



HAL
open science

Un modèle de représentation des connaissances et de l'apprentissage pour la conception d'objets technologiques

Patrice Quencez

► **To cite this version:**

Patrice Quencez. Un modèle de représentation des connaissances et de l'apprentissage pour la conception d'objets technologiques. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Paul Verlaine - Metz, 1994. Français. NNT : 1994METZ025S . tel-01776103

HAL Id: tel-01776103

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776103v1>

Submitted on 24 Apr 2018

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

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



AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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



INSTITUT SUPERIEUR DE GENIE MECANIQUE
ET PRODUCTIQUE

THESE

Présentée à



UNIVERSITE DE METZ

PAR

Patrice QUENCEZ

Pour L'obtention du grade de :
DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ de METZ

SPECIALITÉ : Sciences de l'Ingénieur
OPTION : Production Automatisée

UN MODÈLE DE REPRÉSENTATION DES
CONNAISSANCES ET DE L'APPRENTISSAGE POUR LA
CONCEPTION D'OBJETS TECHNOLOGIQUES.

Membres du Jury

Rapporteurs: P. BOURDET: Professeur de l'E.N.S. de Cachan
B. MUTEL: Professeur à l'E.N.A.I. de Strasbourg

Examineurs: C. LAURENT: Professeur à l'Université de Metz

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ



022 420815 0

de Nancy I
E.N.I. de Metz
l'E.N.I. de Metz
formations du C.E.R
ion France

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE SCIENCE ET TECHNIQUES - METZ	
N° Inv.	1994 ^{nu:} 0755
Cote	S/M3 94/25
Loc.	Magasin
Cat.	

THESE

soutenue
le 16 mai 1994
pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE METZ
en Sciences de l'Ingénieur

Par

Patrice QUENCEZ

UN MODELE DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES ET DE L'APPRENTISSAGE POUR LA CONCEPTION D'OBJETS TECHNOLOGIQUES.

Membres du Jury

Rapporteurs: P. BOURDET: Professeur de l'E.N.S. de Cachan
B. MUTEL: Professeur à l'E.N.A.I. de Strasbourg

Examineurs: C. LAURENT: Professeur à l'Université de Metz
J. RICHARD: Professeur à l'Université de Nancy I
A. TOSSER-ROUSSEY: Professeur à l'E.N.I. de Metz
M. SPADONI: Maître de Conférence à l'E.N.I. de Metz
P. DEMARQUEZ: Resp. Systèmes d'Informations du C.E.R
de la société Valeo Eclairage Signalisation France

« Tout l'univers visible n'est qu'un magasin d'images et de signes auxquels l'imagination donnera une place et une valeur relative » Baudelaire.

« L'imagination [...] elle aura des visions si elle s'éduque avec des rêveries avant de s'éduquer avec des expériences, si les expériences viennent ensuite comme des preuves des ses rêveries. » Gaston Bachelard.

« L'inventeur qui veut construire une certaine machine se représente le travail à obtenir. La forme abstraite de ce travail échoque successivement dans son esprit, à force de tâtonnements et d'expériences (au sens activité d'essais), la forme concrète des divers mouvements composants qui réaliserait le mouvement total, puis celle des pièces et des combinaisons de pièces capables de donner ces mouvements partiels. A ce moment précis, l'invention a pris corps: La représentation schématique est devenue une représentation imagée. » Bergson.

« L'imagination n'est pas seulement la mère du caprice, mais la servante et la pourvoyeuse de la volonté créatrice. La fonction du créateur est de passer au crible les éléments qu'il en reçoit, car il faut que l'activité humaine s'impose à elle-même ses limites. » Strawinski.

« La force, naît par la contrainte et meurt par la liberté. » Léonard de Vinci.

à
Marie Thérèse,
Norbert,
Olivier.

Ce rapport présente un travail qui a été réalisé au Centre d'Études et de Recherche de la société Valeo Eclairage Signalisation France en étroite collaboration avec le Laboratoire de Mécatronique Industrielle de L'Université de Metz.

Je suis très reconnaissant à Messieurs F. Paillusseau, Directeur de la division Valeo Eclairage et G. Gaumétou, responsable du service Systèmes d'Informations, de m'avoir accueilli dans leur organisation.

Je remercie Messieurs C. Leichlé, Directeur de la Division Eclairage Signalisation France et P. Le Gorgeu, Responsable des systèmes d'information C.A.O et scientifiques, pour les moyens qu'ils ont mis à ma disposition afin que je mène à bien mes recherches.

Je remercie particulièrement l'ensemble des personnes des services d'études et de recherche dont la collaboration a été essentielle pour la réussite de ce travail.

Je désire que chaque membre du service Informatique soit remercié pour la bonne ambiance dans laquelle ce travail a été réalisé.

Je souhaite que Monsieur le Professeur A. Tosser-Roussey reçoive ma profonde gratitude pour m'avoir intégré à son équipe de recherche et pour la confiance qu'il m'a accordée.

Je dois des remerciements particuliers à Monsieur M. Spadoni pour l'attention qu'il a apporté à la réalisation de ce travail et pour les nombreux conseils qu'il m'a prodigué en suivant mes recherches.

J'exprime ici mes remerciements à Monsieur le Professeur B. Mutel, pour avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteur et membre du jury.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur P. Bourdet, pour avoir accepté d'examiner ce travail comme rapporteur et pour sa participation au jury.

Je suis très honoré par la présence dans ce jury de Monsieur le Professeur J. Richard, de Monsieur le Professeur C. Laurent et de Monsieur P. Demarquez, qui ont accepté de juger ce travail.

Résumé - Abstract

La mise en oeuvre des nouveaux outils d'aide à la conception dits à base de connaissance dans les bureaux d'études, en est encore aujourd'hui à ses balbutiements. Les problèmes d'intégration se situent au niveau du développement et de l'évolution des modèles des processus de conception des produits, ainsi qu'au niveau de l'adaptation difficile des concepteurs par rapport à leur application pratique.

Les différents travaux dans le domaine sont confrontés aux contraintes de rentabilité industrielle et au manque de maturité des organisations de conception. Ces considérations ont comme conséquence d'orienter les recherches de modélisation des activités de conception, plus vers l'automatisation des constructions des définitions géométriques des objets technologiques, que vers une réelle représentation des connaissances et des raisonnements des concepteurs.

Nos travaux ont pour objectif de contribuer à l'évolution de l'assistance des activités de conception, en proposant un modèle de représentation des connaissances et de l'apprentissage pour la conception d'objets technologiques. L'opportunité d'effectuer nos recherches au coeur du C.E.R. de la division Valeo Eclairage France, nous a permis de baser notre approche sur une modélisation générale des activités de définition technologique d'un produit, en prenant en compte les modèles formels exploités et les raisonnements des concepteurs.

Notre modèle est caractérisé par la formalisation d'un espace d'abstraction des connaissances et des différentes définitions d'un objet technologique, et par l'intégration de mécanismes d'apprentissage. Il prend en compte l'ensemble des informations de définition d'un objet technologique, du niveau fonctionnel au niveau géométrique. Ces éléments définissent des stratégies de résolution de problèmes de conception, d'enrichissement et d'exploitation du savoir-faire, orientées vers une approche fonctionnelle. Notre modèle ne se limite pas à une modélisation systémique des produits, mais est dédié à la représentation du processus de définition d'un objet technologique.

Nos travaux ont été validés par la réalisation d'applications informatiques destinées à l'assistance des concepteurs pour l'établissement des cahiers des charges, des nomenclatures et des AMDEC.

INTRODUCTION	2
1. Sujet de la recherche.....	2
2. Plan du rapport	5
3. Définition de la conception d'objet technologiques	6
3.1. Le produit technologique.....	6
3.2. Le modèle de définition.....	7
3.3. Les activités de conception	10
CHAPITRE I: ÉTAT DE L'ART.....	14
1. Les modèles formels de conception	14
2. Les modèles d'apprentissage	23
2.1 Définitions	23
2.2. Modèle comportemental des systèmes d'apprentissage	25
2.3. Apprentissage par la généralisation d'exemples	29
2.4. Méthodes d'apprentissage pour la C.A.O.....	33
2.5. Conclusion.....	34
CHAPITRE II: ANALYSE.....	37
1. Introduction	37
2. Démarche d'analyse.....	39
2.1. Définition de la population de l'environnement de conception.....	40
2.2. Protocole d'analyse.....	44
3. Définition d'un schéma des modèles cognitifs.....	47
3.1. Niveaux d'abstraction	48
3.2. Les caractéristiques des modèles cognitifs.....	54
3.3. La collectivité des concepteurs.....	60
3.4. Les heuristiques de conception.....	62
3.5. Acquisition-conception de l'expérience	72
4. Conclusion	78
CHAPITRE III: FORMALISATION	83
1. Contribution du formalisme Objet.....	83
2. Un modèle de représentation des connaissances et d'apprentissage pour la conception.....	91
2.1. Définitions du langage du modèle	91
2.2. Définition des mécanismes de résolution	111
2.3. Définition des mécanismes d'apprentissage	118
3. Conclusion	126

CHAPITRE IV: APPLICATION	131
1. Architecture et algorithme général	131
2. Résolution d'un problème de conception.....	136
3. Construction d'une base de connaissances.....	142
4. Applications informatiques et interfaces avec d'autres systèmes.....	148
 CONCLUSION.....	 154
 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	 158

**UN MODELE DE REPRESENTATION DES
CONNAISSANCES ET DE
L'APPRENTISSAGE POUR LA CONCEPTION
D'OBJETS TECHNOLOGIQUES.**

**Formalisation des activités de conception d'objets technologiques
appliquée à la définition de matériels optiques d'automobiles.**

Patrice QUENCEZ

*Laboratoire Mécatronique Industrielle - Valeo Eclairage France
ENIM - ISGMP
Université de Metz*

INTRODUCTION

1. Sujet de la recherche

La conception regroupe l'ensemble des activités qui conjointement produisent des modèles de représentation virtuelle d'un objet matériel ou d'un produit.

Le cycle de vie d'un produit industriel se compose chronologiquement d'une phase de développement, d'une phase de production, d'une phase d'exploitation et d'une phase de recyclage. Les activités de conception d'un produit sont initialisées dans la première phase, juste avant les activités d'étude des moyens de production. La qualité des produits est donc étroitement dépendante de la qualité des résultats de la conception.

Le rôle fondamental de ces activités est assujéti aux contraintes du marché des produits de consommation. Alors que la quantité de familles de produits évolue peu, le nombre de produits différents augmente continuellement, et la durée de leur cycle de vie diminue. L'évolution des produits ne se situe pas au niveau de la remise en cause de leurs principales fonctions de service, mais au niveau de la recherche constante d'une meilleure maîtrise de la qualité de celles-ci.

La réponse à ces exigences dépend des performances des activités de conception définies par leur propre qualité et leur durée. Ces dernières sont liées à la rationalisation et à la maîtrise de la conception qui passe par la modélisation des produits et de leurs technologies, et par la modélisation des processus de conception. Ces modélisations doivent prendre en compte une multitude de représentations dont l'application engendre des quantités d'informations très importantes.

La complexité qui en découle est en partie traitée à l'aide de moyens informatiques, qui assistent actuellement les concepteurs dans des activités telles que:

- la construction des modèles volumiques avec la C.A.O.;
- les simulations, les calculs théoriques avec les programmes de calculs scientifiques;
- la gestion globale des informations de conception avec les systèmes de gestion.

Les évolutions des outils informatiques d'aide à la conception s'orientent vers l'élargissement de leur assistance des processus de conception, en accroissant la prise en compte des modèles théoriques technologiques et des modèles cognitifs comportementaux des concepteurs.

Les difficultés de leur intégration dans les environnements industriels sont aujourd'hui:

- les contraintes de productivité;
- l'acquisition progressive par les communautés de concepteurs des nouvelles cultures et des nouvelles méthodes de travail ;
- la complexité du domaine de la conception.

Avec les besoins des bureaux d'études qui se situent surtout au niveau de:

- la rationalisation préalable et nécessaire des organisations, des processus, des flux d'informations intervenant dans la conception;
- la capitalisation, l'exploitation et le partage du savoir-faire car les équipes de concepteurs sont composées aujourd'hui d'un plus grand nombre d'ingénieurs d'étude, que d'experts ou que d'hommes d'expérience.

Les premières études et mises en oeuvre de systèmes d'aide à la conception proposant des moyens d'exploitation du savoir-faire, sont confrontés à des problèmes liés à :

- la dépendance de leurs applications et de leurs performances par rapport à la complexité des produits;
- l'évolution de leur modélisation des processus de conception;
- leur utilisation pratique par les concepteurs;
- la modélisation des connaissances des concepteurs.

Nos travaux ont comme objectif de contribuer à l'évolution de l'assistance des concepteurs. Pour cela nous choisissons d'étudier le problème d'un point de vue global aux activités de conception, c'est à dire que nous analysons l'ensemble des opérations de définition technologique d'objets matériels et nous nous concentrons tout particulièrement sur l'intervention des concepteurs dans l'ensemble de ces processus.

Ainsi notre recherche de modélisation est dédiée au développement des systèmes d'informations de conception et au développement des méthodologies de conception. Nous ne nous limitons pas seulement à une modélisation systémique des produits, mais nous nous concentrons sur la représentation du processus de définition d'un objet technologique.

Nos travaux s'inscrivent dans le domaine des sciences cognitives. Nous ne proposons pas un modèle informatique mais un modèle des activités de conception. Nous prenons en compte les modèles formels intervenant dans la conception ainsi que les raisonnements d'une communauté de concepteurs. En effet les comportements d'un concepteur sont influencés par les autres concepteurs, par son environnement, par les outils, et par les modèles formels sollicités.

Les raisonnements des concepteurs sont dédiés à la construction de concepts de représentation mentale d'objet matériel, ce qui est assimilable à des comportements d'apprentissage. Nous explorons alors les définitions de l'apprentissage dans le but de leur contribution à notre modélisation.

Nous ne traitons pas la théorie de l'apprentissage mais nous en exploitons des résultats pour notre champ d'application qui appartient à l'espace des connaissances et des raisonnements symboliques. Nous traitons donc l'apprentissage symbolique. En effet nous ne nous concentrons pas sur les mécanismes mentaux de l'apprentissage mais sur une "stratégie d'apprentissage" adaptée aux connaissances de conception.

Les objectifs caractéristiques de notre modélisation sont:

- une approche anthropomorphe;
- la prise en compte des multiples représentations utilisées en conception;
- la contribution de mécanismes d'apprentissage.

Nous avons effectué nos travaux de recherche au sein du Centre d'Étude et de Recherche de la division Eclairage Signalisation du groupe Valeo. Les activités de cette société concernent le développement et la production de matériels d'éclairage et de signalisation pour les véhicules automobiles (Projecteurs, correcteurs, feux).

Ces produits sont composés de technologies peu complexes mais en relation avec plusieurs domaines théoriques (mécaniques, physiques, chimiques) ou techniques (transmissions, accouplements, étanchéité, optiques) et par le fait nécessitent pour leur développement l'intervention organisée de plusieurs types de compétences et de concepteurs. Cela représente un environnement d'analyse et de recherche significatif sur lequel nous nous sommes appuyés pleinement.

2. Plan du rapport

Nous décomposons ce rapport en quatre chapitres.

Le premier chapitre consacré à notre étude bibliographique est divisé en deux parties:

- une première partie présente un état de l'art sur l'évolution des outils d'aide à la conception dans les bureaux d'études et dans les laboratoires de recherche. Nous présentons les différents modèles formels de définition d'un produit qui sont exploités par les concepteurs;
- une deuxième partie présente un état de l'art sur les méthodes d'apprentissage en vue de leur contribution pour notre formalisation.

Le deuxième chapitre engage la présentation des travaux de recherche avec la description des résultats d'analyse. Nous le divisons en deux parties:

- une première partie présente notre démarche d'analyse des processus de conception;
- une deuxième partie où nous définissons un schéma des modèles cognitifs.

Le troisième chapitre est dédiée à la description de notre modèle, de sa formalisation de ses éléments de définitions et de ses mécanismes de résolution et d'apprentissage.

Le quatrième chapitre traite l'application du modèle à travers les descriptions de processus de résolution de problème de conception et de processus d'apprentissage. Nous décrivons aussi les premières applications méthodologiques et informatiques pratiques.

Enfin nous concluons sur l'état et les perspectives de nos travaux et terminons ce rapport par la liste de nos références bibliographiques.

3. Définition de la conception d'objet technologiques

Avant de présenter nos résultats d'analyse et de recherche, nous posons les définitions de la conception d'objets technologiques.

Dans le cadre de cette thèse, la conception regroupe les activités d'élaboration du modèle de définition d'un produit technologique, et nous commençons par définir les termes: "produit technologique" et "modèle de définition", avant de définir les activités.

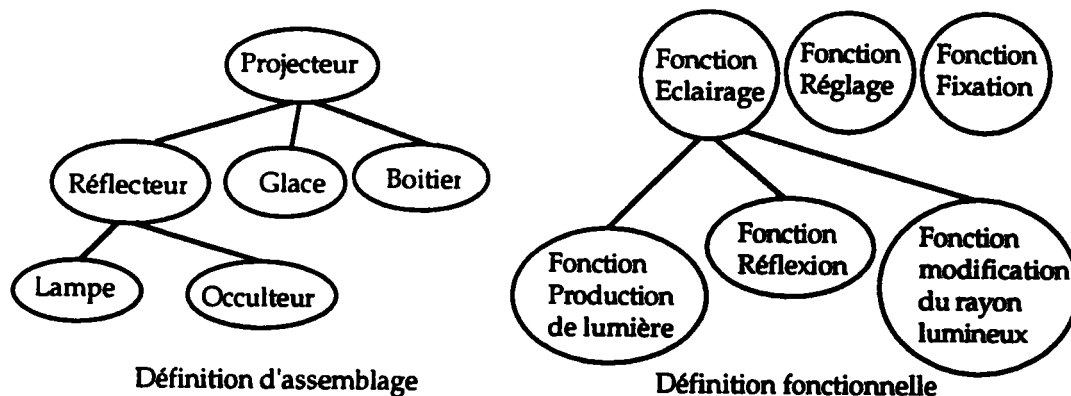
3.1. Le produit technologique

Dans [GOUBE92] « un produit technologique est défini comme un ensemble d'objets plus simples (les composants) intégrés en un objet unique par le moyen de contraintes géométriques ou physiques (les liaisons) qui limitent ou annulent les possibilités de mouvement relatif des composants».

Cette définition se situe à un point de vue interne de la structure du produit, et elle est exprimée avec une approche systémique. Nous pouvons élargir la notion d'assemblage que l'on y retrouve à l'idée d'assemblage de zones géométriques caractérisées par des comportements.

Cela nous rapproche d'une définition plus générale, citée dans [SCHN91] où le produit technologique est décrit par ses fonctions, ses comportements et par les conditions d'obtention de ses composants.

Exemple:



(figure 1: Définitions d'un produit technologique.)

Cette figure représente deux types de définition d'un produit technologique:

- une définition de type assemblage dans laquelle le produit est décrit à l'aide de l'ensemble de ses composants, en donnant une idée de leur topologie;
- une définition de type fonctionnel dans laquelle le produit est décrit par l'ensemble de ses fonctions du point de vue de son utilisation et de son fonctionnement.

3.2. Le modèle de définition

Dans [GRAN83] un modèle est défini comme *« une représentation théorique formelle et simplifiée d'une réalité complexe, traduite généralement en langage mathématique. Un modèle tend à remplacer la théorie . Une "représentation" est un acte par lequel un objet de pensée devient présent à l'esprit. A la fois prend la place de l'objet dans l'entendement, se substitue à lui, mais aussi le réalise dans son contenu. »*

Dans [BURNE91] *« un modèle est un ensemble de concepts et de règles pour les utiliser, destinés à expliquer et à représenter les éléments qui composent le système organisationnel et leur relation. Le modèle est accompagné d'un langage qui est l'ensemble des constructions qui permettent de décrire formellement les spécifications. »*

Cette dernière définition est dédiée aux systèmes d'information mais elle peut être appliquée au domaine de la conception d'objets technologiques par le fait qu'elle est plus explicite sur la notion de comportement.

Notre recherche de modélisation s'applique à l'espace industriel où les modèles correspondent aux multiples représentations d'un objet physique qui est destiné à être produit en de nombreux exemplaires (Cf. [SIMON92], [ZAKA91]).

La notion de modèle est différente suivant le point de vue où l'on se place:
 - d'un point de vue cognitif, le modèle d'un objet est sa représentation interne, dans l'esprit d'un individu (Cf. [VERG92]). On dit alors que cet individu conçoit l'objet, dans le sens de "concevoir" (comprendre, saisir, se représenter par la pensée; synonyme: imaginer - définition du dictionnaire). Cette représentation mentale d'un objet est différente suivant les particularités de chaque personne. En effet, l'utilisateur d'un objet

quelconque en a une représentation plus fonctionnelle - au sens "service" - que celle d'un technicien qui a fabriqué cet objet;

- d'un point de vue formel, la définition d'un modèle est construite à l'aide des théories des mathématiques (géométrie, logique, numérique...) et de leurs langages. Par exemple, les plans en deux dimensions de pièces mécaniques sont des constructions du langage du modèle géométrique. Ici les modèles sont construits à l'aide de processus de formalisation. Ceux-ci sont exploités dans les divers domaines scientifiques où l'on cherche à modéliser des systèmes avec comme objectif de contrôler leurs états et de superviser leurs évolutions de manière artificielle, afin de maîtriser, de comprendre, et de prévoir leurs comportements réels. On parle aussi de simulation des comportements des systèmes. Il existe plusieurs modélisations possibles pour un même problème, chacune s'appuyant sur des théories différentes, et cela en fonction des comportements analysés;

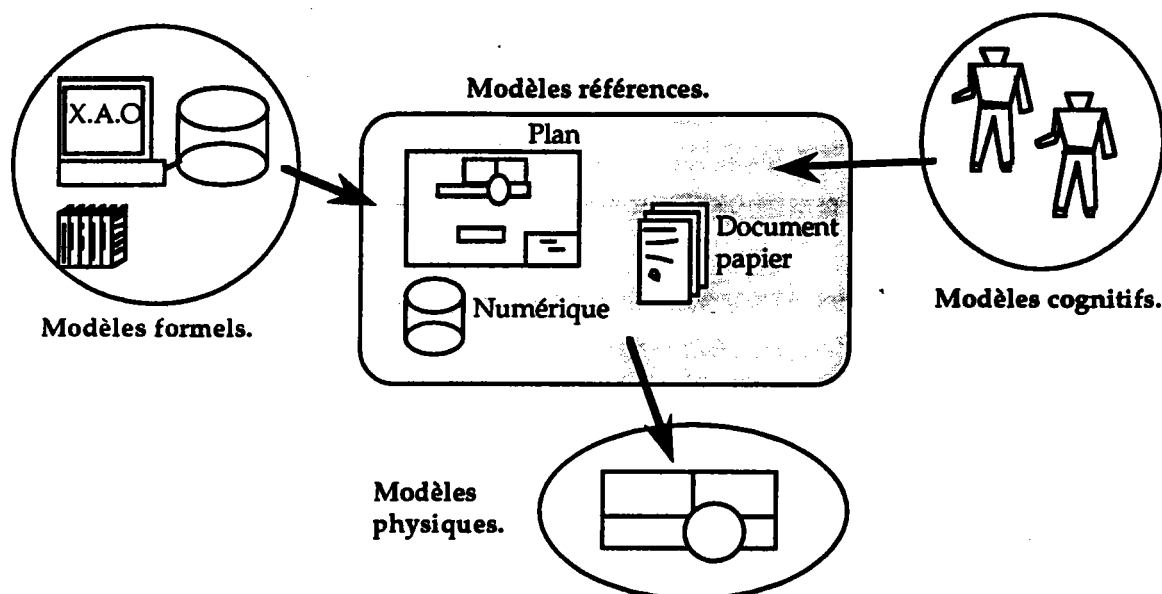
- d'un point de vue physique, les modèles sont matériels. Ce sont soit des maquettes, soit des prototypes. Ils permettent d'avoir une représentation réelle des objets, et d'analyser concrètement leurs comportements. L'objet est lui même le modèle.

Le modèle de définition référence représente la définition contractuelle du produit objectif de la conception. Il fournit la définition technologique d'un produit, avec un langage ou un code utile à sa communication dans une collectivité. Il supporte l'ensemble des informations issues des bureaux d'études, exploitées dans les processus de production pour réaliser l'objet matériel correspondant.

Il existe plusieurs types de modèles de définition référence tels que:

- le langage naturel utilisé pour la rédaction de documents dédiés au transfert d'informations non formalisées vers la production;
- la géométrie concernant les plans de dessin industriel;
- le codage numérique qui fournit des représentations mathématiques (informatiques) des produits, dans l'espace à trois dimensions.

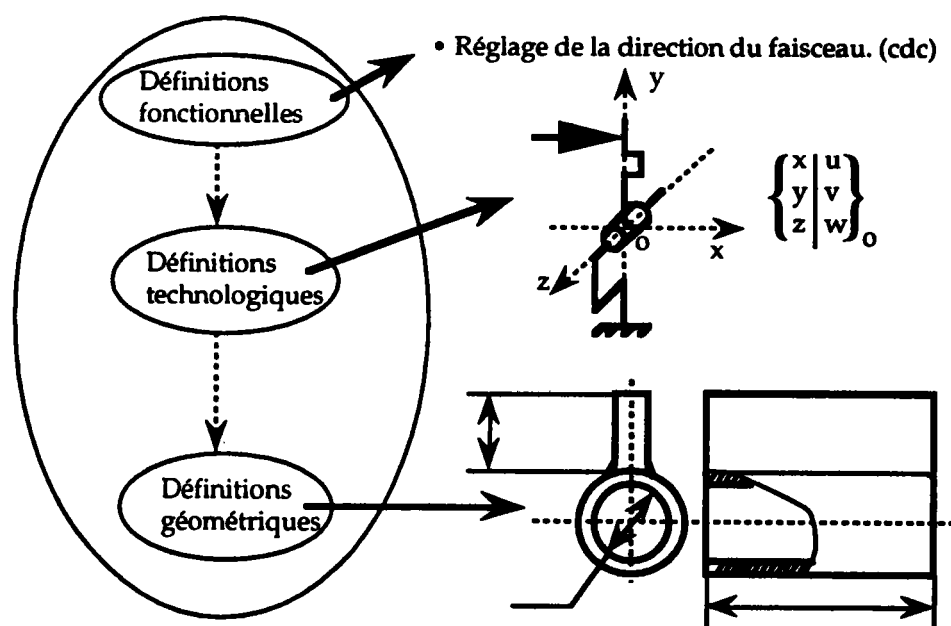
Ces modèles (respectant différents formats plus ou moins normalisés) ne supportent que des représentations statiques des produits, c'est à dire qu'ils ne prennent pas en compte explicitement les comportements des produits. Ils sont les traductions des modèles morpho-dimensionnels qui appartiennent à différents ensembles de modèles ou de concepts qui contribuent à la définition fonctionnelle et physique d'un produit. Nous distinguons trois familles de modèles: physique, cognitif et formel, que nous présentons sur la figure suivante.



(figure 2: Les familles de modèles de représentation d'un produit.)

Les modèles appartenant à ces familles donnent des définitions conceptuellement différentes du produit. Ils sont caractérisés par leur abstraction plus ou moins importante de l'objet physique.

Sur la figure suivante nous représentons trois types de définitions d'un produit:



(figure 3: Les niveaux de définition d'un produit)

- Les définitions fonctionnelles.

Les définitions fonctionnelles que nous qualifions de "génériques", font abstraction complète de la géométrie de l'objet (au sens description dimensionnelle, ce qui permet d'inclure les fonctions de style). On ne considère ici que l'utilisation, les caractères dynamiques et les comportements correspondant à des fonctions de service.

- Les définitions géométriques.

Les définitions géométriques sont les descriptions morpho-dimensionnelles des produits. Celles-ci ont un caractère exclusivement statique, c'est-à-dire qu'elles ne décrivent pas le fonctionnement du produit. C'est à partir de ces définitions que sont extraits les modèles de définition références.

- Les définitions technologiques.

Les définitions technologiques incluent des descriptions aussi bien fonctionnelles que géométriques. Ces définitions jouent le rôle important d'interface conceptuelle entre les définitions fonctionnelles et les définitions physiques. C'est dans le traitement de ces modèles que se concentre la majeure partie de "l'intelligence" de conception. Qu'ils appartiennent à la famille des modèles formels ou à la famille des modèles cognitifs, c'est à ce niveau de définition que se fera la cohérence et la validation des processus de conception.

3.3. Les activités de conception

Pour répondre à des besoins quotidiens ou pour résoudre des problèmes spécifiques nous avons l'habitude de sélectionner et de solliciter des services adéquats. Nous définissons ces services à l'aide de descriptions fonctionnelles comme par exemple: "transporter un objet d'un endroit à un autre" ou "éclairer une zone de l'espace". Les services peuvent être rendus directement par l'homme ou par l'intermédiaire de l'utilisation de méthodes, ou d'objets qui se chargeront d'une partie des actions suivant leurs comportements. Afin de créer ces objets, il est nécessaire d'en avoir une représentation plus ou moins complète qui permet de connaître a priori l'ensemble de leurs comportements devant correspondre aux fonctions qu'on lui impose.

Nous pouvons alors déduire les définitions suivantes:

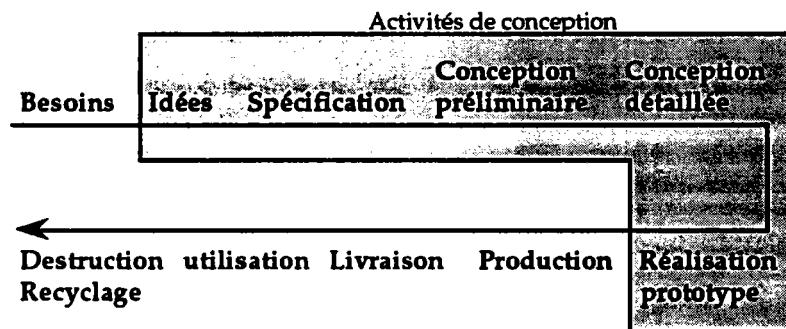
- Objectif de la conception

A partir d'un ensemble de définitions fonctionnelles, il s'agit pour la conception, de produire une représentation d'un objet dont l'ensemble des comportements contribuent à la réalisation des fonctions de service désirées.

- Les activités de conception

Les activités de conception rassemblent tous les processus opératoires sollicités dans la construction des différents modèles virtuels de représentation d'un produit, permettant de construire et de compléter le "modèle de définition référence" de ce produit.

Les activités de conception regroupent les activités contribuant à construire les modèles de définition que nous venons de décrire. Elles s'inscrivent dans les premières phases du cycle de vie du produit.

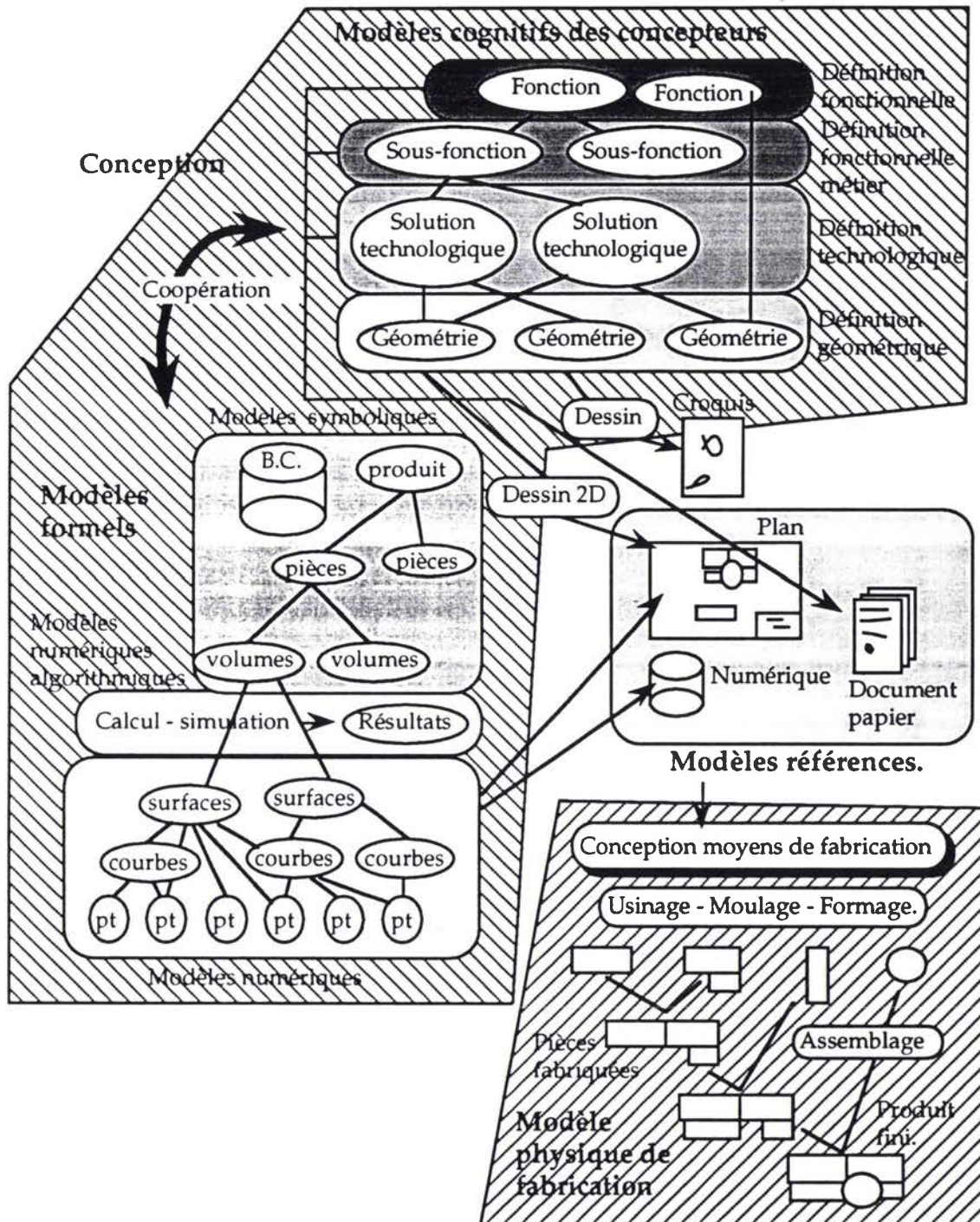


(figure 4: Cycle de vie d'un produit.)

Les processus de regroupement des idées, d'identification des spécifications, jusqu'au processus de la réalisation des premiers prototypes concernent la phase de conception du produit. Il est évident que la conception est une étape importante pour la suite de l'existence du produit. C'est cette phase qui caractérise ses comportements, et donc ses capacités à répondre aux exigences des cahiers des charges.

Les deux familles de modèles concernés par la conception sont:

- les modèles cognitifs qui représentent les comportements de l'ensemble des individus détenant les connaissances et les expertises exploitées lors de la définition d'un produit;
- les modèles formels qui sont à l'origine des différents outils supports d'informations et d'aide à la conception.



(figure 5: Modèles de représentation d'un produit.)

Nous présentons sur la figure 5 sur la page précédente: Modèles de représentation d'un produit, les modèles cognitifs et formels ainsi que leurs relations avec les modèles références alimentant le monde de la production comportant ses propres processus de conception. L'ensemble des modèles représentés sur cette figure, est construit au cours de la phase de conception de manière plus ou moins simultanée et coopérative.

Nous y retrouvons:

- les modèles cognitifs des concepteurs;
- les modèles formels;
- les modèles références;
- et les modèles physiques de fabrication.

Le domaine de la production influence les processus de conception en définissant les limites de faisabilité des volumes d'un produit (Cf. [MUTE82], [NADIF87]). Ces informations ou ces contraintes doivent être prises en compte le plus tôt possible. Nous considérons dans nos travaux que la population des concepteurs est composée des personnes qui détiennent ces informations ou qu'elles sont formalisées (support papier ou informatique).

CHAPITRE I: ÉTAT DE L'ART

1. Les modèles formels de conception

Les activités de conception produisent des ensembles d'informations volumineux qu'il est nécessaire d'organiser suivant des règles normalisées afin qu'ils soient partagés par la communauté des concepteurs. Ces organisations et ces règles sont définies par différents modèles formels.

Les processus de construction de ces modèles par leur importance font considérer la conception comme un travail de production de papier (Cf. [GAR88]). On peut observer qu'aujourd'hui les concepteurs tendent à se transformer en administrateurs ou en "linotypistes" et que les problèmes de recherche de solutions technologiques sont moins importants que la gestion des différentes informations. Cela est dû à la quantité importante d'informations produite par les nombreux processus composant les activités de conception.

Nous présentons dans les tableaux suivants les différents modèles formels qui contribuent aux processus de définition des produits.

Les modèles de description fonctionnelle générique

Définition:

Les descriptions fonctionnelles génériques contiennent l'ensemble des informations contractuelles représentant les spécifications fonctionnelles et technologiques des produits, ainsi que les définitions des processus de validation de ces spécifications. Les processus de validation formulés sous la forme de protocoles d'expériences ou de tests, permettent de définir les espaces de liberté des comportements des objets à développer.

Documents:

- Les cahiers des charges.
- Les cahiers de spécification.

Modèles:

- Le langage naturel et spécialisé.
- Législation contractuelle.
- Modèle de base de données orientées objet.

États d'évolution:

Il n'existe pas de méthodologies ou de modèles formels dédiés au traitement "automatique" ou "assisté" de ces ensembles d'informations. Actuellement les bureaux d'études se penchent sur l'organisation globale des informations liées à la conception à travers la mise en oeuvre de systèmes de gestion de données techniques.

Besoins:

Nous pensons que les besoins se situent dans la recherche d'une prise en compte plus importante de ce niveau informationnel dans les modélisations des processus de conception.

Enjeux:

L'exploitation rigoureuse et au plus tôt des informations fonctionnelles génériques doit permettre de maîtriser plus complètement et de manière plus cohérente l'initialisation et la progression du processus de définition des produits technologiques.

(Cf. [SGDT93], [RAVO92])

Les modèles de représentation fonctionnelle et technologique

Définition:

Les descriptions fonctionnelles et technologiques représentent l'ensemble des documents qui définissent les comportements des produits ou de leurs composants suivant certaines situations de fonctionnements. Ces définitions prennent en compte les géométries et les caractéristiques physiques des objets.

Documents:

- Notice de description technique;
- Notice de modification;
- Rapport d'analyse fonctionnelle.

Modèles:

- Langage naturel et spécialisé;
- AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité)
- Mécanique dynamique géométrique 2D (Étude des liaisons des degrés de liberté, des torseurs dynamiques).

États d'évolution:

Les représentations fonctionnelles technologiques sont en général peu formalisées, elles respectent des règles liées aux organisations des bureaux d'études et sont fonction des besoins de communication de celles-ci. Dans ce sens les constructeurs automobiles ont été les initiateurs de l'introduction de formalisations plus normalisées telles que l'AMDEC qui sont actuellement plus moins intégrées dans les industries. Les difficultés se situent au niveau du manque de gestion automatique de la masse des informations en jeux.

Les modélisations mathématiques ont un champ d'application limité et restent souvent trop abstraites pour les concepteurs.

Besoins:

L'intégration d'outils de gestion et de traitement des informations des modèles tels que l'AMDEC.

Enjeux:

L'intégration de modèles formels références pour les représentations fonctionnelles technologiques permettant leur exploitation, leur capitalisation, leur partage par la communauté des concepteurs.

La modélisation de l'essence de la conception représentée par les relations entre les comportements et les géométries d'objets technologiques.

(Cf. [HENRY91], [SCHN91], [GEN91], [DUP91], [DESI93])

Les modèles géométriques

Définition:

Les modèles géométriques sont des représentations mathématiques des formes ou des dimensions des objets technologiques.

Documents:

- Les plans 2D de dessins industriels.
- Les modèles numériques mathématiques 3D.

Modèles:

- La géométrie 2D descriptive de dessin industriel (Cf. [CHEVA80]).
- Les modèles numériques mathématiques (informatiques) 2D et 3D (Cf. [BARTE87], [VERON90], [GAR90], [CASTE85], [RIESE74]).
- Les modèles de support de données (Cf. [FARGE85], [BOOCK91]).
- Les modèles variationnels, paramétriques, de "features" (Cf. [CADD93], [CADR90], [GARDA92], [GAR90], [SCHN91], [CHAA91]).
- Les modèles d'assemblages (Cf. [SHAP91], [BEZIA92]).
- Les modèles de représentation des connaissances de conception (Cf. [DOUC92], [BARTH92], [BOOCK91], [DUP91], [GAR90], [GARDA92], [MILTE92], [NOMME92], [RUCHE84], [THO90], [TOLLE92], [FARRE87], [BEL92], [ICAD93], [CADX93], [THO90], [SERRA93], [NIAM93], [OOA93], [WETZ85], [STROUS89], [BHAL91], [YVARS92], [DVOR91], [IZU91]).
- Les modèles d'interface des systèmes de C.A.O. (Cf. [BRA90], [TOT89], [POITO92], [LUCAS92], [JAN90]).

États d'évolution:

- Les modèles numériques mathématiques évoluent actuellement vers le traitement de paramètres (mathématiques) plus adaptés aux travaux des concepteurs.
- Les modèles de supports de données C.A.O. sont basés de plus en plus sur des concepts objets qui permettent de donner un plus haut degré de symbolisme aux modèles de représentation volumique.
- Les modèles variationnels ou paramétriques sont performants pour des géométries qui restent simples. Ils permettent d'isoler des ensembles de paramètres, et apportent un degré de symbolisme supplémentaire.
- Les modèles d'assemblage fournissent des outils proches des mécanismes d'assemblage-adaptation souvent utilisés en conception.
- L'évolution des modèles de représentation des connaissances de conception est liée à celle des sciences cognitive et de l'informatique. Ce sont actuellement des outils de paramétrage de haut niveau et ils restent complexes d'utilisation par les concepteurs.

La gestion des évolutions des bases de connaissances est difficile. Les modélisations sont plus orientées vers la représentation des objets technologiques que vers la représentation des connaissances et des processus de conception.

Ces modèles représentent la voix principale d'évolution et d'intégration des différents modèles de conception. Il existe ici deux orientations:

- La modélisation des connaissances et des produits technologiques;
- La modélisation des raisonnements de conception.

Besoins:

Les besoins se situent au niveau d'une maîtrise et d'une intégration plus globales des différents modèles C.A.O. en prenant en compte les processus de raisonnement des concepteurs.

Enjeux:

- Les gains de temps de conception.
- L'intégration et la rationalisation des systèmes d'information de conception.
- La qualité de la conception.
- La capture et la capitalisation de l'expertise.

Les modèles d'analyse des comportements des objets technologiques
<p>Définition: Les modèles de simulation sont des modèles théoriques mathématiques de représentation des comportements des objets technologiques en situation dynamique.</p>
<p>Exemples: - Calcul de structure. - Simulation optique. - Simulation dynamique.</p>
<p>Modèles: - Mathématiques théorique ou d'analyse numérique.</p>
<p>États d'évolution: - Recherche de modèles mathématiques adaptés et fiables pour simuler les différents comportements des systèmes mécaniques. - Intégration des systèmes de simulation avec ceux de C.A.O. - La contribution des systèmes à base de connaissance dans l'assistance des concepteurs au niveau de l'asservissement des paramètres initiaux par rapport aux résultats intermédiaires des calculs. Les problèmes se situent ici dans le traitement symbolique des ensembles d'informations numériques.</p>
<p>Besoins: - Une plus grande intégration aux processus de conception.</p>
<p>Enjeux: - Contribution importante dans la recherche de l'automatisation et de l'assistance de la conception.</p>
<p>(Cf. [AFZA92], [BON92], [NARA92], [BEGIS91], [RUCHE84], [BOUCH90], [BOUC90B])</p>

A partir de ces tableaux nous regroupons les différents modèles formels suivant trois catégories:

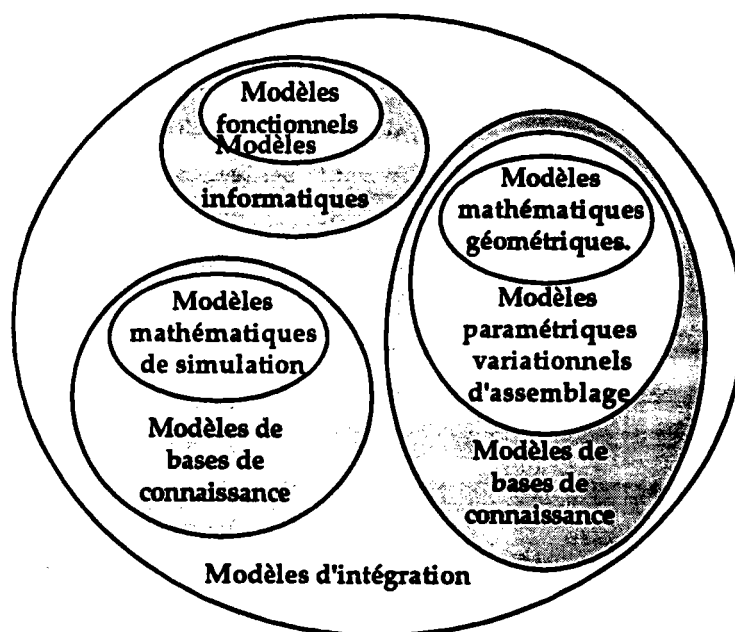
- les modèles de description fonctionnelle qui définissent les comportements des produits;
- les modèles de construction de définition géométrique qui permettent la réalisation des modèles mathématiques volumiques représentant les objets technologiques;
- les modèles mathématiques de simulation qui permettent de calculer ou de déterminer artificiellement les comportements d'un objet à l'aide de sa définition formelle;

Initialement ces catégories étaient représentées par des ensembles de modèles indépendants et dédiés à des applications précises (ex: géométrie 2D et géométrie 3D) qui sont passés par une première phase d'unification pour produire des modèles, sur lesquels s'appuient des outils de conception (ex: mathématique 2D et 3D pour la C.A.O.).

