

Mémoire de DEA  
Génie Industriel

**Nomenclature de produits et diversité:  
étude comparative des approches**

Présenté et soutenu publiquement par  
Bruno AGARD  
1998-1999

**Responsable Michel Tollenaere**

Laboratoire d'accueil: Laboratoire GILCO  
ENSGI - INPG  
46, Avenue Félix Viallet  
38031 GRENOBLE CEDEX

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>5</b>
1.1	Cadre général . . . . .	5
1.2	Contribution . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Présentation</b>	<b>8</b>
2.1	Différents types de nomenclatures . . . . .	8
2.1.1	PDM . . . . .	10
2.1.2	ERP . . . . .	12
2.1.3	Usages . . . . .	17
2.1.4	Problématique . . . . .	18
2.1.5	Stratégie industrielle . . . . .	19
2.1.6	Problème de la variété optimale . . . . .	21
2.1.7	Différentiation retardée des produits . . . . .	22
2.2	Rentabilité d'un produit flexible . . . . .	25
2.3	Cas d'étude . . . . .	27
2.3.1	Syléa : La différenciation retardée . . . . .	27
2.3.2	Schneider : La diversité standardisée . . . . .	28
2.3.3	Auxitrol : Options et variantes . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Structuration des données techniques</b>	<b>33</b>
3.1	Codification des objets techniques . . . . .	33
3.1.1	Codification unique . . . . .	33
3.1.2	Codification significative . . . . .	34
3.1.3	Méthodes mnémotechniques . . . . .	35
3.1.4	Codification des exemplaires . . . . .	35
3.2	Classification des objets techniques . . . . .	35
3.2.1	Familles d'Objets . . . . .	35
3.2.2	Classification Objet . . . . .	37
3.3	Différents types de lien . . . . .	39
3.3.1	Différents types de lien d'après [Maurino, 1994] . . . . .	39
3.3.2	Différents types de liens vus par STEP - AP 203 . . . . .	40
3.3.3	Liens inter points de vue d'après [Harani, 1997] . . . . .	48
3.3.4	Contraintes inter-liens d'après [Sellini, 1999] . . . . .	51
3.4	Systèmes de Gestion de Bases de Données : SGBD . . . . .	53
3.4.1	Bref historique . . . . .	53
3.4.2	Modèles relationnels étendus . . . . .	55
3.4.3	Approche objet . . . . .	57

<b>4</b>	<b>Modélisation de la diversité</b>	<b>59</b>
4.1	Modélisation avec STEP . . . . .	59
4.1.1	Structure de produit générique avec EXPRESS . . . . .	59
4.1.2	Variantes de produits avec l'AP 214 . . . . .	61
4.1.3	Comparaison des approches . . . . .	62
4.2	Une architecture de famille de produits . . . . .	63
4.2.1	Challenges techniques . . . . .	63
4.2.2	Implications structurelles . . . . .	64
4.2.3	Développement . . . . .	66
4.3	Application de l'AP 214 de STEP . . . . .	70
4.3.1	Gestion des familles de produits et des options et variantes	70
4.3.2	Gestion des versions . . . . .	72
4.4	Architecture pour familles de produit . . . . .	74
4.4.1	Modèles produit . . . . .	74
4.4.2	Architecture de Produit . . . . .	75
4.4.3	Modularité et intégration . . . . .	75
4.4.4	Familles de produit . . . . .	76
4.4.5	Structure de produit générique . . . . .	77
4.4.6	Conclusion . . . . .	78
4.5	Modèle Produit Générique . . . . .	78
4.5.1	Modélisation des connaissances de structure produit . . . .	78
4.5.2	Méthodologie de description . . . . .	80
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>81</b>
5.1	Consensus . . . . .	81
5.2	Proposition . . . . .	82

