acquisition de valeur graphique

Remarque : chacun de ces caractères est consécutif au caractère "%" qui annonce l'acquisition graphique.

Caractères	A	D	L	R	S	X	Y
Signification	angle	distance	longueur	rayon	surface	abscisse	ordonnée
Objets géométriques pouvant intervenir dans la valeur à calculer	1 dt/hor 2 dts 2 pts 1 drt 3 pts	2 dts 1 dt 1 pt 2 pts	1 segt 1 arc (cercle) 1 contour	1 arc 4 cer	1 cerc 1 cont	1 pt	1 pt

N.B. A partir de ces caractères, et selon l'intervention faite sur l'écran graphique, le programme détermine de façon non ambiguë les objets géométriques en cause dans l'acquisition en cours et donc détecte d'éventuelles erreurs sémantiques.

Utilisation des opérateurs

Chaque opérateur est une entité lexicographique au plus de deux caractères.

Opérateurs binaires

- . Ce sont les opérateurs standards
- . par ordre de priorité décroissante :
 - puissance
 - multiplication
 - division
 - addition
 - soustraction

Opérateurs unaires

- . Ce sont les opérateurs usuels
- . ils sont tous de même priorité :
 - identité
 - opposé
 - SI sinus
 - CO cosinus
 - TA tangente
 - AS arc sinus
 - AC arc cosinus
 - AT arc tangente
 - AB valeur absolue
 - LN logarithme népérien
 - LB logarithme décimal
 - EX exponentielle

Règles lexicographiques

i) annulation de caractères : "D"

A tout instant, lors de l'écriture de l'expression, on peut annuler - de proche en proche - le dernier caractère rentré.

NB : ceci n'est évidemment possible que lorsque le terminal est en mode alphanumérique.

Remarque : Si on frappe le caractère "D" après "%", on annule le "%".

ii) Annulation de l'acquisition de l'expression en cours "!"

Equivalent à un retour au début de l'acquisition.

iii) Les caractères "espace" ne sont pas significatifs.

iv) validation de fin d'expression : ",",

v) validation de fin d'une acquisition : "RC".

Une acquisition comprend une suite de définitions de variables ou (et) d'évaluations d'expression séparées par ",".

Variable de travail - constantes

i) Il existe une variable particulière ("~~!~~ ~~!~~") qui contiendra lors du retour au programme appelant - la valeur effectivement récupérée.

Ceci implique qu'il faut, pour qu'une acquisition soit validée - par "RC" - qu'on ait donné au moins une fois une valeur à cette variable - sinon l'acquisition n'est pas validée.

Pour affecter à cette variable une valeur, on ne le fait pas explicitement - comme pour les autres - mais on entre simplement l'expression - dont la variable de travail prendra la valeur - au clavier -

Ex d'une acquisition

~~!~~ A = 1, ~~!~~ B = 2, ~~!~~ A - 3 * ~~!~~ B RC

La valeur retournée par le programme sera : -5

Remarque : on peut toujours utiliser la variable de travail pour un calcul :

~~!~~ A = 1, ~~!~~ B = 2, ~~!~~ A - 3 - ~~!~~ B, ~~!~~ C = 2 * ~~!~~ ~~!~~ ~~!~~ - 1

Remarque : on peut donner plusieurs valeurs à la variable de travail lors d'une acquisition : la valeur renvoyée par le programme au moment de la validation ("RC") sera la valeur courante de la variable courante (ie la dernière valeur affectée à ~~!~~).

ii) Utilisation de constantes

Certaines constantes universelles sont reconnues par le programme sous des noms de variables - au sens où on les a définies plus haut - particuliers, ce sont PI, E, R2 ($\sqrt{2}$), R3, ($\sqrt{3}$).

Ex d'utilisation : ~~!~~ A = 2 * ~~!~~ PI + ~~!~~ E / ~~!~~ R2

NB : On peut définir des variables portant un de ces noms.

A N N E X E 4

Exemples d'utilisation de NADRAG

dans les domaines hors mécanique

Les deux exemples que nous décrivons ont été volontairement choisis en dehors de la mécanique pour montrer l'intérêt que peut avoir NADRAG pour des applications n'entrant pas dans les buts initiaux de conception de NADRAG.

Nous ne cherchons pas à montrer que des systèmes du type de NADRAG peuvent être considérés comme universels. Nous voulons illustrer à partir de ces deux exemples simples l'une des idées que nous avons essayé de mettre en valeur tout au long de la thèse, c'est-à-dire, pour un utilisateur final, pouvoir mettre en oeuvre à partir des modèles de NADRAG des applications sans aucune programmation.

EXEMPLE 1 : Réalisation de plans d'architectes

Un plan d'architectes peut être considéré comme composé d'éléments de base qui varient dans leurs dimensions. Il s'agit donc d'éléments de base paramétrés. Dans l'état actuel de la technique, la description de ces éléments de base est faite à l'aide de procédures. Il faudra ainsi décrire une procédure pour décrire un mur extérieur avec pour paramètres l'épaisseur E et la longueur L (voir V.3.).

Nous montrons ci-dessous qu'à l'aide de NADRAG, en utilisant les outils PARAM 2D et GRI2D, il est tout à fait possible de décrire de façon uniquement interactive cette application. Sans vouloir trop entrer dans les détails, l'application peut être composée de deux étapes.

ETAPE 1 : Description des éléments de base. A l'aide de PARAM2D, l'utilisateur peut décrire de manière interactive les éléments de base en respectant une logique telle qu'il puisse mettre facilement en valeur les paramètres fonctionnels.

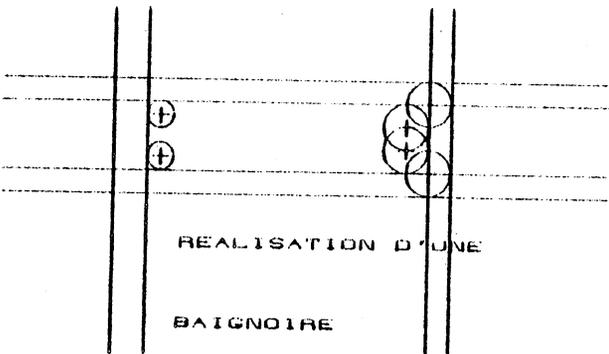
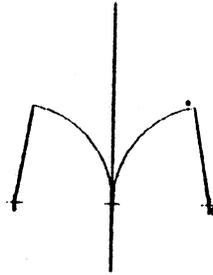
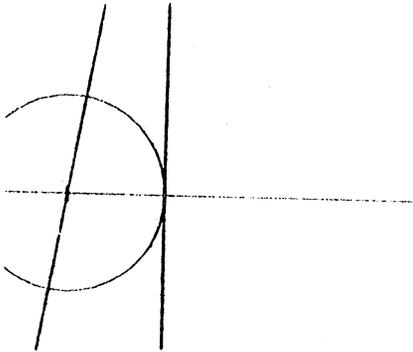
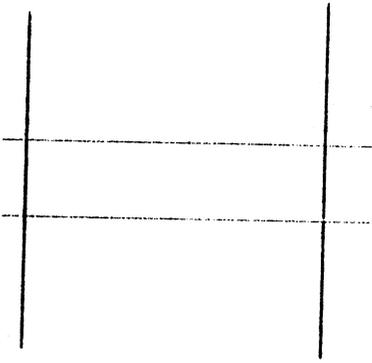
Par exemple, détaillons la mise en oeuvre du mur extérieur (F.AN.4.1.). Les deux paramètres essentiels sont : l'épaisseur E , la longueur L . L'utilisateur crée alors une droite verticale, et une droite horizontale. A partir de ces droites, il crée des droites à distances E et L (choisis quelconques). Il finit ensuite par des coupages cet élément (ou par contour).