Les modèles de simulation et de définition géométrique s'appuyant sur des modèles mathématiques, ont été rapidement supportés par l'informatique pour fournir des outils d'aide à la conception.

Suivant les évolutions des théories informatiques et des sciences cognitives, ils ont été dotés de capacités fonctionnelles dont le niveau de symbolisme augmentant, leur a permis de traiter des informations caractérisées de "connaissances de conception".

De part l'utilisation de concepts informatiques fédérateurs de modèles (concepts objets), ces outils évoluent vers une intégration que nous représentons sur la figure suivante:



(figure 6: Évolution des modèles formels.)

Les espaces les plus grisés de cette figure situent les évolutions actuelles des modèles formels de définition des produits technologiques sollicités dans les activités de conception. Ces évolutions ont comme objectif le traitement d'informations et de règles dont les niveaux de symbolisme d'abstraction et de généralisation sont de plus en plus étendus et se rapprochent conceptuellement des connaissances des concepteurs. Elles sont liées aux différentes modélisations de ces connaissances étudiées dans les

domaines de l'informatique, de l'intelligence artificielle et des sciences cognitives.

Nous observons que l'intégration des modèles fonctionnels est moins importante. Nous pensons que la raison est leur niveau conceptuel élevé car les définitions fonctionnelles sont construites avec des informations et des sémantiques de type symbolique: "langage naturel spécialisé" et, que les moyens de modélisation de ce type de connaissance sont des sujets de recherches complexes. Il faut ajouter que les problèmes d'analyses fonctionnelles sont traités depuis peu dans les industries mécaniques (AMDEC, Analyse de la valeur).

Actuellement l'état d'intégration dans l'industrie de ces outils reste parcellaire, c'est à dire que l'unification des différents outils (dans le sens du CIM, Computer Integrated Manufacturing) et des modèles n'existe pas ou peu. Aujourd'hui les concepteurs commencent à exploiter les capacités paramétriques, variationnelles ou d'assemblage des outils de construction de modèles géométriques. Les systèmes à bases de connaissances ne sont pas encore d'actualité malgré leur introduction dans certaines sociétés . Les outils de simulation sont utilisés dans les phases d'analyse lorsque les modèles mathématiques le permettent.

Les difficultés de ces intégrations sont:

- les contraintes industrielles (rentabilité);
- le besoin de rationalisation de la gestion des informations intervenant dans les activités de conception (mise en oeuvre de SGDT);
- l'intégration difficile de nouvelles cultures, de nouveaux concepts qui remettent en cause les habitudes de travail. L'exploitation des nouveaux outils de conception nécessite des analyses des produits technologiques conçus, l'étude et la mise en place de méthodes d'utilisation adéquates et l'initiation des concepteurs à ces nouveaux concepts;
- les distances conceptuelles encore trop importantes des modèles impliqués par rapport aux concepts mentaux des concepteurs.

Les travaux de recherche qui se concentrent sur ces problèmes de conception s'orientent dans les directions suivantes:

- l'unification des multiples représentations qui fait de la modélisation de la conception un problème complexe;
- la modélisation des connaissances de conception;
- la modélisation des comportements physiques et dynamiques des objets mécaniques;
- l'évolution des différents modèles des outils de C.A.O.

- la prise en compte des informations et des modèles du domaine de la production.

Ces travaux s'appuient généralement sur les résultats des domaines plus généraux de la mécanique, de l'informatique et des sciences cognitives et suivent leurs évolutions.

Nous pensons plus précisément que les points de progrès se situent au niveau des sujets suivants:

- la recherche de modélisations de la conception plus orientées vers les processus et les connaissances des concepteurs (vue anthropomorphe). Actuellement les systèmes à base de connaissances exploitent des informations émises par les concepteurs et les traitent en fonction de modèles "descriptifs" construits à partir d'analyses systémiques, et liés aux géométries des objets technologiques. Certaines démarches sollicitent l'utilisation de systèmes de paramétrage pour définir les géométries d'objets en capturant les relations dimensionnelles créées pour en déduire des règles de conception. Nous pensons que ce type de démarche est trop réducteur par rapport aux champs d'applications et par rapport à l'espace des informations de conception traitées. Les processus mentaux de conception, de traitement des informations et de raisonnement à l'aide des différents modèles formels sont ici peu impliqués.

- la prise en compte et le traitement dans ces modèles des paramètres, des informations, des règles des définitions fonctionnelles;

- la recherche de moyens d'assistance à la modélisation des règles de conception;

- la recherche de modèles pour les bases de connaissances de conception définissant des capacités destinées à leur évolution constante;

- la recherche de modèles d'intégration des différents supports ou de représentation des informations, des règles et des connaissances de conception (représentés par les espaces gris clairs sur la figure précédente).

2. Les modèles d'apprentissage

Dans cette seconde partie de l'état de l'art nous étudions les théories d'apprentissage dans la perspective de la contribution de certains éléments de définition pour nos travaux de modélisation.

Nous définissons d'abord le cadre du domaine de l'apprentissage concernant nos travaux, ensuite nous reprenons et exposons une modélisation générale des systèmes d'apprentissage utilisée comme référence par des communautés de chercheurs dans ce domaine.

Puis nous traitons, plus précisément, le sujet de l'apprentissage par généralisation d'exemples particulièrement adapté à la conception. Nous présentons ensuite des perspectives d'intégration de l'apprentissage pour la C.A.O..

2.1 Définitions

Dans [GANA90] l'apprentissage est défini comme « un enrichissement presque continu de la connaissance à partir de l'expérience accumulée et de la réflexion sur cette expérience ». Cette définition générale peut aussi bien être appliquée aux systèmes informatiques à base de connaissances, qu'à l'espèce humaine.

L'auteur de [BOUC92] distingue deux types de processus d'apprentissage:

« - L'acquisition sur une longue durée d'un ensemble de capacités difficiles à dissocier (métier, langage...).

- L'acquisition rapide d'une opération ou plutôt d'une association déterminée (table de multiplication...) » .

Il définit alors plus précisément l'apprentissage pour le domaine de l'informatique comme « la modification continue d'un dispositif calculatoire ». Les toutes premières définitions des machines intelligentes (TURING Cf. [BOUC92]), intégraient déjà l'apprentissage comme une de leurs caractéristiques essentielles.

Toujours dans [BOUC92] l'apprentissage est différencié de la simple mémorisation par le fait qu'elle doit être constituée par une faculté créatrice susceptible de traiter des situations qui n'auraient pas été rencontrées durant l'entraînement ou le dressage.

Dans [KODRA93], l'auteur propose trois sens de l'apprentissage dans le domaine de l'informatique avancée, l'intelligence artificielle:

- L'acquisition de connaissances par l'homme via l'enseignement assisté par ordinateur.

- L'assistance de l'homme pour l'acquisition de connaissances par la machine (ex: système expert).

- L'acquisition de connaissances par la machine elle même. (ex: le connexionisme, Cf. [KODRA89], [PEREZ88]).

Il existe deux grands points de vue scientifiques à propos de l'apprentissage artificiel: L'apprentissage calculatoire et l'apprentissage symbolique. Le premier propose de modéliser les phénomènes internes de l'apprentissage à l'aide des différentes théories mathématiques, le deuxième définit des modèles comportementaux pour la représentation des processus de raisonnement travaillant sur des informations symboliques.

L'apprentissage calculatoire s'insère dans les domaines du connexionisme, de l'informatique théorique ou des théories de la complexité (calcul de probabilité).

L'apprentissage symbolique est un domaine des sciences cognitives qui s'intéresse à l'activité mentale comme calcul sur des représentations symboliques.

L'apprentissage calculatoire se penche sur le "comment", sur le traitement des perceptions; l'apprentissage symbolique se penche sur le "quoi", sur le résultat des constructions, des perceptions: les concepts (Cf. [HATON]).

Notre étude cognitive des comportements de conception entrant dans le cadre du "béhaviorisme orthodoxe" (Cf. [GRAN83]) où nous n'analysons pas les conditions internes de réalisation des raisonnements des concepteurs et, étant donné que les différents modèles formels de représentation des connaissances de conception que nous avons étudiés se situent dans l'espace des sciences cognitives, nous impliquons dans le cadre de nos travaux des définitions et des méthodes de l'apprentissage symbolique. Tout en n'ignorant pas les modèles du domaine de l'apprentissage calculatoire (Cf. [FORTE89]), qui par leurs capacités de traitement de la complexité peuvent contribuer, ou influencer des travaux se situant dans le domaine du traitement des connaissances symboliques. Nous prenons l'exemple ici de la logique floue qui intègre au traitement symbolique des logiques traditionnelles, le calcul de probabilité (Cf. [KAUFM87]), ou encore, les caractéristiques similaires des topologies des réseaux de neurones et des objets des schémas sémantiques (Cf. [JEAN93]).

Nous avons vu précédemment que les évolutions des modèles de représentation des connaissances de conception d'objets technologiques sont dépendantes des évolutions des modèles étudiés dans les sciences cognitives et dans l'informatique avancée. Peu de travaux des domaines traitant l'apprentissage se penchent ou prennent comme échantillon d'analyse les connaissances du paradigme de la conception. Nous pouvons tout de même citer [GAR90] qui projette à partir des concepts objets et des résultats de l'intelligence artificielle, un état de l'art des techniques d'apprentissage pour les systèmes de C.A.O.. « La réutilisation du savoir sous toutes ses formes (familles paramétrées de pièces, bases de données, programmes spécifiques à la C.A.O., systèmes d'apprentissage) » y est définie comme « une définition primaire de tout apprentissage » Le sens de "réutilisation du savoir" sous entend ici la réutilisation du savoir pour en produire d'autres.

L'apprentissage peut être généralement vu comme une évolution d'une base de connaissance (Cf. [SOMB92]). Cette évolution se traduit alors par la transformation de son état cognitif. Celui-ci représente un ensemble de croyances, de règles, de descriptions d'un univers, d'un concept.

Les évolutions peuvent être de type: expansion, révision ou contraction. Une base de connaissances peut évoluer lorsqu'il y a modification du monde ou de son environnement qui peut être partiellement décrit dans celle-ci.

Les problèmes sont la préservation de la consistance, de la cohérence; de juger l'importance de l'intégration de nouvelles connaissances et de minimiser les changements.

2.2. Modèle comportemental des systèmes d'apprentissage

Nous reprenons et synthétisons ici le modèle comportemental des systèmes d'apprentissage proposé dans [GANA90]. Ce modèle permet de situer les différents travaux et les différentes directions des recherches, et nous adhérons à sa proposition d'un langage commun pour le domaine de l'apprentissage. Nous précisons que ce modèle s'applique à l'apprentissage symbolique. Il définit les termes suivants:

- La généralisation.

La généralisation est un mécanisme élémentaire de l'apprentissage. Apprendre c'est passer d'une succession de situations vécues à un savoir réutilisable dans des situations similaires.

- Exemple en logique de prédicats du premier ordre:

Si on a $p(a,b)$ et $p(a,c)$ alors on peut généraliser avec $p(a,X)$.

Nous exprimons cet exemple sous forme de règle si-alors pour montrer que les mécanismes d'apprentissage représentent eux-mêmes des connaissances. On parlera aussi dans certains documents de méta-connaissances, élargissant la définition de connaissances sur les connaissances dédiées uniquement à l'organisation ou à la gestion de stratégies de résolution de problème.

- La préconception.

Le nombre de généralisations à partir d'un ensemble de connaissances peut être très grand et il est donc primordial d'orienter ce mécanisme vers un certain objectif. La préconception définit les stratégies de la généralisation.

- Exemple:

Prenons le cas du rangement dans une arborescence Unix des fichiers suivants (considérer ici comme une généralisation de la méthode de classement de fichiers à l'aide d'un arbre de décision):

Les fi (fichiers) sont nommés et distingués à l'aide du nom d'une société, du nom d'un projet, du nom de la pièce, et de la date.

f1 = pièceA/sociétéA/projetA/dateA/fichier1

f2 = sociétéA/pièceA/dateA/projetA/fichier2

f3 = projetA/sociétéA/dateA/pièceA/fichier2

Le classement de ces fichiers provoquera la construction de trois branches distinctes dans l'arborescence unix. L'objectif est de minimiser la taille

disque et d'optimiser la recherche de fichier. On peut donc poser une règle dans ce sens:

Un fichier sera formaté de la manière suivante:

$fi = \text{projet}_i / \text{société}_i / \text{pièces}_i / \text{date}_i / \text{fichier}_i$

Cette règle permet de guider la méthode de classement. Nous verrons dans la partie suivante que ce mécanisme peut être influencé. On s'aperçoit instinctivement que la règle proposée ici n'est pas forcément la meilleure.

En fait la préconception est le mécanisme qui guide l'apprentissage en fonction du contexte. La préconception est basée sur un critère d'économie syntaxique (le gain d'information).

- Les connaissances du domaine.

Ce sont ici les connaissances du domaine du problème d'apprentissage des connaissances qui expriment des relations et des propriétés du langage de description des exemples à apprendre.

Exemple: Si l'on reprend l'exemple précédent, une connaissance du domaine du problème de classement sera "classer les noms références du fichier suivant l'ordre: $fi = \text{société}_i / \text{projet}_i / \text{pièces}_i / \text{date}_i / \text{fichier}_i$ " La connaissance du domaine concerne ici un avis concernant les noms de sociétés et les noms de projets (il y a peu de sociétés et un projet ne correspond qu'à une société - base de données hiérarchique).

La préconception exprime par rapport aux connaissances du domaine, une préférence entre diverses expressions du domaine, une préférence entre diverses expressions du langage de description.

- L'incrémentalité.

L'incrémentalité de l'apprentissage est la circularité des séquences d'apprentissage. C'est à dire que l'on ré-injecte les résultats de l'apprentissage dans les connaissances du domaine. L'incrémentalité est monotone: l'apprentissage ne fait que produire de nouvelles connaissances qui sont rajoutées éventuellement aux connaissances initiales. L'incrémentalité est un mécanisme d'induction.

- l'évaluation et la rétroaction.

L'évaluation est un mécanisme qui "juge" à l'aide de critères d'efficacité ou de pertinence les connaissances produites par l'apprentissage. Ce mécanisme d'évaluation interne - on parlera de "critique" - a un rôle comparable à la préconception.

L'évaluation autonome entraîne un phénomène de rétroaction de la connaissance sur elle-même. Il peut y avoir plusieurs types de rétroaction. Par exemple: les exemples générés par le système peuvent être réintroduits pour une nouvelle itération de l'apprentissage.

- Le contrôle extérieur.

Le contrôle extérieur joue le rôle de l'évaluateur externe: l'oracle. Ce rôle est de la responsabilité des utilisateurs, des experts.

2.3. Apprentissage par la généralisation d'exemples

La généralisation à partir d'exemples est un mécanisme d'acquisition de connaissances. L'objectif est la description (représentation et "intention") d'un concept à partir d'exemples de concepts (représentation et "extension").

Dans [BELL92] « "généraliser" consiste à rechercher des caractérisations d'ensembles d'observations ("instances", "exemples"), appelés "concept", ayant un lien de parenté sémantique, qu'on peut appeler la propriété du concept. »

L'auteur y distingue deux grands types de méthodes de généralisation:

« - Le type SBL (Similarity-Based-Learning), ou "empirique" qui consiste à caractériser les instances suivant un critère de ressemblance syntaxique.

- Le type EBL (Explanation-Based-Learning), ou "analytique", qui, à partir d'une seule instance I et de connaissance de la propriété P du concept, construisent comme généralisation de I la classe des instances qui vérifient P pour les "mêmes raisons que I". » C'est à dire, la production d'exemples à partir d'un seul, sur la base d'un ensemble de relations données de parentés sémantiques .

Les mécanismes de généralisation font appel essentiellement à des raisonnements basés sur la recherche de classe et de similitudes. L'analogie est un des grands types de raisonnement avec la déduction et l'induction. Dans le domaine de l'intelligence artificielle on parlera "d'analogie-heuristique" lorsque ce raisonnement est employé pour assister d'autres types de raisonnement et "d'analogie-recours" lorsqu'il se substitue à d'autre raisonnements (Cf. [COUL90]). Le raisonnement par analogie exploite des relations de correspondances et des relations de dépendances afin de transposer des connaissances d'un univers à un autre. Dans

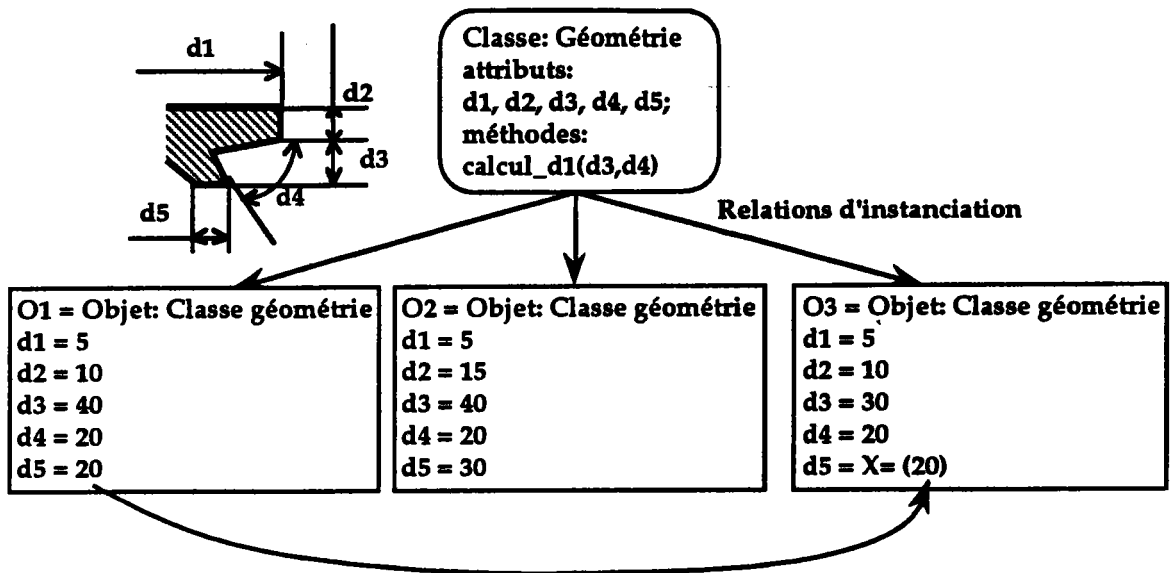
[COUL90] est décrit un modèle de raisonnement par analogie qui met en oeuvre les notions de ressemblance, de dépendance et d'analogie sur une description orientée objet des connaissances. Les langages orientés objets permettent une mise en oeuvre aisée de la description de dépendance et la limitation des combinatoires (préconception). Le mécanisme de généralisation revient à chercher la similarité entre des objets ou des configurations d'objets exprimant des concepts d'abstraction supérieur. La similarité est définie de la manière suivante: deux instances sont similaires si elles sont égales ou si il existe une généralisation commune cohérente les qualifiant. Les critères de similarité peuvent être l'équivalence entre deux définitions de relation ou l'équivalence entre deux structures d'instances (objets). Deux objets possèdent une généralisation commune si ils sont instances de classes qui héritent d'une même classe générique ou si ils ont au moins une relation commune instanciée similaire. Deux relations instanciées sont similaires s'il existe dans l'une des relations au moins un objet similaire à un objet de l'autre relation.

Ici les mécanismes d'analogie sont dédiés à la recherche de concepts similaires décrits par des définitions orientées objets. L'analogie est utilisée comme une heuristique de la généralisation. L'analogie est bien supportée par le domaine très déterministe et bien structuré des définitions objets.

L'analogie peut être destinée à l'acquisition de nouvelles connaissances comme dans l'exemple d'application décrite dans [COUL90]. L'acquisition de connaissances y est définie par l'apprentissage à partir d'exemples, de dépendances. Une dépendance désigne une relation de déduction d'un concept à partir d'un autre concept (si A alors B). Les connaissances sont toujours exprimées dans des langages orientés objets à héritages multiples.

L'analogie est employée ici pour compléter des descriptions partielles de problèmes dans le cas où une déduction classique a échoué (analogie-recours). Les phases de généralisation utilisent la logique majoritaire.

Nous symbolisons cette méthode sur la figure suivante:



(figure 7: Acquisition de connaissances par mécanisme d'analogie)

Nous avons sur cette figure deux objets déterminés O1 et O2 et un troisième pour lequel il est nécessaire de déterminer l'attribut d5 qui n'est attaché à aucune relation de dépendance directe ou inférée. Le mécanisme d'apprentissage a le rôle ici de sélectionner l'objet O1 ou O2 ayant la définition la plus similaire à celle de O3 et d'affecter la valeur de l'attribut d5 de l'objet choisi, ici O1 (car il a le plus d'attributs de la même valeur en commun), à O3 → d5. Nous avons considéré ici un exemple où les objets sont instanciés de la même classe, mais il est possible de traiter différents degrés de précision de raffinement à tous les niveaux d'abstraction informationnelle. L'exemple que nous avons choisi prélude à ce que pourra être une contribution de ce type de mécanisme pour notre modèle.

Ce type de mécanisme par le fait qu'il "prend des initiatives" qui devront être validées par un oracle amène un certain dynamisme intéressant pour la mise en oeuvre de mécanismes d'apprentissage.

Les processus de classification généralisante peuvent solliciter des méthodes symboliques-numériques comme celle exposée dans [BISSO92]. Cette méthode prend en compte des ensembles d'exemples et de contre-exemples, ainsi qu'une théorie du domaine comprenant à la fois des connaissances déclaratives et procédurales. Le langage de représentation utilisé est dérivé de la logique des prédicats. La généralisation est effectuée en trois étapes:

1 - La généralisation par déduction de nouvelles informations à partir d'exemples et de la théorie du domaine.

2 - La généralisation des exemples à l'aide d'une mesure de similarité numérique qui guide les choix d'appariements.

3 - L'utilisation de contre-exemples pour "surgénéraliser" la généralisation précédemment obtenue.

Les difficultés se situent aux niveaux:

- du manque de collaboration entre les différentes tâches de ces trois étapes,
- de la création de "généraliser" (expression logique de prédicats) pouvant contenir beaucoup de littéraux amenant une incompréhensibilité pour l'utilisateur,
- des difficultés de mettre en oeuvre des heuristiques sur ce type de représentation.

Ici le numérique intervient dans les processus de mesure de similarité entre concepts (Cf. [PRADE90]) . Dans [BOUC90B] sont décrits de façon plus accentuée les points communs entre l'analyse numérique et l'apprentissage, et des méthodes basées sur le symbolisme et le numérique pour l'apprentissage y sont présentées. Nous avons vu précédemment des mécanismes d'analogie basés sur des méthodes de classification symbolique, mais que d'une certaine manière il serait possible de traiter à l'aide d'approches de l'analyse de données. Cela peut même devenir très pertinent lorsque le nombre d'informations plus ou moins numériques ou symboliques calculables se trouve être important. Nous pouvons imaginer un cas d'application qui serait similaire à l'exemple de la figure 7 page 29: Acquisition de connaissances par mécanisme d'analogie, où l'on traiterait des géométries dont la définition comporterait un nombre important de paramètres (des surfaces par exemples) et que l'on devrait alors travailler avec un grand nombre de ces paramètres pour rechercher des relations de généralisation.

L'apprentissage et l'analyse de données traitent des problèmes comme la combinatoire, la logique mathématique, les critères numériques, les méthodes de validation croisée (statistique). L'apprentissage numérique peut devenir indispensable lorsqu'il s'agit de traiter des problèmes dans lesquels les données sont imparfaites, ou "bruitées". Et l'apprentissage symbolique-numérique utilise des mesures quantitatives et des critères numériques.

Il existe deux types de méthodes symboliques-numériques:

- Des méthodes qui exécutent des traitements d'analyse de données, puis exécutent à posteriori la phase d'explication qui en est la partie symbolique.

- D'autres méthodes impliquent les deux genres de processus. On peut prendre l'exemple de la classification où l'on exécute une méthode ascendante hiérarchique dans son entier, et une fois la hiérarchie de partitions réalisée, on généralise chacune de ses classes.

A travers l'expression de ce dernier type de méthode on peut faire un rapprochement avec les caractéristiques des connaissances de conception telles que nous les décrivons dans nos modèles cognitifs.

2.4. Méthodes d'apprentissage pour la C.A.O.

Dans [GAR90] sont exposées des définitions génériques de méthodes d'apprentissage pour la conception assistée par ordinateur. Ces définitions s'appuient sur les théories des langages orientés objets.

L'approche générale de l'apprentissage est ici la construction implicite (transparente aux utilisateurs) à partir d'éléments (géométriques, ensembles d'entités graphiques paramétrées ou non) construits par un utilisateur, d'une primitive de représentation, d'un objet générique, ou d'une classe (dans les sens représentation orientée objet).

Nous rapportons ici les différents processus d'apprentissage et les méthodes impliquées:

- La création de familles paramétrées de pièces.

Le processus de création de familles paramétrées de pièces consiste à partir d'un ensemble d'objets représentant des pièces paramétrées de créer des classes généralisantes. Pour cela il est nécessaire de créer des familles de pièces à l'aide de techniques de classement de type "Pattern-matching" (filtrage sur les attributs ou sur les liens des objets) et de construire des définitions de classe de celles-ci.

- La création de familles structurées de pièces.

Le processus de création de familles structurées de pièces consiste à généraliser des assemblages de composants à partir d'ensembles d'assemblages (on ne tient pas compte ici des relations topologiques mais seulement des liens de composition). Les méthodes sont ici du type "Structural-matching" et peuvent utiliser des techniques:

- purement déductives comme pour la démonstration de théorèmes.
- symboliques ou d'appariement de structures qui mixent induction et déduction.

- purement inductives d'extractions des caractéristiques représentatives.

Ces techniques peuvent être mises en oeuvre soit sur des ensembles d'objets pour la production de classes, soit sur des ensembles de classes pour produire des super-classes ou méta-classes.

Les algorithmes intégrés sont ici soit du type "Data-driven", dirigé par les données; soit du type "Model-driven" dirigé par le modèle.

- La création de familles étendues de pièces.

Une famille étendue de pièces est définie par un ensemble de contraintes destinées à des ensembles différents de pièces. Les méthodes employées ici sont les mêmes que pour le processus de création de familles structurées de pièces et introduisent aussi les possibilités d'exploiter les dialogues homme-machine.

- La création du prototype d'une pièce.

Le processus de création du prototype d'une pièce est assimilé à la sélection d'un exemple de pièces dans un ensemble pour construire une classe prototype.

Les méthodes utilisables sont inspirées de l'analyse de données (calcul des distances entre objets), d'algorithmes classiques exploitant des arbres de décision, ou d'algorithmes analytiques basés sur des heuristiques.

2.5. Conclusion

Nous avons traité dans cette partie les modèles d'apprentissage symbolique qui concernent l'étude des comportements et des processus de raisonnement mis en jeu durant l'acquisition et l'enrichissement des connaissances.

Bien que notre étude de l'apprentissage se situe dans le domaine des sciences cognitives, nous étudions quelques types de méthodes d'apprentissage numérique en vue de leur contribution dans nos travaux.

L'apprentissage est peu abordé dans les domaines de la conception technologique malgré quelques réflexions sur son intégration.

Les systèmes d'apprentissages peuvent être décrits par rapport aux types de leurs comportements caractérisés par :

- Leurs méthodes de généralisation.
- Leurs mécanismes de préconception.
- Leur prise en compte des connaissances du domaine traité.

- Leurs mécanismes d'incrémentalité.
- Leurs modes d'évaluation.
- Leurs mécanismes de rétroaction.
- Leur mode de contrôle extérieur.

La généralisation est le mécanisme fondamental de l'apprentissage qui permet, comme la définition générale de l'apprentissage l'indique, un enrichissement de la connaissance à partir de l'accumulation de l'expérience. La généralisation repose actuellement sur des mécanismes d'analogie, d'acquisition de connaissances qui peuvent utiliser des mécanismes de calcul numérique.

Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage symbolique se situent à deux niveaux:

- L'invention de descripteurs

Les capacités inventives des procédures d'apprentissage sont étroitement circonscrites par le langage de description dans lequel sont donnés initialement les exemples et les connaissances.

- L'incrémentalité

Cela est lié aux problèmes de la non-monotonie (convergence) dans les modèles de raisonnements de l'intelligence artificielle et aux problèmes de l'accumulation non contrôlée. Remarquons que l'approche connexionniste propose à son niveau des solutions à ces types de problèmes (Cf [DEHAE89], [GELE89]).

Des travaux rapportés dans [BARB90] mettent l'accent sur les capacités d'explication des systèmes d'apprentissage pour la performance des évolutions de base de connaissances.

La généralisation est entrevue aussi comme le facteur principal de contribution pour l'apprentissage appliqué aux systèmes de C.A.O.. Les méthodes d'apprentissage pourraient dans ce contexte, être sollicitées par exemple pour:

- La création de familles paramétrées de pièces.
- La création de familles structurées de pièces.
- La création de familles étendues de pièces.
- La création de prototypes de pièces.

Cela dans le but de réutiliser "les savoirs engendrés" par la C.A.O.

Les difficultés d'intégration des capacités d'apprentissage dans les systèmes de C.A.O. énoncées dans [GAR90] se situent au niveau de la sollicitation des

technologies objets. L'utilisation d'un modèle objet implique une conception descendante, c'est à dire qu'à partir d'un ensemble de classes génériques le système produit des instances, des objets représentant un résultat final particulier. Alors que l'apprentissage implique des mécanismes de généralisation. Cela sous-entend un fonctionnement asynchrone des deux modes de fonctionnement: la conception et l'apprentissage.

Nous montrons à travers notre étude que ce type d'approche objet utilisé dans certains systèmes de conception à base de connaissances propose une définition réductrice par rapport aux processus de conception qui peuvent inclure des processus aussi bien descendants ou ascendants. De plus nous pensons que l'apprentissage doit voir sa définition élargie dans le contexte des activités de conception, par exemple au niveau de l'acquisition de connaissances qu'il est nécessaire quelquefois d'isoler des processus de généralisation. Un facteur important de la performance des techniques de généralisation est le choix de leurs stratégies en fonction du contexte d'exploitation. Nous pensons que dans la recherche d'un modèle d'apprentissage pour le domaine de la conception il ne faut pas "figer" ces stratégies, ce qui pourrait entraîner une certaine convergence des "généralisées" et "stériliser" les productions de solutions (Résolution de problèmes de conception, production de nouveaux exemples). La réutilisation de l'expérience pour la conception de nouveaux produits avec l'apport de nouvelles connaissances implique naturellement des réflexes de généralisation à partir de mécanismes de spécialisation (acquisition de connaissances par la production d'informations et élargissant la panoplie de l'expérience). L'apprentissage ne doit pas se limiter à une généralisation ou un stockage holographique (Cf. [PEREZ89]) de grandes masses d'informations ou de connaissances, mais il doit engendrer une évolution de l'expérience. Dans le contexte de la conception il est important de prendre en compte les processus de raisonnement qui s'apprennent et font partie de l'expérience.

Nous pensons que l'évolution de l'apprentissage n'est pas seulement liée aux évolutions des techniques informatiques, mais aussi à la modélisation des processus de conception. Nous citons comme indicateur, la dualité qui existe entre les vues: d'assemblage de pièces (lien matériel) et de conception fonctionnelle (relations comportementales).

Nous soulignons aussi l'importance des modes d'utilisation ou d'intégration des systèmes de conception à bases de connaissances, liés aux

différents modèles de représentations, aux caractéristiques de leurs langages et des protocoles de communication proposés aux concepteurs.

Les méthodes d'apprentissage auxquelles nous faisons référence ici nous semblent intéressantes en vue de leurs contributions à une modélisation des connaissances de conception car nous sommes persuadés que la capacité d'apprentissage est un élément fondamental pour ce type de modèle.

CHAPITRE II: ANALYSE

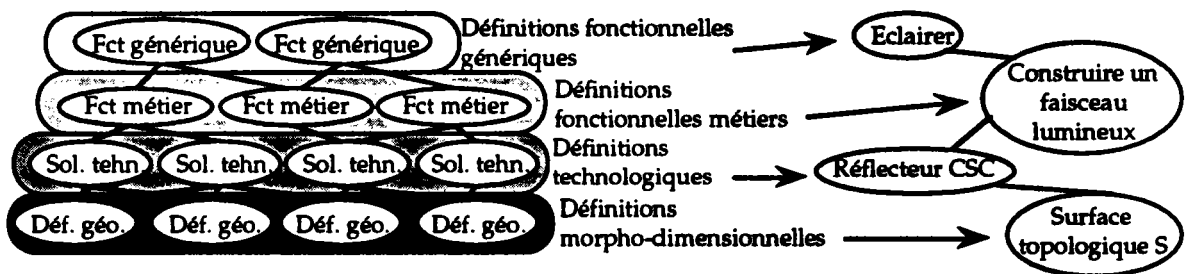
1. Introduction

Dans notre étude bibliographique, nous avons situé l'évolution des modèles formels exploités dans les domaines de la conception d'objets technologiques et de l'apprentissage symbolique.

Ce chapitre, qui entame la description des résultats de nos travaux, concerne l'étude des comportements des concepteurs. Il débute par la présentation de notre démarche d'analyse des comportements des concepteurs. Nous y définissons l'environnement étudié et la chronologie des phases d'appréhension de ses activités.

Ensuite nous présentons un schéma nous permettant de décrire les connaissances et les comportements des concepteurs.

Nous présentons d'abord un schéma représentant l'organisation des modèles cognitifs. Ce schéma propose une organisation qui repose sur des règles de classification (Cf. [PUN84]), de hiérarchisation et d'abstraction de ces concepts que nous nommons des objets cognitifs et que nous avons isolés lors de nos analyses des activités de conception. Un objet cognitif est un ensemble de connaissances dont la propriété est la définition d'un concept mental (ex: L'intitulé et la définition d'une fonction).



(figure 29: Classification hiérarchique des modèles cognitifs.)

Comme nous le représentons sur la figure précédente, la structure du schéma de base est composée des quatre types de modèle suivants:

- 1 - Les définitions fonctionnelles génériques.
- 2 - Les définitions fonctionnelles métiers.
- 3 - Les définitions technologiques.
- 4 - Les définitions morpho-dimensionnelles.

Ce classement hiérarchique définit les niveaux d'abstraction et de généralisation des différents ensembles de modèles cognitifs.

A partir de ce schéma de base lié à une collectivité de concepteurs et à un seul objet technologique nous avons produit quatre autres schémas:

1 - Un schéma plus général intégrant les modèles cognitifs de plusieurs objets technologiques que nous avons désigné "schéma de mémoire technologique", élément fondamental de l'expérience de conception.

2 - Un schéma augmentant le degré de généralité organisant les modèles concernant plusieurs objets technologiques appartenant au même système global et que nous désignons "schéma d'abstraction granulaire" (Exemple: Les modèles de définition d'un véhicule automobile sont plus généraux que les modèles de définition de son moteur et ainsi de suite).

3 - Un "schéma d'assemblage" qui représente une vue spécialisée du schéma d'abstraction granulaire duquel on isole les objets cognitifs appartenant à une même classe et que nous organisons de sorte qu'ils définissent un assemblage (Exemple: Assemblage de fonctions, de solutions technologiques ou de géométries).

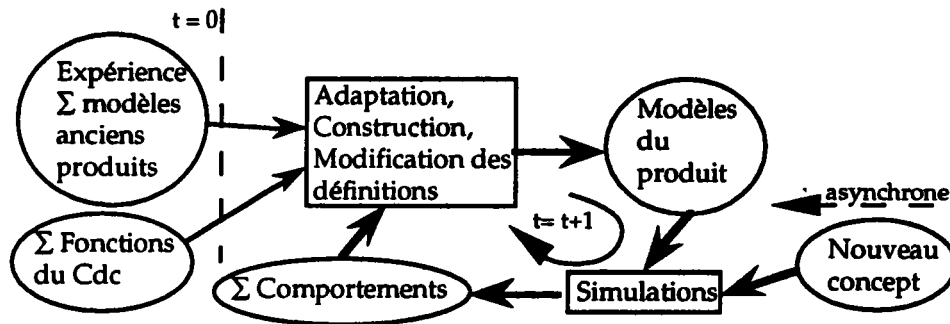
4 - Un "schéma d'abstraction informationnelle" qui met en évidence et structure les différents degrés de précision de la définition des modèles cognitifs (Le nom d'une fonction est plus général que les termes utilisés pour sa description).

A partir des schémas 1, 2 et 4 nous définissons un espace considérant ces trois axes d'abstraction qui permet de situer la structure et l'évolution de notre schéma des modèles cognitifs suivant les différents points de vue des concepteurs.

Nous avons isolé dans la communauté des concepteurs deux types de connaissances: générales et spécialisées. Nous caractérisons un concepteur d'expert lorsqu'il possède des connaissances propres aux objets qu'il conçoit, des connaissances des domaines théoriques qui s'y rattache et des capacités intelligentes comme l'analyse et l'invention.

Une fois les structures statiques de nos schémas posées, nous décrivons les mécanismes qui permettent de les construire et qui représentent la dynamique des raisonnements de conception.

Nous symbolisons globalement les processus de raisonnement à l'aide du cycle de conception présenté sur la figure suivante:



(figure 30: Cycle de l'invention à la conception)

La dynamique de ce cycle fait appel à des mécanismes intellectuels tels que:

- l'assimilation d'ensembles de concepts;
- le passage d'un niveau d'abstraction à un autre qui concerne les classes de modèles cognitifs et leur degré de précision informationnelle;
- l'exploitation de l'expérience pour les choix, les décisions, les déterminations d'informations afin d'assister des raisonnements qui peuvent être longs ou au contraire réflexes.

2. Démarche d'analyse

Afin de construire un schéma décrivant l'organisation et la dynamique des représentations mentales des concepteurs, nous avons isolé l'ensemble des connaissances et les processus de raisonnement mis en jeu durant leurs activités de définition d'un objet technologique. Nous décrivons ici quelle a été notre démarche d'observation et d'analyse des comportements de la population d'un bureau d'études et de développement de produits. Nous précisons que notre objectif n'est pas de chercher les sources et les raisons fondamentales de ces comportements.

Pour nos analyses nous nous sommes appuyés sur quatre types de documents:

- Les documents qui traitent essentiellement le sujet des connaissances de conception technologique sont peu nombreux, on peut citer [MILCH83], [VIGOU92] et [LASS93], lesquels nous ont fourni un état de l'art général du domaine.

- Les documents traitant le sujet des modèles de conception, souvent dans le cadre de l'étude d'un système de C.A.O., sont plus orientés vers la modélisation des produits que vers les connaissances de conception. Les connaissances des concepteurs intégrées à ces modèles se limitent aux informations de construction des définitions géométriques (automatisation des processus, détermination de paramètres). Nous pouvons citer: [DAH90], [DUP91], [GAR88], [GAR90], [MOR89]... qui nous ont permis de faire le point sur l'intégration des supports de connaissances dans les outils d'aide à la conception.

- Les documents traitant des sujets du domaine général des sciences cognitives qui s'attachent aux études des raisonnements, des connaissances et des comportements de l'homme. C'est dans ce type de document que nous avons puisé le plus de références contribuant à nos analyses.

- Les documents traitant les méthodes d'analyses cognitives tels que: "Metodac: une méthodologie pour l'acquisition et la modélisation des connaissances" (Cf. [COMP91]) ou "Au centre des méthodes: une théorie conceptuelle" (Cf. [FROG91]).

2.1. Définition de la population de l'environnement de conception

Nous avons effectué nos travaux au centre d'étude et de recherche (Voir annexe & C.E.R.) de la division Eclairage du groupe Valeo. Les activités du C.E.R se concentrent autour de la conception de projecteurs de véhicule automobile.

L'étude des processus de conception de ce type de produit est intéressante par le fait qu'il soit lié aux différents domaines de la mécanique, de la physique (dynamique, statique, optique, physique des matériaux) et de l'esthétique (style). La complexité de ces produits est essentiellement déterminée par l'implication et la collaboration de ces domaines variés, dont les théories exploitées sont assez bien maîtrisées.

Nous énumérons dans les tableaux suivants, les différents services et fonctions les composant et intervenant dans la définition des produits.

Service commercial

Les activités du service commercial sont centrées sur les relations avec les clients.

- Ingénieur commercial:

- Rapports commerciaux avec les clients
- Élaboration des cahiers des charges
- Établissement des contraintes économiques

Bureau d'études

La définition mécanique des produits est effectuée au bureau d'études

- Ingénieur d'étude:

- Supervision des études
- Conception fonctionnelle
- Définition technologique générique
- Validation
- Traitement des modifications
- Recherche de solutions nouvelles
- Contact technico-commercial avec les clients

- Chef de groupe:

- Supervision des équipes de projeteurs
- Conception fonctionnelle
- Définition technologique
- Traitement des modifications
- Recherche de solutions nouvelles
- Contact technique avec les clients

- Projeteur:

- Définition morpho-dimensionnelle de produits

Laboratoire optique

Le laboratoire optique est chargé de la définition optique des projecteurs

- Ingénieur d'étude:

- Définition optique
- Validation
- Recherche de nouvelles solutions

- Technicien:

- Expériences, tests, mesures, essais
- Définition optique

Laboratoire physico-chimie matériaux fiabilité

Les activités de ce laboratoire sont centrées autour de la validation technologique des définitions des produits et sur l'étude de leur fiabilité.

- Ingénieur:

- Analyse des produits
- Étude de fiabilité
- Recherche de solutions technologiques

- Technicien:

- Essais
- Analyses

Service prototypes

Le service prototypes est chargé de fabriquer les premiers produits prototypes suivant les premières définitions émises.

- Technicien:

- Fabrication

Service Qualité

Ce service traite les problèmes de qualité liés aux produits

- Ingénieurs

- Analyse fonctionnelle des produits
- Étude qualité
- Analyse des process (procédures)

Nous pouvons regrouper les concepteurs suivant trois classes:

- Les spécialistes par type de constructeur automobile.

Il existe des groupes de concepteurs qui sont spécialisés dans l'étude des produits d'un même client. On retrouve dans chaque service des équipes organisées par type de constructeur (Renault, Peugeot...). Dû aux faits suivants:

- L'ensemble des clients de Valeo Eclairage est relativement stable, c'est à dire que l'on y retrouve toujours les mêmes constructeurs de véhicules automobiles.

- Les cahiers des charges généraux par constructeur sont similaires (normes, spécifications fonctionnelles génériques).
- Chaque constructeur a ses habitudes et procédures de développement

- Les équipes de projet.

Les études de définitions des produits sont organisées autour d'équipes de projet composées:

- d'un chef de projet qui gère le déroulement de l'étude, des plannings, décide des orientations technologiques et économiques.

- de contributeurs qui représentent chaque service du C.E.R. (et les services des usines de production). Suivant leur fonction, ils sont chargés de la réalisation de certaines phases des plannings.

On retrouve ici la spécialisation par type de constructeur au niveau des équipes de projet (équipe PSA, RNUR...).

- L'équipe standardisation.

L'équipe standardisation est composée de concepteurs des différents services qui interviennent à un moment ou un autre dans la définition de composants standard.

2.2. Protocole d'analyse

Notre position dans le service "informatique technique - C.A.O." nous a permis d'intervenir dans des situations réelles de travail des concepteurs et ainsi, d'exploiter ces situations pour nos analyses. En effet, les concepteurs se trouvent souvent devant des besoins d'automatisation de tâches et de la gestion des informations qu'ils exploitent, et ce type de problème faisant appel à des modélisations formelles à intégrer sur des supports informatiques, nous nous sommes impliqués dans les travaux en relation avec les processus de conception.

Une des fonctions du service informatique technique étant le support des utilisateurs, nous avons pu intervenir auprès de ceux-ci lorsqu'ils étaient confrontés à des problèmes d'exploitations des divers outils de conception et ainsi acquérir des informations sur leurs besoins, leurs raisonnements, leurs comportements. Cela a contribué à la performance de notre démarche d'analyse que nous avons décomposé en plusieurs phases:

Phase 1 - La prise de connaissance de l'environnement du C.E.R..

Afin d'intégrer le milieu des activités de conception, nous avons procédé à une première série d'interviews. Cela nous a permis de comprendre l'organisation du C.E.R., de situer les différentes fonctions, les différents types de concepteurs et leurs activités.

Phase 2 - Analyse du produit.