# Table des figures

1.1	La diversité dans les nomenclatures . . . . .	6
2.1	Nomenclature en 3 couches . . . . .	9
2.2	PDM . . . . .	10
2.3	Where used (cas d'emploi) . . . . .	10
2.4	Lien PDM . . . . .	11
2.5	Principe de calcul MRP. . . . .	12
2.6	FP-100 Drawing office stool . . . . .	12
2.7	Product structure diagram for drawing office stool . . . . .	13
2.8	MRP en boucle fermée . . . . .	16
2.9	ERP . . . . .	16
2.10	Lien ERP . . . . .	16
2.11	PDM / ERP et cycle de vie . . . . .	19
2.12	Stratégies de croissance et de rupture fondées sur les produits. . . . .	20
2.13	Variété optimale . . . . .	22
2.14	Commonalité entre deux produits . . . . .	26
2.15	Ancienne politique commerciale Schneider . . . . .	28
2.16	Nouvelle politique commerciale Schncider . . . . .	29
3.1	Codification des exemplaires . . . . .	36
3.2	Les familles d'objets techniques . . . . .	36
3.3	Les caractéristiques des familles et des objets techniques . . . . .	37
3.4	L'héritage multiple de caractéristiques . . . . .	37
3.5	Objet . . . . .	38
3.6	Classes et Instances . . . . .	38
3.7	Héritage . . . . .	38
3.8	Sous forme ensembliste . . . . .	39
3.9	Le lien de composition . . . . .	39
3.10	Modèle en trois couches . . . . .	42
3.11	Les exigences d'une pièce selon l'AP 203 . . . . .	42
3.12	Exemple d'instanciation . . . . .	43
3.13	Liaison des spécifications aux pièces . . . . .	44
3.14	Relation produit de remplacement . . . . .	45
3.15	Relation conception issue de . . . . .	45
3.16	Relation d'assemblage . . . . .	46
3.17	Vue conception de la bicyclette . . . . .	47
3.18	Modélisation de la bicyclette . . . . .	47
3.19	Gestion de la configuration de la bicyclette . . . . .	48
3.20	Méta-modélisation du Concept Produit . . . . .	48

3.21	Méta-modélisation de l'entité noeud . . . . .	49
3.22	Méta-modélisation de l'entité Lien . . . . .	50
3.23	Liens inter et intra points de vue d'un circuit électrique d'éclairage	50
3.24	Représentation des liens entre les points de vue structurel et ma- gnétique d'un moteur électrique asynchrone . . . . .	51
3.25	Cardinalités sur relations . . . . .	52
3.26	Sémantique des connecteurs . . . . .	52
3.27	Modèles à objets complexes . . . . .	56
4.1	Modélisation de produits génériques avec EXPRESS . . . . .	60
4.2	Gestion des variantes avec l'AP 214 . . . . .	61
4.3	The principle of PFA-based product development for mass cus- tomisation . . . . .	64
4.4	The and/or tree representation of the functional view of a produt family . . . . .	66
4.5	Design matrice decomposition for technical modularity . . . . .	67
4.6	Representation of a Building block class and its instances . . . . .	68
4.7	The C-U plot for building block evaluation . . . . .	69
4.8	Graphe noeud-arc polyhiérarchique . . . . .	70
4.9	Décomposition véhicule . . . . .	71
4.10	Gestion des diversités, famille et version de véhicule . . . . .	71
4.11	Gestion des pièces et de leurs instances . . . . .	72
4.12	Décomposition organique . . . . .	73
4.13	Décomposition fonctionnelle . . . . .	73
4.14	Différents types de solutions . . . . .	74
4.15	Cardinalités . . . . .	76
4.16	Example of generic products . . . . .	77
4.17	Product Family Classification Tree (PFCT) . . . . .	79
4.18	Heater PFCT . . . . .	79
4.19	Product Breakdown Structure (PBS) . . . . .	80

# Chapitre 1

## Introduction générale

### 1.1 Cadre général

Dans le contexte socio-économique actuel, le consommateur veut un produit spécifique qui réponde à ses besoins spécifiques et cela au plus juste prix. Il refuse de s'acquitter de fonctions dont il n'a pas l'utilité.

D'un autre côté, l'industriel se trouve confronté à un dilemme : la diversité ou les économies d'échelles. C'est à dire que pour répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur, s'il est tenté de faire des produits sur-mesure, alors ses coûts vont augmenter et se répercuter sur le prix de vente. Au contraire, si l'industriel veut diminuer ses prix, alors il devra standardiser au maximum sa production pour profiter des économies d'échelles (effets d'apprentissage, coûts fixes diminuants, ...)

Une solution intermédiaire apportée par les industriels est d'utiliser des familles de produits qui permettent un certain degré de standardisation, et laissent encore de la flexibilité au produit pour pouvoir s'adapter à différents usages. Ces familles de produits se divisent ensuite en sous-familles (produits) de manière à mieux cibler un marché segmenté, ensuite chaque produit de la sous-famille (instance) peut être customisé selon les besoins et désirs du client.

Il existe dans l'entreprise différentes formes de représentations du produit (représentations implicite ou explicite de la structure du produit) parmi lesquelles :

- les plans, qui contiennent en général les données produit ainsi qu'une structure de produit implicite,
- les nomenclatures, qui contiennent la structure des composants,
- les dessins d'assemblages, qui fournissent une vue structurelle de la décomposition physique,
- la documentation de maintenance.