Un autre exemple est celui de la porte fenêtre. Il est un peu plus compliqué, et son intérêt est qu'il utilise une symétrie ainsi que le montre la figure F.AN4.1

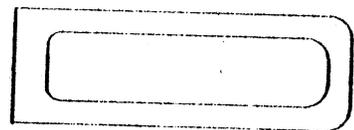
Le troisième exemple concerne la création d'un baignoire. Les dessins montrent que l'on peut ainsi définir facilement une famille de baignoires en fonction de leur longueur et de leur largeur.

ETAPE 2 : L'utilisateur peut appeler un élément de base quelconque et modifier un ou plusieurs paramètres pour créer le plan qu'il veut réaliser. Il utilise pour mettre en place les éléments des fonctionnalités de GRI2D, en particulier les transformations géométriques. On peut remarquer que sur les éléments de base, des points identifiables ont été créés, ceci afin de faciliter la mise en place des éléments (translations, rotations...).

Le plan dans son ensemble peut alors être coté. Il est là aussi possible de coter certains éléments (voir porte-fenêtre par exemple) dans l'étape 1, ceci évitant d'avoir à réaliser cette cotation sur la plan final, une simple modification de l'endroit où s'écrit la cotation pouvant être nécessaire (cf F.V.10). Ainsi, le plan peut être presque entièrement coté sans intervention de l'utilisateur.