Nous avons analysé le produit pour acquérir des connaissances sur ses technologies, sur ses fonctionnalités et ainsi maîtriser le langage technique qui lui est attaché. L'objectif était de préparer et faciliter les dialogues avec les concepteurs.

Phase 3 - Analyse des flux et des processus.

Afin d'établir un descriptif des flux d'informations et des processus (Cf. [QUENC91]) que nous avons exploité dans la suite de nos analyses, nous avons procédé à une deuxième série d'interviews des personnes représentatives des différents services, des différentes fonctions, par type d'expérience ou "d'ancienneté". Les sujets traités étaient:

- la définition de leurs activités, leurs plannings, les informations qu'ils reçoivent, qu'ils exploitent, qu'ils distribuent et leurs interlocuteurs;
- leurs perceptions du produit suivant différents points de vue: Fonctionnels, technologiques;
- leurs perceptions de la conception, de leurs activités;
- leurs visions des outils qu'ils utilisent;

Phase 4 - Analyse des comportements des concepteurs.

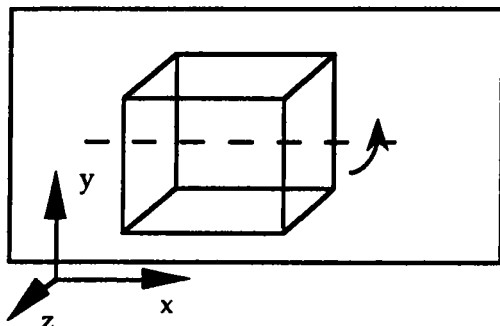
Nous avons participé à des séances expérimentales d'études fonctionnelles organisées sur le site du bureau d'études de Valeo. Notre objectif était d'analyser et de décrire les comportements des concepteurs durant leur travail.

Il s'agissait de réunir un ensemble de concepteurs (ingénieurs, techniciens, projeteurs) intervenant habituellement à des niveaux différents de la définition d'un produit pour une séance de réflexion dont le sujet était la recherche de solutions pour le réglage de l'assiette d'un produit optique.

Participaient aussi à cette réunion, une personne chargée de l'animation et nous même comme personne vierge de toute expérience du métier, mais possédant la culture du langage technologique.

Le protocole de l'expérience était le suivant:

- L'animateur présente le sujet à l'aide d'un schéma et d'un énoncé:



Le but est de trouver des solutions technologiques pour maîtriser la rotation suivant un axe colinéaire au vecteur unitaire $(1,0,0)$, d'un cube par rapport à un plan de vecteur normal $(0,0,1)$.

Chaque personne a à sa disposition des feuilles blanches et un stylo, et exprime ses idées à l'aide de schémas. Chacun est invité à formuler plusieurs solutions et travaille individuellement. L'animateur, après un temps de réflexion suffisant demande aux personnes d'exprimer leurs idées sur un tableau.

Cette expérience s'est avérée être un référentiel d'analyse très riche. Elle nous a permis de travailler sur différents aspects de la cognitive de la résolution de problèmes de conception (Cf. [BLAN78]). Le sujet donnait une définition fonctionnelle du système à étudier en éliminant les contraintes technologiques. L'énoncé du problème était formulé à l'aide du langage de la géométrie et de la mécanique, deux domaines fournissant des modèles théoriques généraux.

Dans la plupart des cas, les concepteurs n'ont pas fait abstraction du domaine de la technologie des optiques et ont projeté le problème en assimilant le cube et le plan respectivement à un bloc-optique et à la carrosserie d'un véhicule. Leurs solutions s'approchaient de celles déjà existantes (Cf. [BLOC92], [LEC92]). Alors que seules quelques solutions se sont trouvées être originales par rapport à l'existant, celles que nous avons nous même, candides, proposées et que nous avons exploité avec les experts pour qu'ils expriment leurs opinions, leurs expériences.

5 - Premières exploitations des résultats.

Nous avons, après nos premiers travaux de modélisation exploité les premiers résultats pour développer des outils informatiques d'aide à la conception, et pour les introduire dans les processus de conception. Ces outils sont:

- Un système informatique d'aide à l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets et de la criticité (SI-AMDEC). Ce système est basé sur la méthode AMDEC d'analyse des produits technologiques (Cf. [GEN91], [VIGIE91]).
- Un générateur de nomenclatures prévisionnelles que nous avons développé sur les bases d'une modélisation de conception fonctionnelle.
- Un questionnaire interactif dédié à la collecte d'informations pour l'établissement des cahiers des charges et des chiffrages économiques.

Ces développements informatiques s'appuient sur des modèles de base de données et sur l'approche fonctionnelle du modèle que nous proposons dans ce mémoire. Ils nous ont permis de valider un ensemble de résultats de nos travaux et d'initialiser un stockage organisé d'informations de conception.

3. Définition d'un schéma des modèles cognitifs

L'objectif est de présenter un schéma permettant de décrire les connaissances, les raisonnements en relation avec les comportements d'un individu, ou d'un ensemble d'individus dans les situations de conception d'un objet technologique. Nous nommons "modèle cognitif" ou "objet cognitif" un ensemble de connaissances dont la propriété est la définition d'un concept mental.

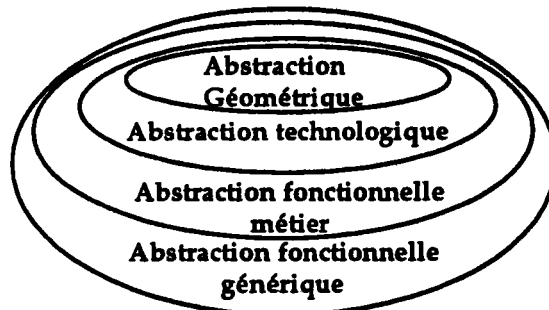
Nous exposons un schéma représentant l'organisation par niveau d'abstraction, des modèles cognitifs ou des concepts mentaux des concepteurs liés à la définition d'un seul objet technologique.

A partir de ce schéma de base nous déduisons quatre autres schémas afin de définir un espace d'abstractions, celui-ci nous permettant de situer les différents types de connaissances des concepteurs.

Ensuite nous décrivons les mécanismes de raisonnement sollicités pendant le travail de conception et mettons alors en avant, le rôle fondamental de l'expérience.

3.1. Niveaux d'abstraction

Avant d'exposer les caractéristiques dynamiques des raisonnements de conception, nous isolons quatre "grands" niveaux d'abstractions intellectuelles correspondants aux représentations internes d'un objet technologique des concepteurs.



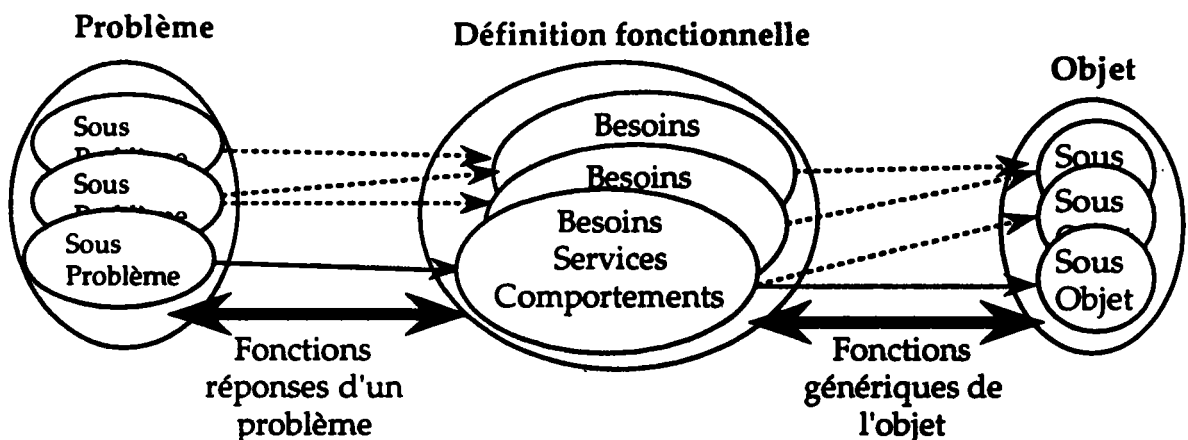
(figure 8: Niveaux d'abstractions.)

Sur la figure 8: "Niveaux d'abstraction" nous situons ces différents niveaux d'abstraction:

- Niveau 1: Les définitions fonctionnelles génériques

Le premier niveau est composé des définitions fonctionnelles génériques.

Elles représentent à la fois les abstractions résolvantes d'un problème, et les abstractions comportementales de l'objet à concevoir. Nous pouvons alors distinguer deux types de perception de l'ensemble des fonctions:



(figure 9: Les différents points de vue des définitions fonctionnelles)

a - Les fonctions réponses d'un problème.

Nous considérons un problème comme système abstrait en état de déséquilibre à remettre dans un état stable ou relativement harmonieux.

Un problème peut se formuler à l'aide de besoins correspondant à des services, eux-mêmes correspondant à des comportements.

Exemples:

- Le problème: « Je suis à un endroit et je désire être à un autre endroit »
- Un besoin: « Etre à un autre endroit »
- Un service: « Un transport »
- Un comportement: « Le déplacement dynamique. »

b - Les fonctions génériques de l'objet. Où l'objet est décrit d'un point de vue externe à son entité physique à l'aide de ses comportements matérialisant des services qui eux-mêmes répondent à des besoins. Ici les objets sont des produits technologiques correspondant à la définition de [SCHN91] citée précédemment page 6.

Exemples:

- Un objet: Une voiture.
- Un comportement: « se déplace »
- Un service: « transporter »
- Un besoin: « Etre à un autre endroit »

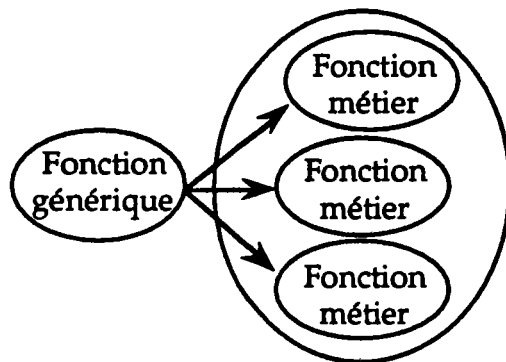
L'ensemble des concepteurs raisonne avec ce niveau de perception générique. Celle-ci joue le rôle de l'essence origine de la conception et ainsi lui fournit des définitions de référence comme objectif à atteindre. Leur caractère très symbolique et générique - ce qui fait que le nombre d'informations atomiques est faible - ne monopolise que peu de capacités de mémoire et donc fait que ces définitions fonctionnelles "restent toujours à l'esprit" des concepteurs durant leurs activités d'étude. Même si ces représentations ne sont pas totalement identiques ou exprimées de la même manière suivant les individus. En effet, on remarque qu'un concepteur, responsable des relations avec l'utilisateur de l'objet, formulera plus facilement les spécifications fonctionnelles qu'un autre concepteur responsable lui, de la numérisation de la géométrie de l'objet. Cela est dû, pour ce dernier, au caractère de spécialisation de ses propres abstractions.

Ce niveau d'abstraction mentale est partagé au-delà des environnements de conception par la communauté des non-concepteurs: les différents utilisateurs qui, à l'aide de ce type de représentation, expriment et communiquent leurs exigences en langage naturel. Nous dirons alors, que

les définitions fonctionnelles génériques ont un rôle d'interface conceptuelle entre l'espace des utilisateurs et le monde de la conception.

- Niveau 2: Les définitions fonctionnelles métiers.

Nous avons vu qu'une fonction générique se rapporte à un ensemble de comportements. Ceux-ci sont généralement traduits par des fonctions qui se situent à un niveau d'abstraction plus proche de l'objet technique et dont l'expression est influencée par le métier du concepteur (mécanique, physique, électronique...). On dira qu'un ensemble de fonctions métiers contribue à la réalisation d'une fonction générique de service.



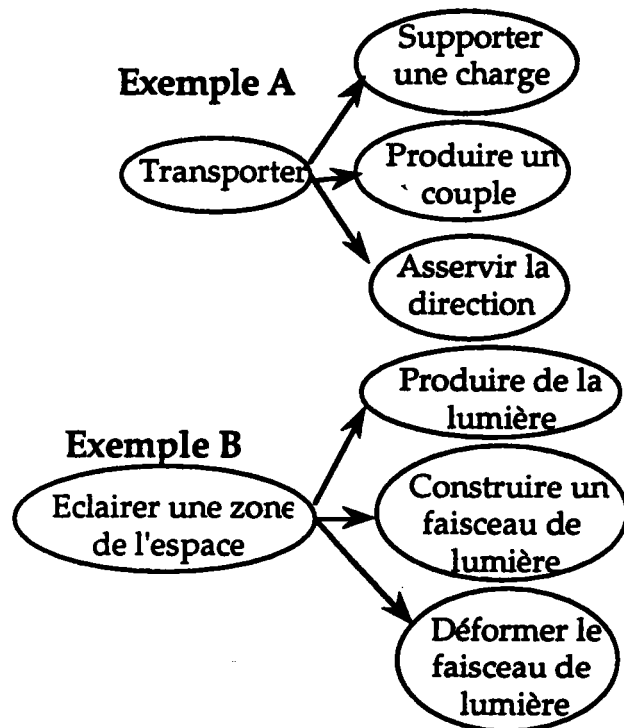
(figure 10: Définition fonctionnelle métier.)

Exemples:

Sur la figure ci-contre, nous représentons deux exemples de définitions fonctionnelles métiers:

Exemple A - Les fonctions métiers: "produire un couple", "asservir la direction", et "supporter une charge" contribuent à la fonction générique "transporter".

Exemple B - Les fonctions métiers: "produire de la lumière", "construire un faisceau de lumière" et "déformer le faisceau de lumière" contribuent à la fonction générique "Éclairer une zone de l'espace".



(figure 11: Exemple de fonctions métiers)

Nous caractérisons ce type de fonctions de l'adjectif "métier" car, comme nous le voyons apparaître dans nos exemples, leur expression ou leur définition sont dépendantes, de manière implicite, du domaine dans lequel elles sont traitées. Dans le cas de l'exemple A, on imagine que l'origine de la définition fonctionnelle métier est le domaine de l'industrie automobile. La définition serait différente dans le monde de la mécanique quantique où l'on parlerait de "téléportation" (Cf. [LOCH89]) des particules.

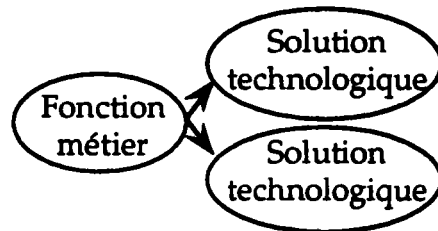
Le niveau d'abstraction de ces définitions concerne un ensemble d'informations plus vaste et plus proche de la définition physique de l'objet à concevoir. Les fonctions métiers formalisent l'espace des comportements de l'objet physique. Elles sont, comme les fonctions génériques, exprimées à l'aide du langage naturel, mais de manière plus détaillée à l'aide d'informations précises de type numérique, quantitatif ou qualitatif.

Exemple: Dans la description de la fonction "supporter une personne" (exemple B de la figure précédente) on pourra renseigner des intervalles de valeurs pour caractériser une personne (poids, taille). C'est à ce niveau que sont établis les cahiers des charges qui représentent les références techniques

de validation de la conception. Les acteurs sont ici les ingénieurs d'étude ou des "technico-commerciaux" qui raisonnent dans cet espace d'abstraction. Ce sont eux qui définissent et précisent l'ensemble des fonctions correspondantes aux fonctions génériques.

- Niveau 3: Les définitions technologiques

A chaque fonction métier correspondent une ou plusieurs solutions technologiques (Cf. figure 12: Les définitions technologiques.). Une solution technologique désigne un système d'un point de vue physique. C'est à ce niveau que l'on commence à préciser ou à percevoir une partie de l'objet dans son volume. Ici, Les concepteurs font des choix technologiques qui orientent la conception, ils possèdent une représentation globale interne de l'objet sous forme d'images mentales. Les définitions des solutions technologiques peuvent introduire des ensembles importants d'informations concernant les caractéristiques morpho-dimensionnelles des objets.



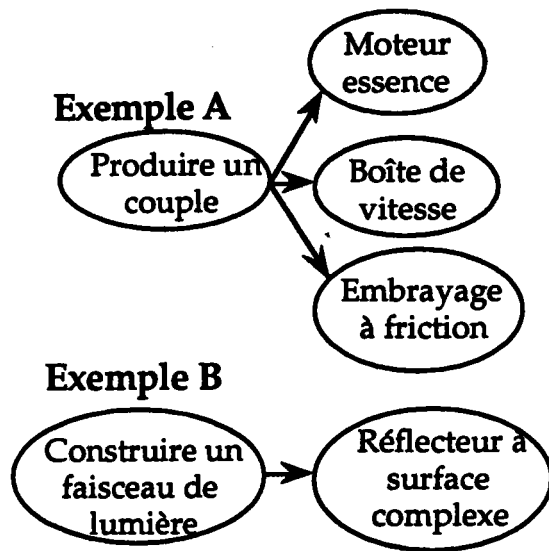
(figure 12: Définitions technologiques)

Exemples:

Sur cette figure, nous donnons deux exemples de correspondance entre des solutions technologiques et des fonctions métiers:

Exemple A - Pour remplir la fonction de "produire un couple" on utilisera les solutions technologiques: "moteur à essence", "boîte de vitesse", et "embrayage à friction".

Exemple B - Pour remplir la fonction "construire un faisceau de lumière" on pourra utiliser la solution technologique: "réflecteur à surface complexe".

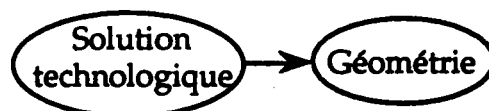


(figure 13: Exemples de définitions technologiques.)

Nous utilisons ici la relation "utiliser" qui connote le passage d'un niveau de définition fonctionnel à un niveau de définition matériel.

- Niveau 4: Les définitions morpho-dimensionnelles

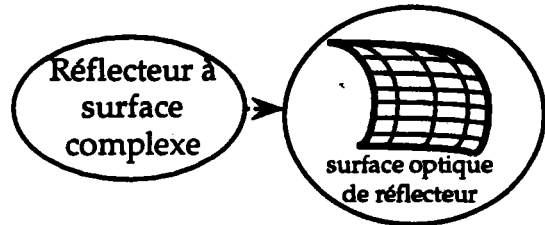
Les solutions technologiques amènent les concepteurs à avoir une représentation interne de la géométrie d'un objet. Cette représentation interne se précise dans la forme et dans les détails, soit lorsque le concepteur raisonne sur une petite partie de la géométrie, soit lorsqu'il reproduit cette image mentale à l'aide de schémas ou de dessins. Les définitions morpho-dimensionnelles sont représentées par l'ensemble de ces images mentales. Ici les représentations ne sont pas essentiellement dimensionnelles mais aussi physiques dans le sens où l'individu concepteur perçoit la masse et les inerties de l'objet. Ce type de perception mentale définit, chez les concepteurs, les relations entre les abstractions physiques et fonctionnelles.



(figure 14: Les définitions morpho-dimensionnelles.)

C'est à ce niveau d'abstraction que commence l'existence de l'objet en lui-même. A une solution technologique correspondent une ou plusieurs représentations volumiques d'une partie d'un objet.

Sur la figure ci contre la solution technologique: "réflecteur à surface complexe" correspond une géométrie spéciale de surface de réflexion d'un réflecteur optique.



(figure 15: Exemple de définitions morpho-dimensionnelles.)

3.2. Les caractéristiques des modèles cognitifs

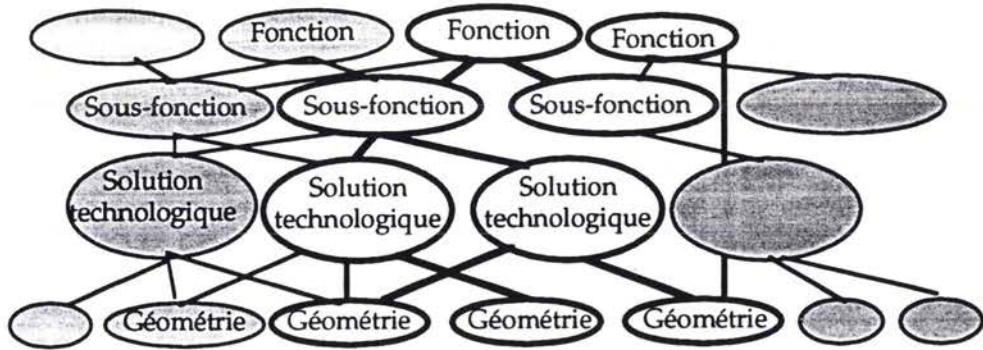
Le schéma d'organisation des différents niveaux d'abstraction que nous venons de développer représente les différents modèles de définition d'un seul produit résultat de processus de conception et cela d'un point de vue encore général. Nous donnons ici les extrapolations caractéristiques de ce schéma afin de montrer ses propriétés représentatives des connaissances de conception. Nous décrivons dans l'ordre:

- un schéma de mémoire du savoir-faire,
- un schéma d'abstraction granulaire,
- un schéma d'assemblage,
- un schéma d'abstractions informationnelles.

Ces schémas nous permettent de construire un référentiel des situations relatives des différentes abstractions que nous appelons espace d'abstraction.

- Schéma de mémoire du savoir-faire.

Les concepteurs qui ont une certaine ancienneté dans un bureau d'études ont eu l'occasion de travailler sur plusieurs projets - développement d'un produit - et donc d'enrichir ce que nous nommons: "leur mémoire du savoir-faire" (Cf. [TIBE92]). De plus ces concepteurs travaillent généralement sur les mêmes types de produits et à chaque nouvelle conception ils exploitent cette mémoire d'anciens modèles éprouvés afin d'en construire de nouveaux.

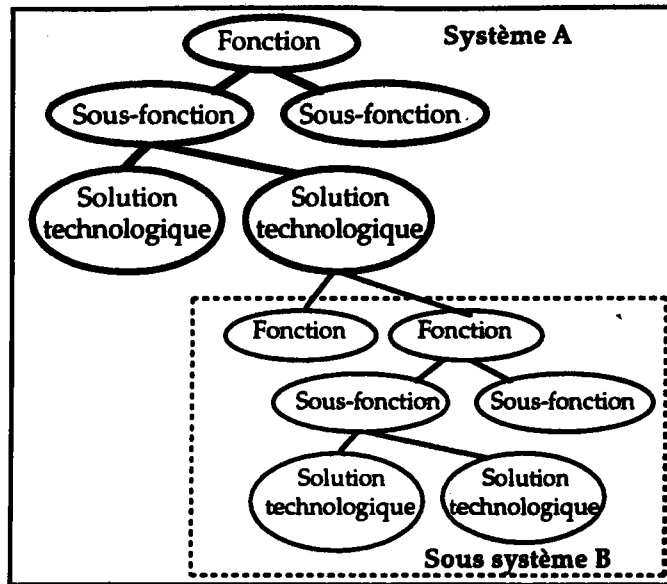


(figure 16: mémoire du savoir-faire.)

Nous symbolisons cela sur notre figure 16: mémoire du savoir-faire, où nous isolons - en clair - l'ensemble des modèles définissant un produit par rapport à l'ensemble des modèles - en gris - qui représentent la mémoire technologique du concepteur. Celui-ci détient une panoplie technologique dans laquelle il puisera lors de ses recherches de solution.

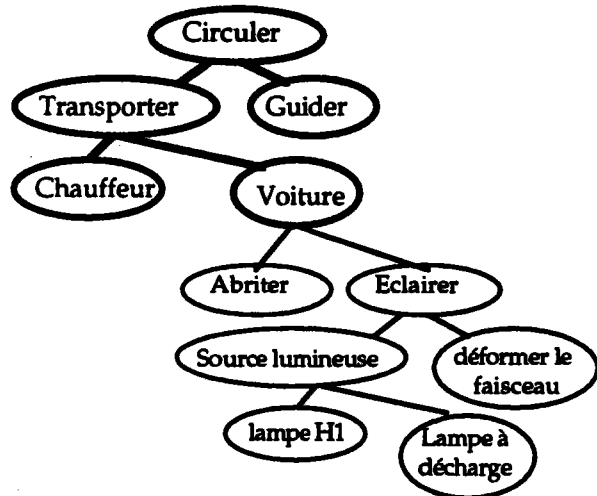
- Schéma d'abstraction granulaire.

Nous avons parlé jusqu'ici de niveau d'abstraction par rapport aux caractéristiques des différentes définitions d'un objet à concevoir, maintenant nous introduisons la notion de granularité qui nous fournit une notion de généralisation supplémentaire. Notre schéma d'organisation initial ne concerne qu'un ensemble fonctionnel isolé lié à un seul objet. Suivant la complexité et les observateurs, un problème sera défini avec un certain niveau de décomposition hiérarchique. Il est rare, dans le domaine industriel, de rencontrer des systèmes complexes conçus "d'une seule pièce", ceux-ci sont généralement décomposés en sous-systèmes devant répondre à des sous-ensembles de fonctions génériques. Chaque ensemble de modèles de définition d'un objet correspondant à un schéma des modèles cognitifs tel que nous le définissons plus haut, s'inscrit dans un schéma similaire de niveau hiérarchique plus élevé. Nous qualifions de schéma d'abstraction granulaire: la représentation des modèles de conception d'un système complexe par un schéma récursif de décompositions construit à l'aide de schémas de modèles de conception de sous-système.



(figure 17: Granularité des modèles cognitifs)

Nous prenons l'exemple sur cette figure, du problème du déplacement d'un individu d'un endroit à un autre. Nous faisons apparaître en gras la définition du système complexe défini fonctionnellement par la fonction générique "circuler", par les sous-fonctions "transporter" et "guider" et par les solutions "chauffeur" et "voiture".



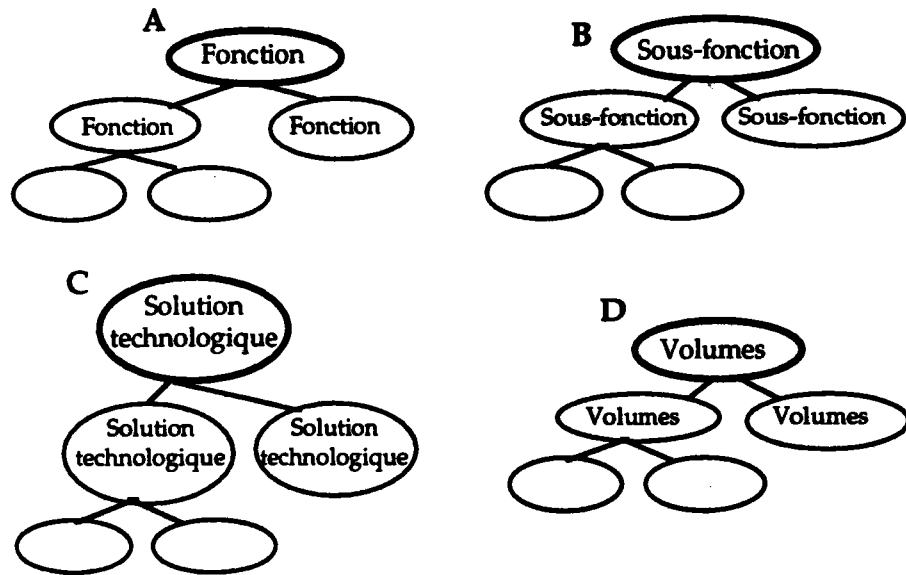
(figure 18: Exemple de granularité.)

Nous pouvons alors isoler la solution "voiture" et la décomposer en fonctions génériques et ainsi de suite. Nous avons ici deux niveaux de granularité, mais on peut se rendre compte qu'une voiture est elle-même un système complexe que l'on peut encore décomposer.

- Schéma d'assemblage.

On peut déduire du schéma d'abstraction granulaire précédent des schémas d'assemblage qui représentent bien les images mentales utilisées par les concepteurs lorsqu'ils décrivent un système en conception par

l'assemblage hiérarchique d'entités (Cf. [GOUBE92], [THO90]). Les schémas d'assemblage correspondent à des vues spécialisées des schémas d'abstraction granulaire. Ils seront exprimés différemment suivant les points de vue des concepteurs.



(figure 19: Exemples de schémas d'assemblage.)

Sur cette figure nous représentons différentes expressions d'assemblage:

- Les expressions A et B sont formulées à l'aide de décompositions fonctionnelles pour les gens qui analysent les systèmes d'un point de vue fonctionnel (Analyse de la valeur, de la qualité).
- L'expression C est formulée à l'aide de décompositions en solutions technologiques, utilisées par les concepteurs pour décrire la réponse d'un objet à des comportements.
- L'expression D est formulée à l'aide de décompositions volumiques, utilisées par les concepteurs pour décrire physiquement un objet.

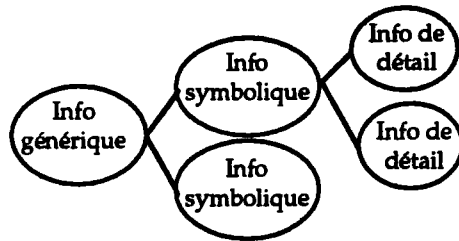
- Schéma d'abstraction informationnel.

Les titres génériques (ex: Fonction-métier: Produire de la lumière) que nous utilisons sur nos schémas sont des abstractions informationnelles des concepts qu'ils représentent. A chaque concept ou à chaque objet cognitif correspond un ensemble d'informations qui lui est lié. Ces informations sont soit:

- descriptives (qualitatif),
- procédurales (méthodes, règles),

- relationnelles (relation avec d'autres objets).

Nous isolons ici un autre schéma d'abstraction que nous caractérisons d'informationnel. Celui-ci est mis en évidence lors de l'expression par les différents concepteurs des définitions d'un objet. Ces descriptions suivant le modèle de définition où elles se situent pourront rester très génériques ou bien être très précises. Cela correspond au niveau de perception d'un concepteur des détails d'une définition.

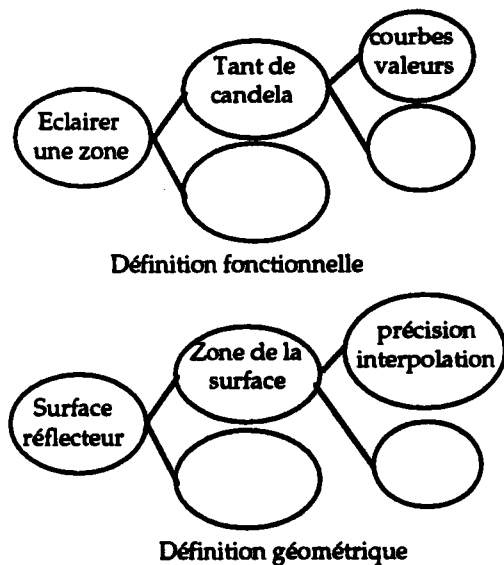


(figure 20: Abstraction informationnelle.)

Exemple:

Sur la figure ci-contre nous donnons deux exemples d'expression de deux définitions suivant des modèles différents:

- Une définition fonctionnelle où la fonction générique "éclairer une zone" peut être "précisée" par des informations de type "définition de la répartition lumineuse" qui peuvent être "détaillées" par des "courbes et des tableaux de valeurs". Ces informations sont exploitées par des personnes (ingénieurs de laboratoires optiques) qui se penchent sur les performances fonctionnelles d'un produit.



(figure 21: Exemples d'expression de définitions.)

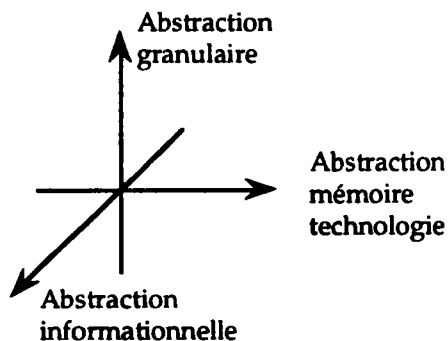
Par contre des projeteurs, ont rarement besoin de se concentrer sur ces détails.

- Une définition géométrique où le volume de la partie réfléchissante d'un réflecteur: "la surface optique du réflecteur" peut être "précisée" par la distinction "des différentes zones de cette surface" qui peuvent être elles mêmes détaillées à l'aide "des surfaces CAO qui la composent". Ce type d'informations est plutôt exploité par les personnes (dessinateurs,

projeteurs) qui définissent en détail les volumes des objets en conception. Et un ingénieur qui travaille sur les produits à un niveau fonctionnel ne s'intéressera que peu aux dimensions précises du volume d'un objet.

Soit la phrase: « une côte A est une dimension entre deux surfaces qui a une valeur qui est un nombre qui est un entier qui se trouve dans l'intervalle [0..20] qui est 10. » où nous faisons apparaître en souligné les informations appartenant à des niveaux d'abstraction ou de précision différents et classés de la plus générale à la plus précise, est assez représentatif du schéma du raisonnement que l'on peut retrouver lors de la détermination d'un paramètre de définition d'un objet.

- L'espace d'abstraction.



(figure 22: Espace d'abstraction)

A partir des schémas de mémoire technologique, d'abstraction granulaire, et d'abstraction informationnelle, nous définissons un espace (voir la figure ci-contre) qui permet de situer un modèle cognitif suivant trois axes d'abstraction:

- un axe se rapportant à son niveau de granularité dans l'ensemble des modèles représentant un système global,
- un axe se rapportant à son niveau de définition (fonctionnelle, métier, technologique ou morpho-dimensionnelle),
- un axe se rapportant à son degré de précision informationnelle.

Cet espace d'abstraction nous permet de traiter le problème de la définition exacte des frontières d'abstractions, c'est à dire la difficulté de déterminer si une information appartient à tel ou tel objet cognitif. Par exemple, il est quelquefois difficile de savoir à partir de quel moment une information traitée au niveau d'un modèle de définition technologique est aussi une information d'un modèle de définition géométrique ou, à quel niveau de précision d'une information peut-on en déduire une autre appartenant ou non au même objet cognitif. Cela est dû à la perception personnelle du degré de précision informationnelle d'un concepteur.

Exemples:

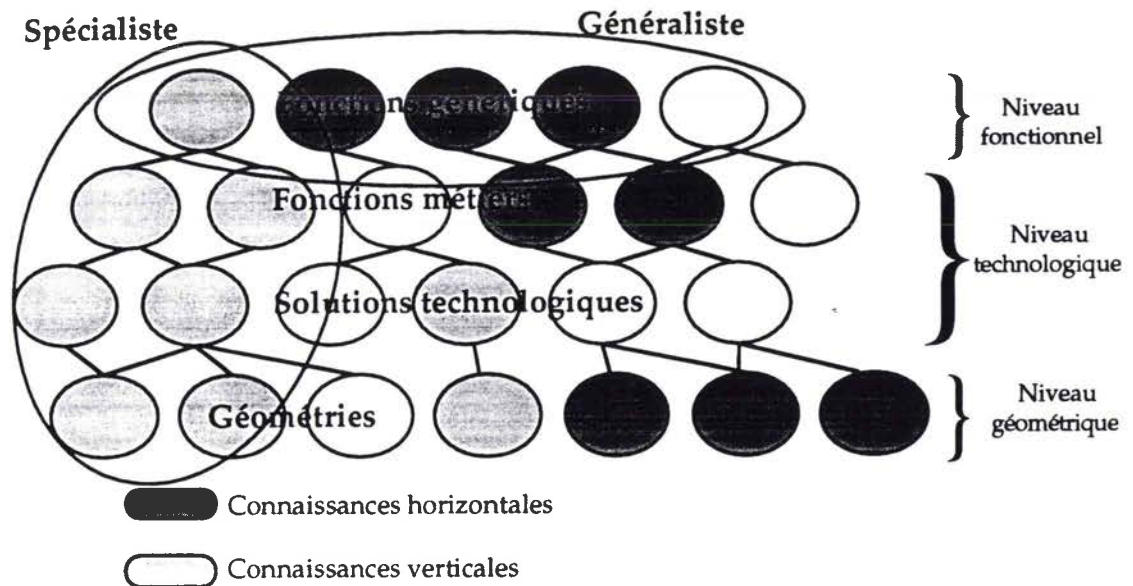
- Le fait de dire que "la solution technologique est: un miroir à surface parabolique" entraîne une incertitude sur la situation de l'information "surface parabolique" par rapport aux différents niveaux d'abstraction. Suivant le type de point de vue des concepteurs cette information peut être perçue comme une géométrie ou comme une désignation théorique (axe d'abstractions informationnelles);
- Un projecteur peut être vu comme un objet isolé ou complètement intégré à une face avant d'un véhicule (axe d'abstractions granulaires);
- Un concepteur peut parler de la technologie générale des projecteurs ou traiter un cas particulier (axe d'abstractions de mémoire technologique).

3.3. La collectivité des concepteurs

Nous avons isolé à partir d'un schéma statique de modèles de définition des axes d'abstractions différents, qui font appel à des capacités de décomposition, de classification, de hiérarchisation et d'abstraction. Les définitions de ce schéma que nous proposons pour représenter les modèles intellectuels des concepteurs sont influencées par leurs raisonnements très systémiques, ou scientifiques qui permettent de traiter des problèmes complexes comme la conception de produits technologiques. Il est clair que ce schéma est partagé par une collectivité, et suivant la position d'un concepteur dans l'environnement de conception, il est possible d'y situer ses connaissances.

En conséquence nous définissons la position d'un concepteur par rapport à sa spécialité "métier" et, par rapport à son niveau d'intervention. La spécialité métier correspond aux connaissances théoriques telles que la mécanique, la thermique, l'optique... Le niveau d'intervention correspond au problème traité, soit à un niveau fonctionnel, technologique ou géométrique. Nous caractérisons ici deux types de connaissances de conception (Cf. figure 23 page 61: connaissances horizontales et verticales de conception):

- les connaissances horizontales pour les connaissances d'abstractions ou générales.
- les connaissances verticales pour les connaissances métiers ou spécialisées.



(figure 23: Connaissances horizontales et verticales de conception.)

Chaque concepteur a une perception sensiblement différente de l'objet à concevoir. <<La perception, plus qu'un phénomène sensoriel, est une conduite psychologique complexe qui se rapporte à un cadre de référence particulier élaboré à partir de notre expérience personnelle et sociale. C'est ce qui explique qu'un objet déterminé n'aura jamais tout à fait la même signification pour deux individus, qui ont chacun, leur système de référence particulier. >> (CF. [LAR90]).

En général un individu est un expert en conception pour un type d'objet lorsqu'il est en possession:

- d'une connaissance des objets d'un point de vue fonctionnel, technologique et/ou physique.
- d'une connaissance des domaines théoriques en relation avec l'objet à concevoir.
- de capacités intelligentes telles que l'analyse et l'invention.

Nous avons isolé trois grands types de concepteur:

- Les ingénieurs généralistes qui détiennent une connaissance globale des produits à concevoir. Ils en connaissent les différentes technologies (mécanique, physique), les différents comportements, et les différents problèmes. Ce sont généralement des personnes qui ont capitalisé une bonne expérience du produit. Ce sont eux qui traitent les questions des définitions fonctionnelles génériques et déterminent les grandes orientations des choix technologiques. Ils sont généralement responsables des projets de développement de produit.

- Les ingénieurs spécialistes qui traitent suivant leur métier, leur formation un seul domaine technologique (mécanique, optique, thermique...). Ils déterminent plus en détail les définitions liées aux choix techniques. Ce sont eux qui traitent les problèmes d'incompatibilité rencontrés dans les processus de précision de la définition de l'objet en développement. Ils travaillent généralement sur des problèmes nouveaux, sur des contraintes qui ne se sont pas présentées dans des études précédentes et déterminent les valeurs des nouveaux paramètres. C'est à leur niveau que l'activité d'invention est la plus importante.

- Les dessinateurs-projeteurs qui se chargent de l'adaptation des principes et des solutions technologiques aux paramètres et aux contraintes morpho-dimensionnelles (Cf. BRUN92]). Ils détiennent la responsabilité de la définition terminale et précise de l'objet. Ce sont eux qui construisent la définition géométrique du produit.

Par rapport à notre schéma global des modèles de conception nous pouvons attribuer les modèles cognitifs aux individus appartenant à ces trois grands types:

- Les modèles de définition fonctionnelle concernent les ingénieurs généralistes.

- Les modèles technologiques concernent les ingénieurs spécialistes.

- Les modèles géométriques concernent les dessinateurs-projeteurs.

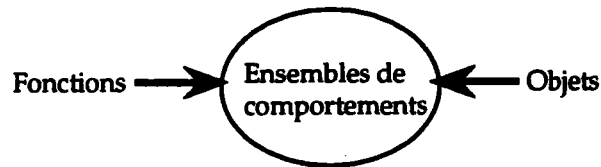
Ces attributions ne marquent pas des frontières rigoureuses car on peut retrouver plus ou moins chez chaque concepteur, des connaissances de représentation des produits correspondantes aux différents modèles cités.

Cette distribution et ce classement des connaissances, de leurs représentations et de leurs détenteurs, permettent de situer une collectivité de concepteurs et mettent en évidence l'importance des communications et du travail en commun.

3.4. Les heuristiques de conception

Chaque niveau d'abstraction que nous avons traité peut être considéré comme interface conceptuelle entre un niveau d'abstraction supérieur et un niveau d'abstraction inférieur. Le travail de conception revient à la construction de ces couches interfaces de manière "locale", et par "diffusion" de couche en couche. Cela est décrit, dans [LASS93] comme une suite de re-formulations successives des spécifications de l'objet à concevoir. Nous considérons que le problème de conception revient à définir

l'interface entre le niveau fonctionnel (les besoins) et le niveau géométrique physique de l'objet.



(figure 24: Interface fonctions-objets)

Cette interface supporte les concepts de représentation de l'ensemble des comportements nécessaires pour répondre à une fonction et en même temps ceux qui devront être observés sur l'objet (Cf. figure 24: Interface fonctions-objets). Elle crée le lien entre des définitions dynamiques fonctionnelles et des définitions statiques géométriques.

Le schéma que nous utilisons pour représenter les modèles cognitifs de définition d'un produit, est partagé par une collectivité de concepteurs et ne concerne l'étude que d'un seul produit. Comme nous l'avons vu plus haut, nous insérons ce schéma dans un autre schéma plus général qui représente l'expérience de cette collectivité (Cf. figure 16: mémoire du savoir-faire. page 51). L'organisation de ce schéma est similaire au premier mais nous y insérons des relations supplémentaires représentant les recherches décisionnelles pour construire la définition d'un objet. Un produit n'est jamais entièrement nouveau, la plus grande part de sa définition est tirée de celles d'anciens produits. Cela implique qu'un schéma représentant la définition d'un objet est construit à partir du schéma, général représentant l'expérience de conception et ensuite complété suivant les nouvelles spécifications du cahier des charges.

A aucun moment ces schémas "n'existent" dans leur totalité. C'est à dire que les raisonnements d'un concepteur sont dédiés à la construction ou à la modification d'une partie du schéma à un certain instant et pour une certaine durée. Cet instant est fonction de quelconques paramètres liés au temps (planning, charges). Un concepteur peut alors faire passer sa concentration "d'une partie à une autre" du schéma. Des phases de raisonnement successives permettent de construire le schéma où les concepteurs déterminent les informations contribuant à la définition des différents modèles. Ils peuvent durant ses raisonnements soit passer d'un niveau d'abstraction à un autre, soit se concentrer dans le même espace d'abstraction. Nous précisons maintenant les mécanismes de construction de la définition du produit dans ces contextes.

- Situation initiale.

Les activités de conception débutent lorsque l'on fournit aux concepteurs un nouveau cahier des charges. Celui-ci contient un ensemble d'informations qui leur permet "d'imaginer" le nouveau produit. Les concepteurs se basent sur leurs expériences et évaluent rapidement les distances amenées par les nouvelles spécifications par rapport aux produits existants. Cela revient à dire par rapport à notre schéma cognitif qu'il existe un état initial où certains objets cognitifs existent. Les concepteurs connaissent l'ensemble des fonctions de service, certaines solutions technologiques, et diverses informations que l'on peut situer par rapport aux différents niveaux de définition (ex: les matières, certaines dimensions). Ces ensembles d'informations précisent les paramètres du problème global de la conception d'un produit, ils permettent de limiter l'espace de solution; les concepteurs parlent alors d'un ensemble de contraintes à respecter (Cf. [DUP91], [MILTE92]).