Les types de documents actuels rendent difficile la comparaison entre les variantes de produit, par exemple une même pièce peut avoir différentes codifications selon les représentations.

Dans les cas de conception avec réutilisation de solutions existantes, il y a un manque de documents compréhensibles de l'ancienne conception (références croisées entre les documents).

Les consommateurs demandent haute qualité / prix bas / produits customisés. La compétition n'est plus seulement sur le prix mais aussi sur la variété et la vitesse de mise sur le marché.

La philosophie actuelle étant de remplacer les anciens produits par de nouvelles versions, soit un produit amélioré soit une nouvelle variété du produit. La différenciation des produits est d'une importance croissante en marketing.

Une modélisation basée sur un partage suivant différents niveaux de la représentation du produit est envisagée. Les niveaux considérés seront : la famille de produit, le type de produit et l'instance de produit qui au niveau des nomenclatures correspondent à nomenclature générique, nomenclature spécifique et nomenclature instanciée, chacune d'entre elles se déclinant en plusieurs vues (fonctionnelle, structurelle, maintenance, ...)

Une telle représentation est donnée figure 1.1, il reste à savoir comment s'effectue ce partage de la représentation du produit et quel(s) mécanisme(s) permet(tent) le passage d'un type de nomenclature à l'autre.

Simultanément, toujours au niveau de la conception, quelque soit le niveau (famille, produit ou instance), il existe suivant un autre axe, un versionnement des constituants et des liens qui permet de caractériser les différents états du produit (Cf figure 1.1).

Nous allons nous intéresser à savoir quelle est la dynamique de versionnement des liens et constituants et comment elle se propage dans les différentes nomenclatures de produits.

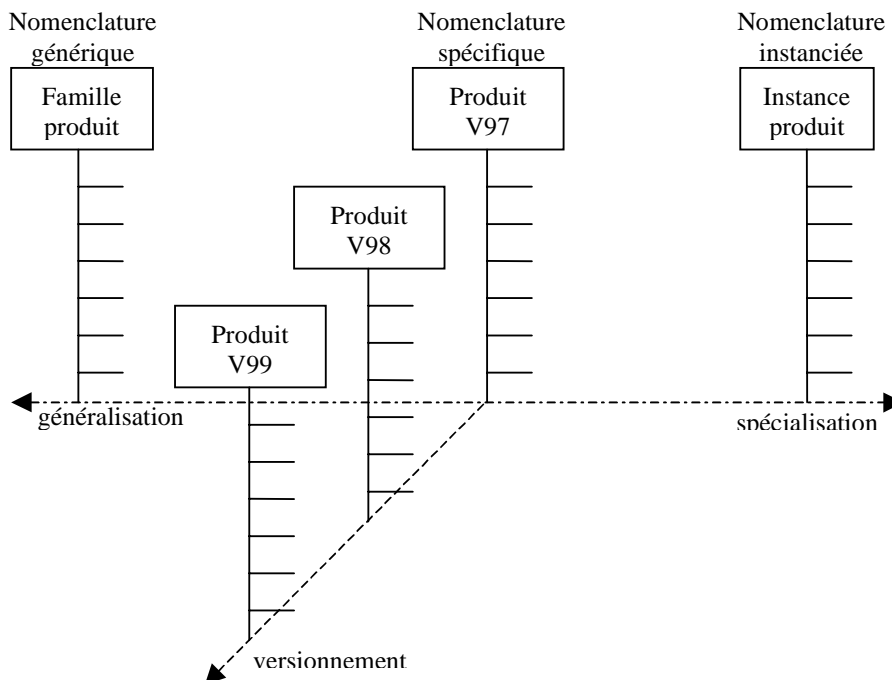


FIG. 1.1 – La diversité dans les nomenclatures

## 1.2 Contribution

Le travail présenté ici, consiste en une étude bibliographique qui permettra de poser les bases d'une thèse qui se poursuivra sur la même problématique.

La structure du document est la suivante :

Dans le chapitre 2, une présentation plus approfondie du contexte et des outils existants est présentée, ainsi que 3 cas d'étude impliqués dans la problématique de diversité.

Le chapitre 3 s'intéresse aux structurations de données qui permettent une représentation de nomenclature de produit.

Le chapitre 4 montrera des solutions apportées pour modéliser la diversité.