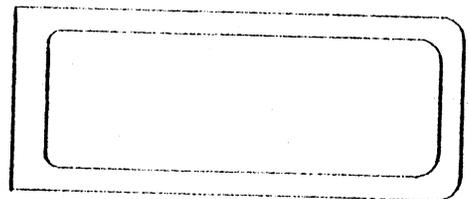
REALISATION D'UNE
BAIGNOIRE



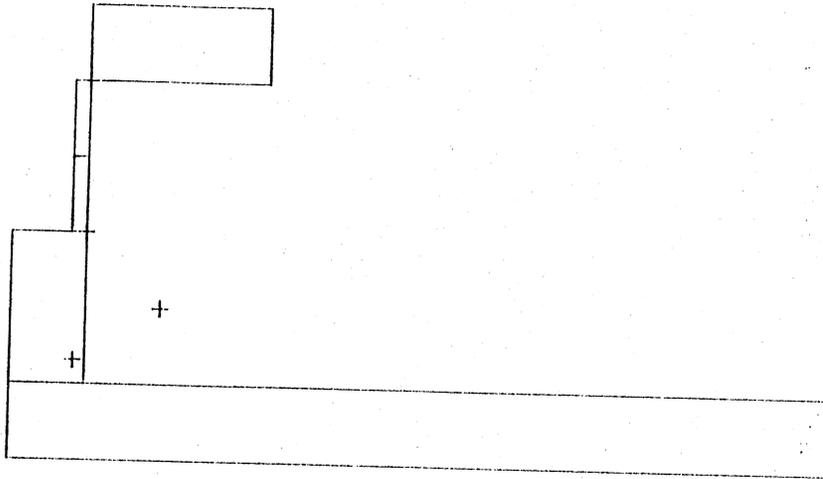
APRES CONTOUR
BAIGNOIRE DE 150x50



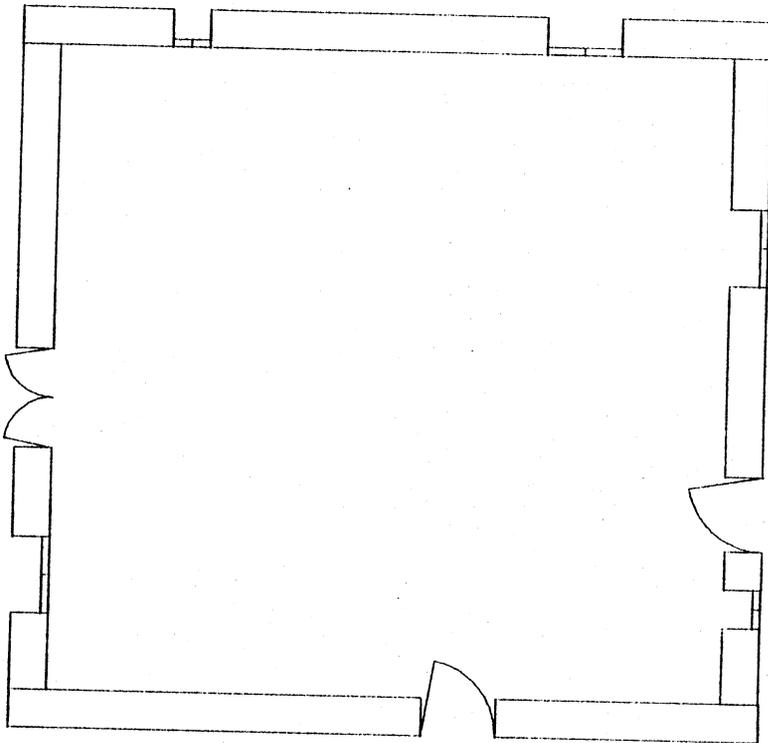
IL SUFFIT DE TIRER
SUR LE SEGMENT A
DROITE POUR UNE
BAIGNOIRE DE 180x50



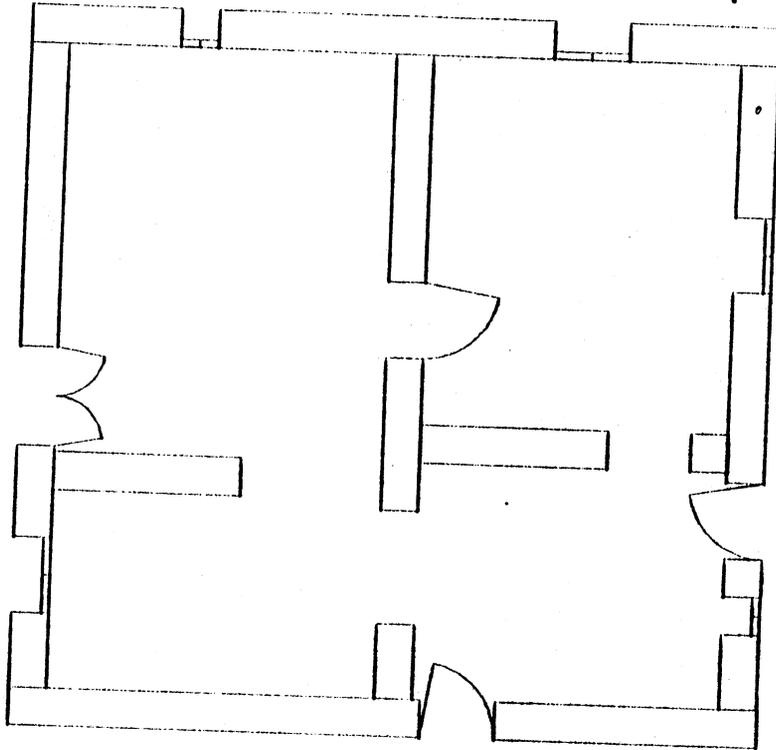
ON TIRE SUR LES
SEGMENTS DU BAS
ET A DROITE POUR UNE
BAIGNOIRE 200x80



F.AN.2. ARCHITECTURE : EXEMPLE D'ETAPE
(GRI 2D)



F.AN.3. ARCHITECTURE : SUITE
(GRI 2D)

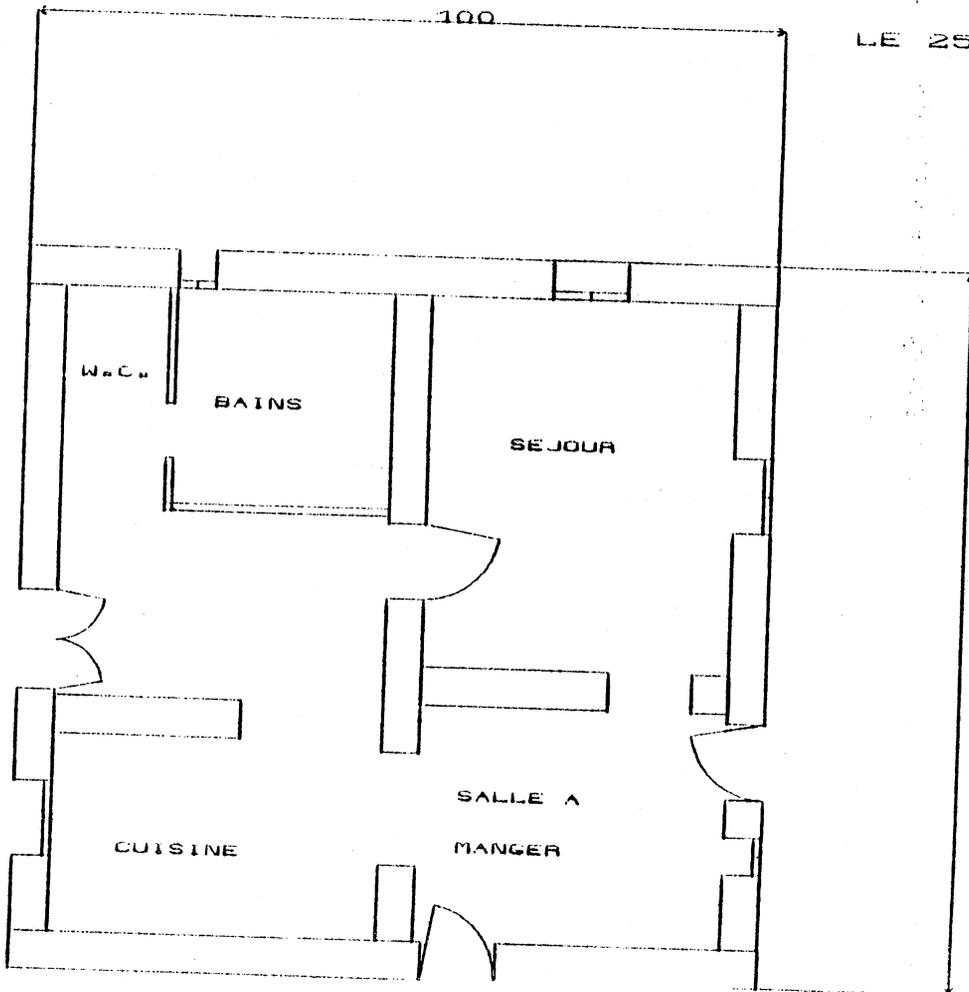


F.AN.4. ARCHITECTURE : SUITE
(GRI 2D)

REZ DE CHAUSSEE

Y. GARDAN

LE 25/11/82



EXEMPLE 2 : Réalisation de schémas

Pour ce qui nous intéresse ici, un schéma est un plan d'éléments de base (symboles) reliés entre eux par des liaisons. Les éléments de base ne varient pas dans leurs dimensions. Ils pourront ainsi être créés à l'aide de GRI2D. Les liaisons doivent être attachées aux symboles, c'est-à-dire que, par exemple, si l'on déplace un symbole, les liaisons qui lui sont attachées devront "suivre". Ceci est réalisé facilement à l'aide de GRI2D en utilisant des points de liaison attachés aux objets.

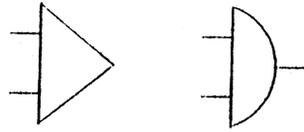
Si l'on regarde les figures, on constate ainsi que le déplacement du symbole s'est accompagné automatiquement de la reconstitution de la liaison.

L'opération se déroule ainsi comme dans l'exemple 1 en deux étapes :

- étape 1 : construction des symboles en utilisant GRI2D,
- étape 2 : mise en place des symboles (avec création interactive d'un menu symbole) à l'aide des transformations géométriques et de création de segments.

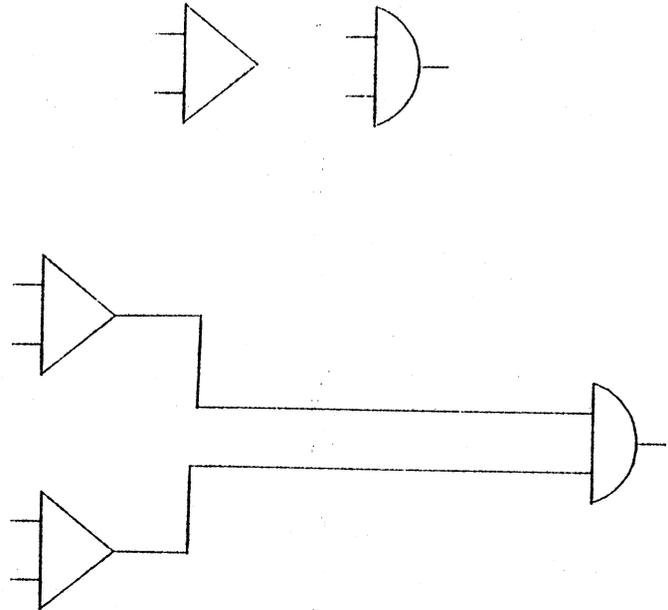
Il est bien clair que ceci ne résoud pas tous les aspects liés à la construction du schéma, mais on peut faire deux remarques :