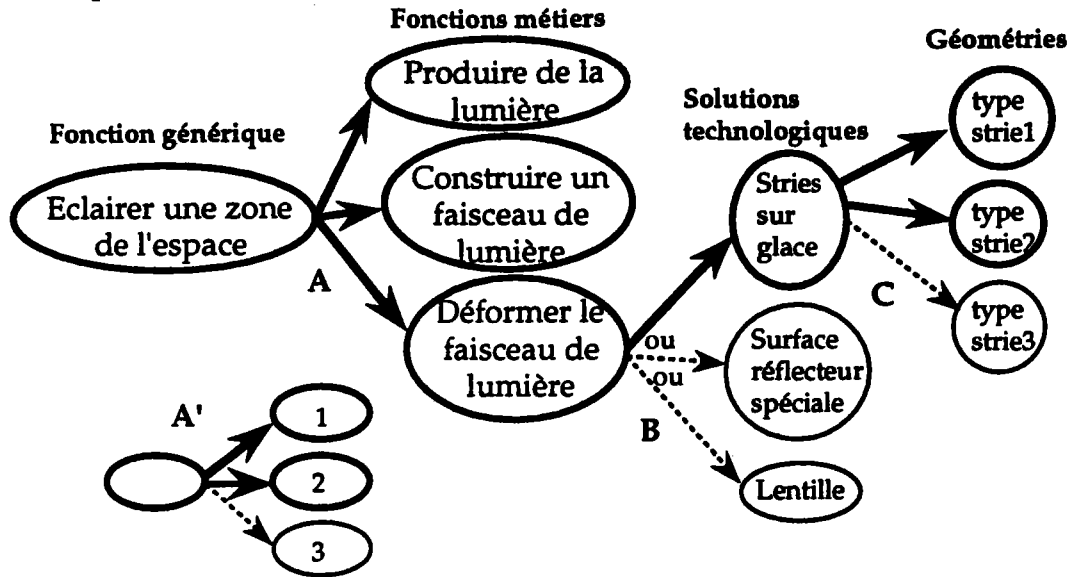
- Construction des modèles de définition.

A partir d'un schéma initial les concepteurs cherchent, afin d'obtenir la définition de niveau géométrique morpho-dimensionnel de l'objet, à construire ou à compléter la définition des différents modèles appartenant aux autres niveaux d'abstraction.

Le cas de construction exhaustive du schéma correspond à la séquence de définition initiale des modèles fonctionnels, ensuite des modèles technologiques pour finir par les modèles géométriques. Cette démarche est désignée comme une "conception top-down", c'est à dire que le processus de conception débute avec une définition générale du produit et se conclut avec une définition précise.

Le développement du schéma à partir d'un objet cognitif de niveau d'abstraction vers des objets cognitifs de niveau plus précis passe par la complétude de la définition du premier objet avant la sélection de l'ensemble des seconds qui lui sont liés.

Exemple:



(figure 25: Construction du schéma des modèles cognitifs)

Sur la figure 25: Construction du schéma des modèles cognitifs, nous donnons un exemple de construction d'une partie d'un schéma des modèles cognitifs d'un produit. Initialement les concepteurs "connaissent" la fonction générique: "Éclairer une zone de l'espace" qui appartient au cahier des charges. Ils peuvent alors en déduire directement les fonctions métiers qui en découleront: "Produire de la lumière", "Construire un faisceau de lumière" et "Déformer un faisceau de lumière" (A). C'est l'état où la définition symbolique donnée par l'ensemble des informations de l'objet fonction générique: "Éclairer une zone de l'espace" qui permet de déduire quelles sont les fonctions métiers qui "correspondent" ou qui sont nécessaires à la réalisation de cette fonction générique. On peut imaginer le cas (A') où la définition de la fonction générique n'inclut pas le besoin d'un faisceau particulier et donc que la fonction métier "Déformer un faisceau de lumière" n'est pas nécessaire. Ici l'individu concepteur sollicite sa mémoire, il sait que pour réaliser tel type de fonction générique, il a l'habitude d'utiliser les définitions de telle ou telle fonction métier. Il passe d'une définition générique à une définition qui précise le cadre du processus d'étude.

A ce niveau de définition, les concepteurs peuvent sélectionner une ou plusieurs solutions technologiques adaptées à la définition d'une fonction métier. Sur notre figure (B), à la fonction métier "déformer le faisceau de lumière" correspondent trois solutions technologiques: "Glace striée", "Surface réflecteur spéciale" et "lentille". Ici le critère de choix est la faculté

de telle ou telle solution technologique de produire les comportements définis par une fonction métier. Encore une fois, l'individu concepteur fait appel à sa mémoire technologique. Il connaît les comportements des solution technologiques qu'il choisit.

Les concepteurs raisonnent sur des solutions technologiques, en ayant à l'esprit ou en se représentant mentalement de manière implicite, les volumes qui leur sont liés (Cf. [TROT92]). Ces représentations peuvent être dynamiques, c'est à dire qu'ils imaginent les comportements de ces volumes (Cf. [BERT92]). Par exemple, ils se représentent mentalement le parcours d'un rayon de lumière qui traverse un prisme, ils savent par expérience qu'une certaine inclinaison d'une des surfaces d'un prisme déviera ce rayon vers une zone ou une autre de l'espace. C'est à l'aide de ces raisonnements que les concepteurs peuvent sélectionner le type de géométrie des stries qui pourront contribuer à la création des fonctionnalités demandées au produit. Dans notre exemple, la solution technologique "Glace striée" étant sélectionnée, les concepteurs doivent choisir le type de stries à sélectionner, ils doivent ensuite définir leurs positions et leurs dimensions.

Lors de la définition et du choix des stries, les concepteurs utilisent des informations photométriques qui trouvent leur source dans les définitions fonctionnelles. Pour chaque raisonnement, un concepteur utilisera toutes les informations en sa possession et étant en relation avec le problème qu'il traite pour l'aider à définir précisément les solutions. Ces informations peuvent appartenir à tous les objets cognitifs de n'importe quel niveau d'abstraction et cela suivant leur degré de précision. Par exemple, la connaissance de l'intervalle des valeurs possibles pour un paramètre de température pourra intervenir dans le choix d'une géométrie ou dans la détermination de ses dimensions. Nous parlons ici des informations technologiques et appartenant à l'espace des modèles de définition du produit, mais nous pouvons ajouter, dans le cas où nous considérons la représentation de l'environnement du produit comme un concept d'abstraction plus général de notre schéma, d'autres informations influentes. Les définitions des fonctions génériques sont généralement assez dépendantes de l'environnement (modes d'utilisation, climats, cultures...), mais aussi, certaines définitions plus précises peuvent être déterminées à l'aide d'informations très générales comme par exemple des informations économiques qui interviendront dans le choix des solutions technologiques, ou dans le choix d'informations morpho-dimensionnelles telles que les matières, les épaisseurs...

L'exemple que nous avons exploité ici est représentatif d'un processus de définition "en profondeur", c'est à dire qu'un seul objet est traité à la fois, dans une seule couche d'abstraction, et cela de couche en couche. En général la construction des modèles cognitifs s'effectue aussi bien "en largeur" et "en profondeur", à travers des processus qui sont partagés par la communauté des concepteurs et qui peuvent être actifs aux mêmes moments et travailler parallèlement et conjointement. La chronologie du processus de définition des modèles n'est pas pour autant aléatoire, mais fonction du degré d'influence des informations déterminées dans un modèle par rapport aux autres. Dans le cas, par exemple (A), de la définition des trois fonctions métiers sélectionnées pour la fonction générique: "Éclairer une zone de l'espace", il est nécessaire pour étudier la fonction: "Construire un faisceau de lumière" de connaître une partie de la définition de la fonction: "Produire de la lumière", et donc celle-ci doit être définie précédemment.

- Le rôle fondamental de l'expérience.

La question « *Qu'est ce que nous avons fait à ce niveau là dans l'étude des produits précédents...?* » est couramment utilisée dans les bureau d'études. Cette phrase illustre l'importance de l'expérience dans les processus de conception. Pour chaque recherche, ou pour chaque détermination d'informations, les concepteurs utiliseront des solutions connues ou éprouvées. Les ensembles de fonctions liés à des produits appartenant aux mêmes familles (mêmes sociétés, mêmes domaines industriels) sont sensiblement les mêmes. Les concepteurs travaillent sur des solutions appartenant à des ensembles et des espaces connus, et l'on retrouve les mêmes pièces, les mêmes géométries dans des produits développés dans des études différentes. Les distinctions entre ces produits se situent dans la majorité des cas au niveau de la détermination des paramètres d'abstraction informationnelle relativement faible (correspondant à un grand degré de précision) appartenant aux différents modèles. A un niveau fonctionnel, ces paramètres définiront précisément les espaces de liberté des comportements, et au niveau géométrique ils définiront les dimensions, les matières des produits. Nous pouvons prendre comme exemple deux produits: deux projecteurs d'automobile, qui peuvent avoir des géométries apparentes (style) différentes, mais qui ont les mêmes définitions de performance et d'utilisation, et qui seront alors confectionnés avec les mêmes technologies.

C'est l'ensemble des informations géométriques qui définit les surfaces extérieures, qui intervient indirectement sur les définitions des pièces internes, qui caractérisera le produit.

Les concepteurs travaillent sur la définition d'objets dont ils connaissent déjà les comportements et les moyens de les adapter, contrairement aux chercheurs qui étudient, analysent les comportements de nouveaux systèmes. L'augmentation des performances (la performance des comportements) des produits nécessaires à leur compétitivité sur les marchés, la recherche d'une meilleure qualité (réponse aux exigences des cahiers des charges et à la recherche d'une fabrication plus économique) et des cahiers des charges de plus en plus contraignants imposent une gestion complexe du mixage entre invention et adaptation. On peut distinguer ces deux types d'activité dans les bureaux d'études où lors du développement d'un produit, on réutilise des solutions éprouvées sur d'anciens produits, en y ajoutant de nouvelles solutions technologiques.

- Les sauts d'abstractions.

Nous avons aussi considéré dans notre exemple de construction des modèles, que pour passer d'une définition fonctionnelle à une définition géométrique, le concepteur passait par toutes les couches d'abstractions intermédiaires. Mais lors de sa concentration dans un espace abstrait quel qu'il soit, l'objet matériel est toujours "présent à l'esprit" du concepteur. Il cherche toujours à créer des relations, le plus rapidement possible, entre les fonctions et un objet matériel qui peut y répondre avec le réflexe et le besoin de vite trouver une réponse à un problème. Cela a pour effet de faire apparaître quelquefois ce que nous désignons comme des sauts d'abstractions, lorsqu'un concepteur met directement en relation deux informations de niveaux d'abstraction différents sans passer par les couches intermédiaires. Il pourra par exemple, mettre en relation une fonction générique et la forme ou le volume d'un objet: en définissant très vite les dimensions d'un roulement à billes pour répondre à une fonction de guidage d'un arbre dans un alésage, sans se demander si il existe ou sans étudier d'autre solution. L'invention même si elle est plus motivante demande plus d'énergie de recherche, d'étude et de mise au point. Ces relations directes entre les définitions fonctionnelles et les objets entraînent avec le temps des abus de langage lors de la définition des fonctions. Les concepteurs parlent de "fonction pièce" comme par exemple: "la fonction

boîtier", "la fonction glace" pour un projecteur, et non de fonction de service. Nous avons remarqué que cela n'est pas perturbant pour des espaces de modélisation proche de l'objet, mais démontre des incohérences lors des analyses ou des études fonctionnelles telles que les AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et Étude de leur Criticité) ou les analyses de la valeur (Cf. [VIGIE91], [HENRY91]). A l'aide des méthodes liées à ce type d'analyses, les concepteurs formulent des définitions plus fonctionnelles et plus cohérentes comme par exemple: "la fonction éclairage", "la fonction étanchéité", "la fonction réglage". Ces expressions fonctionnelles apparaissent aujourd'hui dans les processus d'analyse post-conception, mais ne sont pas très employées dans les processus d'étude des produits.

- Raisonement sous contraintes.

Les besoins de comportement pour répondre à des fonctions de service "ne créent pas" un objet, ou n'imposent pas ses comportements. Mais l'objet est adapté afin que ses comportement répondent aux exigences des utilisateurs. C'est à dire que l'on cerne les espaces de liberté de ces comportements, ils sont contraints. Les définitions fonctionnelles sont exprimées à l'aide d'ensembles de spécifications qui sont très vite traduites par les concepteurs, par des contraintes sous forme d'intervalles de valeurs, de limites qui permettent de préciser les modèles de définition.

L'interface conceptuelle, entre l'ensemble des fonctions et un objet, est définie, déterminée ou contrainte par des degrés de liberté que l'on impose à l'ensemble des comportements.

- La démarche de "conception Bottom-Up".

Nous avons jusqu'ici discuté le processus de "conception top-down" ou descendant de construction des modèles mais durant leurs raisonnements, les concepteurs peuvent aussi se trouver dans une démarche inverse: ascendante ou de "conception bottom-up". Cette démarche est nécessitée par les besoins de vérifier la cohérence de la relation entre un ensemble d'informations d'un niveau d'abstraction donné et les informations du niveau directement supérieur. Comme nous l'avons vu, certaines informations peuvent être déterminées par l'influence d'autres informations dont la source ne se trouve pas être les objets cognitifs du

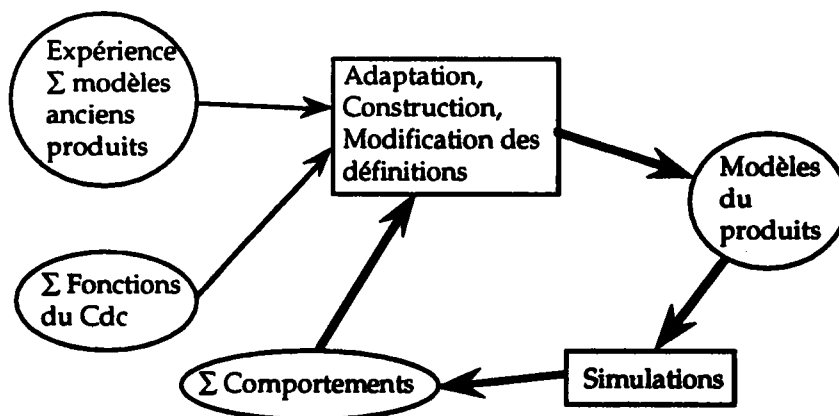
niveau hiérarchique directement supérieur, et il est alors nécessaire de vérifier la cohérence de cette relation. Les concepteurs mettent en oeuvre ici plusieurs types de raisonnement comme:

- La simulation dynamique interne où l'individu imagine les volumes déterminés, dans leurs situations réelles.
- La qualification d'informations déterminées par rapport à l'expérience, au vécu.
- L'assemblage d'ensembles d'informations, de géométries connues pour construire un volume, une pièce.

- Les processus de conception-modification.

Les raisonnements des concepteurs se calquent soit sur des démarches top-down, soit bottom-up. Cela fait apparaître à différents niveaux des processus de définition, des cycles de conception-modification où les modèles d'un produit ou la détermination d'ensembles d'informations sont remis en cause et modifiés pour des raisons telles que:

- La non-exhaustivité de la détermination des paramètres de l'ensemble des modèles. C'est à dire que les modèles ne sont jamais validés avec une définition complète.
- L'impossibilité de concevoir mentalement pour un même individu, de grands ensembles d'informations, leurs relations, leur cohérence dans un même instant.
- L'apparition ou l'ajout de nouvelles informations, de nouveaux paramètres, de nouvelles valeurs dont les effets sont mal connus ou encore mal maîtrisés.



(figure 62: Cycle de conception-modification)

Sur cette figure, nous représentons le caractère cyclique du processus de conception, où l'ensemble des modèles de définition d'anciens produits représentant l'expérience de conception et l'ensemble des fonctions génériques d'un nouveau cahier des charges, sont exploités initialement par les concepteurs pour lancer le processus d'adaptation, de construction des nouveaux modèles de définition. Dès qu'il existe des représentations assez complètes de l'objet terminal, celles-ci permettent de simuler ou d'imaginer les comportements de l'objet physique (Cf. [JACO92]). A partir de cela, les concepteurs peuvent évaluer la distance entre l'ensemble des comportements et les définitions fonctionnelles. Suivant cette évaluation et les critiques émises, ils reprendront le processus de construction des modèles pour les modifier ou les affiner. Ils entrent alors dans un cycle de modification.

On remarque que dans les bureaux d'études, les processus de modification concernent une grande part des activités de conception et de développement de produits. Ce cycle se retrouve aussi au niveau de simples processus de détermination, par exemple, de valeurs pour certains paramètres dimensionnels où le concepteur vérifiera si ces valeurs contribuent à ce que le volume considéré remplisse ses fonctions dynamiques.

Nous pouvons ici généraliser en assimilant les activités de conception à des processus continus d'adaptation d'ensembles de modèles par rapport à des définitions fonctionnelles qui peuvent ou non évoluer.

Cela a pour conséquence l'existence des connaissances spécialisées pour ce type de processus. C'est à dire que les concepteurs exploitent durant leurs raisonnements des règles d'adaptation de modification comme par exemple: « si cette pièce se brise alors il faut augmenter les épaisseurs ». Ici le concepteur ne remet pas en question soit le principe, soit la solution technologique sélectionnée sur la base de règles plus générales ou intervenant plus en amont de la conception. La raison de ce type de comportement est l'évaluation difficile du gain de l'investissement de telle ou telle remise en question

Comme l'exprime H. PETROSKI dans [PETR85] « *La conception d'une architecture pour une nouvelle structure peut nécessiter autant d'effort de l'imagination et autant de synthèse de l'expérience et des connaissances qu'en demande la toile ou le papier de l'artiste . A peine cette architecture est-elle formulée par l'ingénieur en tant qu'artiste qu'elle doit être analysée scientifiquement par l'ingénieur en tant que scientifique, et selon la méthodologie propre aux scientifiques* ». Les produits de la conception sont

des modèles qui nous permettent de raisonner au sujet de leurs structures et de décider entre les exigences contradictoires.

3.5. Acquisition-conception de l'expérience

Les activités de conception s'appuient en grande partie sur l'expérience de la communauté des concepteurs. Chaque concepteur possède sa propre expérience plus ou moins spécialisée dans un domaine, qu'il a du acquérir suivant une chronologie d'apprentissage d'ensembles de connaissances spécialisées:

- La sensibilité mécanique didactique et théorique.

La sensibilité mécanique didactique s'acquiert de manière naturelle par un individu qui évolue dans différents environnements du monde et qui découvre et observe les comportements des objets qui l'entourent (Cf. [PERU92]). Tout le monde sait que lorsqu'on lâche un objet dans l'air il tombe, et plus cet objet aura une masse importante plus le choc avec le premier obstacle rencontré sera important. Cette connaissance est une sensation apprise au cours de situations réelles durant lesquelles il y a tout d'abord une phase de découverte puis ensuite des phases de confirmation successives avec l'acquisition de plus en plus d'informations. La sensibilité mécanique didactique permet à une personne d'imaginer, de percevoir les comportements dynamiques des objets.

La sensibilité mécanique théorique elle, s'acquiert par l'apprentissage d'un ensemble de règles mathématiques et logiques avec lesquelles un individu peut concevoir des modèles formels pour percevoir, expliquer, et imaginer les comportements des objets. Il pourra si il possède une sensibilité mécanique didactique la confirmer avec ces outils théoriques et vis versa.

Ces types de connaissances sont très générales. Elles s'appliquent à tous les composants qui intègrent notre univers et peuvent concerner les domaines de la mécanique céleste à la mécanique quantique.

- La culture technologique générale.

La culture technologique générale concerne les connaissances appartenant aux domaines des systèmes technologiques. Les connaissances sont acquises à l'aide de processus d'analyse des systèmes, de leurs comportements, de leurs structures (dynamique, assemblages, géométries, matériaux). Grâce à ces processus d'analyse un individu confirme ses connaissances de type "sensibilité mécanique générale" théorique ou didactique en les exploitant pour construire ses concepts, ses perceptions des différents systèmes et des grands principes technologiques (Cf. [MILCH83]).

L'analyse est un processus où un individu cherche une structure sous laquelle des objets travaillent ensemble pour réaliser un certain comportement qui satisfait aux exigences du problème. Un scénario fréquent d'analyse est de prendre un objet dont les comportements sont connus, d'isoler ses différents comportements, leurs relations de dépendances et de les associer à une décomposition physique. L'objet est ainsi décomposé en pièces, en volumes et en surfaces afin de pouvoir isoler les comportements et les degrés de liberté propres à chaque entité. L'individu conçoit alors mentalement les relations et les contributions des ensembles d'entités physiques pour la réalisation des comportements du système complet. L'individu exploite ici son état de connaissance avec des mécanismes de création, d'analogie (Cf. [NGUY92]), de classification, de hiérarchisation afin de construire et d'ordonner ses abstractions.

Durant ces processus d'acquisition de connaissances l'individu améliore et spécialise aussi ses mécanismes internes d'analyse, ce qui lui permet d'avoir des raisonnements plus performants lors de l'étude de nouveaux systèmes, à l'aide aussi, d'une connaissance technologique qui permet déjà de dire qu'il utilise son expérience et qu'il est alors capable d'imaginer de nouveaux systèmes. Ce niveau d'expérience lui permet de trouver des solutions technologiques, de fixer des paramètres de manière expérimentale, et à l'aide de la théorie de calculer et de déterminer les valeurs de ces paramètres. Prenons l'exemple de l'étude d'un système où un des problèmes est de transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation. Un jeune concepteur choisit à l'aide de ses connaissances la solution "bielle-manivelle" et peut déterminer les différents volumes à l'aide de calculs. Nous considérons ici que la personne aborde ce problème pour la première fois avec un nouveau type de système.

Un caractère important de ce type de connaissances, est qu'il s'accompagne d'un langage spécialisé qui permet de communiquer des concepts technologiques.

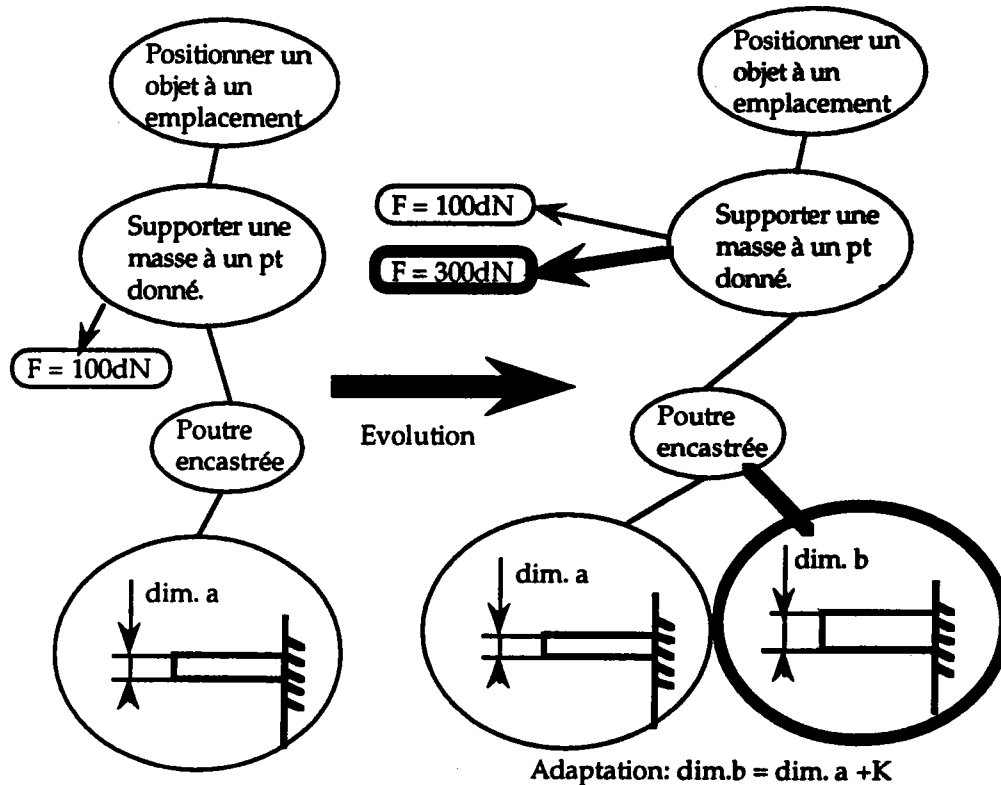
- Expert en conception.

Au stade précédent de profil de connaissance, un individu peut devenir un expert concepteur d'un certain type de produits à l'aide de l'acquisition de connaissances spécialisées (Cf. [CHO91]). Celles-ci sont construites à l'aide de l'analyse des systèmes existants du domaine considéré et à l'aide de la participation du concepteur dans la conception de nouveaux produits. Les analyses permettent à l'individu de construire ses représentations internes du produit de manière similaire à notre schéma des modèles cognitifs de définition, et les activités de conception permettent d'affiner ce schéma et ainsi de le faire évoluer. Le concepteur acquiert aussi à ce niveau un langage encore plus spécialisé lié au domaine du produit.

- Évolution de l'expérience.

Pendant les activités de conception, nous avons vu que les concepteurs utilisent les modèles de définitions tirés de leur expérience et qu'ils les adaptent afin de les faire évoluer, pour que ceux-ci puissent définir un objet qui répond à un nouveau cahier des charges. Le processus d'adaptation est le principal facteur d'évolution de l'expérience. L'adaptation se rencontre lorsque que l'on modifie une information appartenant à la définition d'un modèle, afin qu'un nouvel état de celui-ci représente correctement un nouveau concept. Les processus d'adaptation peuvent faire appel à des mécanismes différents en fonction du degré d'importance de la distance entre les nouvelles spécifications et celles d'anciens produits.

Exemple:

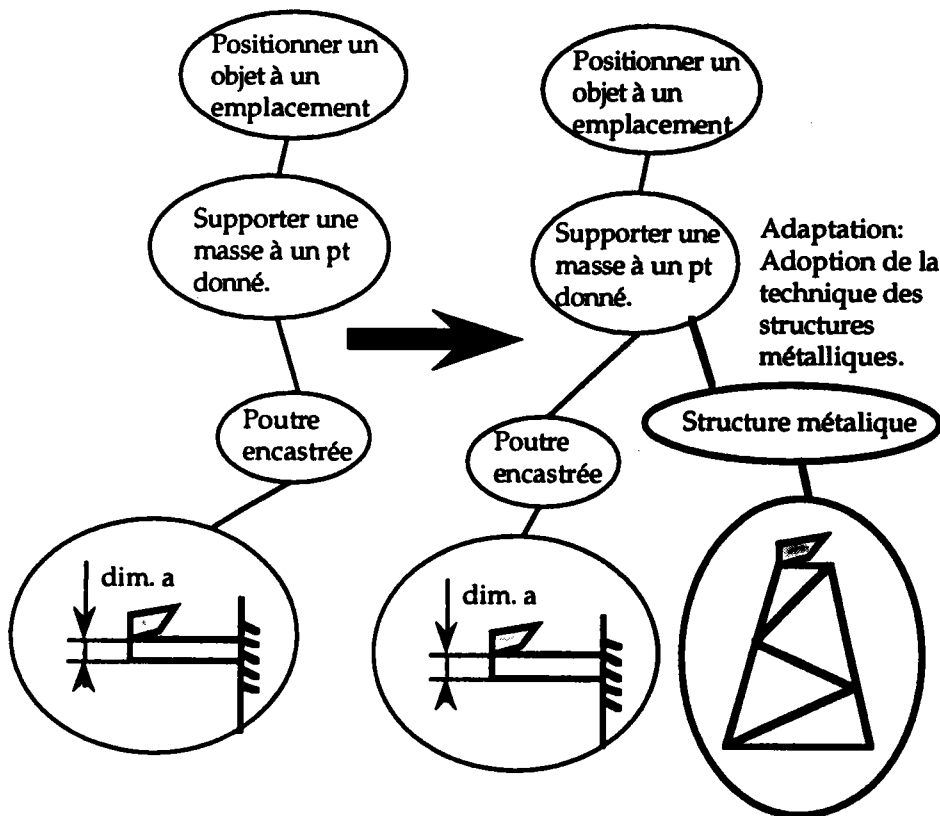


(figure 26: Adaptation de la définition géométrique)

Sur cette figure, nous représentons un exemple d'adaptation géométrique simple: A la fonction générique "Positionner un objet à un emplacement" correspond la fonction métier "Supporter une masse à un point donné". La solution technologique choisie est "Une poutre encastree" dont la définition géométrique est alors directement déterminée. Pour cette fonction métier, on trouve une information précisant sa définition qui renseigne la force engendrée par la masse à porter. Nous imaginons le cas de l'étude d'un nouveau produit avec comme seule différence au niveau du cahier des charges: la valeur de cette force. Le reste des spécifications étant identique, la définition du nouveau produit est copiée sur l'ancienne. Les concepteurs ne doivent alors, que modifier la section de la poutre pour qu'elle résiste à la nouvelle charge. Cela engendre une nouvelle définition géométrique. Cette adaptation d'une géométrie connue permet d'augmenter l'expérience des concepteurs et fournit de nouvelles connaissances aux concepteurs, qu'ils pourront exploiter ensuite.

Les concepteurs acquièrent ici une expérience sur l'existant c'est à dire qu'ils mémorisent simplement une nouvelle définition correspondant à un nouveau cahier des charges. Ils acquièrent aussi une expérience sur la

détermination de la nouvelle section qui fait appel à des connaissances de mécanique générale. Ici les concepteurs utilisent des modèles généraux pour déterminer des éléments de ceux de la définition du produit. Ces modèles permettent de simuler les comportements, difficiles à percevoir, d'un système ou d'une partie d'un système, avec des paramètres déterminés par les concepteurs et ainsi de valider ou non leurs valeurs. A l'aide de ces modèles les concepteurs peuvent mieux comprendre comment réagissent les systèmes en fonction de l'évolution de paramètres qui leur sont liés. Ils peuvent ainsi, au fur et à mesure des calculs, dégager des lois d'évolution, des intervalles de valeurs adéquates, ou des valeurs types qui seront exploitées dans les études suivantes. Les concepteurs utilisent alors des "recettes" dont ils oublient l'origine.

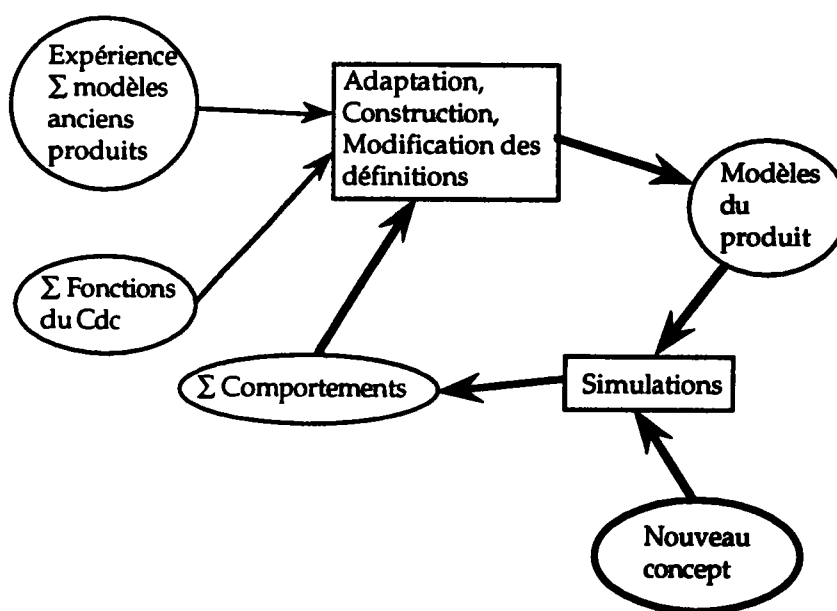


(figure 27: Adaptation d'une technologie nouvelle.)

Sur cette figure, nous reprenons la même situation de définition avec une modification du cahier des charges qui n'est plus seulement de type dimensionnel mais plus restrictive sur le choix de la solution technologique. Imaginons la situation où la solution technologique connue: "poutre encastrée" ne répond pas à une définition de limite d'oscillation et donc ne peut pas être retenue. Les concepteurs décident alors de trouver une autre solution et leur expérience concernant le produit ne leur en fournit

pas. Ils sont alors obligés de puiser dans leur expérience plus générale pour choisir une solution technologique employée dans un autre domaine, et qui réponde à des fonctions similaires afin de l'adapter aux spécifications du cahier des charges présent. On parlera "d'imagination" d'une nouvelle solution où les individus déclencheront leurs aptitudes à se représenter des objets absents et à combiner des images par analogie, par assimilation.

Ce type de processus d'étude et de recherche nourrissent et enrichissent l'expérience des concepteurs en augmentant leurs capacités de modélisation, d'adaptation et d'intégration de nouveaux ensembles d'informations. Suivant le type de connaissances mis en jeux, ces processus sont considérés comme des adaptations ou comme des inventions. L'adaptation correspondra à l'évolution d'informations appartenant à l'espace des modèles de définition. L'invention fera intervenir des connaissances générales d'un individu afin qu'il enrichisse l'ensemble des modèles. L'invention apporte des éléments nouveaux au cycle de conception-modification que nous avons présenté sur la figure 62: Cycle de conception-modification page 69.



(figure 28: Cycle de l'invention à la conception)

L'invention revient à intégrer une nouvelle définition dont le but est de contribuer à la définition globale du produit afin que celui-ci réponde aux spécifications. Sur la figure précédente: Cycle de l'invention à la conception, nous représentons une "invention" par un nouveau concept ou un nouveau modèle qui est introduit dans le cycle de raisonnement. A ce nouveau modèle, correspond un ensemble de comportements qui, suivant

son adéquation avec le cahier des charges, amène les concepteurs à modifier ou à adapter plus ou moins la définition. Nous retrouvons ici un cycle de modification et d'affinement des informations composantes des modèles de définition. Si au cours des cycles, ces informations ne peuvent converger vers des valeurs satisfaisantes, la nouvelle solution peut être rejetée.

- L'expérience et l'apprentissage.

L'expérience n'est pas une simple accumulation par la mémoire de modèles de définition de produits étudiés. Nous donnons avec notre schéma des modèles cognitif une forme d'organisation des connaissances acquises lors des séquences de raisonnement (Cf. [KRIV92]). Nous avons vu que le schéma correspondant aux modèles d'un nouveau produit est, en grande partie, extrait d'un schéma plus général qui représente, lui, l'organisation des connaissances de l'expérience, car l'acquisition de celle-ci ou son apprentissage fait appel à l'ensemble des mécanismes de généralisation (Cf. [SAINT90]). La généralisation est la cause de la ressemblance qui existe entre tous les systèmes technologiques à différents niveaux fonctionnels ou géométriques.

L'expérience est évolutive, elle est influencée et entretenue par les processus de conception successifs, par l'évolution du métier et des technologies. Étant liée à la mémoire, elle n'est jamais fixée de manière rigide. Les concepteurs oublient, découvrent, redécouvrent, remettent en cause leurs connaissances continuellement et spécialisent leur expérience pour des types de produits, de technologie. L'expérience permet la mise au point des produits et la mise au point nourrit l'expérience.

Il est évident que les processus de conception exploitent de manière très importante les connaissances liées à l'expérience et nourrissent celles-ci. L'acquisition et l'évolution des connaissances étant liées à l'apprentissage, ce domaine est fondamental dans l'étude cognitive de la conception. Si l'on considère le sens premier du verbe "concevoir" une idée ou un concept, cela sous-entend bien des comportements d'apprentissage.

4. Conclusion

Dans la présentation de nos résultats d'analyse, nous avons souligné l'importance du rôle de l'expérience dans les activités de conception. Nous avons montré que l'expérience est liée aux mécanismes de l'apprentissage que l'on observe lors des raisonnements de conception.

Nous avons montré que l'invention était un des facteurs de la dynamique d'apprentissage. Mais l'on se rend compte lors du travail des concepteurs qu'un certain niveau d'expérience peut nuire à l'invention et donc à l'évolution de cette expérience. Ces bagages artificiels plus ou moins bien assimilés, faits essentiellement de schémas rigides, constituent souvent pour une personne un handicap qui limite ou stérilise sa créativité. Aussi, l'invention n'est pas l'activité la plus valorisée dans un bureau d'études. On se préoccupe d'avantage à rendre plus performant d'anciens produits en les faisant évoluer, et cela pour des raisons de rentabilité dont les facteurs sont les temps de développement et la productivité.

Le fait qu'il existe une expérience distribuée amène à ce que les raisonnements d'un ensemble de concepteurs produisent un seul résultat. Lorsque l'on demande à deux concepteurs isolés d'imaginer chacun la conception d'un produit à partir du même cahier des charges on peut observer alors que les résultats sont plus ou moins différents. De même si l'on observe deux produits développés chacun par des sociétés différentes pour un même client et devant répondre aux mêmes spécifications, on peut constater des différences notables au niveau des éléments de définition sous la maîtrise unique des "développeurs". Cela montre aussi en considérant le nombre potentiellement infini de paramètres intervenant dans les processus de conception, que ceux-ci ne peuvent avoir un caractère déterministe.

Notre schéma de mémoire technologique représente les concepts mentaux liés à l'expérience des concepteurs. Il donne une vue de leur organisation sur l'ensemble des concepteurs d'un bureau d'études. Nous décrivons à partir de celui-ci les mécanismes de sa construction et de son évolution.

Contrairement à la présentation de ces schémas, les objets cognitifs qu'ils rassemblent n'existent jamais tous ensemble à un moment donné. Parce qu'ils sont partagés par la communauté des concepteurs, et parce qu'il est impossible à un individu d'avoir une perception à un même moment de l'ensemble de ces concepts qui représentent une trop grande masse

d'informations. Pourtant lors de leurs raisonnements, les concepteurs ont besoin de pouvoir rapidement prendre conscience d'informations nécessaires, qui peuvent être plus ou moins nombreuses et qui sont ou ont été en "possession" ou "produites" par d'autres personnes. Ils leur est alors indispensable de disposer d'une mémoire de ces informations, qui soit organisée de manière à ce qu'il puissent rapidement l'exploiter (Cf. [FOU89], [FOU91]). Le rôle de cette mémoire est jouée par l'ensemble des supports formels d'informations que nous avons décrit dans le chapitre I: État de l'art.

Ces documents formels sont tous les documents utilisés par les concepteurs lors de leurs activités de conception. Ce sont des documents contenant des textes en langage naturel, ou respectant les règles de langages plus ou moins normalisés, et des documents contenant des informations symboliques de type graphique comme les croquis, les dessins ou les plans normalisés. Le terme "normalisé" signifie ici que les informations contenues dans les différents documents concernés sont organisées suivant des règles qui connues par les concepteurs leur permettent de traduire ces informations afin qu'ils en construisent des concepts mentaux personnels qui soient représentatifs des mêmes objets. Les règles appartiennent aux langages des différents modèles mathématiques, géométriques ou mécaniques qui sont exploités soit pour les plans, soit pour les descriptions mécaniques... Ces langages sont de ce fait les supports des communications dans des environnements de conception.

La quantité d'informations exploitées durant un raisonnement est fonction de la situation dans l'espace d'abstraction des concepts qui sont traités. En effet si on se place au niveau de la définition fonctionnelle d'un objet avec un niveau informationnel générique, le nombre d'informations est assez faible, alors que dans le cas où l'on se place au niveau de la définition géométrique avec un degré de détail important de cette définition le nombre d'informations devient innombrable. Cela montre aussi que le développement d'un ensemble des modèles cognitifs correspondant à la conception d'un produit et à l'enrichissement de l'expérience engendre une masse d'informations difficilement quantifiable. On comprend ici encore le besoin de supports externes à l'intelligence humaine pour ces informations permettant de les mémoriser et de les communiquer (Cf. [MILLE56]).

Cette nécessité de traduire et de sauvegarder ces ensembles d'informations a pour conséquence importante de monopoliser une grande partie du temps des concepteurs. On observe dans les bureaux d'études que le temps de traduction des concepts mentaux des concepteurs par des modèles formels

est beaucoup plus important que le temps de leur construction mentale même.

Lors des processus de conception il existe un mixage entre les deux activités qui sont les raisonnements intellectuels sur des concepts mentaux et leurs traductions en modèles formels. Ces derniers influencent plus ou moins les raisonnements et les concepts mentaux des concepteurs. Ces derniers font souvent appel, par exemple, aux croquis pour s'aider eux-mêmes dans leurs recherches. Le dessin fait partie de l'ensemble des bagages artificiels acquis lors de la vie d'une personne et qui interviennent alors dans l'organisation des concepts mentaux.

De la même manière que pour les modèles intellectuels, il est nécessaire de construire les modèles formels. Les concepteurs exploitent pour cela des ensembles de règles, de méthodes ou d'outils qui instrumentent ces règles ou ces méthodes. Ces dernières influencent aussi la définition des modèles. En effet suivant les distances entre les modèles d'anciens produits et les spécifications d'un nouveau, les concepteurs utilisent plus ou moins les mêmes méthodes de conception. Par exemple lors de la construction de la définition graphique, les mêmes séquences de construction graphique, les mêmes méthodes de constructions, ou les mêmes outils seront exploités lors des études de produits différents. De la même façon les définitions seront influencées par l'utilisation des ces méthodes et donc par les concepteurs eux-mêmes.

L'influence des modèles formels sur l'ensemble des modèles d'un produit montre qu'un schéma des concepts cognitifs ne concerne jamais un objet dans sa totalité. Les modèles de définition d'un objet sont donc supportés par l'ensemble des connaissances appartenant à l'expérience d'une communauté de concepteurs et par l'ensemble des différents supports formels exploités par cette communauté.

Les difficultés actuelles de l'évolution de l'intégration des outils d'assistances à la conception sont:

- les distances conceptuelles trop importantes des modèles de ces outils avec les modes de raisonnement des concepteurs;
- l'application de modèles de conception trop orientés vers la description des objets à concevoir;
- le manque de modélisation des connaissances fonctionnelles, des supports de l'expérience, et de leur évolution. Aujourd'hui aucun outil de conception n'est capable de profiter des processus de conception successifs pour enrichir ses modèles;

- le manque de méthodologie d'intégration des nouveaux modèles (paramétrisation, assemblage) de ces outils;
- les problèmes de gestion de grandes masses d'informations de types différents se trouvant sur des supports et à des endroits différents;
- le manque de cohérence et d'unification entre les multiples représentations en présence dans les activités de conception;
- les dialogues entre les systèmes et les concepteurs.

CHAPITRE III: FORMALISATION

Nous présentons dans ce chapitre notre travail de formalisation d'un modèle de représentation des connaissances et de l'apprentissage pour la conception d'objets technologiques. Nous décomposons cette présentation en trois parties:

- La première partie concerne l'étude de la contribution du formalisme objet pour notre modélisation.

- La deuxième partie débute par la description du langage du modèle en définissant les syntaxes, le vocabulaire et la sémantique du mode de représentation des connaissances de conception.

Une fois les éléments du langage posés, nous définissons les règles de leur utilisation pour la résolution de problèmes de conception.

Nous traitons dans un premier temps, les mécanismes de base des processus de recherche dynamique des définitions d'objets technologiques. Ensuite nous intégrons les processus d'apprentissage qui caractérisent la définition dynamique de notre modèle. Ces processus permettent à notre modèle de contribuer aux activités de conception, à la sauvegarde et à l'évolution du savoir-faire des concepteurs.

- La troisième partie conclue le chapitre.

1. Contribution du formalisme Objet.

Notre objectif est de proposer un modèle pour le support des connaissances de conception intégrant des capacités de les faire évoluer. Pour cela nous prenons en compte:

- Les modèles mentaux de concepteurs avec leurs modes de classification, de hiérarchisation des connaissances et leurs modes de raisonnement. Nous traitons:

- les différents points de vue, concepts ou modèles des concepteurs;
- les espaces d'abstractions;

- la répartition de ces concepts et de ces espaces d'abstractions dans la communauté des concepteurs;
- le flux des informations par rapport à ces mêmes concepts et à ces mêmes espaces d'abstractions;
- les mécanismes et les heuristiques des raisonnements de conception;
- l'acquisition et l'évolution de l'expérience;
- les interfaces avec les modèles formels.

- Les modèles formels avec:

- la proposition d'un support d'informations fonctionnelles;
- l'implication des modèles formels mathématiques de représentation tridimensionnelle et de simulation;
- la contribution des modèles récents de paramétrage, d'assemblage et de bases de connaissance de conception;
- la contribution des modèles de l'informatique avancée.

Ces deux familles sont composées de modèles de représentation d'ensembles d'informations en relation avec la définition des produits technologiques. A chacun de ces modèles sont liées des définitions de règles de production, de détermination et d'organisation des informations. Ces règles sont fondées sur des mécanismes de classification, de hiérarchisation et d'abstraction de concepts plus ou moins symboliques.

La recherche de fédération et la mise en cohésion formel de l'ensemble de ces types de modèles nous amène naturellement à étudier la contribution des concepts objets.

La plupart des travaux ou des systèmes intégrant des modélisations des connaissances de conception sont basés sur les concepts objets (Cf. [BARTH92], [BOOCK91], [DUP91], [GAR90], [GARDA92], [MILTE92], [NOMME92], [RUCHE84], [THO90], [TOLLE92]).