## Chapitre 2

# Présentation

### 2.1 Différents types de nomenclatures

Comme nous l'avons vu au premier chapitre, il existe différents types de nomenclatures qui permettent de représenter les différents niveaux de nomenclature de produit :

- la nomenclature générique : elle contient les concepts de base, méta-modèles, ... Au niveau des nomenclatures, il s'agit du plus haut degré d'abstraction. Ce type de nomenclature contient les familles de produits. Par exemple, la famille des Peugeot 306, la famille des Citroën ZX, la famille des ordinateurs portables, ...
- la nomenclature spécifique : dans ces nomenclatures, on range les types de produit. Nous nous situons donc à un niveau d'abstraction inférieur. Il s'agit à ce niveau des données relatives aux modèles de produit : les Peugeot 306 XT, les Citroën ZX Avantage, les ordinateurs portables Thinkpad, ...
- la nomenclature instanciée : ce dernier modèle de nomenclature est celui de plus bas niveau, il contient les données spécifiques à un produit en particulier. On peut trouver par exemple la nomenclature de la voiture Citroën ZX Avantage immatriculée : 702 AZN 38.

Ces trois types de nomenclatures ne se situent pas au même niveau de la représentation des données techniques pour un même produit. Elles ne permettent pas de représenter le même type de données, elles coexistent et se partagent la représentation du produit.

Ces différents niveaux de représentation du produit proviennent de différents besoins au niveau de la conception :

- Par exemple, la nomenclature générique peut servir en conception pour classer les données relatives aux familles de produits.
- De même, la nomenclature spécifique, permet de structurer les données relatives à la conception d'un type de produit en particulier.

- La nomenclature instanciée, permet quand à elle de suivre l'évolution d'un produit en particulier, cette nomenclature est très utile en maintenance par exemple.

Une première approche montre qu'il existe pour la gestion de ces différents type de données deux grandes familles de produits SGDT à savoir le Product Data Management (PDM) et le Materials / Enterprise Resource Planning (MRP / ERP) qui se partagent la représentation du produit comme suit figure 2.1. De plus il faut bien voir que chacun de ces types inclut évidemment les différentes vues : BE, fonctionnelle, structurelle, de fabrication, maintenance, ...

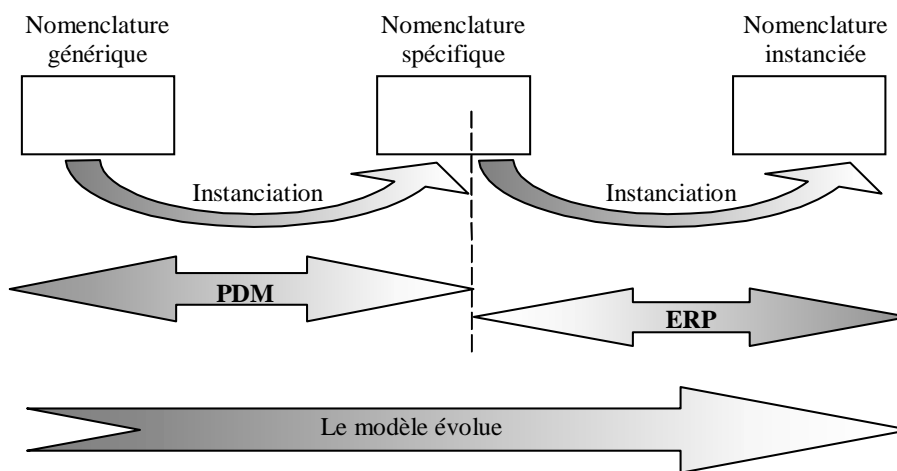


FIG. 2.1 – Nomenclature en 3 couches

Fabriquer et gérer des produits confronte à travailler avec deux systèmes séparés PDM et ERP. Bien que l'information soit souvent la même, deux différentes bases de données doivent être maintenues. Cela mène inévitablement à la duplication des données.

Plusieurs points critiques sont à remarquer :

- la limite PDM/ERP n'est pas bien définie,
- la duplication des données entraîne des risques de non intégrité,
- comment passe-t-on d'un modèle de nomenclature à l'autre?
- comment le modèle de représentation fait-il pour évoluer?
- comment chaque modèle se concilie-t-il avec la diversité?

Dans ce qui suit, les principes des deux systèmes : PDM/ERP, seront expliqués, ainsi que les différents types de nomenclatures qui proviennent d'usage différents.

### 2.1.1 PDM

Le Product Data Management a pour origine le passage du « Just in Time » au « Time to Market », c'est à dire qu'il s'agit d'intégrer la phase de conception dans le cycle de vie du produit.