- 1° Entre la figure F.AN.4.8. et la figure F.AN.4.9., la liaison a bien suivi, mais elle n'est plus composée de segments horizontaux et verticaux. Une solution à ce type de problèmes peut être trouvée par l'utilisation de PARAM 2D. En effet, si l'on considère l'exemple simple de la figure F.AN.4.10 réalisé à l'aide de PARAM 2D, les points qui "cassent" la liaison sont créés sous contraintes. Dans le cas présent, le point P1 est "contraint" à être à l'horizontale du point P0 appartenant au premier symbole. Le point P2 est "contraint" à être à la verticale du point P1 et à l'horizontale du point P3 appartenant au deuxième symbole. Si l'utilisateur déplace le deuxième symbole, P2 est "contraint" par PARAM 2D à rester à la verticale de P1 et à l'horizontale de P3 et la forme de la liaison est ainsi conservée. (Il est clair que tous les problèmes ne sont pas résolus, en particulier la rotation d'un symbole peut causer quelques désagréments).
- 2° Si l'utilisateur désire avoir une nomenclature du schéma qu'il a créé, il est clair que la fonction RENSAN (permettant d'interroger le modèle de GRI2D) est trop dirigée vers les applications mécaniques pour lui être vraiment utile en interactif. Il est alors nécessaire d'avoir une fonction nomenclature du même type que celle décrite pour ASSEMB 2D (cf VII).

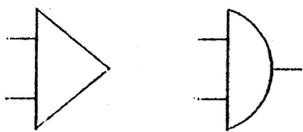


F.AN.6.

**SCHEMA : MENU CREE INTERACTIVEMENT
(GRI 2D)**

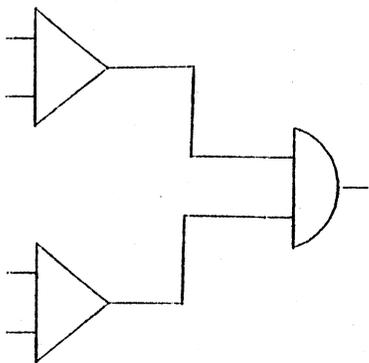


**F.AN.7. SCHEMA : CREATION SIMPLE
(GRI 2D)**



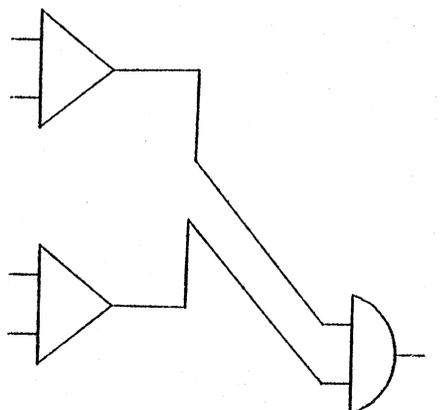
F.AN.8. SCHEMA :

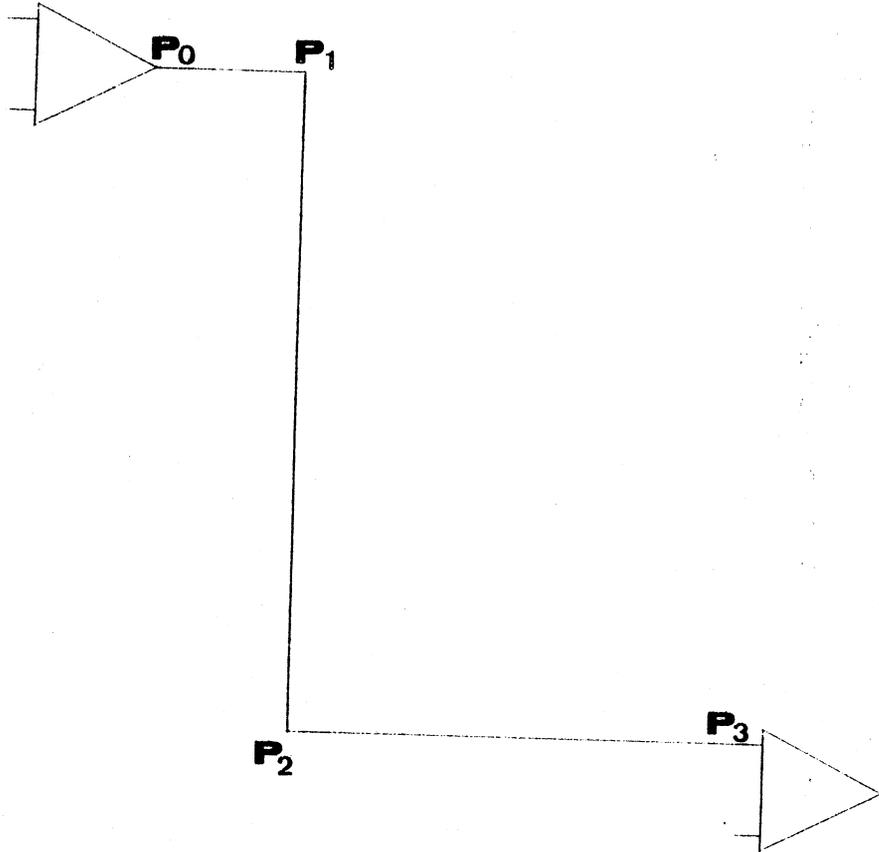
**DEPLACEMENT HORIZONTAL D'UN ELEMENT
(GRI 2D)**



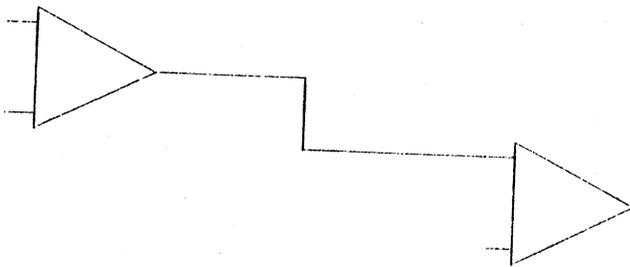
F.AN.9. SCHEMA :