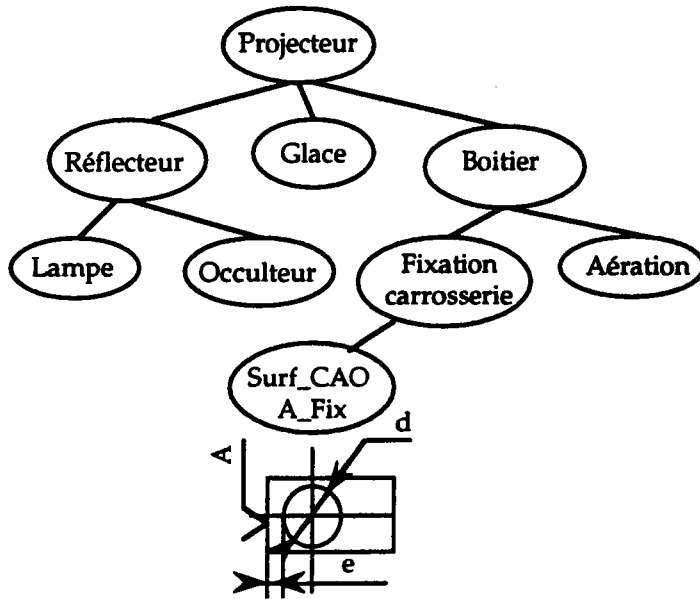
Les structures objets offrent aux ensembles d'informations des organisations rationnelles et rigoureuses, des schémas d'accueil "naturels" pour la modélisation des connaissances et des raisonnements humains. Le formalisme objet est un résultat de travaux effectués dans le domaine des sciences cognitives. Un objet par une opération de réification est un ensemble d'informations de tout type et de processus de traitement liés par des relations significatives qui caractérisent un concept. Les objets allient connaissances assertionnelles et opératoires. Un ensemble d'objets peuvent être mis en relation par des réseaux hiérarchiques et communiquer. Cette définition montre le caractère récursif des modèles objets, c'est à dire qu'un

objet obéit aux mêmes lois, quelle que soit sa situation hiérarchique ou topologique, mais aussi qu'un objet, un groupe d'objets ou un ensemble de groupes d'objets peuvent représenter chacun un concept de niveau d'abstraction donné (Cf. [BARTH92], [BOOCK91], [FARRE87]). Le concept objet est reconnu pour son rôle fédérateur, c'est à dire qu'il fournit les outils pour construire des formalismes généraux pour des ensembles de modèles. Les outils de C.A.O. intégrant différents modèles mathématiques, d'interfaces, de supports de données; les concepteurs raisonnant sur des concepts fonctionnelles, technologiques ou morpho-dimensionnels; les concepts objets sont adéquats pour la recherche de l'intégration ou de l'unification de ces différents modèles pour les implanter dans des outils d'aide à la conception de plus haut niveau.

Nous distinguons deux niveaux d'implication des concepts objets dans les domaines de la C.A.O.:

- Un niveau où les définitions de classes ou de configurations de classes représentent des modèles génériques des produits à concevoir. Ici le modèle objet est caractérisé par sa vue systémique des produits à concevoir. C'est à dire que les différentes informations numériques ou les connaissances de conception sont distribuées sur une structure d'assemblage des éléments et des entités composant un produit.

Exemple:



Objet: Surf_CAO_A_Fix
 Attributs: Pos_x_Surface_A
 Méthodes: Affiche

(figure 63: Exemple de représentation objet en C.A.O)

Objet: Projecteur
 Attributs: Encombrement
 Déf. Eclairage
 Gamme

Méthodes:
 Valid_Faisabilité

Objet: Boîtier
 Attributs: Profondeur
 Matière
 Hzvibrat

Méthodes:
 Det_Profondeur
 Renseigner_Vibrat

Objet: Fixation carrosserie
 Attributs: Pos_Org_XY
 d
 e
 Surface A

Méthodes:
 • Si (seuil1 < Hz
 vibrat < seuil2)
 alors d = diamètre_K
 • Pos_x_Surface_A = -
 (d/2+e)

Cette figure donne un exemple de représentation à l'aide d'une structure objet simplifiée d'un modèle C.A.O.. L'objet de plus haut niveau hiérarchique est un système global: un projecteur. Les objets fils de ce dernier sont les différentes pièces le composant et ainsi de suite jusqu'à la définition des entités graphiques. Nous donnons à droite de la figure le détail de la chaîne d'objets: Réflecteur -> Boîtier -> Fixation carrosserie -> Surf_CAO_A_Fix. Nous y trouvons différents types d'informations: les attributs; et différents processus de traitement de ces informations: les méthodes. Celles-ci peuvent être des procédures, des calculs ou des items de connaissance experte. Ici les attributs de nos objets n'ont pas de valeur. La

configuration présentée est générique, c'est une configuration de classes d'objets, c'est-à-dire qu'une définition précise d'un projecteur sera obtenue par une structure d'objets qui seront les instanciations de ces classes et dont les attributs auront été déterminés.

Les mécanismes d'instanciation de classes et de détermination des informations qui produisent des structures d'objets représentant le modèle objet d'un produit, sont supportés par les capacités dynamiques du concept objet. Les langages orientés objets offrent à la fois des primitives de représentation sophistiquées (classe, objet, attributs, valeurs, méthodes...) et des primitives fondamentales d'inférence et de contrôle d'inférence (héritage, envoi de message). La spécificité de ces mécanismes est ici la détermination des valeurs des différents attributs par la réduction ou par le raffinement de leur intervalles de solution, cela à l'aide des mécanismes d'héritage assimilable à un mécanisme d'inférence non-monotone et de mécanismes de propagation de contraintes (Cf. [BARTH92], [BEL92])

Cette approche systémique est implantée dans le système ICAD (Cf. [ICAD93]) où les classes génériques sont représentées par des "Defpart" qui représentent les composants d'un produit (attributs, règles, composants, composés), et qui sont défini à l'aide d'un langage IDL (Icad Design Language). Le modèle ICAD définit des relations d'héritage entre classes génériques (objets géométriques: prisme, sphère, cylindre...) et spécialisées (géométries, volumes de pièces) et des relations d'utilisation entre les objets. La construction d'un modèle se fait par instanciation de la structure de classe générique pour produire une structure d'objets sous forme d'assemblage hiérarchique. Les heuristiques de résolution des contraintes sont ici maîtrisées par les utilisateurs. Le système ICAD supporte des organisations sous forme arborescentes (Product structure tree) et des mécanismes de mixage (Mixin) de Defpart afin d'en produire de nouvelles plus riches.

- Un autre niveau où la modélisation objet concerne les connaissances qui enrichissent les structures de classes précédentes par des classes représentant des concepts plus seulement liés au produit, mais aux connaissances de conceptions. Les systèmes tels que CADX1, SMECI ou l'environnement IIICAD (Cf. [CADX93], [BARTH92], [THO90]) proposent des moyens de modélisation plus générale et des mécanismes de résolution plus inspirés des systèmes appartenant aux domaines l'intelligence artificielle tels que les systèmes experts. C'est à dire que ceux-ci ont des capacités de raisonnement

sur leurs propres modèles objets (contrôle des heuristiques) et que les règles d'inférence logique peuvent par exemple manipuler, ou exploiter des objets comme des items de connaissances (paramètres, variables de prédicats).

On peut situer ces deux niveaux de modélisation par rapport aux travaux actuels dans les domaines des concepts objets (sciences cognitive, informatique) où l'on observe deux grandes directions de travaux: La représentation des connaissances et la programmation orientée objets de moteurs d'inférences.

Dans les deux cas l'utilisation des concepts objets pour modéliser la conception d'un produit nécessite des analyses et des études rigoureuses. La définition de classes, des configurations d'objets, des mécanismes de propagation de contrainte, de formalisation et de l'implémentation des règles se rapproche des problèmes courants de représentation des connaissances dans les différents domaines de l'intelligence artificielle.

Différents systèmes existants proposent des éléments de structure qui influencent et guident les développeurs dans la construction des modèles objets en fonction de leurs principes propres. Le système ICAD (Cf. [ICAD93]) propose par exemple de définir d'abord les objets spécialisés et ensuite les objets plus généraux par une démarche d'assemblage (mixage). Le système CAD-X1 (Cf. [SERRA93]) au contraire propose de définir des classes générales qui seront exploités pour définir des informations plus spécialisées.

Les démarches définies dans [BOOCK91], [NIAM93], [OOA93] proposent des méthodes "manuelles" d'analyse et de modélisation objet. Des travaux tel que [BURNE91] traitent "l'instrumentation" des méthodes de modélisation orientées objets. Mais tous ces travaux sont généralement dédiés aux systèmes d'informations autres que les systèmes de C.A.O..

Actuellement la construction de modèles objets pour la C.A.O. se fait plus souvent par l'intermédiaire de langages dits "orientés objet" comme Lisp [WETZ85], ou des évolutions de Lisp [FARRE87], ou C++ [STROUS89]. Dans la pratique cela demande à une personne chargée de construire une définition objet d'un système technologique des compétences multiples en informatique et en analyse, cela ayant comme conséquence de rendre imperméable, le plus souvent, ces techniques aux experts en conception. Les difficultés de leur intégration tient aussi à ce que les modèles développés à base d'objets supportent des connaissances plus liées à la technologie qu'à la cognitive de conception.

Les principaux attraits actuellement des systèmes de C.A.O. à base objet sont les gains qu'ils fournissent pour les développements d'applications métiers directement liés aux système C.A.O. et au savoir-faire. La "couche objet" implantée met à la disposition des développeurs des "briques" de haut niveau à assembler et à paramétrer, et rend transparente la gestion par le biais de langage de programmation tels FORTRAN ou C des fonctions de traitement du modèle mathématique ou des fonctions profondes du système.

Un problème lié à l'approche par objet est la relative rigidité des modèles créés. Lorsqu'un modèle est défini pour représenter un système et l'ensemble des connaissances qui s'y rattache, ses évolutions majeures entraînent souvent une remise en cause de l'ensemble de la définition et des processus de modification ardues pour faire évoluer un modèle en gardant son intégrité. Ce manque de dynamique explique aussi en partie la difficulté d'introduire ce type d'outil d'aide à la conception dans les bureaux d'études.

Un des sujets de recherche actuels liés directement au monde objet, est la problématique de la gestion physique des données supportée par un modèle objet. Ce genre de modèle est très accueillant pour tout type de données et peut donc être amené, ce qui est le cas en conception assistée par un système d'information, à supporter des masses d'informations importantes et hétérogènes. Cela entraîne des problèmes de stockage physique des informations car l'architecture objet n'est pas très adaptée au stockage et à la gestion des évolutions des données contrairement à celles des modèles courants des systèmes de gestion de base de données. Des solutions sont envisagées à travers la coopération SGDB-Bases Orientées Objet (Cf. [BHAL91]).

L'objectif fondamental de notre modélisation est la capture et la capitalisation de l'expertise de conception. En général la modélisation des processus de conception est réalisée par l'analyse et par la formalisation des activités de conception. A partir de cette formalisation sont produites des bases de connaissances représentant la mémoire informatique d'un ensemble d'expertises.

Actuellement ces bases de connaissances sont dédiées à la résolution de problèmes de conception et se doivent d'être performantes et rentables.

La capitalisation de l'expertise est intéressante dans le cadre de son exploitation par des systèmes intelligents de C.A.O., mais aussi dans le cadre de son partage par la communauté des concepteurs. Pour cela les modèles

existants doivent se doter de moyens de formalisation et d'exploitation des connaissances plus ludiques ou conviviales faisant intervenir les concepteurs de manière dynamique. Cela est un facteur important pour l'évolution des bases de connaissances, car cette évolution est nécessaire pour la pérennité de la capitalisation des expertises.

Aujourd'hui les bases de connaissances de conception sont très vite obsolètes et sont difficiles à faire évoluer rapidement. Les méthodes et les outils à disposition pour construire des bases de connaissances restent complexes et lourds à mettre en oeuvre par les concepteurs pour qui ces nouvelles technologies par leurs aspects "scientifique" et "coercitif" sont difficiles à appréhender. Elle demandent actuellement que les personnes qui les utilisent aient à la fois des qualifications de mécanicien, d'informaticien et de psychologue.

Une solution des constructeurs de systèmes de C.A.O. à base de connaissances à ces difficultés est une action de longue éducation (prévue sur cinq à dix ans) des concepteurs pour qu'ils intègrent les nouveaux concepts de ce domaine. Le fait que l'on manque aujourd'hui de recul et que l'on cherche à prouver la rentabilité de ces systèmes (contraintes économiques), amène la production de modèles de connaissances qui sont élaborés peut-être trop rapidement en sous-estimant les problèmes de cohérence et d'évolution. D'autres solutions trouvent leur source dans les recherches en science cognitive et en informatique qui feront évoluer les modèles de ces systèmes.

Nous pensons qu'une raison de ces difficultés est liée à l'évolution de ces systèmes, qui ont dans un premier temps intégré des techniques résultats des recherches en informatique avancée (les langages objets) dans l'objectif de traiter une partie de leur complexité informatique (intégration multi-modèles: mathématiques, bases de données, interfaces). Et ensuite que l'on a chargé peut-être un peu trop rapidement avec des informations liées à la connaissance, à cause de l'accueil naturel offert par les structures rationnelles des nouveaux langages informatique. Alors que le problème de représentation des connaissances requiert l'utilisation plus spécialisée des techniques de l'intelligence artificielle et une remise en question des premières approches.

En fait deux approches se présentent: l'approche paramétrage de haut niveau et l'approche modélisation des connaissances de conception

L'avenir des systèmes de C.A.O. à bases de connaissances est lié à la qualité du mixage de ces différents types d'approche.

Pour traiter ce problème d'évolution des bases de connaissances nous mettons à contribution, dans notre formalisme, les modèles d'apprentissage symbolique avec la prise en compte de quelques méthodes numériques.

Afin de nous détacher des définitions restrictives du concept objet nous ne définissons pas de classe, pas d'objet et de configurations de manière explicite, cela dans le souci de définir un modèle adapté à la représentation des connaissances de conception et à l'évolution de l'expérience des concepteurs.

2. Un modèle de représentation des connaissances et d'apprentissage pour la conception

2.1. Définitions du langage du modèle

Nous assimilons le processus de conception d'un produit technologique à un mécanisme de production, à partir d'un ensemble global d'informations et de relations, d'un sous-ensemble qui contient les informations et leurs relations définissant un objet matériel.

Nous entendons par "information" toute donnée relative à la définition d'un produit telle que: le nom d'une fonction, une cote et sa valeur.

Les relations sont les éléments qui lient et caractérisent les informations. Elles matérialisent les différents liens sémantiques et alimentent la dynamique de recherche de solutions.

Le formalisme que nous utilisons est inspiré des langages de description objets et de la théorie des ensembles. Nous situerons plus en avant les frontières et les caractéristiques propres de notre formalisme par rapport aux concepts objets.

Nous nous inspirons aussi de la théorie des graphes et particulièrement des recherches de contribution de ce domaine pour la représentation des connaissances et pour l'apprentissage (Cf [SPAD87], [QUEN91A], [QUENC90]).

Nous définissons maintenant l'ensemble des éléments de définition de notre modèle qui permettront de représenter des supports de connaissances de conception.

- Les informations de conception

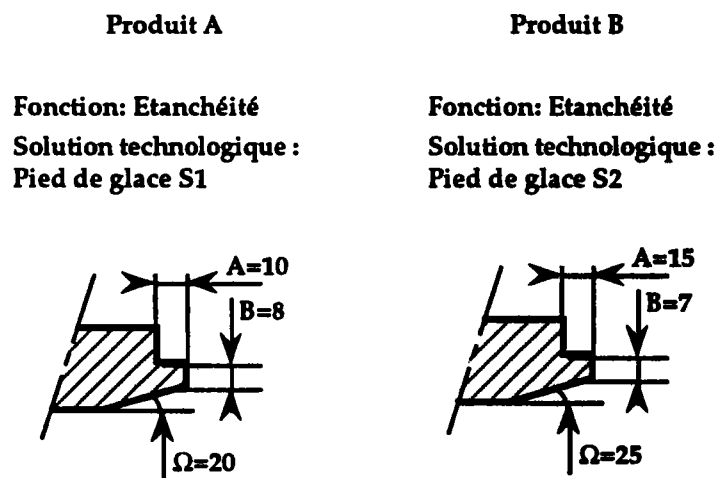
Les informations représentent les primitives des connaissances de conception. Les informations sont des paramètres, des variables, des constantes, des définitions, des caractéristiques.

Exemples:

- Les fonctions d'un produit, d'un sous-ensemble.
- Les efforts mécaniques, les comportements, les puissances
- Les solutions technologiques.
- Les dimensions, les positions, les couleurs, les matières, les formes.

Nous les notons $IC_{i,j}$ comme Information de Conception avec i l'indice de l'information et j l'indice de son instance. La définition de deux indices est due au fait qu'une même information pourra exister à un moment donné plusieurs fois avec des valeurs différentes, pour des produits différents par exemple.

Exemples:



(figure 31: Exemples d'informations de conception)

Sur cette figure nous représentons deux produit A et B avec pour chacun les informations de conception suivantes:

- les informations $IC_{1,1}$ = "Fonction" = "Etanchéité".
- les information $IC_{2,1}$ = "Solution technologique" = "Pied de glace S1" et $IC_{2,2}$ = "Solution technologique" = "Pied de glace S2".

- les informations $IC_{3,j} = "A"$, $IC_{4,j} = "B"$ et $IC_{5,j} = "\Omega"$.

- Les ensembles d'informations

Nous définissons à partir de la description précédente des informations, les ensembles d'informations: $EIC_k = \{IC_1, \dots, IC_i, \dots, IC_n\}$.

Exemple:

Sur la figure 31: Exemples d'informations de conception, page 91 nous pouvons trouver les ensembles:

- $EIC_1 = \{ IC_1 \}$.
- $EIC_2 = \{ IC_2 \}$.
- $EIC_3 = \{ IC_3, IC_4, IC_5 \} = \{ "A", "B", "\Omega" \}$

- Le contenu des informations

Le contenu d'une information représente sa valeur, sa caractéristique.

Exemples:

- "Eclairer", "produire", "transformer".
- "1daN", "rotations", "1000W".
- "glace", "mono-bloc", "bielle-manivelle"
- "10mm", "X10,Y100,Z40", "bleu", "acier XCn", "concave", "arrondie"

Nous les notons $CI_{i,k}$ comme Contenu de l'Information avec i l'indice de l'information, et k l'indice de la valeur dans l'espace des valeurs possibles.

Exemples:

Sur la figure 31: Exemples d'informations de conception, page 91 nous avons les contenus d'informations suivants:

- Pour IC_1 , $IC_{1,1} = "Etanchéité"$.
- Pour IC_2 , $IC_{2,1} = "Pied de glace S1"$.
- Pour IC_2 , $IC_{2,2} = "Pied de glace S2"$.
- Pour IC_3 , $IC_{3,1} = "10"$.
- Pour IC_3 , $IC_{3,2} = "15"$

- Les informations de conception valuées

On notera donc une information qui est associée à un contenu: $IC_{i,j}/CI_{i,k}$ ou pour simplifier I_i . Lorsqu'une information ne sera pas évaluée nous la noterons IC comme défini plus haut.

Exemples:

- $I_2 = \text{"Solution technologique"}/\text{"Pied de glace S1"}$.
- $I_3 = \text{"A"}/\text{"15"}$.

- Les ensembles d'informations valuées

Nous définissons les ensembles des informations valuées par : $EI_i = \{I_1, \dots, I_j, \dots, I_n\}$.

Exemple:

- Avec $I_3 = \text{"A"}/\text{"15"}$, $I_4 = \text{"B"}/\text{"7"}$, $I_5 = \text{"Ω"}/\text{"25"}$,
 $EI_1 = \{ I_3, I_4, I_5 \} = \{ \text{"A"}/\text{"15"}, \text{"B"}/\text{"7"}, \text{"Ω"}/\text{"25"} \}$.

- L'ensemble des valeurs affectables à une information

Nous définissons l'ensemble des valeurs affectables à une seule instance d'information IC_p : $EIC_p = \{CI_{p,1}; \dots; CI_{p,u}; \dots; CI_{p,n}\}$.

Exemples:

- Pour $IC_5 = \text{"Ω"}$, $EIC_5 = \{ \text{"20"}, \text{"25"} \}$.
- Pour $IC_4 = \text{"B"}$, $EIC_4 = \{ \text{"7"}, \text{"8"}, \text{"[10..20]"} \}$

- L'espace solution

Nous définissons l'espace de solution comme étant l'ensemble contenant toutes les informations, leurs instanciations, leurs valeurs affectables.

Exemple:

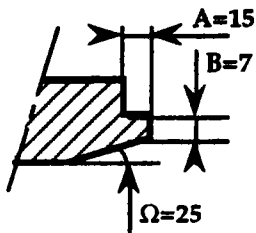
$\{ \{ \text{"Fonction A"}, \text{"Fonction B"} \} \{ \text{"Eclairer"}, \text{"produire"}, \text{"transformer"} \} \{ \text{"Côte A"}, \text{"Côte B"} \} \{ \text{4.2"}, \text{3.2"}, \text{1"}, \dots \} \}$

Nous notons L'espace de solution le produit cartésien: $ES = \{ IC_{i,j} * CI_{i,k} \}$.

- Les systèmes caractéristiques

Nous définissons les systèmes caractéristiques comme étant des sous-ensembles de l'espace de solution basé sur la même description et qui regroupent les informations , leurs instanciations, leurs valeurs affectables qui sont liées par des relations caractéristiques. On peut rapprocher les systèmes caractéristiques à la notion de définition de "feature" ou de géométrie paramétrée.

Exemple:

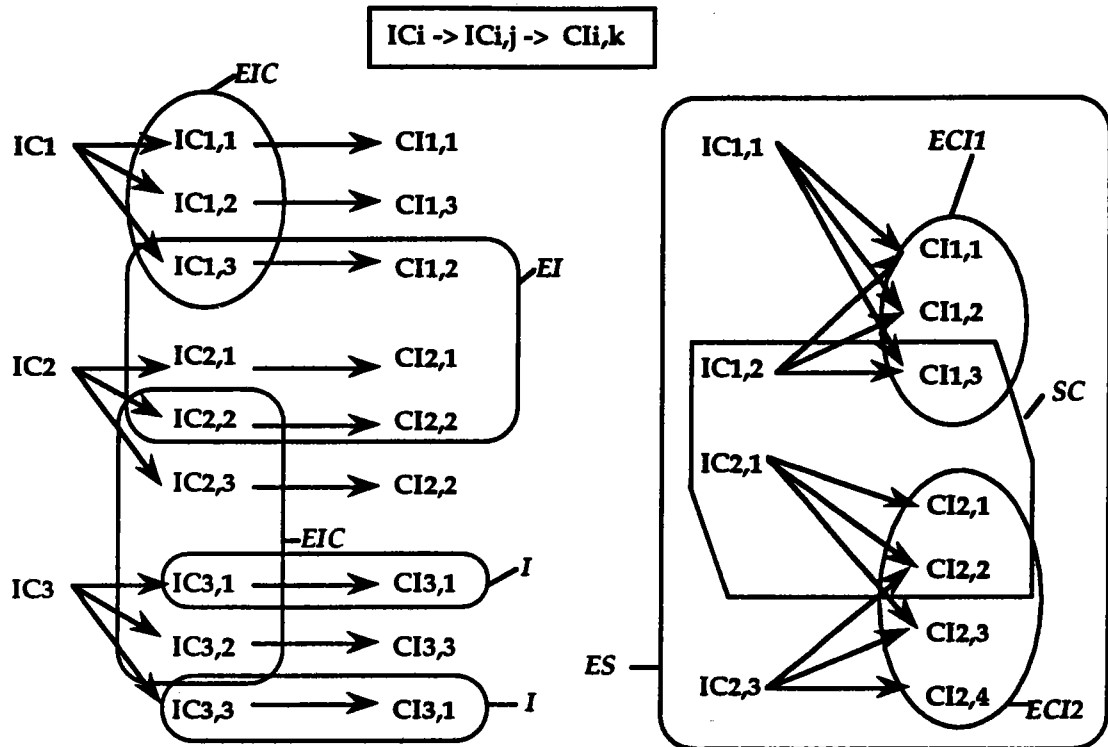


Cette géométrie, ci-contre représente un système caractéristique avec la définition: { {"A"/"15"}, {"B"/"7"}, {"Omega"/"25"} }.

(figure 32: Exemple d'un système caractéristique.)

Nous notons les systèmes caractéristiques: $SC_i = \{ IC_{i,j} * CI_{i,k} \}$ avec $SC_i \in ES$. Les intersections $SC_i \cap SC_j$ sont possibles.

- Figure récapitulative:

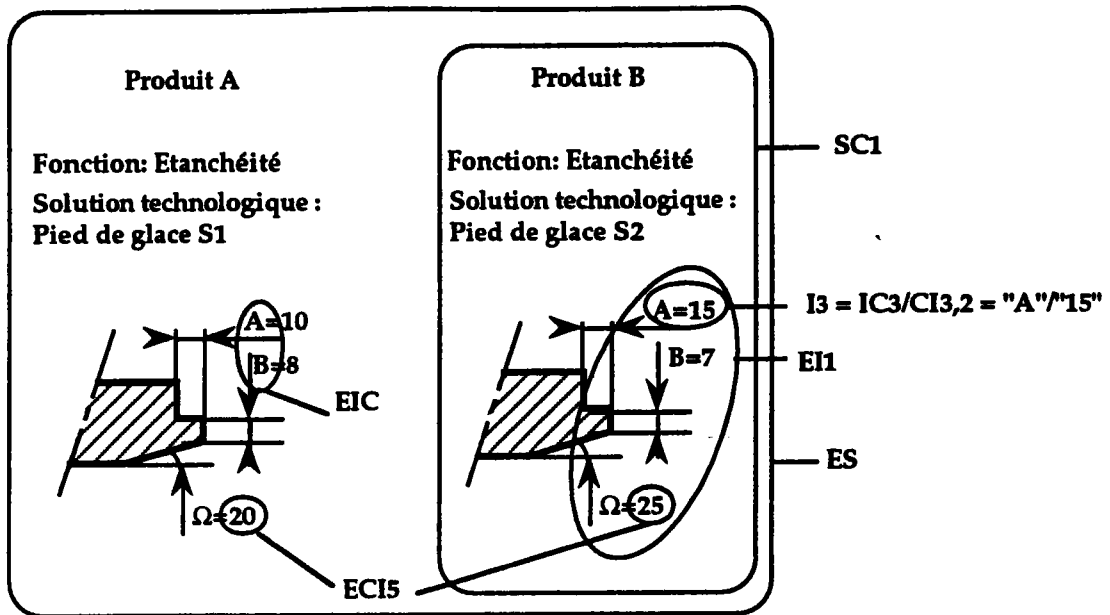


(figure 33: Les informations du modèles)

Nous représentons sur cette figure des exemples d'ensembles d'informations correspondant aux définitions précédentes. Nous y retrouvons:

- Les informations de conception IC_i: IC₁, IC₂, IC₃.
- Les ensembles d'informations EIC.
- Les instances de ces informations IC_{i,j}: IC_{1,1};...; IC_{2,2}; ...
- Les valeurs affectables CI_{i,k}: CI_{1,1};...; CI_{2,3};...
- Les ensembles de valeurs affectables à une information EC_{i,j}: ECI₁, ECI₂,...
- Les instances d'informations valuées I: IC_{3,1}/CI_{3,1}; IC_{3,3}/CI_{3,1},...
- Les ensembles d'informations valuées EI.
- L'espace solution ES.
- Les systèmes caractéristiques SC.

Exemple:



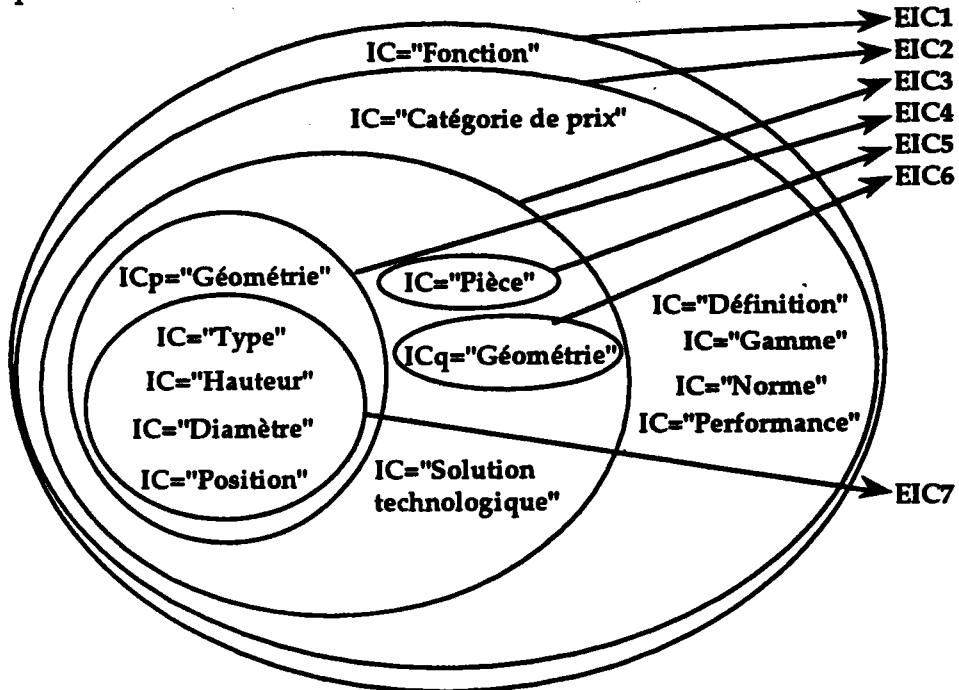
(figure 34: Exemple d'espace solution.)

- Les relations d'abstraction

Nous définissons les relations d'abstraction représentant une loi d'organisation des informations de ES. Ces relations définissent une hiérarchie de visibilité récursive des sous-ensembles d'informations EIC.

Nous notons: $A_k(EIC_i, EIC_j)$ l'abstraction k de EIC_j par rapport à EIC_i .

Exemple:



(Figure 35: Exemple d'une organisation d'abstractions.)

Sur cette figure nous représentons un exemple d'organisation d'ensembles d'informations définis par:

- Les ensembles d'informations:

- EIC1 = {"Fonction"}
- EIC2 = {"Catégorie de prix", "Définition", "Gamme", "Norme", "Performance"}
- EIC3 = {"Solution technologique"}
- EIC4 = {"Géométrie"}
- EIC5 = {"Pièce"}
- EIC6 = {"Géométrie"}
- EIC7 = {"Type", "Hauteur", "Diamètre", "Position"}

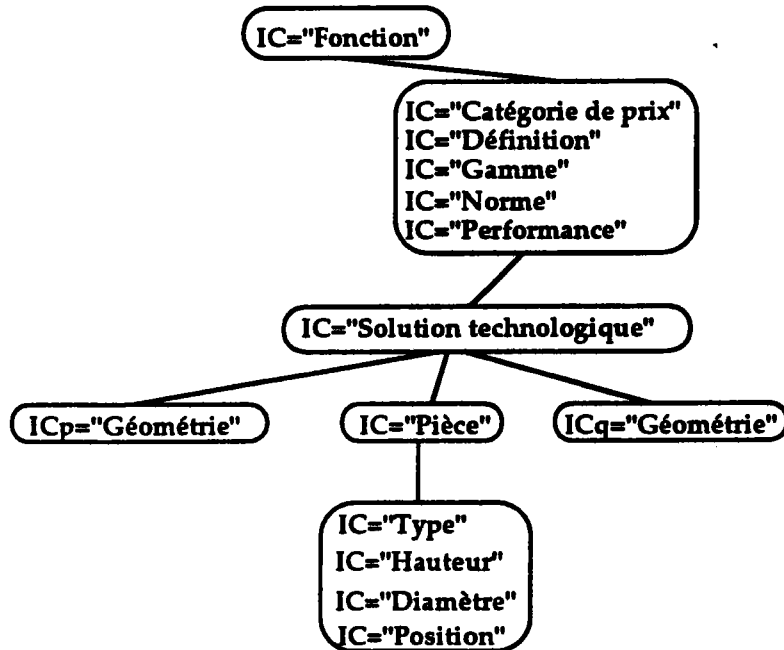
- Les relations d'abstractions:

- A1(EIC1, EIC2)
- A2(EIC2, EIC3)
- A3(EIC3, EIC4)
- A4(EIC3, EIC5)
- A5(EIC3, EIC6)
- A6(EIC4, EIC7)

- L'ensemble des relations d'abstraction

Nous définissons l'ensemble regroupant les relations d'abstractions A_k et nous le notons: $EA = \{A_1, \dots, A_k, \dots, A_n\}$.

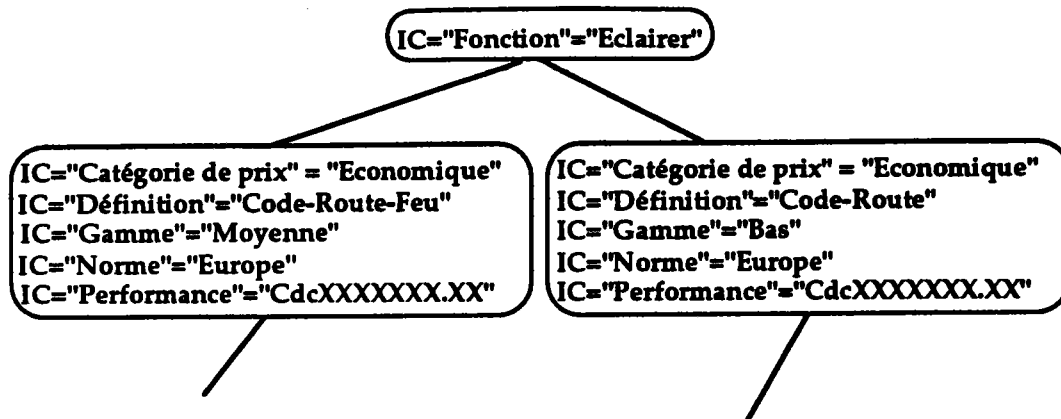
EA définit un graphe de type arbre hiérarchique.



(figure 36: Exemple d'arbre hiérarchique d'abstractions.)

Nous représentons sur cette figure l'arbre hiérarchique d'abstraction correspondant à l'ensemble des relations d'abstractions de la figure 35: Exemple d'une organisation d'abstractions, page 97.

Ce type d'arbre n'est pas un graphe de décision, mais peut représenter une configuration prototype d'un tel graphe si l'on considère par exemple deux instanciations de cet arbre avec pour chacun d'eux des informations valuées différentes.



(figure 37: Exemple de graphe de décision de type arbre hiérarchique.)

Nous représentons sur cette figure un exemple de graphe de décision de type arbre hiérarchique extrait de la configuration de la figure 36: Exemple d'arbre hiérarchique d'abstractions de la page précédente.

- Les systèmes solutions

Un système solution représente le résultat d'un processus de conception qui fait correspondre à chaque ensemble d'informations EIC, un ensemble d'informations évaluées EI solution. Nous notons un système solution:

$$SS_i = \{((EIC_p, EI_q), (EIC_r, EI_s)),$$

$$\dots$$

$$((EIC_a, EI_b), (EIC_c, EI_d)),$$

$$\dots$$

$$(EIC_n, EI_m), (EIC_p, EI_q)\}$$

- Avec $((EIC_j, EI_k), (EIC_u, EI_v))$ une expression correspondant à une relation d'abstraction $A_i(EIC_j, EIC_u)$ situant les abstractions de chaque ensemble d'informations EIC associé à un ensemble d'informations évaluée EI.

- Avec $EIC_j \in EI_k,$

- Pour un même système solution SS il ne peut pas exister deux expressions (EIC_i/EI_j) égales car on ne peut pas y retrouver deux ensembles d'information EI identiques.

- Pour un même système solution SS il ne peut exister deux ensembles d'informations de conception EIC_i et EIC_j ayant des éléments en communs: $EIC_i \cap EIC_j = \{\emptyset\}$.

- L'ensemble des systèmes solutions

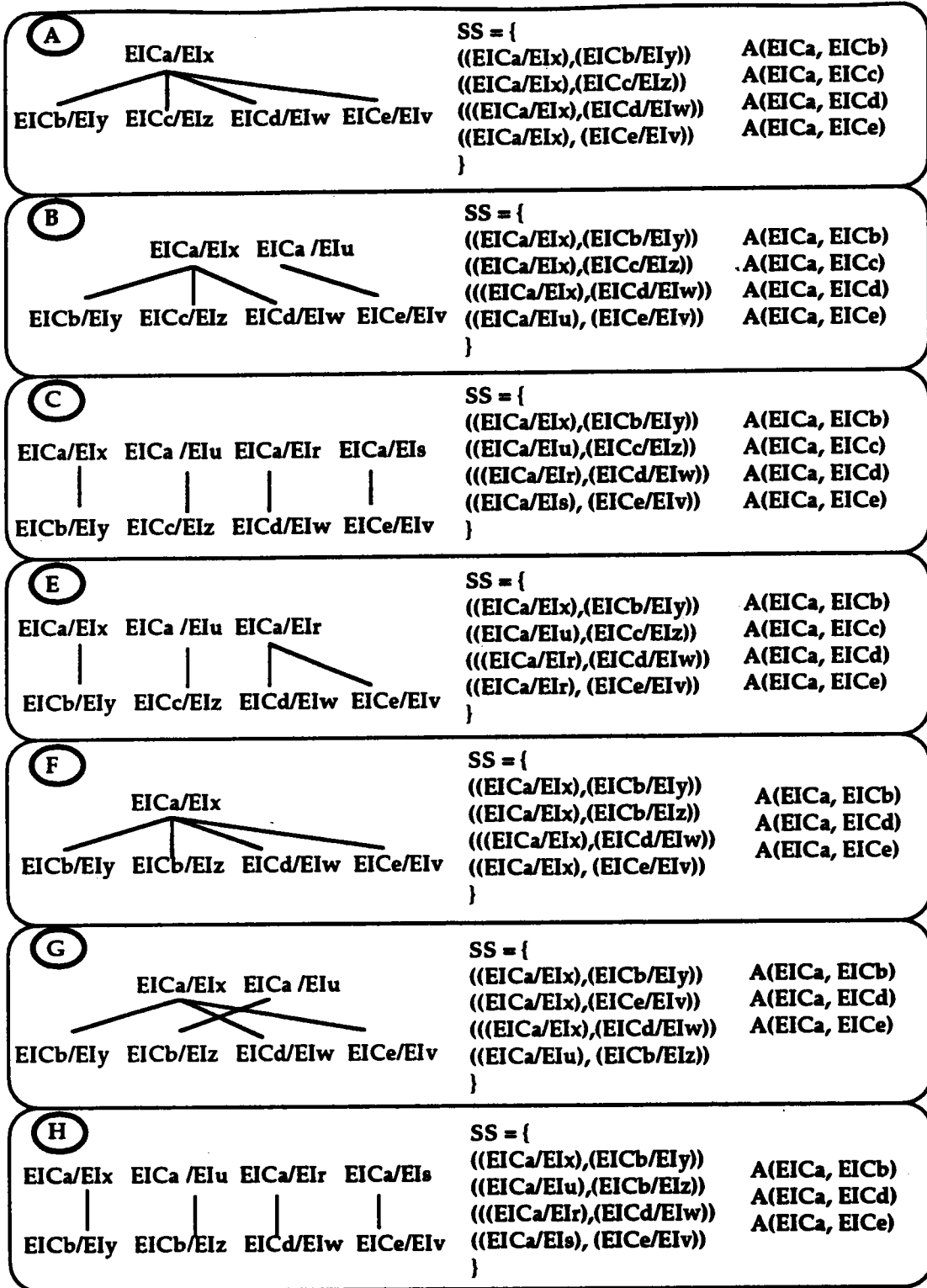
Nous définissons l'ensemble de tous les systèmes solutions SS_i et nous le notons: $ESS = \{SS_1, \dots, SS_i, \dots, SS_n\}$.

ESS représente la mémoire des résultats de processus d'étude intégrant l'expérience de conception.

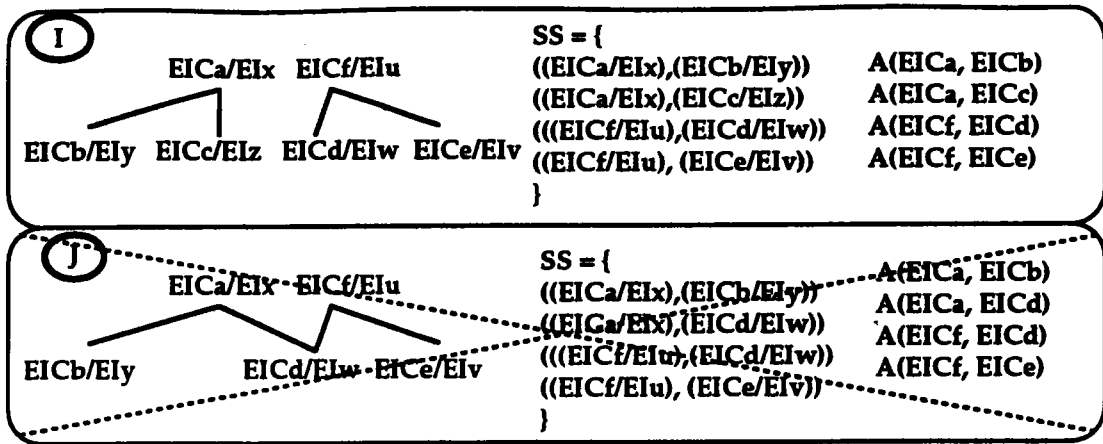
- Exemples de représentations du modèle

Nous présentons sous forme de graphes les différentes possibilités de représentations possibles de support d'informations.

Sur la figure suivante nous décrivons des représentations avec pour chacune d'elle un graphe arborescent, le système solution et les relations d'abstractions correspondants.



(figure 38: Espace des représentations.)



(figure 39: Restrictions de l'espace des représentations.)

Les développées des graphes ne peuvent être que divergentes lorsque l'on travaille d'un niveau d'abstraction général à un niveau d'abstraction plus précis.

- Les relations entre systèmes caractéristiques

Nous définissons les relations entre les Systèmes Caractéristiques SC_i que nous notons: $R_k(SC_i, SC_j)$ relation dans ES où:

- SC_i représente:

- une condition.
- un état.
- une situation.
- un concept.
- un ensemble de faits.

- SC_j représente:

- une production d'un nouveau SC.
- la modification d'un SC quelconque.
- Une évolution de SC_i .

A chaque R_k est associé un moteur de la relation que nous notons: W_k qui définit:

- Une règle de propagation de contrainte.
- Un processus (calcul de structure, de simulation, théorique...).
- Un système à base de connaissance (Système expert...).

Exemples:

- Soit:

- SC1 = { I1 = {"Température"/"[0..60]} }
- SC2 = { IC2,1 = {"Matière"/{"Plastique", "Verre"}} }

on a R1(SC1, SC2)

avec W1 = Si "Température"/"[0..60]" Alors {"Matière"/"Plastique"}
comme règle de propagation de contrainte.

- Soit:

- SC3 = { I3 = {"Longueur"/"150"}, IC4,1 = {"Diamètre"}, I5 = {"Couple"/"20"}, I6 = {"Torsion"/"[0..1]} }

On a R2(SC3, SC3)

avec W2 = Calcul_Diamètre({"Longueur"/"150"}, {"Couple"/"20"}, {"Torsion"/"[0..1]"}, {"Diamètre"}) comme processus de calcul (Résistance des matériaux).

- Soit:

- SC4 = {
- I8 = {"Tableau_fota"/"Fichier_tab"},
 - I9 = {"Surface_reflecteur1"/"S1"},
 - I10 = {"Surface_reflecteur1"/"S2"},
 - I11 = {"Surface_reflecteur2"/"S3"},
 - I12 = {"Surface_opt_glace"/"S4"}
 - I13 = {"Surface_coupelle"/"S5"} }

Avec R3(SC4,SC4)

avec W3 = SE_Valide_Modif_Surf_Optique(SC4) comme système expert exploitant sa propre base de connaissance. Dans cet exemple le système expert est chargé de proposer des modifications des surfaces optiques qu'on lui a fourni en fonction d'un résultat de calcul photométrique. On peut imaginer par exemple l'intégration d'un système de calcul optique avec ce système expert.

- Les éléments d'explication

A chaque élément du modèle nous associons un texte qui a un rôle explicatif. C'est à dire que ce texte est une définition en langage naturel d'un élément.

Exemple:

- IC1 = "Fonction", T(IC1) = "Ce que doit faire le produit".
- IC12 = "H", T(IC12) = "La hauteur du réflecteur"

- $CI_{12,2} = "20"$, $T(CI_{12,2}) = "vingt"$
 - $I_{12} = "H"/"20"$, $T(I_{12}) = "La hauteur du réflecteur" est "vingt"$
 - $R_1(SS_1, SS_2)$, $T(R_1) = "Détermination de l'encombrement projecteur"$
- Nous notons le texte explicatif d'un élément quelconque: $T(\text{élément})$.

- Problème de satisfaction de contrainte

A partir des définitions précédentes nous pouvons introduire une première notion de mécanisme dynamique du modèle: la satisfaction de contraintes.

- Avec la définition d'un ensemble d'informations (variables) suivante:
 $EIC = \{IC_1, \dots, IC_k, \dots, IC_n\}$.

- Avec la définition d'un ensemble des valeurs affectables aux informations $EEIC = \{EIC_1, \dots, EIC_k, \dots, EIC_n\}$

- Nous pouvons produire une définition générique d'un problème de satisfaction de contraintes (Cf. [BEL92]).

Pour cela nous définissons:

- Un ensemble de m contraintes $C = \{C_1, \dots, C_i, \dots, C_m\}$ où une contrainte R_i est définie par un sous-ensemble d'instances d'informations:
 $C_i = \{ECI_{i1}, \dots, ECI_{ik}, \dots, ECI_{in_i}\}$.