Il est alors apparu nécessaire de réduire le temps de développement des nouveaux produits.

De manière à diminuer le temps de mise sur le marché, le « Concurrent Engineering » est apparu comme une alternative privilégiée, rendant par la même occasion nécessaire une gestion cohérente des données produit, c'est à dire assurer la gestion des mises à jour, les modifications produit, ... Il a donc fallu structurer les données de manière à ce que chacun puisse retrouver rapidement ce dont il a besoin, en s'assurant qu'il dispose toujours de la dernière version si elle est pertinente.

Le principe de base de la représentation PDM s'appuie sur la figure 2.2, il s'agit avant tout d'une architecture orientée *classe de documents*.

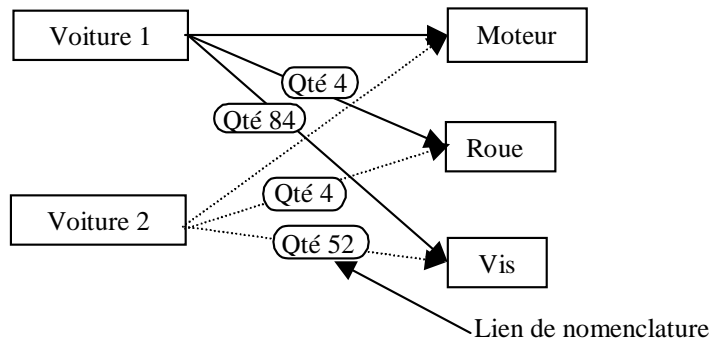


FIG. 2.2 – PDM

Cette modélisation se base sur une approche systémique. Le produit final est décomposé en sous-produits intermédiaires et ainsi de suite jusqu'à la granularité désirée.

Ce modèle permet de répondre à des questions du type cas d'emploi (Where used), par exemple : combien de roues me faut-il? où vont ces roues? ... Comme nous pouvons le voir sur la figure 2.3.

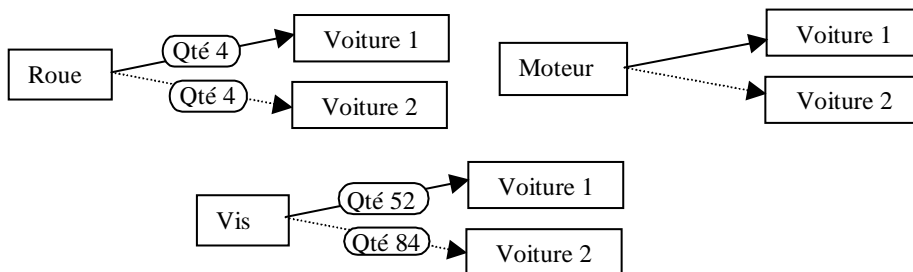


FIG. 2.3 – Where used (cas d'emploi)

Ce n'est pas seulement un système d'archivage des données. Le PDM permet

entre autre d'assurer la traçabilité des différentes étapes de la conception.

« La traçabilité consiste à affecter à un produit physique ou à une opération - de fabrication, de contrôle - une ou plusieurs informations significatives [...] pouvant être exploitées sur le plan statistique et/ou qualité et/ou fiabilité. Un système de traçabilité nécessite donc des moyens d'enregistrement, d'information, de documents, de supports<sup>1</sup> »

D'après [PDMIC, ] et [Randoing, 1995], les principaux objectifs d'un système PDM sont pour l'utilisateur :

- la facilité d'utilisation,
- la facilité d'accès aux données,
- le contrôle de l'accès aux données,
- la structuration des données avec une approche systémique,
- l'assurance de l'intégrité des données,
- un meilleur contrôle des produits en conception,
- la gestion des mises à jour, modifications, phases de validations, ... (traçabilité)

Dans une structuration de produit de type PDM, les liens de nomenclature peuvent être représentés de la manière suivante :

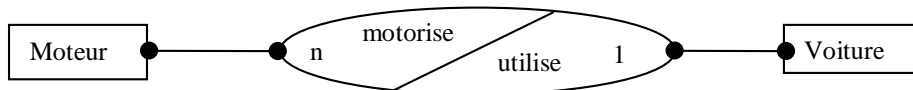


FIG. 2.4 – *Lien PDM*

Il y a dans cette représentation un lien entre les classes de produit (*voiture* et *moteur*) et non entre les instances de produit (la voiture immatriculée 702 AZN 38 et le moteur numéroté v354xd55). Ainsi, avec un tel modèle, il n'est pas possible de répondre à une question du type : sur quelle voiture se trouve la roue n°3257?