**DEPLACEMENT QUELCONQUE D'UN ELEMENT
(GRI 2D)**





**F.AN.10. SCHEMA : CONTRAINTE SUR UNE LIAISON
(PARAM 2D)**



**F.AN.11. SCHEMA : DEPLACEMENT QUELCONQUE D'UN ELEMENT
(PARAM 2D)**

B I B L I O G R A P H I E

- ADA 76 : ADAMOVICZ - ALBANO -
"A solution of the rectangular cutting stock problem"
- IEEE Trans. on syst., Man., and cyb. Vol. SMC - 6
n°4 (1976).
- AGK 82 : ABRAMOVICI - GROSS - KRAUSE
Planning the introduction of C.A.D. systems MICAD 82 -
Paris - Sept. 82
- ALB 77 : ALBANO - "A method to improve two-dimensional layout" -
Comp. Aided Des. - Vol. 9 n°1 (1977).
- ALB 82 : ALEXIEF - BONNECASE
Conception dynamique assistée par ordinateur :
application au cas d'une machine à laver le linge.
MICAD 82 - Paris sept.82
- ALC 77 : JJ. ALLAN - A.M. CHIU
An effectiveness study of a CAD system augmented by
audio feedback
Computer and Graphics - Vol.2 n°4 - 1977
- AMK 75 : J. AMKREUTZ
Cybernetic model of the design process.
C.A.D. Vol.8 n° 3 - Juillet 1976
- ATW 78 : ATHERTON - WEILER
Hidden surface removal using polygon area sorting.
SIGGRAPH ACM 1978
- BAR 74 : R.E. BARNHILL, - R.F. RIESENFELD
Computer Aided Geometric Design
Academic Press, Londres 1974
- BBR 69 : BEAL, BOHLEN, RAUDABAUGH
Les secrets de la dynamique de groupe
(Livre) Chotard et Associés 1969
- BEJ 79 : M. BERTHOD, P. JANCENNE
Le pré-traitement des tracés manuscrits sur une
tablette graphique
Congrès AFCET - Reconnaissance des formes et
Intelligence Artificielle - Toulouse -
septembre 1979
- BEM 79 : A. BELAID
Reconnaissance structurelle de caractères manuscrits et
de formules mathématiques
Thèse 3ème cycle - Nancy 1 - octobre 1979
- BEM 82 : A. BELAID, G MASINI
Segmentation de tracés sur tablette graphique
en vue de leur reconnaissance.
TSI Volume 1 n°2 - 1982

- BER 79 : J. BERTIN
La graphique et le traitement graphique de
l'information.
(Livre) Flammarion, nouvelle bibliothèque scientifique
Paris, 1977.
- BER 82 : BERNARD
CATIA : système tri-dimensionnel de C.F.A.O.
MICAD 82 - Paris - sept. 1982.
- BEZ 77 : P. BEZIER
Essai de définition numérique des courbes et des
surfaces expérimentales. Contribution à l'étude des
propriétés des courbes et des surfaces paramétriques
polynomiales à coefficients vectoriels.
Thèse d'Etat - Paris VI - février 1977.
- BOG 81 : P. BOULLE - Y. GARDAN
Un système de placement et de découpe dans l'industrie
de la chaussure.
Congrès AFCET - Gif-sur-Yvette - Nov. 1981
- BOG 82 : J.W. BOYSE - J.E. GILCHRIST
GM Solid : Interactive Modeling for design and analysis
of Solids.
IEEE - CG et A - Mars 1982.
- BOJ 80 : B.R. BORGERSON - R.H. JOHNSON
Beyond C.A.D. to Computer Aided Engineering
IFIP 80 - Tokyo - Oct. 1980.
- BON 81a: A. BONNET
Applications de l'Intelligence Artificielle :
Les systèmes Experts.
RAIRO - Vol.15 n°4 - 1981.
- BON 81b: K.C. BONINE
Economic considerations of CAD/CAM
Autofact - Detroit Nov.81
- BOU 80 : P. BOULLE
Etude et réalisation d'algorithmes pour la visualisation
de scènes composées de facettes planes.
Thèse docteur - ingénieur INPG - 1980
- BOY 79 : J.W. BOYSE
Interference detection among solids and surfaces
ACM Comm. Vol. 22 n° 1 - janvier 1979 -
- BRA 74 : I.C. BRAID
designing with volumes
Cantab Press - Cambridge 1974

- BRA 75 : I.C. BRAID
Synthesis of Solids Bounded by Many Faces
Comm. of ACM - Vol.18 - n° 4 - April 1975
- BRI 81 : BRIEFS
Re-thinking Industrial work : Computer effects on
Technical White-Collar Workers
Computers in Industry - Vol. 2 - 1981
- BRO 81 : R.A. BROOKS
Symbolic reasoning among 3-D Models and 2D Images
Artificial Intelligence - Vol.17 - 1981.
- BRO 82 : C.M. BROWN
PADL : a technical summary
IEEE - CG & A - Mars 1982.
- CET 81 : CETE D'AIX
Présentation de PERS 5
- CGH 82 : GANGNET, COQUILLART, HAIAT
Numérisation par caméras de plans de bâtiments
MICAD 82 - Paris - sept. 1982.
- CHD 76 : CHAMBERS et DYSON
The cutting stock problem in the flat glass industry -
Selection of stock Sizes - Oper. Res. Vol.27 n°4 (1976).
- CHO 79 : W.W. CHOW
Mise en bande pour une seule forme de découpe.
Intern. Journal of Production Research -
Vol. 17 n° 4 - Juillet/août 1979.
- CHU 77 : J.C. CHUPIN
Répartition d'applications et de banques de données sur
un réseau général d'ordinateurs.
Thèse doctorat d'Etat, Grenoble, octobre 1977.
- CHV 82 : L. CHOLVY, J. FOISSEAU
Nature, fonctions et modèles de bases de données dans un
système de C.A.O.
MICAD 82 - Paris - sept.1982
- CHW 77 : CHRISTOFIDES - WHITLOCK
An algorithm for two-dimensional cutting problems.
Oper. Res. Vol. 25 n° 1 (1977).
- CIS 82 : CISI
Notice de présentation du logiciel CONDOR
- CLA 76 : R. CLARK
Hierarchical Geometric models for visible Surface
algorithms.
CACM - Vol. 19 - n° 10 - octobre 1976.

- CNE 82 : CNET LANNION
Présentation du projet pilote CONCERTO
Actes des journées BIGRE 82 - Grenoble - janvier 1982.
- COO 80a: M. COOLEY
Some social implications of CAD/CAM
MICAD 80 - Septembre 1980
- COO 80b: M. COOLEY
Architect or Bee ? the human technology relationship
Langley technical services - U.K. 1980
- COW 76: COVERDALE - WHARTON
An improved heuristic procedure for a non linear cutting
stock problem.
Mag. Scie. n° 1 (1976)
- CRO 75 : CROCUS
Système d'exploitation des ordinateurs
Dunod - 1975
- DAS 81 : DASSAULT SYSTEMES
Présentation du logiciel CATIA
- DAV 81 : B. DAVID
Méthodologie pour la construction de systèmes de C.A.O.:
SIGMA C.A.O.
Thèse d'Etat - Grenoble 1981.
- DAY 73 : DAY L.
The Future of computer and communication services
AFIPS - NCCE 1973.
- DEL 82 : DELVAC
Users group : A necessity for small and medium sized
industries.
MICAD 82 - Paris - Septembre 1982.
- DGM 80 : B. DAVID - Y. GARDAN - J. MERMET
C.A.D. in small and medium sized industries
IFIP 1980 - Tokyo - Octobre 1980
- DIE 68 : J. DIEUDONNE
Calcul Infinitésimal (livre)
Hermann - Collection Méthodes 1968
- DIV 73 : DIVERREZ - B. du BOIS de MEYRIGNAC - SOENEN
Recherche d'un classement hiérarchique de surfaces
planes et applications à un problème de placement selon
une méthode heuristique -
RAIRO (1973)