- A chaque contrainte C_i est associée une relation entre systèmes caractéristiques R_i , définissant l'ensemble de combinaisons d'informations valuées admises par C_i . R_i est définie par un sous-ensemble du produit cartésien $ECI_{i1} * \dots * ECI_{ik} * \dots * ECI_{in_i}$. Nous notons l'ensemble des relations R :
 $R = \{R_1, \dots, R_i, \dots, R_m\}$

- Ce problème de satisfaction de contraintes est définie par le quadruplé $(EIC, EEIC, C, R)$.

- Marquage du temps

Nous considérons qu'à chaque élément est attachée une date, ce qui permet de situer les différents éléments les uns par rapport aux autres.

Nous noterons la date d'un élément: $D(\text{élément})$.

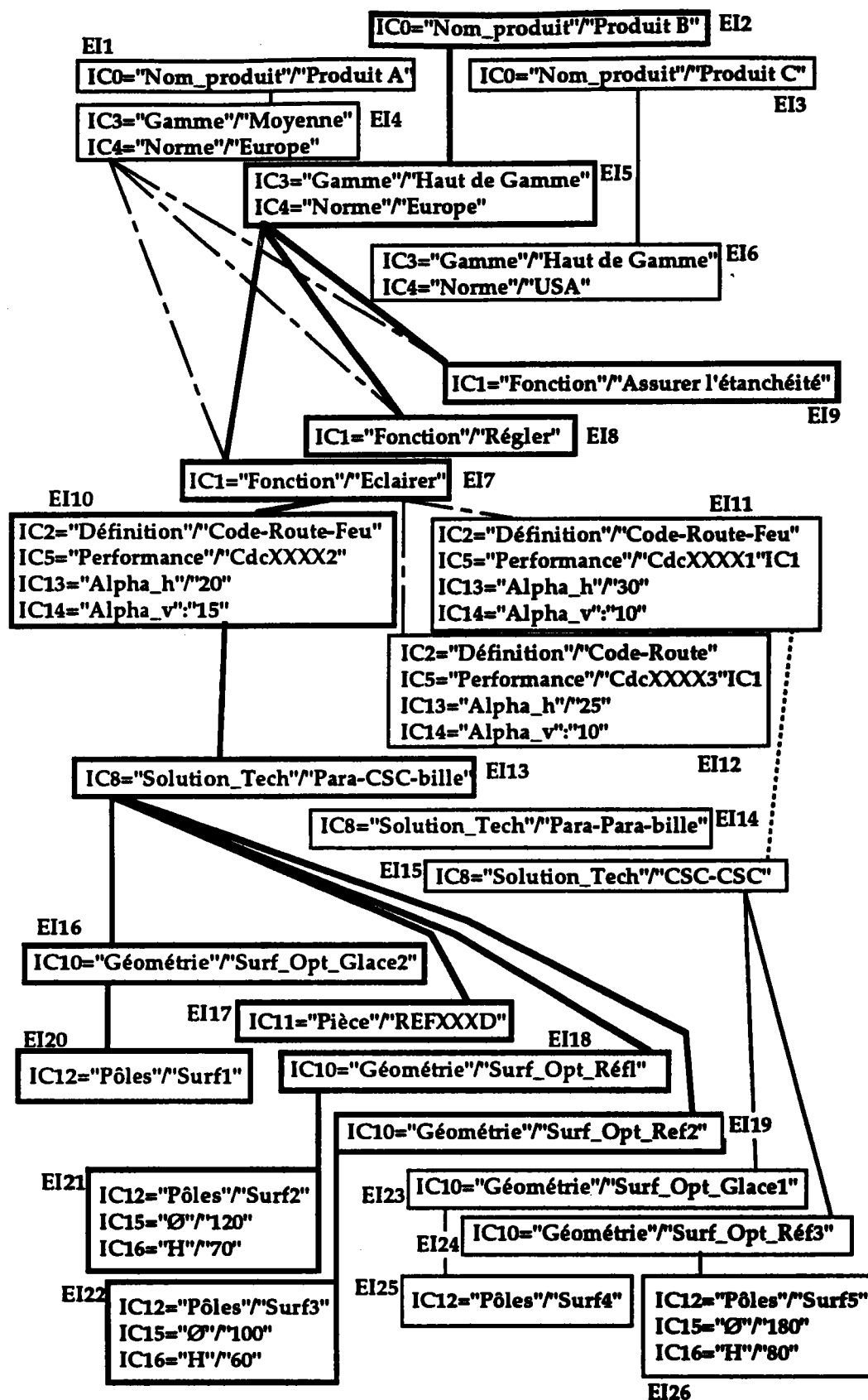
Exemple:

- Avec $I1 = \text{"Dim_A"/"30}$, nous avons $D(I1) = 9105141224$ (AAMMJJHHMM).

Les dates seront exploitées comme poids de validité.

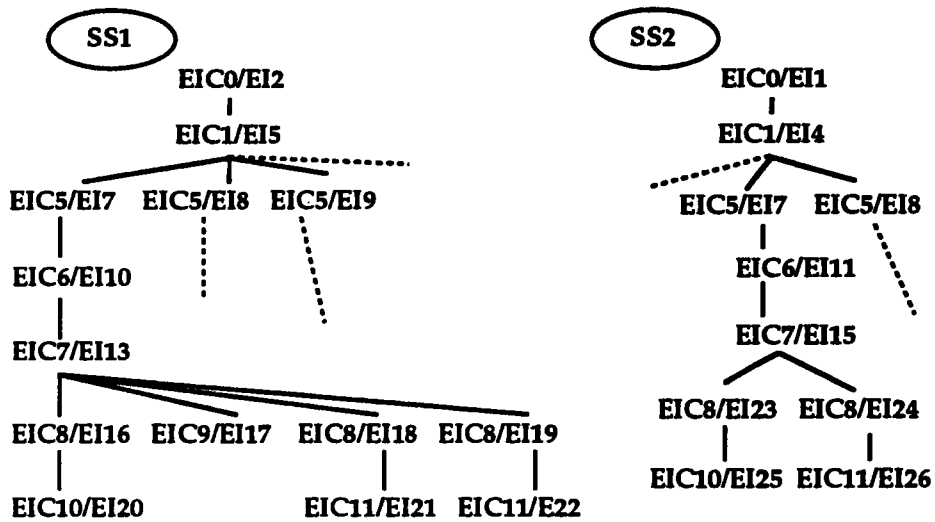
- Exemple d'application

Nous présentons ici un exemple simplifié d'implantation d'informations de conception basée sur les définitions précédentes pour illustrer les aspects statiques de représentation des connaissances.



(figure 40: Représentation des informations de l'application exemple.)

Sur la figure précédente nous présentons un arbre qui donne une image simplifiée de l'organisation hiérarchique des informations représentant "un support mémoire des connaissances de conception". Cet arbre représente le résultat de processus d'apprentissage, que nous développerons par la suite, qui ont pris en compte des "exemples" de résolutions de problèmes de conception pour enrichir la base de connaissance. Nous donnons sur la figure suivante deux exemples de systèmes solutions à l'origine de l'arbre précédent.



(figure 41: Exemple de Systèmes solutions.)

- Nous pouvons reformaliser ces exemples sous la forme de définition suivante:

$ \begin{aligned} SS1 = \{ & \\ & ((EIC0/EI2),(EIC1/EI5)), \\ & ((EIC1/EI5),(EIC5/EI7)), \\ & ((EIC1/EI5),(EIC5/EI8)), \\ & ((EIC1/EI5),(EIC5/EI9)), \\ & ((EIC5/EI7),(EIC6/EI10)), \\ & ((EIC5/EI8),...), \\ & ((EIC5/EI9),...), \\ & ((EIC6/EI10),(EIC7/EI13)), \\ & ((EIC7/EI13),(EIC8/EI16)), \\ & ((EIC7/EI13),(EIC9/EI17)), \\ & ((EIC7/EI13),(EIC8/EI18)), \\ & ((EIC7/EI13),(EIC8/EI19)), \\ & ((EIC8/EI16),(EIC10/EI20)), \\ & ((EIC8/EI18),(EIC11/EI21)), \\ & ((EIC8/EI19),(EIC11/EI22)), \\ & \} \end{aligned} $	$ \begin{aligned} SS2 = \{ & \\ & ((EIC0/EI1),(EIC1/EI4)), \\ & ((EIC1/EI4),...), \\ & ((EIC1/EI4),(EIC5/EI7)), \\ & ((EIC1/EI4),(EIC5/EI8)), \\ & ((EIC5/EI7),(EIC6/EI11)), \\ & ((EIC5/EI8),...), \\ & ((EIC6/EI11),(EIC7/EI15)), \\ & ((EIC7/EI15),(EIC8/EI23)), \\ & ((EIC7/EI15),(EIC8/EI24)), \\ & ((EIC8/EI23),(EIC11/EI25)), \\ & ((EIC8/EI24),(EIC11/EI26)) \\ & \} \end{aligned} $
--	--

<p>- Avec les ensembles d'informations:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EIC0 = {IC0}. • EIC1 = {IC3, IC4}. • EIC5 = {IC1}. • EIC6 = {IC2, IC5, IC13, IC14}. • EIC7 = {IC8}. • EIC8 = {IC10}. • EIC9 = {IC11}. • EIC10 = {IC12, IC13, IC14}. • EIC11 = {IC12, IC15, IC16}. 	<p>- Avec l'ensemble des relations d'abstractions:</p> $ \begin{aligned} EA = \{ & \\ & A1(EIC0, EIC1), \\ & A2(EIC1, EIC5), \\ & A3(EIC5, EIC6), \\ & A4(EIC6, EIC7), \\ & A6(EIC7, EIC8), \\ & A7(EIC7, EIC9), \\ & A8(EIC8, EIC10), \\ & A9(EIC8, EIC11) \\ & \} \end{aligned} $	<p>Correspondant à la hiérarchie suivante:</p> <pre> graph TD EIC0 --> EIC1 EIC1 --> EIC5 EIC5 --> EIC6 EIC6 --> EIC7 EIC7 --> EIC8 EIC7 --> EIC9 EIC8 --> EIC10 EIC8 --> EIC11 </pre>
---	--	--

- Les ensembles des valeurs d'informations correspondant à cet exemple sont:

- Pour IC0 = "Nom_Produit",
ECI0 = {"Produit A", "Produit B", "Produit C"}.
- Pour IC1 = "Fonction",
ECI1 = {"Eclairer", "Régler", "Assurer l'étanchéité"}.
- Pour IC2 = "Définition",
ECI2 = {"Code-Route-Feu", "Code-Route"}.
- Pour IC3 = "Gamme",
ECI3 = {"Moyenne", "Haut de gamme"}.
- Pour IC4 = "Norme",
ECI4 = {"Europe", "USA"}.
- Pour IC5 = "Performance",
ECI5 = {"CdcXXXX1", "CdcXXXX2", "CdcXXXX3"}.
- Pour IC8 = "Solution_Tech",
ECI8 = {"Para-CSC-bille", "Para-Para-bille", "CSC-CSC"}.
- Pour IC10 = "Géométrie",
ECI10={"Surf_Opt_Glace", "Surf_Opt_Réf1", "Surf_Opt_Réf1", "Surf_Opt_Réf3"}.
- Pour IC11 = {"Pièce"},
ECI11 = { "REFXXD" }.
- Pour IC12 = "Pôle",
ECI12 = { "Surf1", "Surf2", "Surf3", "Surf4"}.
- Pour IC13 = "Alpha_h",
ECI13 = {"20", "30" }.
- Pour IC14 = "Alpha_v",
ECI14 = {"15", "10" }.
- Pour IC15 = "Ø",
ECI15 = {"120", "100", "120"}.
- Pour IC16 = "H",
ECI16 = {"70", "60", '80'}.

- Nous définissons les relations suivantes:

- R1({IC10, IC12}, {IC13, IC14}) avec W1 un calcul de détermination de IC13 et IC14 en fonction de IC12 si IC10 = "...glace...".
- R2({IC15}, {IC16}) avec W2 une fonction tirée des théories de la résistance des matériaux: IC16=f(IC15).

- R3({IC4}, {IC15}) avec W3 une règle SI CI4 = "USA" ALORS CI15 = "[150..∞]"

2.2. Définition des mécanismes de résolution

Les définitions précédentes matérialisent un support pour les informations qui appartiennent à différentes abstractions et nous pouvons donc projeter sur ce modèle le schéma des modèles cognitifs que nous décrivons dans le chapitre II.3. Définition d'un schéma des modèles cognitifs.

- Les informations de conception IC peuvent représenter tout élément de description du langage des concepteurs.
- Un ensemble d'informations formant un système caractéristique SC et de relations R peuvent représenter des éléments de description d'un concept.
- Les relations d'abstraction A permettent d'offrir un espace hiérarchique de classifications à plusieurs dimensions (Précision informationnelle, Assemblage) pour ces concepts.
- Ce support de connaissance peut offrir une structure commune pour tous les concepteurs.
- Ces définitions peuvent représenter un support pour la mémoire de conception d'une communauté de concepteurs et de leurs expériences.

Nous décrivons maintenant les mécanismes dynamiques du processus de résolution d'un problème de conception sans apprentissage qui exploitent la représentation des connaissances précédente.

- Un système à base de connaissance

A partir de la définition du langage de notre modèle, nous pouvons définir un système de résolution de problèmes de conception à base de connaissance.

La base de connaissance est définie par l'ensemble des systèmes solutions ESS, par l'ensemble des relations d'abstractions EA et par l'ensemble des relations de satisfaction de contrainte R.

Ce système est chargé de proposer un système solution SS en exploitant sa base de connaissance.

Nous distinguons deux phases de production d'un système solution SS:

- La première phase est un processus de production d'un premier ensemble d'informations SS représentant une définition d'un objet technologique.

- La deuxième phase est un processus de modification de ce système solution.

- État d'un système solution

Nous définissons d'abord l'état du système solution SS à un instant t que nous notons:

- $SS(t) = \{ ((EIC_i/EI_j), (EIC_k, EI_l))_u, ((EIC_v/EI_w))_y \}$.

- Avec l'ensemble des relations d'abstractions de SS à l'instant t: $EA_{SS}(t) = \{A_1, \dots, A_z, \dots, A_p\}$.

Exemple:

- $SS(t_1) = \{$
 $((EIC_0/EI_1), (EIC_1/EI_4)),$
 $((EIC_1/EI_4)),$
 $((EIC_1/EI_4), (EIC_5/EI_7)),$
 $((EIC_1/EI_4), (EIC_5/EI_8)),$
 $((EIC_5/EI_7), (EIC_6/EI_{11})),$
 $((EIC_5/EI_8))$
 $\}$

- Avec $EA_{SS}(t_1) = \{$
 $A_1(EIC_0, EIC_1),$
 $A_2(EIC_1, EIC_5),$
 $A_3(EIC_5, EIC_6)$
 $\}$

- Le mécanisme de sélection d'une relation d'abstraction (MSA)

Le mécanisme de sélection d'une relation d'abstraction est dédié à partir de l'abstraction courante de déterminer la suivante en exploitant l'ensemble des relations d'abstraction EA et l'état courant d'un système solution.

Exemple:

- Soit ((EIC1/EI4)) un élément d'un Système Solution et A1(EIC1,EIC5) une relation de EA, le mécanisme déduira EIC5 comme l'ensemble d'informations de conception du niveau d'abstraction suivant.

Nous considérons ici l'exemple d'une évolution d'un niveau général à un niveau plus précis, mais la réciproque est aussi possible en fonction de la stratégie de recherche.

- Le mécanisme de satisfaction de contrainte (MSC)

Le Mécanisme de Satisfaction de Contrainte (nous le noterons MSC) est chargé à partir d'un ensemble d'informations valuées connues de déterminer, de proposer, de modifier des valeurs d'informations valuées ou non.

Conformément à la description du problème de satisfaction de contraintes que nous avons défini précédemment par le quadruplé (EIC, EECI, C, R), nous formalisons ici la dynamique du mécanisme de la façon suivante:

- A l'état initial $t_{psc} = 0$ (instant t du problème de satisfaction de contrainte).

- Soit EI_{psc} un ensemble d'informations valuées.
- Soit EIC_{psc} un ensemble d'information non valuée.
- On a $ES = EI_{psc} \cup EIC_{psc}$

L'objectif du mécanisme est de réduire le Cardinal de EIC_{psc} et d'augmenter le Cardinal de EI_{psc} .

- Les phases de travail

• Chaque R_i définit une relation entre deux systèmes caractéristiques SC_j et SC_k .

• La première étape est l'unification de SC_j et de SC_k avec des SC de ES pour isoler deux SC: SC_p et SC_q . Si cette unification n'est pas possible le mécanisme ne traite pas la relation.

• La deuxième étape correspond au déclenchement du moteur W_i de la relation R_i qui fait évoluer les SC unifiés et ainsi fait évoluer parallèlement EIC_{psc} .

Ce processus continue tant qu'il y a des relations "activables". Ce qui peut entraîner des séquences d'inférences qui peuvent être guidées par la définition hiérarchique des abstractions du modèle. Cela contribue à la nécessité à ce niveau de prendre en compte les problèmes de cohérence de l'espace (EIC, EECI, C, R).

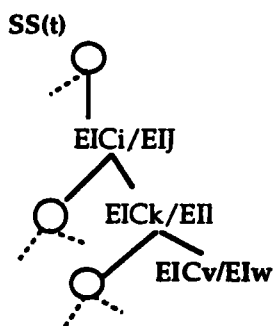
- Le mécanisme d'exploitation de l'expérience de cas (MEC)

Ce mécanisme est chargé d'exploiter l'ensemble des systèmes solutions pour guider la recherche, produire des hypothèses, proposer des solutions, ou pour déterminer des informations. Nous le noterons MEC (Mécanisme d'Exploitation des Cas).

- A l'instant t , l'état du système solution est:

$$SS(t) = \{ ((EIC_i/EI_j), (EIC_k/EI_l))u, \\ ((EIC_v/EI_w))y \}$$

avec $EA_{SS}(t) = \{A_1, \dots, A_z, \dots, A_p\}$.



(figure 42: Représentation arborescente de $SS(t)$.)

Le mécanisme exploite l'expression (EIC_v/EI_w) de $SS(t)$ comme association référence. Il construit le sous ensemble ESS_{SS} des SS de ESS qui unifie cette association avec le premier membre d'une ou de plusieurs relations de leur définition. L'unification est un filtrage des expressions du type (EIC_i/EI_j) par une expression filtre (EIC_a/EI_b) .

Nous avons défini que pour un même système solution SS il ne peut pas y avoir deux expressions (EIC_i/EI_j) égales et que pour un même système solution SS il ne peut exister deux EIC identiques.

Nous pouvons alors définir le filtrage par:

Si $EIC_x \cap EIC \neq \{\emptyset\}$ alors EIC_x est unifié et son ensemble solution SS est ajouté à ESS_{SS} .

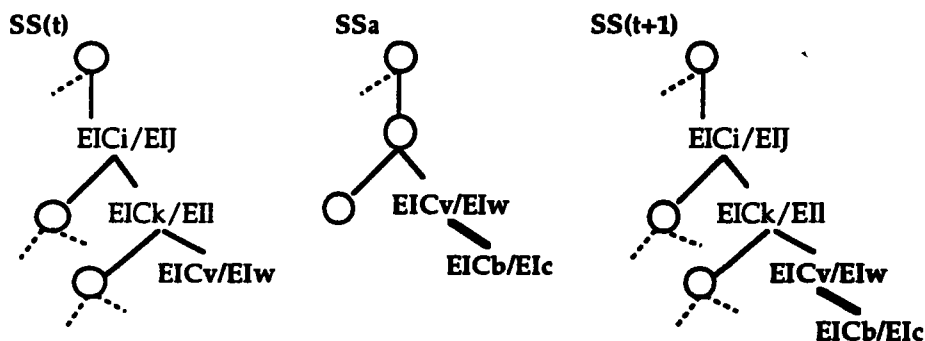
On distingue quatre types de résultat de filtrage des SS de ESS :

1 - Pas de cas sélectionné: $ESS_{SS} = \{\emptyset\}$

Dans ce cas le mécanisme s'arrête car il n'y a pas trouvé de situation équivalente dans la mémoire des exemples.

2 - Un cas simple sélectionné: $ESS_{SS} = \{SSa\}$ avec $SSa = \{ \dots, ((EICv/EIw), (EICb/EIc)), \dots \}$

Dans ce cas il y a déduction directe et $SS(t+1) = \{ ((EICi/EIj), (EICk/EIl))u, (EICv/EIw)y \} \cup \{ ((EICv/EIw), (EICb/EIc)) \}$.



(figure 43: Représentation arborescente de $SS(t)$, SSa et $SS(t+1)$.)

3 - Plusieurs cas simples sélectionnés: $ESS_{SS} = \{SSa, SSb, \dots\}$ avec

$SSa = \{ \dots, ((EICv/EIw), (EICb/EIc)), \dots \}$ et

$SSb = \{ \dots, ((EICv/EIw), (EICb/EIe)), \dots \}$

Il y a dans ce cas deux solutions pour la déduction de $EICb$: EIc et EIe . A ce niveau il y a plusieurs types de détermination de EI associé à $EICb$.

Nous représentons sur la figure suivante un exemple d'espace solution de $EICb$:

On a :

$EICb = \{ IC1, IC2, IC3 \}$

$IC1 = "A", IC2 = "B", IC3 = "C"$

$EIc = \{ I1, I2, I3 \}$

$I1 = \{ IC1 : I1 = "A"/"a1" \}, IC2 : I2 = \{ "B"/"b1" \}, IC3 : I3 = \{ "C"/"c1" \}$

$EIe = \{ I3, I4, I5 \}$

$I3 = \{ IC1 : I3 = "A"/"a2" \}, IC2 : I4 = \{ "B"/"b2" \}, IC1 : I3 = \{ "C"/"c2" \}$

Ce qui implique:

$EIC1 = \{ "a1", "a2" \}$

$EIC2 = \{ "b1", "b2" \}$

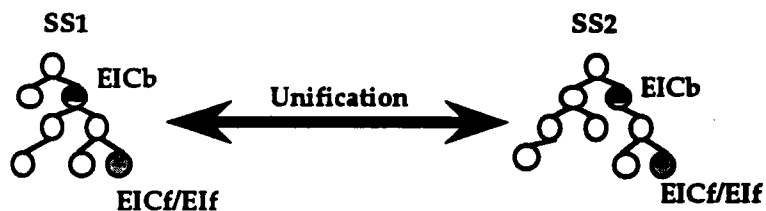
$EIC3 = \{ "c1", "c2" \}$

(figure 44: Exemple d'espace de solution produit pour un EIC .)

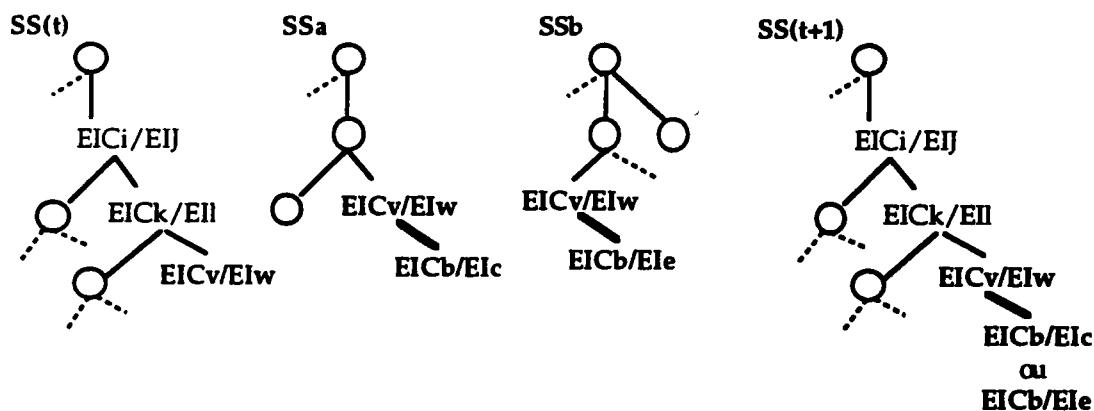
A partir de cet espace de solution il est possible:

a - soit de déterminer pour chaque IC une valeur appartenant au ECI correspondant. On risque avec cette option de créer un nouvel EI combinaison de EIC et de EIE. Ce cas sera alors traité en apprentissage.

b - soit de déterminer quel est l'EI à affecter à EICb. Cette détermination peut être faite par l'utilisateur, par le lancement du mécanisme de satisfaction de contrainte ou par un mécanisme de recherche d'unification entre deux SS qui filtrera en fonction des relations hiérarchiques et des couples (EIC/EI) ESS et sélectionnera des SS adéquates pour proposer des solutions (Voir figure 45: Exemple d'unification de SS.). Nous développerons ce mécanisme dans la description des mécanismes d'apprentissage.



(figure 45: Exemple d'unification de SS.)



(figure 46: Représentation arborescente de SS(t), SSa, SSb et de SS(t+1).)

4 - Plusieurs cas de développées sélectionnés: $ESS_{SS} = \{SSa, SSb, \dots\}$ avec

$SSa = \{ \dots,$

$((EICv/EIw), (EICb/EIc)),$

$((EICv/EIw), (EICb/EId)),$

$((EICv/EIw), (EICe/EIcf)),$

$\dots\}$ et

$SSb = \{ \dots,$

$((EICv/EIw), (EICb/EIc)),$

$((EICv/EIw), (EICc/EIh)),$

$((EICv/EIw), (EICe/EIa)),$

$\dots\}$



(figure 47: Représentation arborescente de SSa et de SSb.)

Cette situation est la mise en place d'ensembles d'informations appartenant au même niveau d'abstraction, qui seront traités séparément par la suite, parallèlement ou non.

Dans ce contexte de recherche d'éléments de définition d'un objet technologique la séquence de détermination des informations est la suivante:

- Recensement des EIC:

Ce qui nous donne ici: $\{EICb, EICe, EICc\}$

- Recensement des EI correspondants:

Pour $EICb$: $\{EId, EIc, EIe\}$;

Pour $EICe$: $\{EIf, EIa\}$;

Pour $EICc$: $\{EIh\}$.

- Recensement des IC de chaque EIC.
- Construction des ECI de chaque IC.

Il peut y avoir à ce niveau plusieurs types de détermination des couples (EIC/EI):

- Le choix entre les solutions des SS sélectionnés.
- La sélection de couple (EIC/EI) dans l'ensemble de ceux recensés.

- La sélection séparée des EIC et des EI.
- La sélection des EIC et la construction des EI à partir des ECI correspondants.

Chaque détermination, choix, ou sélection peut être fait par les utilisateurs ou par le MSC.

Chaque détermination d'un élément de définition modifie l'état du système. La détermination d'un IC par exemple peut permettre des filtrages des ECI plus complets.

2.3. Définition des mécanismes d'apprentissage

Nous définissons maintenant les mécanismes d'apprentissage intégrant la dynamique de notre modèle. Ces mécanismes fournissent les capacités au système supportant le modèle de faire évoluer sa base de connaissances.

Celle-ci est définie par ESS, EA et R et donc son évolution est dépendante de ces ensembles.

Nous situons dans un premier temps les points d'évolution d'une base de connaissance. Nous présentons ensuite les mécanismes d'apprentissage et nous distinguons les phases d'apprentissage en fonction du moment d'intervention de ces mécanismes sur une base de connaissances:

- A l'état initial où $ESS = \{\emptyset\}$, $EA = \{\emptyset\}$, et $R = \{\emptyset\}$.
- Durant les processus de première résolution d'un SS.
- Durant les processus de modification d'un SS.
- Après la validation d'un SS.

- Les points d'évolution d'une base de connaissance

- Acquisition, modification, destruction d'une information
 - L'acquisition d'une information se traduit par la création d'une nouvelle IC au niveau du système solution en cours de traitement.
 - La modification d'une information se traduit par la modification de son intitulé.

Exemple:

IC_x = "Côte A" devient IC_x = "Hauteur _miroir"

- La destruction d'une information se traduit par la suppression d'une information IC dans un système solution SS en cours de traitement.

- Acquisition, modification, suppression d'une information valuée
 - L'acquisition d'une information valuée se traduit par l'affectation d'une nouvelle valeur CI à une information IC. La nouvelle CI est intégrée à l'ensemble des valeurs affectables de CI: ECI.
 - La modification d'une information valuée se traduit par le remplacement de la valeur affectée CI à une information IC. La nouvelle CI est soit contenue dans ECI, soit créée et intégrée à ECI.
 - La destruction d'une information valuée se traduit par la suppression de l'affectation d'une valeur à une IC.

- Acquisition, modification, suppression d'un ensemble d'informations
 - L'acquisition d'un ensemble d'informations se traduit par la sélection d'une information IC pour créer un ensemble d'informations EIC.
 - La modification d'un ensemble d'informations se traduit par l'ajout ou l'extraction d'une information IC dans un ensemble d'information EIC.
 - La suppression d'un ensemble d'information se traduit par l'extraction des informations IC d'un ensemble d'informations EIC et qui devient vide.

- Acquisition, modification, suppression d'un ensemble d'informations valuées
 - L'acquisition d'un ensemble d'informations valuées se traduit par l'affectation de toutes les informations de cet ensemble.
 - La modification d'un ensemble d'informations valuées se traduit par la modification d'une ou de plusieurs affectations des informations de cet ensemble.
 - La suppression d'un ensemble d'informations valuées se traduit par la suppression des affectations de toutes les informations de cet ensemble.

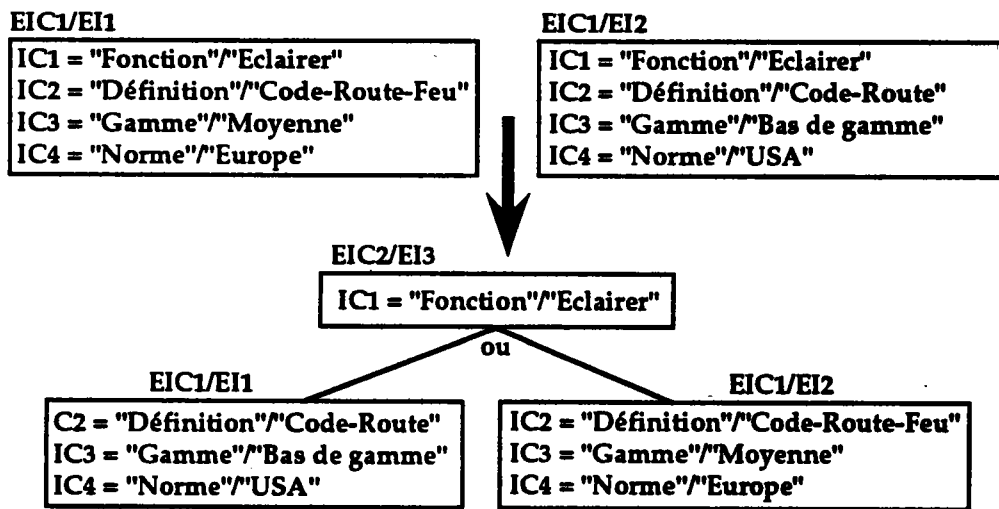
- Acquisition, modification, suppression d'une relation d'abstraction
 - L'acquisition d'une relation d'abstraction se traduit par la création d'une relation d'abstraction A entre deux ensembles d'informations EIC.
 - La modification d'une relation d'abstraction se traduit par le changement de l'un des deux ensembles EIC de cette relation.
 - La suppression d'une relation d'abstraction se traduit par la suppression de la relation d'abstraction entre les deux ensembles EIC de cette relation.

- Acquisition, modification, suppression d'une relation de contrainte
 - L'acquisition d'une relation de contrainte se traduit par la création d'une relation entre deux ensembles d'informations valuées suivant la définition des relations de satisfaction de contrainte.
 - La modification d'une relation de contrainte se traduit par la modification du moteur W de cette relation.
 - La suppression d'une relation de contrainte se traduit par la suppression de la relation de contrainte entre deux ensembles d'informations valuées.

- La production d'abstractions généralisantes (PAG)

Soit un ensemble {..., EICa/EIi,...}, si on peut trouver un sous ensemble EIx commun pour tous les EIj alors le mécanisme crée un EICx correspondant à EIx par son extraction et par la modification de EICa. Le mécanisme crée aussi une nouvelle relation d'abstraction A(EICx, EICa) et modifie la relation A(EICy,EICa) qui devient A(EICy,EICx).

Exemple:



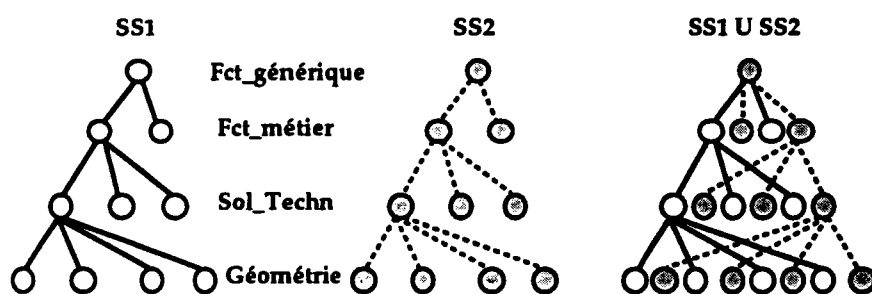
(figure 48: Exemple de production d'abstraction généralisante.)

Sur cette figure on donne l'exemple de la généralisation de l'information IC1 exploitée pour créer l'ensemble d'informations EIC2 et de la création de deux niveaux d'abstractions définis par A(EIC1, EIC2).

- Classification hiérarchique des informations (CHI)

Soit un ensemble d'informations valuées IC/CI, nous définissons une classification hiérarchique des informations IC correspondant à l'ordonnement de ces IC en fonction du nombre de leurs instanciations. Ce qui respecte le fait que dans un espace d'informations de définition d'un objet technologique, lorsqu'un type d'information apparaît plus qu'un autre, cela signifie que le premier type correspond à un degré de précision plus grand que le deuxième.

Exemple:



(Figure 49: Classification hiérarchique.)

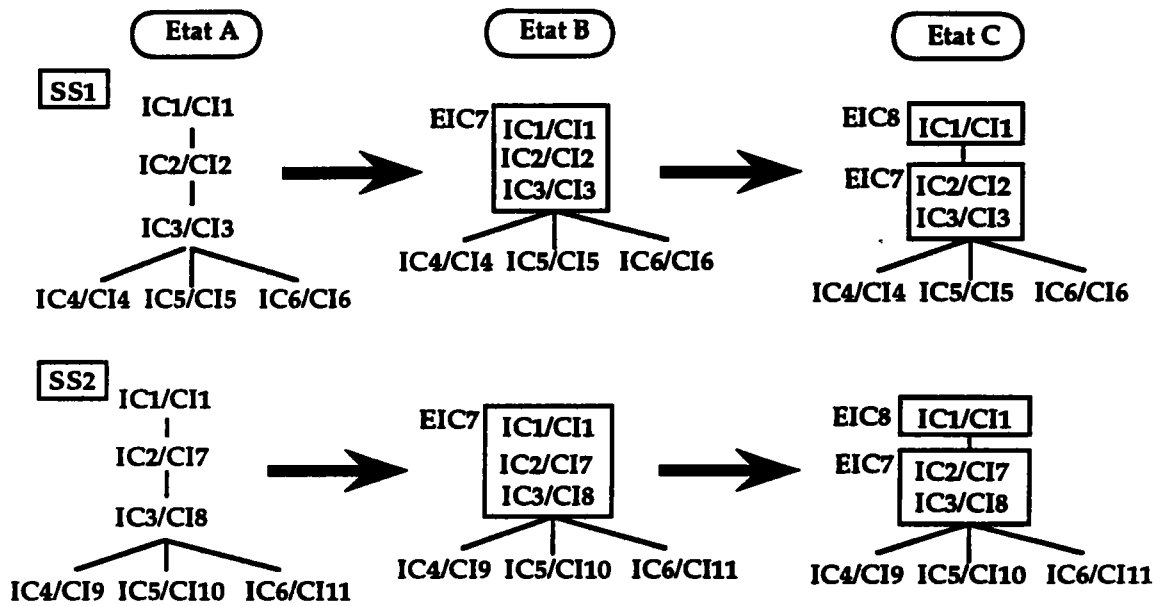
Sur la figure précédente nous illustrons la relation entre le nombre d'informations de même type et le degré de précision de celle-ci.

La classification hiérarchique peut être exploitée pour construire à partir de plusieurs ensembles d'informations valuées en relation chacun avec la définition d'un objet technologique, un "embryon" de base de connaissance.

- Généralisation des ensembles d'informations EIC (GEIC)

Soit un ensemble de systèmes solutions $ESS = \{SS1, \dots, SSi, \dots, SSn\}$ avec $SS1 \cap \dots \cap SSi \cap \dots \cap SSn = \{ ((EICa/EIx), (EICb/EIy)), ((EICb/EIx), (EICc/EIy)), ((EICc/EIx), (EICd/EIy)), \dots \}$ le mécanisme de généralisation d'ECI construit un nouvel EIC = $\{ EICa \cup EICb \cup EICc \cup EICd \}$.

Exemple:



(figure 50: Un processus de construction d'une base de connaissance)

Sur cette figure nous représentons deux systèmes solutions SS1 et SS2 initialement à l'état A qui passe à l'état B à l'aide de l'intervention du mécanisme de généralisation d'EIC. L'état C est produit ensuite par le mécanisme de production d'abstraction généralisante.

Cet exemple illustre une séquence possible d'évolution d'une base de connaissance.

- Mécanisme de production par analogie (MPA)

Soit EIC_a un ensemble d'informations et ESS l'ensemble des SS qui comportent au moins une fois l'élément EIC_a/EI_x , un EIC_a d'un nouveau SS , contenant une partie de ces informations évaluées, peut être complété à l'aide d'un mécanisme de production par analogie.

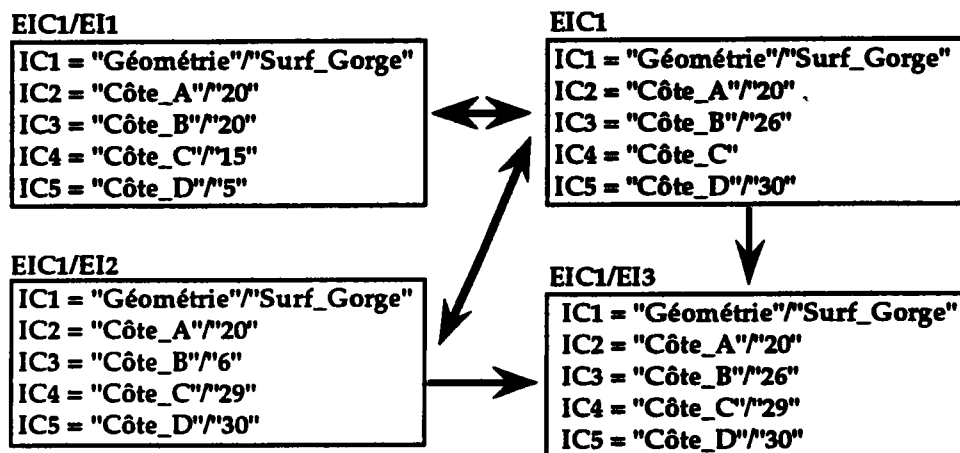
L'analogie se situe ici entre les EI_x et est définie par les éléments en commun de ces ensembles d'informations évaluées.

Ce mécanisme opère d'abord un filtrage de tous les EIC_a/EI_x de SS de ESS et sélectionne les EI_x les plus analogues. Ensuite il peut faire intervenir un expert extérieur pour terminer la sélection, ou sélectionner directement l' EI le plus adapté.

L'analogie se fait ici par rapport aux EI , mais nous pouvons imaginer élargir cette définition à la comparaison des EIC , des relations d'abstraction,

ou à des sous-ensembles d'informations caractéristiques SC d'un Système solution SS.

Exemple:



(figure 51: Exemple de détermination d'informations par analogie.)

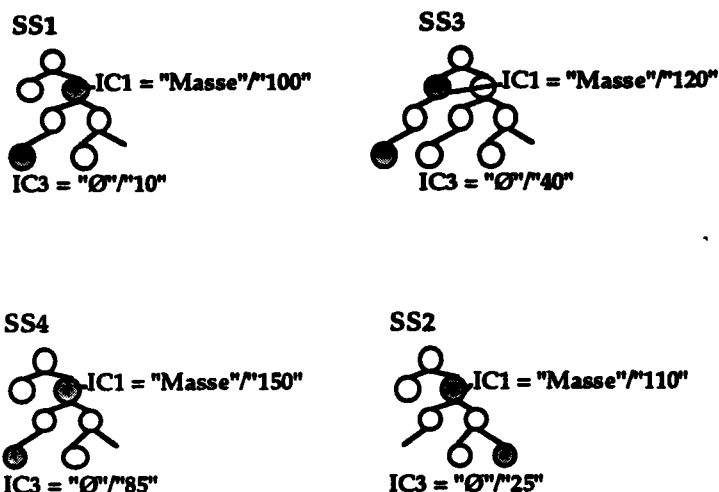
Sur cette figure nous présentons un exemple de détermination de EIC1/EI3 à l'aide des cas EIC1/EI1 et EIC1/EI2 et à l'aide de ECI initial EIC1. EIC1/EI3 peut être validé par un oracle et alors intégrer la base d'expérience de cas.

- Mécanisme d'isolement de relations de contrainte (MIR)

Le mécanisme d'isollements de relations de contraintes exploite les analogies détectées dans un ensemble de système solution ESS. Les comparaisons de systèmes solutions peuvent faire apparaître des similitudes au niveau des informations valuées, des informations non valuées, des ensembles d'information, ou des relations d'abstraction entre ensembles d'informations valuées.

Prenons l'exemple de deux informations I1 et I2 appartenant chacune à un niveau d'abstraction propre que l'on retrouve dans tous les systèmes solutions, il est possible d'émettre une relation de contrainte entre I1 et I2: "Si on a I1 alors on a I2" et d'introduire une généralisée "Si IC1/EIx alors IC2/EI2".

Exemple:



(figure 52: Extraction d'une relation de contrainte.)

Sur cette figure nous avons quatre systèmes solutions qui contiennent chacun

les deux informations IC1 et IC3 appartenant à la même développée hiérarchique.

Il est possible alors de créer le tableau suivant:

SS1	IC1 "MASSE"	CI1,1 "100"	IC3 "Ø"	CI3,1 "10"
SS2	IC1 "MASSE"	CI1,2 "110"	IC3 "Ø"	CI3,2 "25"
SS3	IC1 "MASSE"	CI1,3 "120"	IC3 "Ø"	CI3,3 "40"
SS4	IC1 "MASSE"	CI1,4 "150"	IC3 "Ø"	CI3,4 "85"

A partir de ce tableau il est possible de produire une loi d'évolution simple définie par la fonction " $f(IC3/CI3) = 1.5(IC1/CI1) - 140$ " qui sera le moteur W d'une nouvelle relation R.

La production de lois, de fonctions ou de relations de contrainte peut être faite par le système si il possède les algorithmes d'analyse numérique nécessaires, ou par les experts concepteurs et analystes qui exploitent les facultés de classification du modèle.

- L'interface utilisateur (IU)

L'interface utilisateur fournit aux utilisateurs un langage de commande lui permettant d'introduire, de modifier ou de supprimer n'importe quel élément d'une base de connaissances cité précédemment.

L'interface utilisateur permet aussi aux utilisateurs de valider et de valoriser les propositions ou les productions du système.

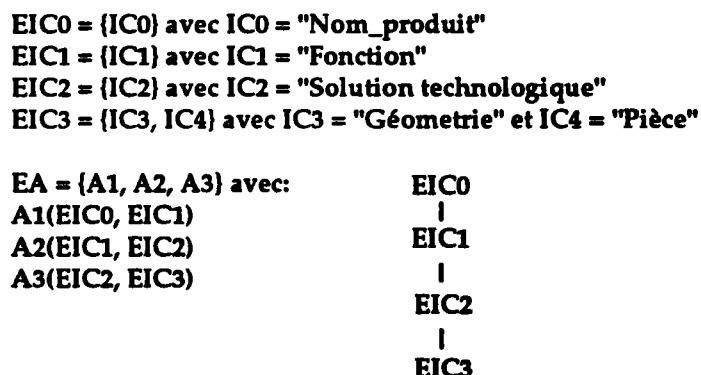
- Les différentes phases d'apprentissage

- A l'état initial d'une base de connaissances $ESS = \{\emptyset\}$, $EA = \{\emptyset\}$, et $R = \{\emptyset\}$. La maturité d'une base de connaissances est définie par sa complétude au niveau de l'ensemble des ECI et de l'ensemble des relations d'abstraction. Une base mature doit permettre de travailler sur des processus de résolution qui ne demandent pas trop d'acquisition de nouveaux ECI et de nouvelles relations d'abstraction. La base de connaissances doit être assez "équilibrée" au niveau de son organisation pour pouvoir acquérir des relations de contraintes stables.

La phase de création d'une base de connaissances passe par une première étape d'acquisition d'informations, par une seconde étape de classification hiérarchique (création des ECI et des relations d'abstraction) et par une étape de production de relations de contraintes.

Nous pouvons distinguer deux démarches possibles pour la création d'une base de connaissance.