Un système PDM suppose : « As-Designed, As-Planned, As-Built, As-Maintain » puisque l'on travaille au niveau des classes de produit.

A l'opposé, un système de gestion de configuration permet d'identifier :

1. ce qui est supposé être réalisé,
2. ce qui est réalisé,
3. ce qui a été réalisé.

1. Définition donnée par R. Pillet, citée par B. Fraenkel dans [Fraenkel, 1995].

### 2.1.2 ERP

Les bases de l'ERP<sup>2</sup> nous sont présentées dans [Browne et al., 1994]. L'ERP est née au début des années 1960 dans un but de planification des besoins, la méthode de calcul associée s'intitule MRP<sup>3</sup>.

Le principe est simple ( Cf figure 2.5 ) :

- éclater les besoins correspondants au produit final, en partant de la nomenclature pour calculer la demande par composant. Cette donnée s'appelle la demande brute prévisionnelle,
- en déduire la demande nette prévisionnelle, sachant qu'elle se détermine à partir de la demande brute prévisionnelle, de la connaissance des stocks disponibles et des ordres lancés sur la période de planification.

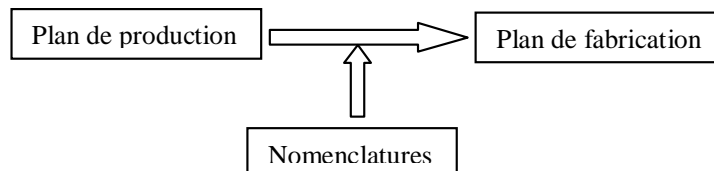


FIG. 2.5 – Principe de calcul MRP.

Un exemple tiré de [McMahon and Browne, 1998] va éclaircir cela. Soit une commande de 15 chaises de bureau FP-100 et de 10 chaises de bar FP-150 représentées figure 2.6, ces deux produits sont très semblables et seul le dossier permet de les différencier.

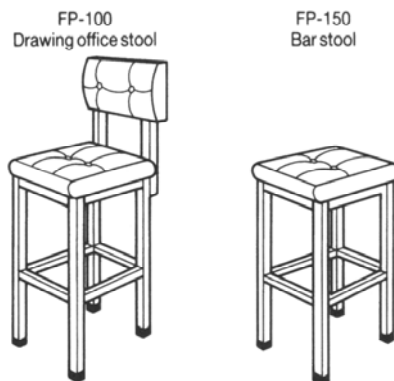


FIG. 2.6 – FP-100 Drawing office stool

La nomenclature de la chaise FP-100 est donnée figure 2.7, pour la chaise FP-150, il suffit de retirer la partie qui concerne le dossier (Back AP-300).

MRP consiste à décomposer le produit final en sous parties qui seront assemblées, fabriquées ou achetées. La décomposition du produit permet ensuite de regrouper les pièces en commun de manière à les réaliser/acheter ensembles.

2. ERP vient de l'anglais : Enterprise Resource Planing.

3. MRP : Material Ressource Planing.

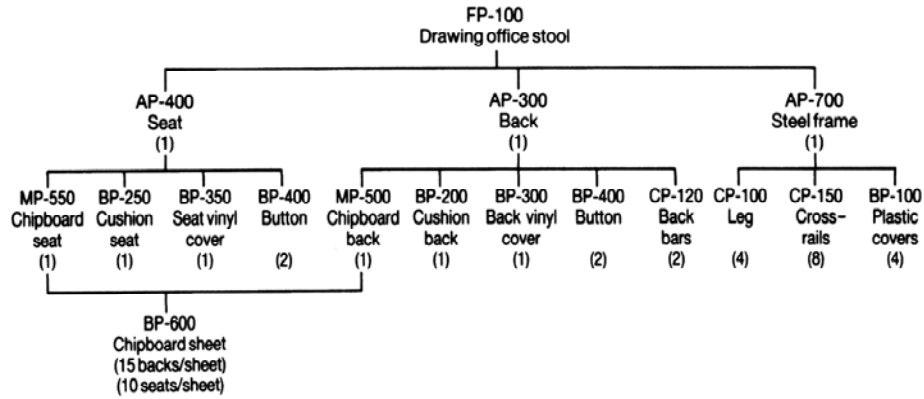


FIG. 2.7 – Product structure diagram for drawing office stool

Illustration de cela à l'aide d'un exemple : pour réaliser une chaise FP-100, il faut :

- 1 siège, composé de :
  - 1 aggloméré de siège,
  - 1 coussin de siège,
  - 1 pièce de vinyl siège,
  - 2 boutons.
- 1 dossier, composé de :
  - 1 aggloméré de dossier,
  - 1 coussin de dossier,
  - 1 pièce vinyl dossier,
  - 2 boutons,
  - 2 barres d'appui.
- 1 structure en bois, composée de :
  - 4 pieds,
  - 8 barres de travers,
  - 4 bouts en plastique.