- ETV 74 : C. de L'ETANG, Y. VENDEVILLE, D. GOUTTE
Systèmes de groupements analogiques
CETIM - Senlis - 1974
- FET 64 : FETTER W.
Computer Graphics in communication
(livre) Mac Graw Hill Engineering Graphics
Monograph 1964.
- FIS 79 : W.E. FISHER
The interface between CAD/CAM Software and Codasyl data
base management system
Eurographics 1979, Bologna, octobre 1979.
- FOR 78 : A.R. FOREST
A Unified Approach to geometric Modelling
SIGGRAPH'78
- FRE 76 : FREESE F.
Computer communication and growing pains
ICCC 1976
- FIN 80 : FINOT
Utilisation de la C.A.O. dans l'architecture navale de
plaisance au groupe FINOT -
MICAD 80 - Paris septembre 1980.
- GAM 69 : R. GALIMBERTI, U. MONTANARI
An algorithm for hidden line Elimination
CACM, Vol. 12, n°4, avril 1969.
- GAM 81 : Y. GARDAN , J. MERMET
C.A.D. for small firms : examples in France and
opportunities for developing countries.
IFIP - Brésil - 1981
- GAM 82 : Y. GARDAN , J. MERMET
La Conception Assistée par Ordinateur. Principes et
applications.
Livre à paraître - Editions DUNOD - 1983
- GAR 75 : Y. GARDAN
Système de réunions avec des consoles graphiques ou
alphanumériques reliées à un réseau (version
expérimentale)
Rapport de recherche, ENSIMAG, 1975
- GAR 76 : Y. GARDAN
Un système de réunion, version expérimentale sous CP pour
deux consoles
Rapport technique, ENSIMAG, 1976

- GAR 77a: Y. GARDAN
Notice utilisateur de CONGRES . Construction de dessins
en local
ENSIMAG , juin 1977
- GAR 77b: Y. GARDAN
Notice utilisateur de CONGRES . Participation à une
réunion
ENSIMAG , juin 1977
- GAR 77c: Y. GARDAN
CONGRES : un système informatique pour la tenue de
réunions à travers un réseau d'ordinateurs.
Thèse docteur-ingénieur , INPG, 20 décembre 1977
- GAR 78a: Y. GARDAN
Téléconférences assistées par ordinateur
Bureautique 78, Grenoble, mars 1978.
- GAR 78b: Y. GARDAN
MECAN : logiciel graphique interactif pour l'aide à la
conception de mécanismes de disjoncteurs.
Rapport technique - septembre 1978.
- GAR 79 : Y. GARDAN
CONGRES : a computer assisted conference system allowing
sketch transmission
IFIP - Tele informatic's 1979 - Paris - juin 1979
- GAR 80a: Y. GARDAN
GRI2D : un logiciel pour la réalisation interactive et
la sortie de plans en deux dimensions
MICADO - Mai 1980
- GAR 80b: Y. GARDAN - ANSQUER
Introduction de la C.A.O. dans une entreprise de
fabrication de meubles en bois massif.
MICAD 80 - Paris septembre 1980
- GAR 80c: Y. GARDAN
Research and use policy of C.A.D. in France
ACTIM - Suède - Novembre 1980
- GAR 81a: Y. GARDAN
. Principes de conception du logiciel GRI2D
. Etude de l'introduction de la C.A.O. chez un
constructeur de citernes autoportantes.
. MECAN : un logiciel d'aide à la conception de
mécanismes de disjoncteurs basse tension.

dans rapport scientifique de l'équipe Communication
graphique et méthodologie de la C.A.O.
IMAG - 1981

- GAR 81b: Y. GARDAN
Introduction of C.A.D. in a manufacturer of solid model
furniture
C.A.D. for small and medium sized industries
(MER 81) - North Holland 1981
- GAR 81c: Y. GARDAN
La C.A.O. appliquée à la découpe de panneaux
L'officiel des cuisinistes juin 1981
- GAR 81d: Y. GARDAN
La C.A.O. dans le domaine de la mécanique
Journée de l'ingénieur - CETIM - St Etienne
septembre 1981
- GAR 81e: Y. GARDAN
La C.A.O. dans le domaine de l'habillement
Rapport ADI pour le CETIH - Août 1981
- GAR 81f: Y. GARDAN
Etude et réalisation d'outils de base en conception
assistée par ordinateur
Rapport contrat ADI N° 80.096
- GAR 82a: Y. GARDAN
A system for the interactive description of parametrized
elements (PARAM 2D)
Prolamat 82 - Léninegrad - Mai 1982.
- GAR 82b: Y. GARDAN
La C.A.O. est-elle à la portée des P.M.I. ?
Conférence prononcée à la Convention Informatique -
Paris - Septembre 1982.
- GAR 82c: Y. GARDAN
Y-a-t-il une C.A.O. pour les P.M.I. ?
Le Nouvel Automatismes et ELEC 82 - Dec. 1982.
- GAR 82d: Y. GARDAN
Outils logiciels graphiques pour la C.A.O.
Rapport contrat ADI n° 81.326
- GAR 82e: Y. GARDAN
Outil sophistiqué et adaptable de saisie
Rapport intermédiaire ADI n° 82.052
- GAR 83 : Y. GARDAN
La modélisation géométrique
à paraître dans le nouvel automatisme
janvier 1983
- GRI 82 : ALLIAUME, DUCROT, GARDAN, GRAVE, LE LOUS, LUCAS
MAGNIER, POLACH, SALTEL
La réalisation des logiciels graphiques interactifs.
Livre Editions Eyrolles - 1982

- GIG 61 : GILMORE ET GOMORY
A linear programming approach to the cutting stock
problem
Oper. Res. Vol. 9 (1961)
- GIG 64 : GILMORE ET GOMORY
Multistage cutting stock problems of two and more
dimensions
Oper. Res. Vol. 22 (1964)
- GIL 78 : W.K. GILOI
Interactive computer graphics : Data structure,
Algorithms, Languages.
Prentice Hall, 1978
- GKS 82 : GKS
Information Processing Graphical Kernel
system (GKS) Functional description
ISO TC97/SC5/WG2.N
- GRI 78 : J.G. GRIFFITHS
Bibliography of Hidden-line and Hidden-surface
Algorithms
Computer aided design
Vol 10, n°3, May 1978
- GRI 79 : J.G. GRIFFITHS
Eliminating hidden Edges in Line Drawings
Computer aided Design, Vol.11, n°2, March 1979
- GRO 75 : Group Communication through computers
FORUM : Pragmatics and dynamics Institute for the
Future, Merlo Park, California, R 35, 1975
- GSP 77 : SIGGRAPH GSPC . Core definition subgroup.
General methodology and proposed standard
SIGGRAPH ACM - Vol. 11 n° 3 - 1977
- HIL 82 : R.HILLYARD
The build group of solid modelers
IEEE CGA - Mars 1982
- HJK 82 : HANSEN, JACOBSEN, KJELLBERG, NYKAENEN, ULFSBY
Geometric product model : An internordic C.A.D. project.
MICAD 82 - Paris septembre 1982
- HOK 82 : HOSAKA - KIMURA
Methods of surface synthesis in geomap 3
MICAD 82 - Paris - septembre 1982
- HOL 82 : HOLGUIN
C.A.D. Productivity : Fact or myth ?
MICAD 82 - Paris septembre 1982