La première démarche consiste à créer quatre EIC de base pouvant comporter une seule information IC, appartenant chacune à l'un des niveaux d'abstraction: "Fonctionnel générique", "fonctionnel métier", "Solution technologique" et "géométrique" (Cf. figure 53: Base de connaissance initiale). Ensuite les concepteurs exploitent le système et enrichissent la base de connaissances.



(figure 53: Base de connaissances initiale)

Cette démarche peut être assimilée à un travail en binôme "concepteur-apprenant" car le système ne fait ici qu'acquérir des informations. Il n'est

pas productif mais apprend d'une manière cohérente avec l'approche du modèle.

La deuxième méthode consiste à faire une analyse préliminaire des modèles de définition d'un ensemble de produits avec l'objectif de construire un ensemble d'informations de définition par produit, de réaliser une première classification générale, et ensuite d'introduire cet ensemble organisé dans le système. Le raffinement se fera alors plus rapidement et le système ne sera peut être pas directement productif, mais il pourra assister les concepteurs.

A ce niveau tous les mécanismes d'apprentissage seront exploités pour organiser et consolider les différents éléments de la base.

- Les processus de la phase de première production d'un système solution SS correspondant à un nouveau cahier des charges, exploitent des mécanismes de résolution et d'apprentissage. Les mécanismes d'apprentissage permettent la production d'informations par analogie, l'acquisition contrôlée de nouveaux éléments, et l'adaptation (copie et modification) de ceux déjà existant.

- Les processus de la phase de modification d'une définition, sont dédiés à corriger, à modifier et à raffiner un système solution et donc parallèlement la base d'expérience de cas.

- Après la validation d'un système solution, l'acquisition par la base de connaissance d'un nouveau "cas" déclenche une phase que nous appelons un post-apprentissage. Cette phase sollicitera tous les mécanismes d'apprentissage.

Les analyses à posteriori d'un système technologique peuvent aussi déclencher certains mécanismes d'apprentissage dirigés par les concepteurs qui exploitent le système pour leurs études.

3. Conclusion

Notre modèle ne représente pas un approfondissement d'une théorie donnée, mais exploite différentes définitions de base des théories des graphes, de représentation des connaissances, d'apprentissage, et de l'informatique avancée. Il se caractérise par l'intégration de mécanismes d'apprentissage à un support de connaissance adapté à la conception.

Notre définition du langage de représentation des connaissances formalise les éléments suivants:

- Les informations de conception IC (Fonction, Solution technologique, dimension, température...) qui composent les ensembles d'informations EIC.

- Les contenus des informations de conception CI ("Eclairer", "Réflecteur", "30mm", "40°").

- Les informations de conception valuées $I = IC/CI$ ("dimension"/"30mm") qui composent les ensembles d'informations valuées EI. A un ensemble d'informations EIC peut être associé l'ensemble d'informations valuées correspondant EI (EIC/EI).

- Les ensembles de valeurs affectables à une information ({"15mm"..."30mm"}).

- L'espace solution composé des éléments précédents, qui appartiennent aux modèles de définition des produits étudiés lors de processus de conception successifs antérieurs.

- Les systèmes caractéristiques définissant des relations entre informations (Ensembles de paramètres liés à une géométrie, pièce paramétrée).

- Les relations d'abstractions entre ensembles d'informations ECI.

- Les systèmes solutions composés d'ensembles d'informations valuées ECI/EI ordonnés par les relations d'abstractions.

- Les relations entre systèmes caractéristiques (relation de contrainte).

- Les éléments d'explication pour le langage de l'interface utilisateur.

- Le marquage du temps des informations et de leurs instanciations.

Ces éléments sont exploités par les mécanismes de résolution et d'apprentissage suivants:

- Le mécanisme de satisfaction de contrainte (MSC).

- Le mécanisme de sélection d'une relation d'abstraction (MSA).

- Le mécanisme d'exploitation de l'expérience de cas (MEC).

- La production d'abstractions généralisantes (PAG).

- La classification hiérarchique des informations (CHI).

- La généralisation des ensembles d'informations (GEIC).
- Le mécanisme de production par analogie (MPA).
- Le mécanisme d'isolement de relations de contrainte (MIR).
- L'interface utilisateur (IU).

Le modèle prend en compte l'ensemble des informations de définition d'un objet technologique, du niveau fonctionnel au niveau géométrique, et les organise à l'aide d'une classification hiérarchique basée sur des couches d'abstractions, pour matérialiser une base de connaissances représentant l'expérience d'une communauté de concepteurs.

Cette base de connaissances est exploitée par des mécanismes de résolution basés sur l'analogie qui construisent des propositions de solutions pour des problèmes de conception de nouveaux objets technologiques. La qualité d'une telle base de connaissances est définie par sa richesse et par son adaptation par rapport aux évolutions des données de conception (cahier des charges, technologies, performances).

La masse de travail d'adaptation d'anciennes définitions pour un nouveau cahier des charges est alors inversement proportionnelle à la richesse de la base d'expérience.

Notre formalisme permet une modélisation de la conception à un instant donné, mais aussi l'évolution de cette modélisation.

Nous définissons l'expérience comme une sauvegarde d'un ensemble de cas de conception. Ces cas forment une population caractéristique qui est exploitée pour diriger la production de nouveau cas (raisonnement inductif) et pour produire (par analyse) et affiner des connaissances de conception.

Nous avons donc doté notre modèle de définitions de mécanismes d'apprentissage permettant d'acquérir et d'enrichir une base d'expérience durant les cycles de résolution.

Les mécanismes d'apprentissage sont basés sur la généralisation en temps réel par analogie. C'est à dire que les mécanismes de généralisation sont exploités lors des processus de recherche de systèmes solutions et travaillent avec l'ensemble des cas de la base d'expérience. Il n'y a pas de généralisation globale des connaissances. Notre modèle ne permet pas seulement de formaliser des connaissances de conception, il permet aussi de sauvegarder l'essence de ces connaissances. L'objectif recherché est que la stratégie des processus de généralisation s'adapte aux différentes conditions de résolution. Cette approche permet de contourner les problèmes de "stérilité" et de "convergence" de l'apprentissage par généralisation. En effet il est très

difficile de produire directement sans un affinage régulier des règles de conception générales. Les concepteurs émettent continuellement des restrictions, des adaptations ou des élargissements d'assertions connues, et cela par bribes d'informations plus ou moins importantes.

Les mécanismes de généralisation se situent à tous les niveaux des processus de résolution qui font évoluer continuellement la base de connaissances et nous pouvons considérer que nos définitions formelles représentent un modèle d'apprentissage. Chaque élément de définition d'un objet technologique est intégré, chaque modification d'élément est répercutée dans la base de connaissances. La seule situation où il n'y a pas d'apprentissage est la déduction directe d'un système solution à partir de l'espace de solutions ($SS \in ES$).

Les mécanismes d'apprentissage sont transparents aux concepteurs qui utilisent le système supportant le modèle. Les acquisitions, les modifications ou les suppressions d'éléments de connaissance ne nécessitent pas d'écriture ou de codage (développement en Lisp, C++), et sont intégrés dynamiquement, à l'aide d'une interface exploitant les capacités et les propriétés d'organisation des informations définies dans le modèle.

Ces mécanismes d'apprentissage associés à une approche de conception fonctionnelle permettent d'apporter au modèle des capacités d'aide à l'invention ou à la création. En effet la sauvegarde de populations de cas de conception permet de travailler sur la production de lois, de règles et de connaissances.

Exemple:

Tableau d'expériences

Géométrie	Comportements	Réponse à la fonction
G1	C1	10%
G2	C2	20%
G3	C3	40%
G4	C4	5%

Le nombre d'échantillons influence la probabilité de trouver une solution

A partir de cette population d'échantillons il est possible de produire des lois d'évolution en fonction de la géométrie et des comportements.

(figure 64: Tableau d'analyse pour la production de lois.)

Nous représentons sur cette figure un tableau d'expériences rapportant les réponses à une fonction d'un ensemble de géométries auquel correspond un ensemble de comportements. A partir de ce type de synthèse il est possible de travailler sur la production de connaissances de conception en

isolant des lois d'évolution des géométries en fonction de leurs comportements. Notre modèle permet d'isoler les couples géométries-fonctions et les paramètres liés et, il peut fournir aux concepteurs des moyens d'analyse pour la conception. Il est plus facile et plus motivant pour un individu de proposer des relations entre deux paramètres qui lui sont présentés, que d'extraire ces paramètres avec leur relation.

Nous considérons ici que le dialogue entre le système (support du modèle) et les concepteurs est fondamental. Il ne se limite pas à la saisie de valeurs, mais il concerne aussi la création, la modification et la validation dynamique durant tous les cycles du processus de conception. Le système assiste le concepteur et "apprend" en même temps.

Nos définitions d'ensemble d'informations, de systèmes caractéristiques sont proches des définitions de classe du concept objet. Les distinctions se situent au niveau de l'implémentation et de l'évolution des définitions. Nous ne définissons pas de classe, pas d'objet de manière explicite mais le système crée des associations et organise les informations de conception. Il n'y a pas de déclaration de classe prototype car ce sont les mécanismes d'apprentissage qui définissent les généralisations et les font évoluer. Le modèle offre une flexibilité difficilement intégrable avec des modèles objets qui organisent, structurent de manière rigide les schémas de représentation des connaissances. Nous pensons que le caractère essentiel d'un modèle de représentation des connaissances de conception est sa capacité d'adaptation aux évolutions de l'expérience des concepteurs.

La définition de l'approche de conception fonctionnelle du modèle se situe au niveau du traitement de zones fonctionnelles. C'est à dire que nous ne décomposons pas un objet par un ensemble de pièces, mais en géométries. Chaque géométrie étant attachée à une seule fonction, c'est l'assemblage de ces géométries qui forment alors une entité pièce.

Cette approche propose une méthodologie qui guide le processus de conception. Ces processus débutent par la détermination des définitions fonctionnelles (cahier des charges), passent ensuite par la détermination des définitions technologiques, et se terminent par la détermination des dimensions d'un objet technologique. Le processus inverse ou un mixage sont possibles et fournissent un support naturel d'analyse (classification, heuristique) des produits et d'étude de faisabilité.

La capacité de travailler avec une base d'expérience offre aussi une aide à la standardisation en profondeur. C'est à dire que l'on ne standardise pas

seulement les pièces, mais les processus de définition, les fonctions, les technologies, ce qui augmente la flexibilité pour les processus d'adaptation (vue différente de la vue fabrication).

CHAPITRE IV: APPLICATION

Ce chapitre est consacré à la présentation applicative de nos travaux de recherche.

Nous présentons d'abord l'architecture du système et l'algorithme général de résolution et d'apprentissage.

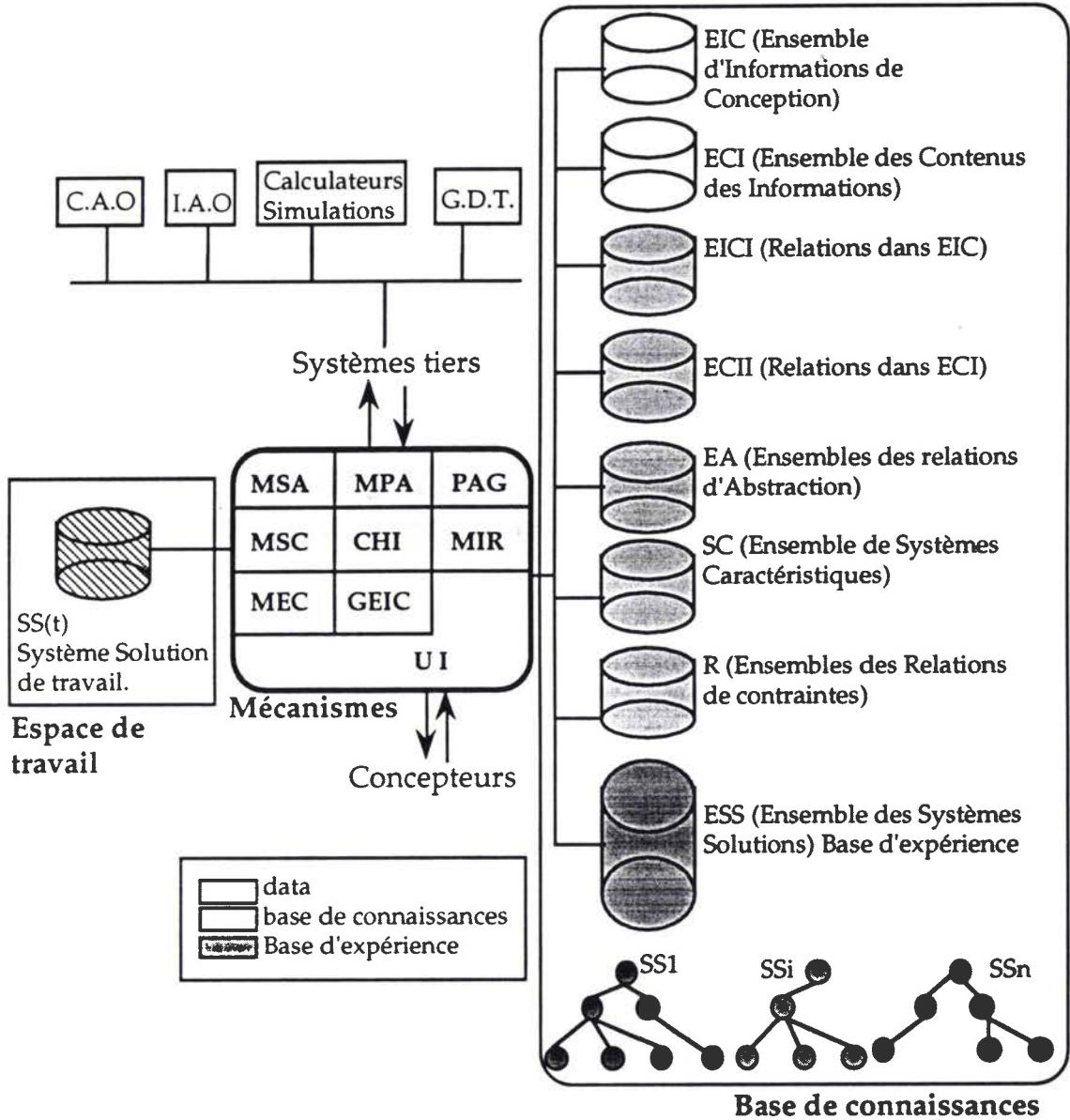
Puis nous développons un processus de résolution simple impliquant une partie des mécanismes d'apprentissage.

Nous traiterons ensuite un exemple de construction d'une partie de base de connaissances.

Nous terminerons par la présentation des premiers outils développés basés sur notre modèle et par les possibilités et les moyens d'interfaçage avec d'autres systèmes existants.

1. Architecture et algorithme général

- Architecture du système d'aide à la conception



(figure 54: Architecture du système d'aide à la conception)

Nous donnons sur la figure ci-dessus l'architecture globale du système d'aide à la conception. Celui-ci se décompose en deux parties:

1 - La base de connaissances avec:

- La base des ensembles d'informations de conception (EIC).
- La base des contenus d'informations (ECI).

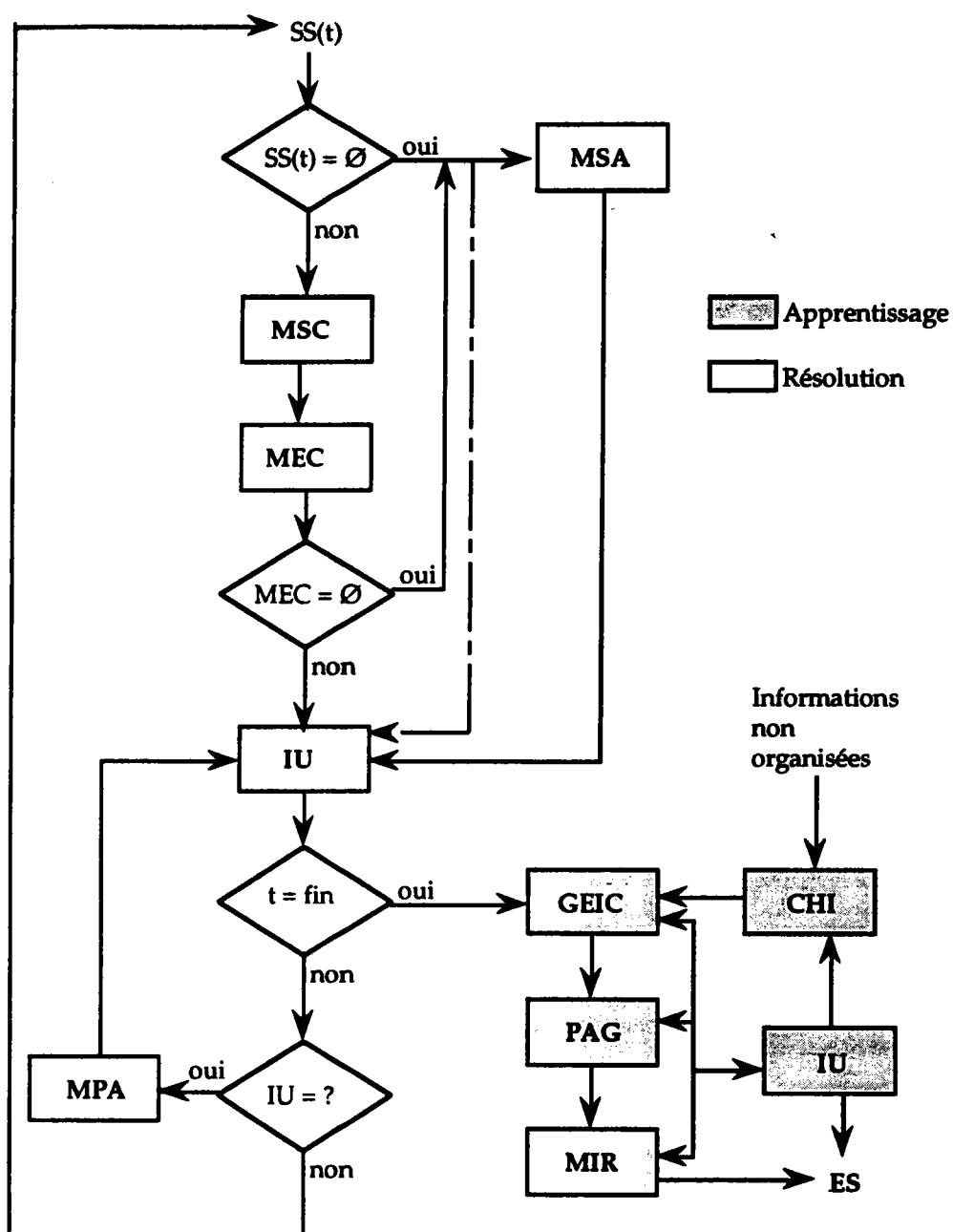
- La base des relations dans EIC (EICI).
- La base des relations dans ECI (ECII).
- La base des relations d'abstractions (EA).
- La base des systèmes caractéristiques (SC).
- La base des relations de contrainte (R).
- La base d'expériences (ESS).

2- Le moteur du système avec:

- L'interface utilisateur (IU).
- Le mécanisme d'exploitation de l'expérience de cas (MEC).
- Le mécanisme de satisfaction de contraintes (MSC).
- Le mécanisme de production d'abstraction généralisante (PAG).
- Le mécanisme de généralisation d'un ensemble d'informations EIC (GEIC).
- Le mécanisme d'isolement de relations de contraintes (MIR).
- Le mécanisme de sélection des relations d'abstractions (MSA).
- Le mécanisme de classification hiérarchique des informations (CHI).

Le moteur est ouvert sur les systèmes tiers qui peuvent prendre en charge une partie des données ECI, EIC, et les processus de certaine relation de contrainte.

- Algorithme des processus de résolution et d'apprentissage



(Figure 55: Algorithme des processus de résolution et d'apprentissage)

Nous présentons sur la figure précédente l'algorithme général de résolution de problème de conception et d'apprentissage du système applicatif.

L'initialisation d'un cycle dynamique du système se fait par le traitement d'un Système Solution à un état donné à l'instant t : $SS(t)$.

Lors du déclenchement de la conception d'un produit le Système Solution est vide ($SS(t=0) = \{\emptyset\}$), c'est à dire qu'il n'existe aucune information de définition connue par le système. Ce dernier propose alors, à l'aide du

mécanisme MSA exploitant les relations d'abstractions, les premières informations à traiter. Lorsque $SS(t) = \{\emptyset\}$ les informations sont d'un niveau d'abstraction générique (nom du produit, fonctions de service, caractéristiques générales...). Les informations sélectionnées par le MSA sont validées, renseignées ou modifiées par les concepteurs via le module interface utilisateur IU.

Les concepteurs peuvent solliciter le déclenchement du mécanisme de production par analogie MPA pour les aider dans la détermination de valeurs ou d'informations, sinon ils valident une évolution de l'état du Système Solution à $t+1$ ($SS(t+1)$).

Lorsque le Système Solution contient un ensemble d'informations valuées ou non il est possible de mettre en oeuvre le mécanisme de satisfaction de contrainte MSC qui exploite la base de relation de contrainte afin de déterminer si possible, la valeur de certaines informations. Ensuite c'est le mécanisme d'exploitation de la base de cas: MEC, qui propose des éléments d'enrichissement du Système Solution. Dans le cas où MEC ne peut proposer aucun élément, il passe la main à MSA qui apporte alors sa contribution comme décrit précédemment. Dans le cas où MEC peut exploiter la base d'expérience de manière productive, les éléments sélectionnés sont traités par les concepteurs par l'intermédiaire de l'interface IU. Les utilisateurs peuvent toujours solliciter l'assistance de MPA dans la recherche d'informations et de leurs valeurs. L'interface utilisateur donne et gère l'accès par les concepteurs à toutes les tables de la base.

Les cycles de résolution continuent jusqu'au moment où les concepteurs estiment que le Système Solution est "complet" ou que le système ne peut plus faire évoluer la recherche par manque de relations d'abstractions.

Le système passe alors dans une phase de post-apprentissage. Les mécanismes GEIC, PAG réorganisent les connaissances acquises lors du processus de résolution. Le mécanisme CHI permet d'effectuer un premier filtrage des ensembles d'informations non organisées saisies dans le système, de manière "asynchrone" au processus de résolution (création et construction d'une base de connaissances).

Les concepteurs sont omniprésents dans cette phase d'apprentissage via l'interface utilisateur où ils ont un rôle d'expert, et où ils peuvent exploiter le mécanisme MIR pour extraire, produire et valider des relations de contrainte ou des règles de conception.

2. Résolution d'un problème de conception

Nous reprenons ici l'exemple d'application pour lequel nous avons précédemment (Cf figure 40: Représentation des informations de l'application exemple, page 106) présenté la base de connaissances.

- Situation initiale (t=0)

Les concepteurs possèdent, avant tout travail d'étude, un ensemble de documents tels que des cahiers des charges, des plans de définition plus ou moins complets correspondant à l'ensemble des données initiales d'un problème de conception.

L'état initial à l'instant $t=0$ du système de production est décrit par:

- Le système solution $SS(t) = \{\emptyset\}$.
- L'espace de solution ES est défini par l'ensemble:
 - des EIC, les ensembles d'informations de conception.
 - des ECI, les ensembles de valeurs affectables aux informations.
 - de EA, l'ensemble des relations d'abstractions.
 - des SC, les ensembles caractéristiques.
 - de R, l'ensemble des relations entre informations.
 - et de ESS, l'ensemble des solutions de processus de conception précédentes.

Nous considérons trois démarches initiales de démarrage d'un processus de conception:

- la sélection et la détermination, à partir des informations en possession des concepteurs, des valeurs des informations du système de manière globale et sans respect d'une chronologie donnée;
- le renseignement de toutes les valeurs d'informations connues suivant une chronologie contrainte par les sens hiérarchiques des abstractions, soit du plus abstrait au moins abstrait, soit l'inverse, soit les deux;
- le renseignement progressif par étape, suivant une chronologie définie par un ordre hiérarchique d'abstraction. Chaque étape passe par une phase de détermination, de renseignement des informations d'un niveau d'abstraction et par une phase de passage à un niveau d'abstraction suivant. On peut aussi considérer ici les deux sens de propagation: Top-Down et Bottom-Up.

Nous décrivons ici la troisième démarche qui est la plus représentative des mécanismes du modèle, et la plus proche des comportements des concepteurs.

Les deux autres démarches exploitent les mêmes mécanismes mais dans des états définis de manière différente.

- Déclenchement du processus de conception (t=1)

Nous pouvons imaginer que les premières étapes du processus de conception sollicitant le système fassent intervenir des personnes représentant le client demandeur de l'objet à concevoir, le service commercial et le bureau d'études (ingénieur) de la société qui fait l'étude. Les premières recherches vont en fait permettre de déterminer et de préciser les spécifications génériques du produit.

Le déclenchement du processus s'effectue par le traitement des informations du niveau d'abstraction le plus élevé.

La démarche employée ici est la détermination des valeurs de toutes les informations appartenant aux ensembles d'un niveau d'abstraction, afin que le système puisse "approfondir" la recherche en passant à un niveau d'abstraction plus précis.

Dans notre cas l'ensemble des informations du premier niveau d'abstraction est $EIC_0 = \{IC_0 = \text{"Nom_produit"}\}$. Le système solution SS est à l'état initial ($t=0$): $SS(0)=\{\emptyset\}$.

Le processus d'exploitation de l'expérience de cas produit dans ces conditions un ensemble de valeurs pour EIC_0 : $EIC_0 = \{\text{"Produit_A"}, \text{"Produit_B"}\}$. Le système propose alors les valeurs connues et applicables de EIC_0 à l'information IC_0 afin que les utilisateurs puissent sélectionner celle qui est adaptée au problème. Les utilisateurs peuvent aussi saisir une nouvelle valeur qui sera affectée à IC et qui enrichira le système (acquisition d'information).

A ce niveau les utilisateurs sollicitent le système pour une nouvelle étude, donc pour un nouveau produit. Ce qui nous donne: $IC_0 = \text{"Nouveau_produit"}$ que nous désignons par EI_{27} .

Lorsque les utilisateurs ont terminé le renseignement des informations d'un niveau d'abstraction ils laissent les ensembles d'informations de cet espace dans un certain état:

- "Complet" lorsque toutes les informations sont renseignées.

- "Renseigné" lorsque seulement quelques informations ont été renseignées.

- "Vide" lorsque aucune information n'a été renseignée.

Nous considérons dans un premier temps que le système évoluera avec des états d'EIC "complet".

On a donc à ce niveau:

$SS(1) = \{ (EIC0/EI27) \}$.

$EA_{SS} = \{\emptyset\}$.

- Première progression de la recherche (t=2).

La complétude du niveau d'abstraction de EIC0 étant atteinte, et qu'il est maintenant caractérisé par un état significatif le système peut lancer:

- le mécanisme d'exploitation de l'expérience de cas.

La production de ce mécanisme est dans ce cas: $ESS_{SS} = \{\emptyset\}$. Ce qui est normal puisque l'on travaille sur l'étude d'un nouveau produit et qu'aucune information, à par le nom du produit, n'a été renseignée.

- Le mécanisme de satisfaction de contrainte.

Celui-ci est aussi dans l'incapacité d'appliquer une relation.

Aucun de ces deux mécanismes n'ayant pu faire progresser le processus, le système exploite alors les relations d'abstraction de EA pour déduire les ensembles d'informations de l'abstraction suivante. Les relations sélectionnées sont celles qui ont comme premier membre "EIC0". C'est donc ici la relation $A1(EIC0, EIC1)$ qui est isolée. EIC1 représente alors le niveau d'abstraction informationnel courant. $EIC1 = \{ IC3, IC4 \}$ avec $IC3 =$ "Gamme" et $IC4 =$ "Norme".

Il est alors nécessaire de relancer le mécanisme d'exploitation de l'expérience de cas pour construire l'espace de solution d'EIC1.

Celui ci produit $ESS_{SS} = \{ SS1, SS2 \}$ avec $(EIC1/EI5)$ pour SS1 et $(EIC1/EI4)$ pour SS2.

Nous avons:

- $EIC1 = \{ IC3, IC4 \}$.

- $IC1 =$ "Gamme", $IC3 =$ "Norme".

- $EI4 = (IC3 =$ "Gamme"/"Moyenne", $IC4 =$ "Norme"/"Europe")

- $EI5 = (IC3 =$ "Gamme"/"Haut de Gamme", $IC4 =$ "Norme"/"Europe")

Ce qui nous donne:

- $EC3 = \{$ "Moyenne", "Haut de Gamme" $\}$ et

- $EC4 = \{$ "Europe" $\}$

Une nouvelle exécution du mécanisme de satisfaction de contrainte sera encore une fois inutile.

C'est donc les utilisateurs qui sélectionnent soit les valeurs pour IC, soit directement EI4 ou EI5. Dans cet exemple cela revient à choisir la valeur de IC3.

Nous ne traitons pas ici le cas où l'utilisateur saisit une nouvelle valeur. Nous avons fait l'hypothèse que nous étions dans une phase de définition des informations du cahier des charges fonctionnelles et que les utilisateurs sélectionnent des options dans un ensemble de possibilités fonction du savoir-faire de l'entreprise. Ces options représentent des informations génériques de définition du produit qui par leur caractère d'abstraction élevée évoluent moins que des informations plus précises. Mais ces informations permettent de rapidement orienter et de "préciser" les activités de conception.

Nous considérons à ce niveau, que le résultat de la sélection est EI4.

L'état du système est alors:

$$SS(t=2) = \{ (EIC0/EI27), (EIC1/EI4) \}.$$

$$EA_{SS} = \{A1\}.$$

- Deuxième progression de la recherche (t=3)

L'exécution du mécanisme MEC dans cette configuration $SS(t=2)$ produit le résultat suivant:

$$ESS_{SS} = \{SS2\} \text{ avec}$$

d'après SS2 {

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI7)),$$

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI8)),$$

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI9))$$

}.

Nous sommes dans le cas d'une déduction directe et on obtient donc:

$$SS(t=3) = \{ ((EIC0/EI27), (EIC1/EI4)),$$

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI7)),$$

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI8)),$$

$$((EIC1/EI4), (EIC5/EI9))$$

}.

et $EA_{SS} = \{A1, A2\}$

Cette progression a permis de déterminer les fonctions métier du produit.

- Quatrième progression de la recherche: (t=4)

Nous continuons maintenant la description de la recherche en ne considérant que la "fonction éclairer". En effet nous pouvons considérer que l'on traite une fonction après l'autre. En situation réelle, il est préférable de travailler parallèlement sur plusieurs éléments de la définition d'un produit car des relations de contraintes peuvent s'appuyer sur ces différents éléments.

En ne considérant que l'élément " $((EIC1/EI4)/(EIC5/EI7))$ " l'exécution de MEC produit le résultat suivant:

$ESS_{SS} = \{SS1, SS2\}$ avec

- pour SS1: $\{((EIC5/EI7),(EIC6/EI10))\}$.
- pour SS2: $\{((EIC5/EI7),(EIC6/EI11))\}$.
- avec $EIC6 = \{IC2, IC5, IC13, IC14\}$.
- avec $IC2 = \text{"Définition"}$, et $EIC2 = \{\text{"Code-Route-Feu"}\}$.
- avec $IC5 = \text{"Performance"}$, et $EIC5 = \{\text{"CdcXXXX2"}\}$.
- avec $IC13 = \text{"Alpha_h"}$, et $EIC13 = \{\text{"20"}, \text{"15"}\}$.
- avec $IC14 = \text{"Alpha_v"}$, et $EIC14 = \{\text{"25"}, \text{"10"}\}$

A partir de ces données le système peut déterminer directement $IC2$: $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$.

On peut extraire de $EI10$ et $EI11$ les relations suivantes:

- Avec $EI10$: $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a "Alpha_h" / "20"
- Avec $EI11$: $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a "Alpha_h" / "15"
- Avec $EI10$: $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a "Alpha_v" / "25"
- Avec $EI11$: $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a "Alpha_v" / "10"

Dans le cas où $IC5$ n'existerait pas il serait possible de proposer la généralisation suivante:

- $EI28$: Avec $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a $\text{"Alpha_h" / "[15..20]"}$
- $EI28$: Avec $I2 = \text{"Définition" / "Code-Route-Feu"}$ on a $\text{"Alpha_v" / "[10..25]"}$

Les informations IC13 = "Alpha_h" et IC14 = "Alpha_v" sont déterminées par rapport aux surfaces de la glace d'un produit, ce qui est exprimé par la relation $R1(\{IC10, IC12\}, \{IC13, IC14\})$.

Le fait que l'on décrive un processus de conception exclusivement "Top-down" et que l'information IC12 appartienne à un ECI d'un niveau d'abstraction qui n'est pas encore traité amène une situation de production d'hypothèses sur la suite de la résolution. C'est à dire que le processus continue avec des ECI qui ne sont pas complètement évalués.

On peut imaginer que le système consulte l'ensemble des relations de contrainte et dans ce cas demande aux concepteurs si ils ont les informations en leur possession afin qu'ils puissent les introduire.

Dans le cas contraire la progression du processus pourra permettre de déterminer une information qui, avec des exécutions successives du MSC pourra contribuer à la détermination de l'information manquante.

La progression se fait alors avec les relations d'abstraction.

La relation d'abstraction courante est $A3(EIC5, EIC6)$. Le système recherche les ensembles d'informations de l'abstraction suivante.

Il exploite pour ce la relation $A4(EIC6, EIC7)$.

Il cherche alors à déterminer des informations de EIC7. Si une information appartenant à cet ensemble peut être déterminée et ainsi permet de produire la complétude de EIC6 le système revient au niveau d'abstraction de EIC6 et reprend le cours normal du processus. Sinon le système exploite l'abstraction suivante et ainsi de suite.

Dans cet exemple d'application c'est la relation $A6(EIC7, EIC8)$ qui permet au concepteur de renseigner IC10 (Les surfaces connues sont celles de la glace) et la relation $A9(EIC8, EIC11)$ qui permet de renseigner l'information IC12 (la définition géométrique de la glace).

A ce moment le système reprend le processus de résolution avec l'abstraction courante de EIC5.

- Dernières déterminations (t=fin).

Nous considérons que le système a continué sa progression et nous décrivons la dernière détermination de l'ensemble EIC11 {IC12, IC15, IC16}.

Cet ensemble sera déterminé à laide du MSC qui fournira avec la relation R3 un intervalle de valeurs pour IC15 que le concepteur devra respecter et avec la relation R2 qui permet de calculer IC16 en fonction de IC15. IC12

étant un pointeur sur une surface graphique paramétrée d'un modeler quelconque.

La résolution d'un problème de conception est achevée lorsque toutes les relations d'abstraction ont été exploitées et que toutes les informations ont été traitées. Le système solution contient des ensembles d'informations valuée mais peut aussi contenir des informations non-valuées dans le cas de détermination impossible. Ces informations peuvent alors être attachées à un ensemble de valeurs affectables.

Le système solution est stocké dans cet état afin de pouvoir être retraité par le système pour des analyses et des modifications. Le système est alors utilisé de la même manière. Il pourra par exemple aider les concepteurs à essayer d'autres solutions, d'autres choix.

Une fois que le système solution est assez stable (une définition évolue toujours) il est exploité par les mécanismes d'apprentissage post-conception.

La définition du modèle permet au système de travailler sur plusieurs résolutions en même temps et chacune peut profiter de l'expérience produite par les autres.

3. Construction d'une base de connaissances

Nous présentons maintenant un exemple tiré d'une application réelle dont l'exploitation est dédiée à la génération de nomenclatures prévisionnelles.

Nous concentrons cette présentation sur la fonction "Réglage" des produits "projecteur". La démarche a été de répertorier tous les éléments utilisables pour cette fonction et les conditions de sélection de ceux-ci. Cette collecte a été réalisée à l'aide de tableaux comportant des colonnes intitulées respectivement: "fonction", "Pièce", "Géométrie", "paramètres", "solution technologique", "condition", qui mettaient à disposition des concepteurs interrogés un support guide et qui permettaient une première classification. Pour chaque élément de définition les concepteurs étaient conviés à renseigner ces colonnes. Cela nous a permis de faire une première analyse et de formaliser un ensemble d'informations que nous avons simplifié pour notre exemple.

Les informations de conception IC et leurs valeurs affectables de cet exemple sont:

- IC100 = "Constructeur" avec
ECI100 = { "RNUR", "Peugeot", "Citroën", "Ford" ... }.
- IC101 = "Fonction" avec
ECI101 = { "Régler la direction du faisceau lumineux / véhicule" }.
- IC102 = "Direction" avec
ECI102 = { "horizontal", "vertical" }.
- IC103 = "Renvoi d'angle" avec
ECI103 = { "Avec", "Sans" }.
- IC104 = "Point fixe" avec
ECI104 = { "intégré", "rapporté" }.
- IC105 = "Pièce" avec
ECI105 = { "Vis", "Point fixe", "Bouton", "capsule" }
- IC106 = "Géométrie" avec
ECI106 = { "Point fixe" }
- IC107 = "Matière" avec
ECI107 = { "Zamak", "Thermodur", "Tôle" }
- IC108 = "Longueur" avec
ECI108 = { "100", "80" }.
- IC109 = "Poids" avec
ECI109 = { "[0..10]" }.
- IC110 = "Bout" avec
ECI110 = { "Sphère", "Origine" }.
- IC111 = "Diamètre" avec
ECI111 = { "6", "10" }.
- IC112 = "Extrémité" avec
ECI112 = { "Hexagonale", "collerette" },
- IC113 = "Surf" avec
ECI113 = { "Pôles", ... }

A partir de cette liste il est possible de créer les premiers ensembles d'informations EIC et les premières relations d'abstraction A, en respectant les niveaux "fonctionnel générique", "fonctionnel métier", "Technologique" et "géométriques". Ce qui nous donne:

- Niveau fonctionnel générique.
EIC100 = {IC100}.
- Niveau fonctionnel métier.
EIC101 = {IC101, IC102, IC103}.

- Niveau technologique.

EIC104 = {IC104}.

- Niveau géométrique.

EIC102 = {IC105, IC107, IC108, IC110, IC111, IC112},

EIC103 = {IC106, IC107, IC109, IC111, IC113}.

avec les relations d'abstraction:

A100(EIC100, EIC101),

A101(EIC101, EIC104),

A102(EIC104, EIC102),

A103(EIC104, EIC103).

Cette formalisation peut être intégrée dans le système à l'aide de l'interface utilisateur pour créer un embryon de base de connaissances. Ensuite il est possible de construire des cas connus de conception en "jouant" des processus de résolution afin de créer une base d'expérience.

A partir de cette base de connaissances le lancement de processus d'apprentissage post-résolution modifie la base. En effet on se rend compte dans cet exemple que EIC101 peut être modifié par le processus de généralisation des ensembles d'informations.

Dans tous les EI correspondant à EIC101 le système "remarque" que IC101 = "fonction"/ "Régler la direction du faisceau lumineux / véhicule" (cela peut être aussi déduit à partir de ECI101), ce qui a pour effet:

- de créer EIC105 = {IC101 },
- de modifier EIC101 = {IC102, IC103},
- de créer A104(EIC105, EIC101),
- de modifier A100(EIC100, EIC105)

La même opération peut être effectuée sur EIC102 et EIC103. Ce qui nous donne la formalisation de la base suivante:

EIC100 = {IC100},

EIC105 = {IC101},

EIC101 = {IC102, IC103},

EIC104 = {IC104}

EIC106 = {IC105},

EIC102 = {IC107, IC108, IC110, IC111, IC112},

EIC107 = {IC106},

EIC103 = {IC107, IC109, IC111, IC113}.

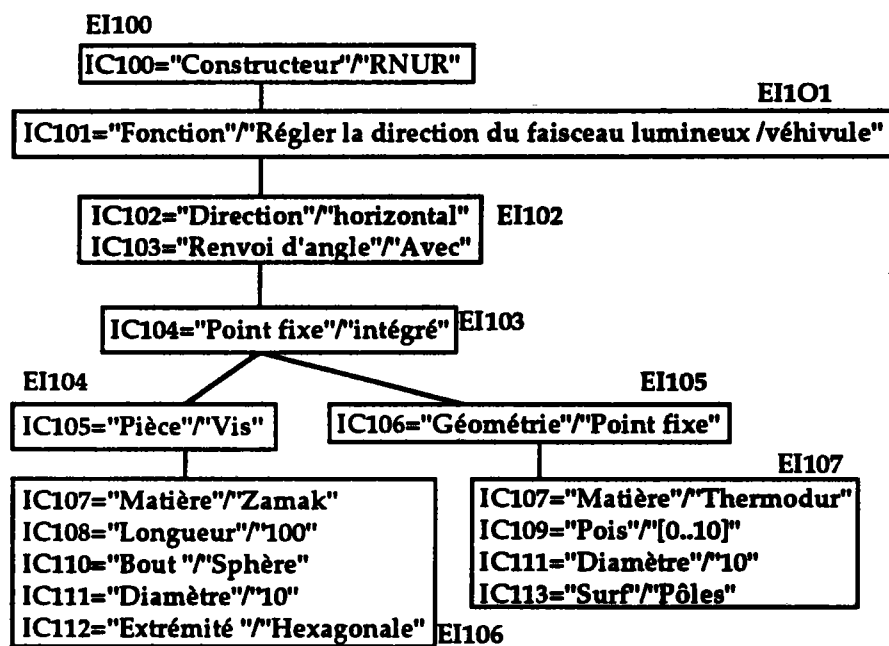
avec:

A100(EIC100, EIC105),
 A104(EIC105,EIC101),
 A101(EIC101,EIC104),
 A102(EIC104,EIC106),
 A103(EIC104,EIC107),
 A105(EIC106,EIC102),
 A107(EIC107,EIC103).

Avec comme exemples de cas SS100 et SS101 suivants:

- SS100

SS100



(figure 56: Système solution SS100.)