Pour réaliser une chaise FP-150, il nous faudra les mêmes composant moins les éléments qui constituent le dossier. Ainsi pour l'ensemble des produits commandés (15 chaises FP-100 et 10 chaises FP-150), il nous faudra donc :

- $10+15=25$  sièges,

- 15 dossier,
- $10+15=25$  structures en bois,

Si l'on décompose à l'aide des différentes nomenclatures jusqu'au niveau le plus bas, les besoins pour satisfaire la commande seront de :

- 25 agglomérés de siège,
- 25 coussins de siège,
- 25 pièces de vinyl siège,
- 80 boutons,  
15 agglomérés de dossier,
- 15 coussins de dossier,
- 15 pièces vinyl dossier,
- 30 barres d'appui,
- 100 pieds,
- 200 barres de travers,
- 100 bouts en plastique.

Ceci nous permet de connaître les besoins et tâches élémentaires à effectuer pour la réalisation des produits finaux commandés.

Par la suite, MRP a évolué en MRP II en ajoutant le Management des Ressources de Production à la planification des besoins. C'est à dire que l'on s'est intéressé à la charge de travail.

A ce niveau, compte tenu des produits à réaliser pour la commande considérée, du délai de fabrication et des en-cours de fabrication de l'entreprise, il va être possible de regarder la charge de travail pour chaque ressource utilisée de manière à répartir au mieux les tâches nécessaires compte tenu de la gestion de production des ateliers.

Pour cela, les données nécessaires sont le Programme Directeur de Production (PDP<sup>4</sup>), le MRP qui permet de décomposer le PDP au niveau de chaque atelier ou de chaque machine, la Planification des Besoins en Composants et achats (PBC<sup>5</sup>) ainsi que la gestion des ressources de production<sup>6</sup>.

Avec exploitation informatique du MRP, il est apparu la possibilité de centraliser et de donner l'accès à plus d'informations. Ceci a permis de simplifier (et d'automatiser) certaines tâches en gestion des stocks et gestion de la production.

Les arguments fondamentaux sur lesquels s'appuie MRP (I ou II) sont que :

- la demande de composants est liée à celle des ensembles dont ils font partie,

---

4. Le PDP définit la charge de travail par le nombre de produits finis que l'on attend à la fin de la période considérée.

5. Le PBC se détermine de la même manière que le MRP à ceci près qu'il concerne les produits et composants achetés.

6. Afin de connaître la charge de l'atelier ou des machines.

- tous les produits à fabriquer ou à assembler peuvent être représentés par une nomenclature,
- lorsque l'on connaît l'échéancier des besoins en ensemble, on peut calculer celui pour chaque composant (et non l'estimer).

Ceci se traduit par un passage de la gestion au niveau des stocks à la gestion du flux des matières. L'environnement de la production évolue constamment. Le PDP change. La situation des stocks change. Les services techniques modifient les nomenclatures. Des ordres partent vers les atelier ou le service achat. Des commandes sont finies. Certains de ces événements sont planifiés. D'autres ne le sont pas.

Certaines pièces peuvent être communes à plusieurs nomenclatures, en cas de problème sur ces pièces, il faut pouvoir dire quels produits seront atteints.

MRP permet de soutenir les fonctions d'achat, gestion des stocks et finances de l'entreprise.

Il existe quelques extensions des caractéristiques pour soutenir des fonctions de production autre que la planification des matières, la gestion des stocks et celles des nomenclatures.

Ceci pour aider :

- à la formulation du PDP,
- à la planification globale des capacités,
- à la planification des besoins en capacité,
- au pilotage de l'atelier.

Pour [Browne et al., 1994], MPR II revient à MRP en boucle fermée qu'il représente sous la forme du schéma figure 2.8 :

Ce modèle nous offre donc des possibilités de simulation.

Ainsi, nous voyons que ERP couvre les fonctions suivantes :

- gestion commerciale,
- comptabilité,
- production,
- logistique,
- en alliant de fortes capacités en gestion de production.