- HUK 77 : D.J. HUMCKE, D.P. KENT
Ergonomics of a large interactive graphics operation.
Nouvelles tendances de la communication homme-machine.
Orsay - 17 /29 avril 1977
- INP 82 : INPUT
Enquête sur le marché de la C.A.O.
(5 tomes) - 1982
- JAS 82 : G. JARED, I. STROUD
Local operators in the BUILD system
Prolamat 82 - Leningrad - mai 1982
- KAN 81 : T. KANADE
Recovery of the three dimensional shape of an object
from a single view
Artificial Intelligence - Vol. 17 - N°1 - 3 - août 1981
- KAY 81 : KAYAK (projet pilote)
Actes de journées sur la Bureautique
24-26 mars 1981 - Agence de l'Informatique
- KLM 75 : S. KRAKOWIAK - M. LUCAS - J. MONTUELLE
J. MOSSIERE
A modular approach to the structured design of operating
systems.
Rapport de recherche - Grenoble - Mai 1975
- KUR 68 : KURATOWSKI - MOSTOWSKI
Set Theory
Livre North Holland 1968
- LAF 76 : LAFUE G.
Recognition of three dimensional objects from
orthographic views.
Proc. 3rd annual conf. on computer graphics, interactive
Techniques and image Processing
ACM SIGGRAPH - July 76
- LAT 77 : J.C. LATOMBE
Une application de l'intelligence artificielle à la
conception assistée par Ordinateur (TROPIC)
Thèse d'Etat - Grenoble 1977
- LAT 78 : J.C. LATOMBE (Ed)
Artificial intelligence and Pattern Recognition in
C.A.D.
North Holland - 1978
- LAU 79 : J.L. LAURIERE
Représentation et utilisation des connaissances
programmes d'IA...
Rouen - CNRS - groupe 22 - septembre 1979

- LED 77 : A.LEDUC, LEBALLEUR
Conception et réalisation d'un logiciel graphique de base indépendant de son contexte : application au logiciel GRIGRI.
Thèse de docteur ingénieur, Grenoble, sept.1977
- LEV 81 : L.D. LEVINE
Real productivity gains from C.A.D/C.A.M
Autofact - Detroit - Nov. 1981
- LIM 79 : J.S. LIENARD, J.J. MARIANI
An introduction to man-machine speech communication.
Nouvelles tendances de la communication homme-machine.
Orsay - 17/29 avril 1979
- LIR 80 : F.M. LILLEHAGEN - F. RIESENFELD
New dimensions in man machine communications
Computers in industry - Vol.1 n°1 - janvier 80
- LON 79 : T. LOZANO-PEREZ, M.A. WESLEY
An algorithm for planning collision free paths among polyhedral obstacles.
ACM Comm. Vol. 22, n° 10, octobre 1979
- LUC 77 : LUCAS M.
Contribution à l'étude des techniques de communication graphique avec un ordinateur, éléments de base pour les logiciels graphiques interactifs.
Thèse doctorat d'Etat - Grenoble, Décembre 1977.
- LUC 78 : LUCAS M.
Algorithmique et représentation des données
Notions élémentaires.
ENSIMAG - octobre 1978
- LUM 81 : LUCAS M. P. MORVAN
Informatique graphique conversationnelle
Extrait de la collection Techniques de l'Ingénieur
H 14 17 - H 14 18.
- MAN 80 : J.R. MANNING
Computerized Pattern Cutting
CAD - Vol. 12 n°1 - janvier 1980
- MAR 81 : MARGULIES F.
Trade Union Aspects and Experiences with work on VDUs.
Computers in Industry - Vol.2 - 1981
- MAS 82 : MACARY, SELLES
ACAM : aide à la conception et à l'aménagement de cuisines intégrées.
MICAD 82 - Paris - septembre 1982.
- MAT 80 : MATRA DATAVISION
Evolution des techniques de C.A.O. : exemples d'applications réalisées avec le système EUCLID.
Biennale de la M.O. - Paris - juin 1980.

- MAT 82 : MATRA DATAVISION
Notice de présentation EUCLID
- MCA 81 : Equipe méthodologie de la C.A.O.
Rapport de recherche IMAG - 1981
- MEE 81 : R. MEENAKSHI SUNDRAM
Applying group technology : a case study
Autofact - Detroit - Nov. 1981
- MER 73 : J. MERMET
Etude méthodologique de la C.A.O. des systèmes logiques:
CASSANDRE
Thèse d'Etat Es Sciences, Grenoble, Mars 1973
- MER 81 : J. MERMET (Ed)
MICAD 80 : The first European Conference on C.A.D. in
medium sized industries.
North Holland 1981
- MER.82 : J. MERMET, J.J. ROCHE
A C.A.D. system for a shoe manufacturer
Computers in industry (à paraître)
- MET 80 : A.M. MESSNER, G.Q. TAYLOR
Solid polyhedron measures
ACM Trans. on Mathematical software
Vol. 6 n° 1 - Mars 1980
- MIC 82 : MICADO
Séminaire sur la formation à la C.A.O.
St Pierre-en-Chartreuse - Mars 1982
- MIC 79 : MICADO
Séminaire sur la formation à la C.A.O.
St Pierre-en-Chartreuse - 12-15 novembre 1979
- MIC 81a: MICADO
Séminaire sur le placement et la découpe
St Pierre-en-Chartreuse - Mars 1981
- MIC 81b: MICADO
Séminaire sur les bases de données en C.A.O.
Garin - 1981
- MIC 81c: MICADO
Les matériels et les logiciels pour la conception
assistée par ordinateur
Micado - décembre 1981
- MIC 81d: MICADO
Notices utilisateurs des logiciels GRI 2D
PARAM 2D - GRI 3D
- MMS 79 : AC. MASSABO, Y. MOAL, J. STARK
SYSTRID 1
Proc. Eurographics 79, Bologne - Octobre 79