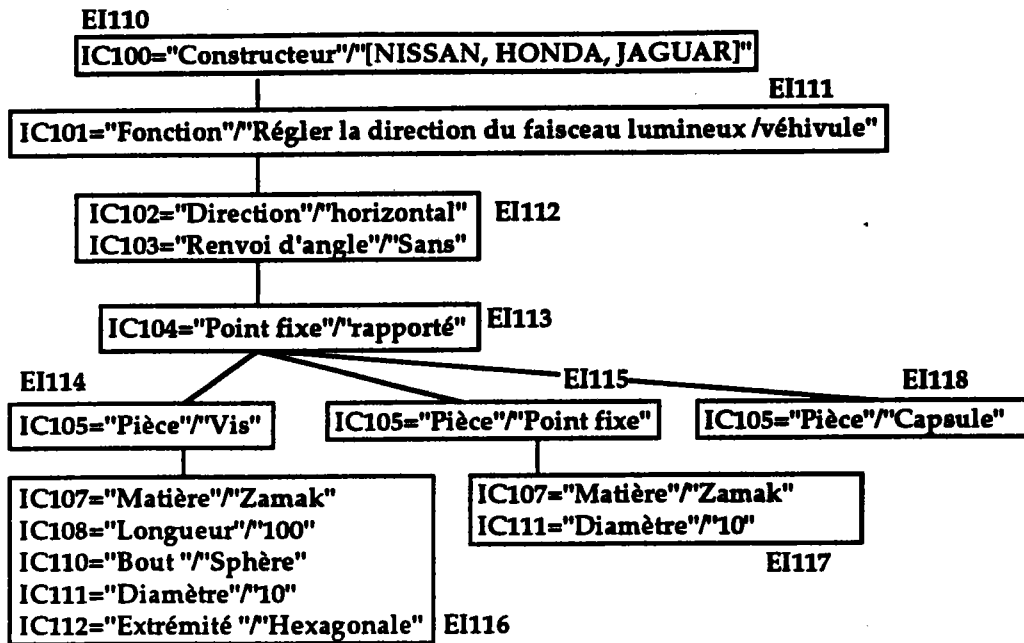
avec

```

SS100 = {
  ((EIC100/EI100), (EIC105/EI101)),
  ((EIC105/EI101), (EIC101/EI102)),
  ((EIC101/EI102), (EIC104/EI103)),
  ((EIC104/EI103), (EIC106/EI104)),
  ((EIC106/EI104), (EIC102/EI106)),
  ((EIC104/EI103), (EIC107/EI105)),
  ((EIC107/EI105), (EIC103/EI107))
}
  
```

- SS101

SS101



(figure 57: Système solution SS101.)

avec

```

SS101 = {
  ((EIC100/EI110), (EIC105/EI111)),
  ((EIC105/EI111), (EIC101/EI112)),
  ((EIC101/EI112), (EIC104/EI113)),
  ((EIC104/EI113), (EIC106/EI114)),
  ((EIC106/EI114), (EIC102/EI116)),
  ((EIC104/EI113), (EIC106/EI115)),
  ((EIC106/EI115), (EIC107/EI117)),
  ((EIC104/EI113), (EIC106/EI118))
}

```

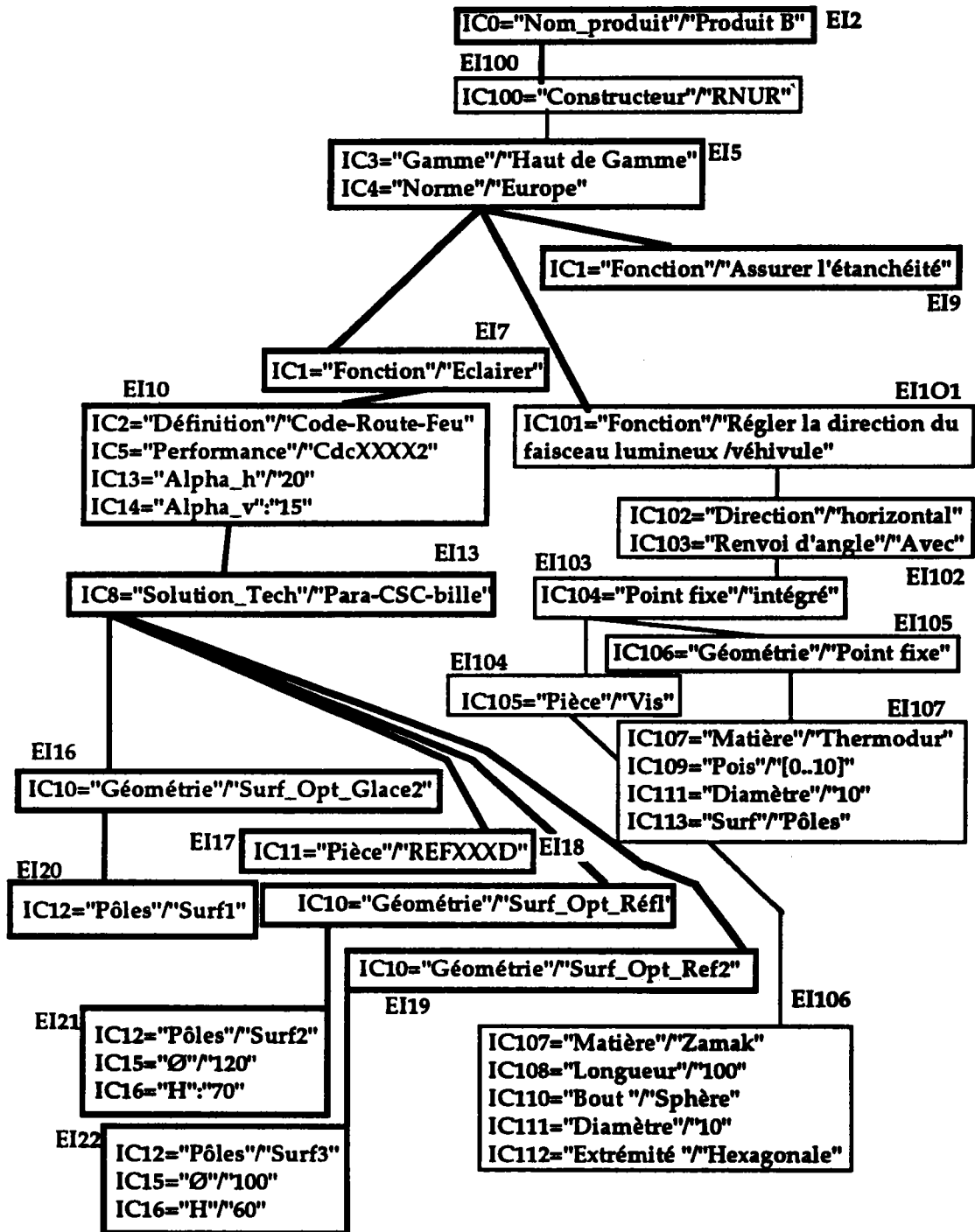
Dans ce cas il y a création de EIC107 qui est construit à partir de EIC102. Ce qui entraîne la production de la relation d'abstraction A108(EIC106,EIC107).

Afin d'obtenir une base de connaissances plus globale et plus cohérente par rapport à un produit nous pouvons "fusionner" la définition de la base traitée dans la partie précédente 5.1. Résolution d'un problème de conception (concentrée sur la définition de la fonction "éclairer"), et la définition de la base traitée dans cette partie (concentrée sur la définition de la fonction réglage). Cette fusion est faite cas par cas, c'est à dire que l'on

fusionne les résultats de résolution en relation avec un produit. Ensuite il est possible de faire évoluer les définitions générales (informations, ensemble d'informations, relation d'abstraction).

Exemple:

Nous donnons sur la figure suivante un exemple de fusion de deux cas de résolution de conception d'un produit produits à partir de deux bases dédiées chacune à la définition d'une fonction métier différente.



(figure 58: Exemple de fusion de deux cas de résolution de conception.)

4. Applications informatiques et interfaces avec d'autres systèmes

Afin de valider et d'introduire progressivement les résultats de nos recherches dans les activités de conception, nous avons développé et initialisé la mise en oeuvre d'applications informatiques, et nous avons étudié leurs interfaces avec les systèmes existants. Les modèles de ces applications sont basés sur notre approche de modélisation des connaissances de conception.

Les applications développées dont nous présentons des documents de description dans l'annexe sont:

- Un Questionnaire Inter-Actif (QIA).

Le questionnaire inter-actif est un document canevas destiné à initialiser le développement d'un produit. Il est rédigé conjointement par des représentants d'un client, du service commercial et du bureau d'études de Valéo Eclairage. Il rassemble des informations concernant:

- La gestion d'un projet de développement.
- La définition technologique.
- Les conditions économiques.
- La production.
- Le recyclage.

A l'origine ces informations étaient organisées suivant le déroulement des dialogues entre les clients et les commerciaux. Nous avons modifié ce document en l'organisant suivant les types d'informations précédents et en intégrant notre approche fonctionnelle et la classification par niveau d'abstraction dans la partie définition technologique. Cette partie correspond à l'établissement des informations génériques d'un cahier des charges. Tout en reprenant le vocabulaire des différents intervenants, nous avons proposé un plan calqué sur le schéma: Fonction, Principe technologique, pièce.

Exemple:

<input type="radio"/> Fonction <u>Style</u>	
<input type="radio"/> masque	<input type="radio"/> rapporté
	<input type="radio"/> intégré au reflecteur
<input type="radio"/> glace	<input type="radio"/> feu
<input type="radio"/> lisse	<input type="radio"/> ombre
<input type="radio"/> striée	<input type="radio"/> incolore
<input type="radio"/> stries évolutives	<input type="radio"/> lisse
<input type="radio"/> agrafée	<input type="radio"/> Ostrié type.....
<input type="radio"/> cassure longitudinale	<input type="radio"/> globe
<input type="radio"/> cassure transversale	<input type="radio"/> standard
	<input type="radio"/> non-standard
<input type="radio"/> joint projecteur-carrosserie	
Technologie :.....	
Performances :.....	
Normes :.....	

(figure 59: Extrait du document QIA.)

Nous avons ensuite proposé un support informatique basé sur ce nouveau document caneva exploitant un système de base de données. Ce système qui fonctionne sur micro-ordinateur permet de capitaliser les questionnaires et donc les définitions technologiques des différents projets de développement.

- Un système de Génération de Nomenclatures prévisionnelles (GNBSF).

Dès que le bureau d'études possède assez d'informations concernant le cahier des charges générique d'un nouveau produit il établit la première nomenclature contenant la liste des intitulés et des quantités de pièces composantes. Cette nomenclature prévisionnelle permet de produire des estimations économiques concernant le produit.

Pour composer ces nomenclatures les concepteurs exploitent des tables références de standard sur support papier dans lesquelles sont répertoriés les pièces, les quantités correspondants aux différentes fonctions, aux différentes technologies d'un produit. L'intérêt de ces tables est qu'elle contiennent des prémisses de règles de conception, de conditions d'utilisation, cela suivant une organisation plus ou moins orientée

fonctionnelle. De plus ces tables ne contiennent pas seulement des pièces, mais aussi des géométries fonctionnelles nommées "contre-partie".

Afin de répondre au besoin du service de standardisation du bureau d'études de produire plus simplement, plus rapidement et plus rationnellement ces nomenclatures, nous avons développé un support informatique permettant leur génération "semi-automatique".

GNBSF (Générateur de Nomenclature, Base de Savoir-Faire) est un système qui permet la gestion de l'acquisition, de l'archivage et de l'exploitation d'une base de pièces standard. Il permet la construction interactive de nomenclatures dans un format déterminé par le service de standardisation, et introduit une démarche de conception fonctionnelle.

Les mécanismes de ce système s'inspirent de notre modèle et permettent aux concepteurs de construire implicitement une base de données qui peut être exploitée pour l'enrichissement par apprentissage d'une base de connaissance.

- Un support informatique d'AMDEC.

L'AMDEC (Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est "un outil qualité" (une méthode d'analyse) intégré dans les processus de développement. La réussite de l'application des AMDEC passe par la sollicitation d'une assistance informatique prenant en charge:

- L'aspect administratif.
- La capitalisation des AMDEC.
- L'exploitation et le partage de cette capitalisation.
- La procédure et la démarche des processus d'analyse.

Notre objectif ne s'est pas arrêté à la réalisation d'un générateur d'AMDEC, nous avons aussi exploité les aspects "analyse fonctionnelle" et "capitalisation du savoir faire" de cette méthode. En effet les AMDEC débutent par une analyse fonctionnelle du produit étudié, ce qui permet de produire des définitions fonctionnelles en adéquation avec notre modèle. Le processus de cotation des modes de défaillance et des défauts permet d'isoler implicitement des règles de conception en fournissant aux concepteurs un langage de formalisation pour leurs expressions: "Pour une fonction, une pièce, un défaut, un mode de détection de ce défaut, une situation donnés les concepteurs proposent des éléments de correction" Nous assimilons cette expression à une règle de conception que nous qualifions de "négative" car elle traite une erreur de conception. Nous "positivons" alors cette expression de la façon suivante: "Pour une fonction, un ensemble de conditions donnés, les éléments de définition d'une pièce

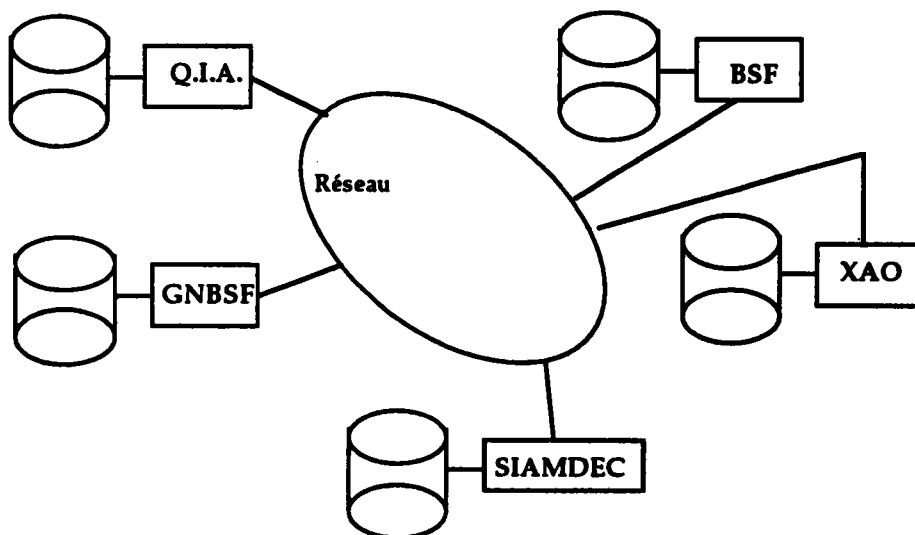
doivent respecter des contraintes données". Il est possible alors de capitaliser ce type de règle de conception dans le but d'enrichir une base de connaissance (Cf. [GEN91]) de conception.

- Un système à base de connaissances.

Afin de valider les définitions de notre modèle nous avons développé une maquette d'un système à base de connaissances: BSF (Base de savoir-faire). Ce système basé sur notre représentation des connaissances et intégrant des mécanismes d'apprentissage nous a permis de traiter des données des précédentes applications. Il est dédié à la gestion et à l'exploitation d'une base de connaissances de conception.

Actuellement ces différents développements informatiques existent de manière indépendante les uns par rapport aux autres. Ils sont après une phase de validation théorique et méthodologique, dans une phase d'étude de leur remise à un niveau industriel. Leur évolution s'inscrit dans un plan directeur de développement informatique concernant la sauvegarde et l'exploitation de l'expérience de conception.

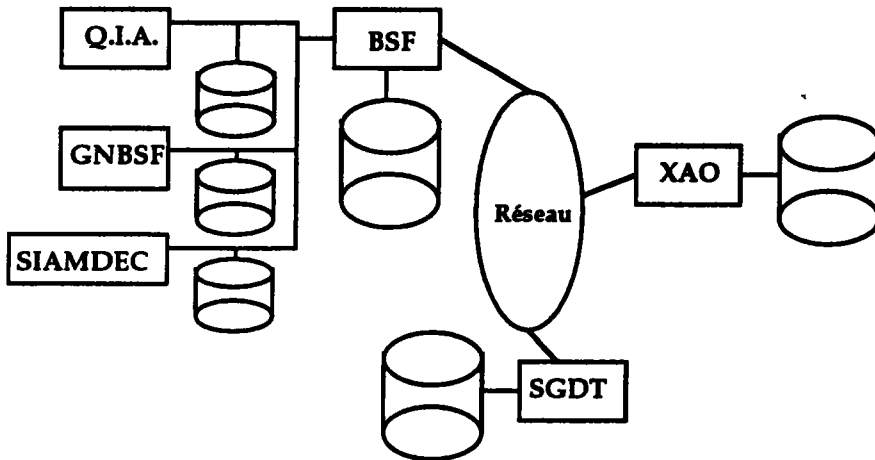
Nous présentons avec les deux figures suivantes l'évolution de l'intégration des outils dédiés à l'assistance de la conception:



(figure 60: Topologie actuelle des systèmes informatiques de conception.)

Sur cette première figure nous présentons les outils d'assistance à la conception qui sont exploités de manière indépendante. L'objectif est de

profiter des bases de données des systèmes QIA, GNBSF, et SIAMDEC pour la construction de la base de BSF et pour initialiser la capitalisation informatique des données de conception.



(figure 61: Évolution de la topologie des systèmes informatiques de conception.)

Cette deuxième figure illustre ce qui pourrait être un environnement complet du système d'information de conception.

Les systèmes QIA, GNBSF, SIAMDEC et BSF basés sur le même modèle seront intégrés de manière plus dépendante formant alors un système à part entière d'aide à la conception à base de connaissances.

Celui-ci fonctionnera en collaboration étroite avec les autres systèmes de XAO et un Système de Gestion des Données Techniques (SGDT) gérant un référentiel fédérateur de tous les ensembles d'informations de conception.

Les interfaces avec les outils XAO sont formalisés au niveau des relations de contrainte du modèle représentant les codes de calcul, les outils de simulation, les systèmes experts; et au niveau des systèmes caractéristiques représentant des éléments de modeleurs exploitant des définitions paramétriques.

L'interface avec le système de gestion des données techniques se situe au niveau de l'exploitation du référentiel des données techniques par le système à base de connaissances pour accéder aux informations de conception. L'existence d'un référentiel informatique des données techniques est de ce fait fondamentale pour l'automatisation de la conception.

Nous ne traitons pas l'interface avec les systèmes de production. Nous considérons que l'ensemble des informations qu'elle produit est intégré

suivant leur influence sur la conception soit sous forme d'informations, soit sous forme de relation de contrainte.

Par exemple les moyens de conception peuvent limiter les intervalles de valeurs possibles pour les choix des matières, des géométries, des technologies. Il peut être très intéressant de posséder dans certains cas un panel de volumes réalisables en production et de limiter le choix des géométries des modèles de définition par rapport à ce panel. Ces informations représentent des contraintes du même ordre que les contraintes théoriques mécaniques, ou celles imposées par l'ensemble des outils utilisés en conception.

CONCLUSION

Aujourd'hui la majeure partie du temps des activités de développement des bureaux d'études, est dédiée aux processus de construction des définitions d'un objet technologique, et en particulier à la construction du modèle géométrique 2D ou 3D. Celui-ci est la référence, le résultat final d'une conception, c'est celui qui est exploité par la production.

Des premiers outils de dessin assisté par ordinateur (D.A.O) jusqu'aux premiers systèmes actuels à base de connaissances, la plus grande part des recherches de modélisation formelle et informatique, se focalise sur l'assistance et l'automatisation de la construction de la représentation géométrique des produits. Les objectifs sont la rationalisation et l'instrumentation d'un maximum de tâches de conception afin d'asservir leur rentabilité et leur qualité.

On observe que la mise en oeuvre de ces outils demande des gros investissements qui n'engendrent pas toujours la rentabilité escomptée, et que la situation de dépendance (implantation, organisation) des industries par rapport à ces systèmes quelquefois vieillissant, rend difficile leur adaptation et leur remise en cause. Les spécialistes du domaine émettent des perspectives peu optimistes selon lesquelles la faiblesse de la réactivité des organisations de conception, ne permet pas d'envisager une maturité suffisante pour l'intégration d'outils plus adaptés avant une dizaine d'années.

Nous pensons que les sources de ces constats sont:

- La complexité des problèmes tels que la maîtrise des technologies des produits, l'étude des processus de conception, la maîtrise des modèles et des réalisations informatiques.
- Le manque de maturité des organisations de conception par rapport aux nouvelles cultures industrielles.
- La concentration des capacités des systèmes de conception assistée par ordinateur (C.A.O.) actuels sur l'automatisation de la numérisation des volumes d'un produit, même si quelques systèmes de C.A.O. modernes commencent à proposer des fonctionnalités plus adaptées aux tâches des concepteurs, basées sur des principes de paramétrage et d'assemblage. Cela a pour effet de produire des modélisations qui s'éloignent de l'essence de la conception représentée par les processus d'invention, d'adaptation, et d'exploitation de l'expérience. La conception fait intervenir une panoplie de

processus, de concepts, de modèles formels mathématiques ou non, qu'il est nécessaire à notre sens, d'appréhender dans leur ensemble pour les comprendre et les modéliser.

L'opportunité d'effectuer nos recherches au coeur de l'organisation de conception du centre d'étude et de recherche de la division Valeo Eclairage nous a placé dans une situation d'observateur privilégié des activités et des problèmes liés au développement d'un produit. Nous avons eu la possibilité d'analyser, d'étudier, et de décrire le travail des concepteurs, leurs comportements, leurs raisonnements et leurs utilisations des divers outils à leur disposition.

Nos premiers résultats qui ont déterminé notre approche de modélisation, mettent en évidence le rôle fondamental de l'expérience exploitée, partagée et enrichie continuellement par une communauté de concepteurs.

Notre but est alors de proposer un support des connaissances du savoir-faire, intégrant des capacités de gestion de leurs évolutions. L'objectif n'était pas de concevoir un nouveau système informatique, cela n'étant pas notre vocation, mais de construire un modèle du travail de conception.

Notre approche est caractérisée par la formalisation d'un espace d'abstraction des connaissances, et par l'intégration de mécanismes d'apprentissage. Ces éléments définissent des stratégies de résolution de problème de conception, d'enrichissement et d'exploitation de l'expérience.

La conception est un domaine "naturel" d'application des théories de l'apprentissage. En effet apprendre et concevoir sont des activités qui construisent des concepts ou des modèles destinés à enrichir et à faire évoluer des ensembles d'informations ou de connaissances.

Notre modèle de représentation des connaissances et d'apprentissage est dédié au développement d'un système d'informations destiné à l'assistance des concepteurs offrant les capacités suivantes:

- la fédération des différents modèles utilisés durant le développement des produits;
- l'assistance dynamique des concepteurs des phases de définitions fonctionnelles aux phases de numérisation des volumes. Le système ne produit pas de solution complète ou ne crée pas, mais propose des éléments de définition au jugement des concepteurs qui les critiquent, les modifient et les valident;
- l'enrichissement continu et le partage de la base de connaissances représentant l'expérience lors de son exploitation par les concepteurs.

Notre formalisme n'est pas un approfondissement d'une théorie particulière, mais il est le résultat de la sollicitation de définitions de base de différents modèles comme la théorie des graphes, la représentation des connaissances, l'apprentissage ou les méthodes d'analyse. Cela nous permet de traiter les problèmes de cohérence et de consistance.

Nous avons validé nos résultats à l'aide de la réalisation d'outils informatiques basés sur notre modèle qui ont été sollicités pour des applications concrètes. Ces maquettes de validation étaient destinées à:

- l'établissement des cahiers des charges (Application informatique et méthodologique de Questionnaire Inter-Actif - QIA).
- l'assistance dans la génération des premières nomenclatures de conception (Application informatique et méthodologique de Génération de Nomenclature exploitant une Base de Savoir-Faire - GNBSF).
- L'assistance pour l'Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effets et de leur Criticité (Application informatique d'assistance pour l'établissement d'AMDEC).

Ces applications nous ont permis de récolter des ensembles d'informations significatives contribuant substantiellement à notre recherche.

Celles-ci représentent la première phase d'intégration progressive de nouveaux moyens d'aide à la conception. En effet il est nécessaire dans les bureaux d'études industriels de tenir compte des contraintes de rentabilité, des méthodes et des outils existants.

Les prochaines phases exploiteront les caractéristiques méthodologiques de formalisation des activités de conception de notre modèle pour l'intégration de nouveaux outils dédiés aux supports des connaissances.

L'application des résultats de notre approche à travers de nouveaux outils devrait, tout en apportant une contribution réelle aux activités d'étude, proposer des perspectives de recherche concernant les problèmes de conception, d'apprentissage, et de représentation des connaissances pour la conception.

L'objectif sera toujours de favoriser l'efficacité des activités de création et d'invention des concepteurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[AFZA92]

Evolution et perspective en calcul de structures.

AFZALI. *Cetim*

Actes du MICAD 92 Hermes.

[AKING89]

A Hybrid Architecture for Programmable Computing and Evolutionary Learning.

AKINGBEHIN, CONRAD.

Journal of Parallel and Distributed Computing 6, 245-263 (1989).

[ALDEF86]

Ruled-based Approach to variational geometry.

ALDEFELD.

Knowledge Engineering and Computer Modelling in CAD 1986.

[ANCI90]

Etude d'agencement spatial dans un atelier de production selon le concept de technologie de groupe.

ANCIAUX. *LAEI Université de Metz*

Thèse de doctoral 1990.

[ANDL92]

Approches formelles de l'apprentissage.

ANDLER, BOUCHERON, MARTIN.

Le courrier du CNRS. n°79 1992

[ARNA70]

La logique ou l'art de penser.

ARNAUD, NICOLE.

Editions CHAMPS/HERMES. 1970

[BARB90]

Expliquer pour apprendre.

BARBOUX. *C.R.I.M. Montpellier.*

Actes des 3ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA 1990.

[BARTE87]

Mathématiques et C.A.O: B-splines.

BARTELS, BEATTY, *Univ. de Waterloo*, BARSKY. *Univ. de Californie Berkeley.*

Edition HERMES. 1987

[BARTH92]

Objets et Intelligence artificielle.

BARTHES, FABER, GLOESS, NICOLLE, VOLLE.

Actes des 3ièmes journées nationales PRC - GDR Intelligence artificielle HERMES. 1992

[BEGIS91]

Les interfaces CAO/Calcul scientifique.

BEGIS, EICHELBRENNUR. *Simiuog*

Publication Simulog. 1991

[BEL92]

Représentation et Traitement pratique de la flexibilité dans les problèmes sous contraintes.

BEL.

Actes des 4ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA 1992.

[BELL92]

Deux formalismes de généralisation au service de la déduction automatique.

BELLEANNÉE - IRISA Rennes.

Actes des 4ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA 1992.

[BERM93]

La théorie des graphes.

BERMOND, LAZARD, SOTTEAU, SYSKA.

Le courrier du CNRS n° 80 1992.

[BERT92]

Perception du mouvement et représentation de l'espace.

BERTHOZ.

Le courrier du CNRS n° 79 1992.

[BEZIA92]

Assemblages et composants mécaniques.

BEZIAT - LRIM Univ. Metz.

Actes du MICAD 92 HERMES.

[BHAL91]

Object-oriented data models: a perspective and comparative review.

BHALLA.

Journal of information Science May '91 p145.

[BISSO92]

Utilisation des méthodes symboliques numériques pour généraliser.

BISSO - LRI Orsay.

Actes des 4ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA 1992.

[BLAN78]

Une hypothèse sur les connaissances utilisées en situation de résolution de problème.

BLANCHET, ACKERMANN-VALLADAO, KILCHER, ROBERT.

Cahier de psychologie 1978,21.

[BLOC92]

Cerveau et activation des représentations mnésiques.

BLOCH.

Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[BLUM89]

Improving Software Maintenance by Learning from the past: A case study.

BLUM.

Proceeding of the IEEE Vol. 77, N° 4, 1989.

[BON92]

La C.A.O., un support pour la simulation et l'évaluation de performances.
BONNEVILLE, MATHIEU.
Actes du MICAD 1992 Hermes.

[BOND91]

Intelligent CAD: Application experience in a electron mechanical
manufacturing compagny.
BONDERA - *Università du Udine Italy.*
CIRP 91.

[BOOCK91]

Object oriented Design with applications.
BOOCK.
The Benjamin/Cummings Publishing Compagny, Inc 1991.

[BOUC90B]

Aspect de l'Interface entre symbolique et numérique.
BOUCHON-MEUNIER, DUBOIS, GASCUEL, GUENOCHÉ, PRADE.
Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence artificielle 1990.

[BOUCH90]

Acquisition numérique/symbolique de connaissances graduelles.
BOUCHON-MEUNIER, DESPRES - LAFORIA Paris.
Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence artificielle 1990.

[BOUCH92]

Théorie de l'apprentissage: de l'approche formelle aux enjeux cognitifs.
BOUCHERON - CNRS LRIParis-sud.
HERMES -1992.

[BOUR90]

Etude méthodologique et formelle du raisonnement analalogique.
BOURRELLY, CHOURAQUI, SAVELLI.
Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[BOUR92]

Le raisonnement analogique.
BOURRELLY - CRTC Marseille.
Le courrier du CNRS n °79 - 1992.

[BOURD90]

Introduction générale à la conception automatique de gamme d'usinage: La
gamme automatique en usinage.
BOURDET - ENS Cachan.
Edition HERMES 1990.

[BRAS90]

La sémantique des langues naturelles: Eléments d'une approche comparative.
BRAS - IRIT Marseille.
Actes des 3ièmes journées nationales PRC - GDR Intelligence artificielle. Edition HERMES 90.

[BRUN92]

Integrated product design and manufacturing systems.

BRUN, AFZALI, SERRAFERO, NEUMANN, HOBBS.

Actes du MICAD 92.

[BRUNE90]

Analogie et Généralisation.

BRUNEAU - CNET Lanion.

Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[BURNE91]

Une méthode de conception orientée objets, appliquée aux systèmes de maintenance d'équipements de radiodiffusion.

BURNEAU.

Thèse de Doctorat CRIN Décembre 91.

[CADD593]

Documents techniques CADD5 4X - CADD5 5.

ComputerVision 1993.

[CADR90]

Paramétrique ou Variationnel: Des nuances subtiles.

CADReport n°27 1990.

[CADR92]

Synthèse d'Ataufact à propos des évolutions des modeleurs.

CADReport n°58 30/12/92.

[CADX93]

CADX1: Un système expert pour la conception.

SERRAFERO - Kadetech.

Séminaire Kadetech 1993.

[CASTE85]

Mathématique et CAO: Formes à poles.

DE CASTELJAU - PSA.

Editions Hermes 85.

[CATHE91]

Intégration CFAO: L'IA entre C et F.

CATHERIN.

Bureaux d'étude 72 1991.

[CELK92]

Use knowledgebases to build systems that think.

CELKO.

Systems Integration Jan 1992 p29.

[CHAA91]

Apport du paramétrage dans un système de CFAO Intégré.

CHAABANE, MARTY - INSA Lyon.

CIRP 91.

[CHAT91]

Apports du modèle du black-board aux systèmes experts d'aide au diagnostic.
CHATAIN - COMELOG Lyon.
Convention IA 91 Paris.

[CHEVA80]

Guide du dessinateur industriel.
CHEVALIER
Editions Hachette

[CHO91]

Méthode générale d'acquisition de la connaissance experte.
CHOULET, HAURAT, SANDOZ, TEBA.
Actes de la convention Intelligence Artificielle 91.

[COMP91]

METHODAC: une méthodologie pour l'acquisition et la modélisation des connaissances.
COMPAGNON - GRASCE URA CNRS 935.
Communication EDIAT - 1993.

[COUL90]

Le raisonnement par analogie en intelligence artificielle.
COULOM, BOISVIEUX, BOURRELY.
Actes de des 3ième journées PRC - GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[COUT91]

Interface Homme-Machine: Un regard critique.
COUTAZ.
Technique et science informatique vol10 n°1 1991 DUNOD Afcet.

[CROC93]

Les automates finis.
CROCHEMORE, PERRIN, PIN.
Le courrier du CNRS n°80 1993.

[DAH90]

Un système intelligent de C.A.O.
DAHSHAN, BARTHES.
Actes de la convention IA 91.

[DEHAE89]

Apprentissage par sélection dans les réseaux de neurones: mécanismes synaptiques et propriétés d'ensembles neuronaux.
DEHAENE, CHANGEUX.
Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique n°124/1989 INRIA.

[DELAH93]

L'Inférence Inductive.
DELAHAYE.
Pour la Science n°183 janvier 93.

[DENI92]

Image et description.

DENIS.

Le courrier du CNRS n°79.

[DESI92]

Knowledge-based engineering helps carmakers cut design time.

Design News Dec 7 '92 p36.

[DESI93]

DESIGN VIEW: Un système de pré-étude 2D.

Document ComputerVision- 1993.

[DOUC92]

Représentation des connaissances dans les bases de données: du relationnel à l'Orienté-Objet.

DOUCET - Univ. Paris Sud.

Actes des 4ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA1992.

[DUBO92]

Représentations catégorielles, prototypes et typicalité.

DUBOIS.

Le courrier du CNRS n°79 - 1992.

[DUP91]

Un environnement objet pour l'aide à la conception de systèmes mécaniques.

DUPINET - Ecole Centrale Paris.

Actes de la Convention IA 91.

[DVOR91]

Keeping talent with knowledge system: Knowledge-based engineering systems.

DVORAK.

Machine Design August 22 '91 p37.

[ELU91]

Nouveaux Concepts en CFAO.

ELUE - SGAO Paris.

Conférence CFUC 1991.

[FARGE85]

Données de base pour Base de Données.

FARGETTE - CAP SOGETI LOGICIEL.

Editions Eyrolles - 1985.

[FARRE87]

Elements d'intelligence Artificielle.

FARRENY, GHALLAB.

Edition Hermès - 1987.

[FORT89]

Biophysique du Neurone.

FORTIER.

Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique - 1989.

[FORTE89]

Eléments de la Théorie des Propabilités

Tome 1.

FORTET.

Editions Centre national de la recherche scientifique - 1989.

[FOU89]

Constitution et exploitation de mémoires technologiques.

FOUET - LISI Univ. Claude Bernard INSA Lyon.

Convention IA 89.

[FOU91]

Mémoire technologique.

FOUET, BIREMBAUT, EVRARD, JEANBLANC, PIERRARD.

Publication scientifique - LISI Univ. Claude Bernard INSA Lyon -1991.

[FROG91]

Au centre des méthodes: Une théorie conceptuelle.

FROGER.

Communication EDIAT - 1991.

[GALL090]

Transfert de connaissances: Systèmes experts - techniques et méthodes..

GALLOUM.

Editions Eyrolles - 1990.

[GANA92]

L'apprentissage par généralisation.

GANASCIA - LAFORIA Univ. Paris VI.

Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[GANAS90]

Comportement des systèmes d'apprentissage - Vers une modélisation générale.

GANASCIA, PUGET, HELFT.

Actes des 3ième journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[GAR88]

Element de C.A.O.

Matériel et Logiciel de base..

GARDAN - LRI Univ. Metz.

Edition HERMES 1988.

[GAR90]

Utilisation des langages à objets et des techniques d'apprentissage en C.A.O.

GARDAN, SINGER, VIVIAN, ZAKARI- LRI Univ. Metz.

MICAD 90.

[GARDA91]

Etudes en CFAO.

GARDAN - LRI Univ. Metz.

Hermès Edition. 1991

[GARDA92]

Deux approches pour la représentation, sous contraintes, d'objets complexes et évolutifs..

GARDAN, GAOUA, JUNG, ZAKARI.

Actes du MICAD 92 HERMES.

[GELE89]

Mémoire associative: évolution et architectures.

BOURRELY, GELENBE.

Bulletin de la recherche en informatique et en automatique n°124/1989 INRIA.

[GEN91]

Méthode de chargement initial de la connaissance dans un système expert de diagnostic.

GENESLAY, DERGAL - CALLANDAN Valbonne.

Actes de la Convention IA 91.

[GOUBE92]

Un outil d'aide au choix de jonctions pour la conception orientée assemblage.

GOUBERTIER, BOCQUET - Ecole Centrale des Arts et des Manufactures.

Actes du MICAD 92 HERMES.

[GRAN83]

Lexique des sciences sociales.

GRAWITZ - Univ.Paris I.

Edition Dalloz 1983.

[GUAN91]

Interface de CAO pour Gamme d'Usinage à partir des plans de pièces mécaniques.

GUAN, LE MAITRE - ENSM Nantes.

CIRP 91.

[HATON89]

Modèle connexionniste pour l'intelligence artificielle.

HATON - CRIN Univ. Nancy I.

Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique INRIA - 1989.

[HENRY91]

Méthodes d'analyse qualité-fiabilité et d'expérimentation : Analyse fonctionnelle et analyse de processus.

HENRY.

Editions Paris-Maloine - 1991.

[HILA89]

**L'apprentissage d'heuristique de contrôle en vue de la planification: une
approche empirique.**

HILARIO.

Actes de la Convention IA 89.

[ICAD90]

Understanding The ICAD System.

Doc. ICAD Inc 1990.

[ICAD93]

The ICAD System.

Documents techniques ICAD - 1993.

[IZUC91]

Intelligent foundation for product design reduces cost, time-to-market: part 1.

IZUCHUKWU.

Industrial Engineering July '91 p29.

[JACO92]

Information et représentation.

JACOB.

Le courrier du CNRS n° 79 1992.

[JAN90]

Depth-Order Point Classification Technique for CSG Display Algorithms.

JANSEN.

ACM Transaction on Graphics Jan 1990.

[JEAN93]

Dossier Intelligence Artificielle: Le CBR, une alternative entre systèmes experts et réseaux de neurones.

JEANNE.

Le monde Informatique 24 mai 1993.

[KAUFM87]

Nouvelles logiques pour l'intelligence artificielle.

KAUFMANN.

Editions Hermès 1987.

[KAYS93]

La représentation des connaissances.

KAYSER.

Le courrier du CNRS n° 80 1993.

[KODR93]

L'apprentissage.

KODRATOFF.

Le courrier du CNRS n° 80- 1993.

[KODRA89]

IA et approche connexionniste.

KODRATOFF.

Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique - 1989.

[KRIV92]

L'acquisition des connaissances.

KRIVINE.

Courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[LAR90]

Dictionnaire de la psychologie.

SILLAMY.

Edition Larousse.

[LASS93]

DISEGNO: Un environnement informatique pour la spécification d'objets complexes en conception assistée par ordinateur.

LASSOUED, ROCHEGUDE.

GRASCE - U.R.A. C.N.R.S. 93.

[LEC92]

la dissonance cognitive.

LECOMPTE.

Sciences et Vie n° 892.

[LECU92]

Les débuts de la connaissance des objets.

LECUYER, STRERI.

Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[LEV90]

Maintenance et logiques des défauts.

LEVY, LOISEAU, ROUSSET - LIPN Univ. Paris-Nord.

Aces des 3ièmes journées nationales PRC GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[LIANG91]

Un modèle d'apprentissage pour un système expert en diagnostique.

LIANG, HOURIEZ, DUPAS, MILLOT - Univ. de Valenciennes.

Actes CIA 91 Hermes.

[LIB91]

Modèles de raisonnement temporel en intelligence artificielle..

LIBERT, DERGAL, MILLOT - Univ. de Valenciennes.

Actes de la Convention IA 91.

[LOCH89]

L'objet quantique.

LOCHAK.

Edition CHAMPS/FLAMMARION - 1989.

[LUCAS92]

L'analyse visuelle des données dans les années 90.

LUCAS, WARNER - *Précision visuals, France.*

Actes du MICAD 92.

[MILCH83]

Learning from Observation: Conceptual Clustering.

MICHALSKI - Palo Alto CA: Tioga.

Machine learning: an artificial intelligence approach Ed. Michalski. - 1983.

[MILLE56]

The magical number seven, Plus ou minus two: some limits on our capacity for processing information.

MILLER.

The psychological review vol 63 march 56.

[MILTE92]

Analyse et exploitation des techniques d'inférences à propagation de contraintes intégrées à un système de gestion d'objets dans le cadre d'une application experte en C.F.A.O..

MILTENBERGER - ENS Cachan.

Actes du MICAD 92.

[MOMME92]

GRAM : un modeleur graphique orientée objet.

MOMMESSIN, SOURCE - Univ. de Savoie, Chambéry.

Actes du MICAD 92 HERMES.

[MOR89]

Les outils de XAO dans le cycle de vie de l'automatisation.

MOREL, ROESCH, IUNG.

Publication LACN-CRAN Université de Nancy I - 1989.

[MUTE82]

Méthode de reconnaissances de groupements technologiques et de familles de pièces.

MUTEL. - INSA Strasbourg.

Communication ADEPA - 1982.

[NADIF87]

Contribution à la classification automatique de données de production.

NADIF - Laboratoire Mécatronique Industrielle ENIM Metz.

Thèse de doctorat - 1987.

[NARA92]

Liaison CAO-Calcul.

NARAYAMIN - Matra Datavision.

Actes du MICAD 92 1992 Hermes.

[NGUY92]

L'analogie dans l'apprentissage des dispositifs de commande.

NGUYEN-XUAN.

Le courrier du CNRS n°79 - 1992.

[NIAM93]

La méthode NIAM: Nijssen Information Analysis Method.
NIJSSEN.
Document SGAO - 1993.

[OOA93]

Approche Objet L'analyse avec OOA.
Document ARCHE SQL S.A. - 1993.

[PEREZ88]

De nouvelles voies vers l'IA.
PEREZ.
MASSON 1988.

[PEREZ89]

Une nouvelle famille de réseaux neuronaux: le modèle holographique "chaos fractal" et ses applications industrielles.
PEREZ.
Actes de la Convention Intelligence Artificielle 1989 HERMES.

[PERRO93]

Langages à objets.
PERROT.
Courrier du CNRS n°80 - 1993.

[PERU92]

Les apprentissages non-conscients.
PERRUCHET.
Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[PETR85]

To engineer is human.
PETROSKI.
St Martin's Press New York. - 1985.

[PLA88]

Introduction to a learning general theory.
PLA-LOPEZ.
Cybernetics and Systems: An International Journal, 19:411-429, 1988.

[POITO92]

Le système de CAO autostéréoscopique interactif stéréo (Système tridimensionnel en relief par ordinateur). Application aux opérations en milieu hostile.
POITOU, CARTONNET, CABONELLE, MARRAUD - CREPCO Aix-en-Provence.
Actes du MICAD 92.

[PRADE90]

Traitements numérique-symboliques d'informations symbolico-numériques.
DUBOIS, PRADE - IRIT Univ. Paul Sabatier.
Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[PUN84]

Systèmes Industrielles d'Intelligence Artificielle.

PUN - GRAI Bordeaux.

Éditions Hermes - 1984.

[PY90]

Analogie et acquisition de connaissances.

PY - CRIM Montpellier.

Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle.

[QUEN91A]

S.I.R.S. Système Interactif de Recherche de Séquences.

QUENCEZ, SPADONI - Laboratoire de Mécatronique Industrielle ENIM Metz.

Actes du 23ième CIRP 1991 (International Seminar on Manufacturing Systems).

[QUENC90]

Méthode pour l'apprentissage des systèmes d'intelligence artificielle: Etude d'une interface d'apprentissage pour le système de génération de gammes automatiques: SAGGA.

QUENCEZ - LMI ENIM Metz.

Rapport de DEA 1990. Université de Nancy I.

[QUENC91]

Contribution à la modélisation de la conception des projecteurs d'automobile.

QUENCEZ - LMI ENIM Metz.

Rapport de recherche Interne Valéo - 1991.

[READE88]

Learning language with the memory channel machine.

READER.

CYBERNETICA, Vol. XXXI, n° 4-1988.

[RIESE74]

Computer Aided Geometric Design.

BARNHILL, RIESENFELD.

Academic Press 1974.

[RUCHE84]

Etude de quelques systèmes experts pour la CFAO.

RUCHER.

Actes de la 3ième Conférence Européenne MICAD 84.

[RUTKO89]

Non-Parametric learning algorithms in Time-Varying environments.

RUTKOWSKI.

Signal Processing 18 (1989) 129-137 Elsevier Science Publishers B.V..

[SAINT90]

Apprentissage et acquisition de connaissance.

DE SAINTE-MARIE.

Actes de la Convention IA 89.

[SCHN91]

Définition des ensembles mécaniques: Conditions d'obtention de cotations optimales.

SCHNEIDER, REMY-VINCENT - ENS Cachan.
CIRP 91.

[SERRA93]

CAD-X1.

SERRAFERO.

Documents techniques KADE-TECH - 1993.

[SHAPI91]

Construction and optimization of CSG representations.

SHAPIRO, VOSSLER.

CAD Computer Aided Design vol 23 Num1 Jan/Feb 1991.

[SHRA90]

Book Review: Process of Inference, Learning and Discovery.

SHRAGER.

Artificial Intelligence 41 (1989/90) 249-252.

[SIMON92]

The science of the Artificial.

SIMON.

Cambridge MA the MIT Press - 1992.

[SOMB92]

Révision des bases de connaissance.

SOMBE.

Actes des 3ièmes Journées Nationales PRC-GDR IA 1990.

[SORIA90]

Générateur de vues graphiques d'une commande en grafcet codée.

SORIANO, LOUNI.

Revue Internationale de CFAO et d'Infographie vol 5 n°4/1990.

[SOUL89]

Approche connexionniste en apprentissage.

FOGELMAN SOULIE, GALLINARI.

Buletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique INRIA - 1989.

[SPAD87]

Etude d'un système de génération automatique de gammes de fabrication.

SPADONI - LMI ENIM Metz.

Thèse de Doctorat, Université Metz, 1987.

[STROU89]

Le labgace C++.

STROUSTRUP.

Edition Bell 1989.

[THAGA90]

Analog Retrieval by Constraint Satisfaction.

THAGARD, HOLYAK, NELSON, GOCHFELD.

Artificial Intelligence an international journal vol 46 (12/1990) n°3.

[THO90]

ARCHIX: Système Expert d'aide à la conception.

THORAVAL, MAZAS, CHATENET - Renault.

Convention IA 90.

[TIBE92]

La mémoire, forme de la cognition.

TIBERGHIEU.

Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[TOLLE92]

Un exemple de système C.A.O. intelligent.

TOLLENOERE, CHAMBON - Univ. Joseph Fourier Grenoble.

Actes du MICAD 92.

[TOTI89]

Contribution à la modélisation de l'interface homme-machine dans un système de C.A.O..

TOTINO - LRI Metz.

Thèse de doctorat - Université de Metz - 1989.

[TROT92]

La représentation corticale de l'espace 3-D.

TROTTER.

Le courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[VERG92]

Raisonnement et conceptualisation.

VERGNAUD.

Courrier du CNRS n° 79 - 1992.

[VERON90]

Modélisation de courbes et de surfaces.

VERON - CRAN Univ. Nancy I.

Revue de CFAO et d'Infographie V.2, n° 3 - 1990.

[VEYS90]

Théorie des graphes et application.

VEYSSEYRE.

Cours du D.E.A. Production Automatisée. E.N.S. Cachan - 1990.

[VIGIE91]

Méthodes d'assurance qualité-fiabilité et d'expérimentation.

VIGIER.

Collection Université de Compiègne Maloine Editeur 1981.

[VIGOU92]

La fabrication du beau.

VIGOUROUX.

Editions Odile Jacob - 1992.

[VRAI90]

Analogie : heuristique pour l'apprentissage incrémental de concepts.

VRAIN, LU.

Actes des 3ièmes journées nationales PRC-GDR Intelligence Artificielle - 1990.

[WAH92]

Population Based Learning: A method for learning from examples under Ressources Constraints.

WAH.

IEEE Transactions on knowledge and data engineering. n°5 Vol 4 October 92.

[WERTZ85]

LISP: Une introduction à la programmation.

WERTZ - Unib Paris VIII Vincennes.

Editions MASSON - 1985.

[WHITE86]

An analysis and comparaison of knowledge use in designing with an without CAD.

WHITEFIELD.

Knowledge Engineering and Computer Modelling in CAD 1986.

[YVARS92]

Technique d'intelligence artificielle et C.F.A.O.: CLEAN, un système d'aide à la conception d'essuie-glace de véhicule.

YVARS, COURT - PSA.

Actes du MICAD 92.

[ZAKA91]

L'intégration dans les systèmes CFAO: à travers le modèle où à travers les outils.

GARDAN, ZAKARI - LRI Metz.

Actes CIA 91 Hermes.