- MOP 76 : MORVAN P., LUCAS M.
Images et ordinateur : introduction à l'infographie interactive
(livre)- Larousse - septembre 1976
- MYE 82 : W. MYERS
An industrial perspective on Solid modeling
IEEE CG A mars 1982
- NES 79 : NEWMAN - SPROULL
Principles of interactive Computer Graphics
Mac Graw Hill 1979 (2ème édition)
- NEU 82 : NEUVE EGLISE M.
De l'idée à l'objet ... une approche intégrée.
IBM Magazine n° 13 , 1982
- NNS 72 : M.E. NEWELL, R.G. NEWELL, T.L. SANCHA
A new approach to the shaded picture problem.
Proc. ACM national conference 1972
- OFF 81 : OFFICIEL DES CUISINISTES
Articles sur la C.A.O. appliquée aux cuisines .
Officiel des cuisinistes.
(Montpellier) - Juin 1981
- PEC 75 : F. PECCOUD
MACSI : Méthode d'aide à la conception de systèmes d'informations
Thèse d'Etat - Grenoble - juin 1975
- PPP 79 : W PFERD, LA PERALTA, F.X. PRENDERGAST
Teleconferencing with computer aided design systems.
Eurographics 1979 - Bologne
- POI 80 : POITOU
C.A.O. et conditions de travail
MICAD 80 - Paris septembre 1980
- PRE 80 : K. PREISS
Constructing the 3D representation of a plane-faced object from a digitized engineering drawing.
Proc. CAD 80 - Brighton Mars 1980
- PRE 81 : K. PREISS
Algorithms for automatic conversion of a 3 view drawing of a plane faced part to the 3D representation.
Computers in industry - Vol.2 n°2 - juin 1981.
- RAD 82 : RADER
Managing the introduction of C.A.D. into the design office.
MICAD 82 - Paris - septembre 1982.

- REA 80 : P.L. READ - P. ALIAS
Impact de la productivité des systèmes de C.A.O./F.A.O.
dans les moyennes et petites industries
MICAD 80 - Exposé introductif - 1980
- REQ 80 : A.G. REQUICHA
Représentations for Rigid Solids
Theory, Methods, and Systems
Computing Surveys Vol. 12, n°4, décembre 1980
- REV 82 : AG REQUICHA, H.B. VOELCKER
Solid Modeling : A historical summary and contemporary
assessment.
IEEE - GG & A - mars 1982
- RIC 82 : RICARD
Une expérience d'utilisation d'outils de C.A.O. pour la
conception et la fabrication de coffrages bois.
MICAD 82 - Paris - septembre 1982.
- RIV 77 : V. RIVERO
Une contribution à la conception architecturale assistée
par ordinateur : le système SIGMA - ARCHI
Thèse de docteur ingénieur - Ensimag -
Grenoble - juin 1977
- RNU 81 : RENAULT (SERI-RENAULT)
Présentation de RA3D
- ROA 76 : D.F. RODGERS, J.A. ADAMS
Mathematical Elements for computer Graphics
Mc Graw Hill, New York, 1976
- ROK 81 : G. ROMAN, T.KIMURA
VLSI perspective fo real time hidden line elimination
CAD - Volume 13 - n° 2 - 1981
- ROR 82 : C. ROLLAND, C. RICHARD
Une méthode de spécification conceptuelle
Journées BIGRE 82 - Systèmes intégrés de production de
logiciels - Grenoble - janvier 1982.
- SAY 76 : C. SAYETTAT
SOMINE : les accès aux bases
Thèse 3ème cycle - INPG, Mines de St-Etienne
janvier 1976.
- SCC 81 : D.C. SCOTT - K.I. MACLYMONDS
Geometric Modeling system Implementation in a
decentralized company
Autofact III - SME - novembre 1981
- SCS 80 : SCHOFIELD - SMITH
Software considerations in the use of computers for
design and manufacturing engineering
MICAD 80 - septembre 1980

- SEB 82 : O.I. SEMENKOV, V.A. BERSENEV
Operations on semantic models of C.A.D. application
area.
Prolamat 82 - Leningrad , Mai 1982.
- SOE 77 : R. SOENEN
Contribution à l'étude des systèmes de conduite en temps
réel en vue de la commande d'unités de fabrication
Thèse - Doctorat d'Etat - 1977 .
- SSS 74 : I.E. SUTHERLAND, R.F. SPROULL, R.A. SHUMACKER
A characterization of ten hidden surface algorithms
ACM Computing Survey - Vol 6 n° 1 - mars 1974
- STO 82 : Y.G. STOYAN
Mathematical methods for geometry design
Prolamat 82 - Leningrad - mai 1982
- THO 78 : R. THORNTON
Interactive modeling in three dimensions through two
dimensional windows
Proc. C.A.D. 78 - March 1978.
- TUR 73 : M. TUROFF .
Session on views of the Future : Chairman's introduction
opposing views.
AFIPS NCEE 1973
- TUR 76 : M. TUROFF
The costs and revenues of computerized conferencing.
ICCC 76
- VAN 80 : D. VANDORPE
Formation à la C.A.O.- Etat de la situation en France
MICAD 80 - Paris - septembre 1980
- VJL 76 : VALLEE J., JOHANSEN R., LIPINSKI M., WILSON T.
Pragmatics and dynamics of computer conferencing.
A summary of findings from the Forum project.
ICCC 76
- VOR 77 : H.B. VOELCKER, A.G. REQUICKA
Geometric Modeling of Mechanical Parts and Processes
Computer dec.77
- WAR 69 : J.E. WARNOCK
A hidden surface algorithm for computer generated half
tone pictures
TR. 4-15 Computer Science department
Univ. UTAH 1969

- WAT 70 : G.S. WATKINS
A real time visible surface algorithm
University of UTAH - juin 1970
- WIL 72 : H. WILLIAMSON
Algorithm 420 - Hidden line plotting programm
A.C.M. Vol. 15 n°2 - février 1972
- WRI 73 : T.J. WRIGHT
A two space solution for the hidden line problem for
plotting functions of two variables.
IEEE - Transactions C.23 - n°1 - janvier 73

AUTORISATION DE SOUTENANCE

VU les dispositions de l'article 5 de l'arrêté du 16 Avril 1974

VU les rapports de M. ... MERRET

M. ... LUCAS

M. ... BRUN

M.

M. ... Yves GORDAN est autorisé
à présenter une thèse en soutenance pour l'obtention du grade de
DOCTEUR D'ETAT ES SCIENCES.

Fait à GRENOBLE, le 14 décembre 1982

Le Président de l'U.S.M.G.

Le Président de l'I.N.P.G.

[Signature]
Le Président
M. TANCHE

D. BLOCH
Président
de l'Institut National Polytechnique
de Grenoble

P.O. le Vice-Président,

[Signature]

Mots clés : C.F.A.O. (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), Modélisation, Modélisation géométrique, Interactivité, Acquisition de connaissances.

Nous présentons une méthodologie de réalisation de systèmes de C.F.A.O. à travers des logiciels que nous avons mis en oeuvre. Cette méthodologie s'appuie à titre d'exemple sur la modélisation bi et tri-dimensionnelle, dont une caractérisation mathématique est présentée. L'intérêt de l'association d'une bonne interactivité et de l'acquisition de connaissances par les systèmes est montrée.

Une méthode d'introduction de la C.F.A.O. dans les entreprises est explicitée.

Cette méthode a été effectivement utilisée dans plusieurs dizaine d'entreprises.