ERP contrairement à PDM est une architecture orientée *pièces*, dans une perspective de fabrication et de suivi. Avec un modèle ERP, nous pouvons suivre les références des pièces et non les classes de pièces. Il est ici nécessaire d'avoir des liaisons entre les références des différentes pièces.

Le principe de la modélisation ERP s'appuie sur le modèle représenté figure 2.9.

Nous avons ici une vue totalement inductive de la représentation du produit. Ce modèle permet de compenser l'impossibilité de tout à l'heure, on sait maintenant que la roue  $n^{\circ}3257$  se trouve sur la voiture  $n^{\circ}7954$ , que la roue  $n^{\circ}6458$  se trouve sur la voiture  $n^{\circ}7954$ , ... mais on ne peut pas répondre à la question : combien il y a-t-il de roues sur la voiture  $n^{\circ}7954$ ?



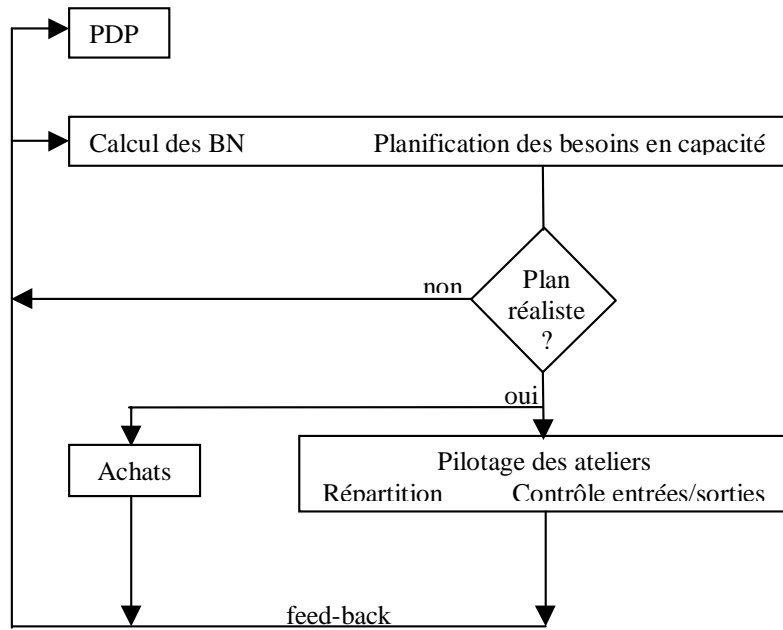


FIG. 2.8 MRP en boucle fermée

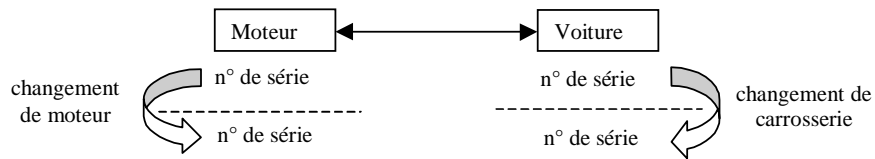


FIG. 2.9 - ERP

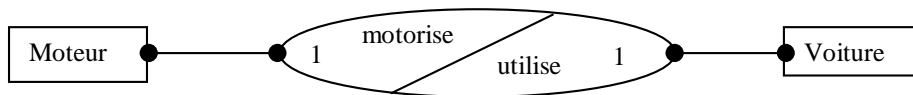


FIG. 2.10 - Lien ERP

Les liens se représentent donc comme sur la figure 2.10 :

Sachant que «Moteur» et «Voiture» ne sont pas des types mais des *références* de «Moteur» et «Voiture». De plus, il faut voir ici qu'il s'agit en fait d'un lien versionnable.

Le fait même de l'utilisation des références de pièce à ce niveau, le système ERP donne la possibilité de :

- gérer les stocks,
- gérer les coûts,
- représenter la structure d'un produit par les références qui le composent,
- ...

### 2.1.3 Usages

Dans cette partie, l'intérêt sera porté aux différentes représentations de nomenclatures, liées à leurs usages.

« Le problème est qu'un même concepteur est lui-même amené à regarder un objet de différentes façons : tantôt il va le voir par ses propriétés d'usage, tantôt à travers sa structure. Ainsi, tantôt il a besoin d'un outil de description lui permettant de le voir de dehors, tantôt, c'est à l'intérieur de son architecture qu'il aura besoin d'être. Ce n'est donc pas vers la recherche d'une représentation unique qu'il faut s'avancer, au contraire convient-il de préserver des outils multi-vues. » [Tiger and Weil, 1996]

A un niveau de représentation fixé, nous pouvons constater qu'il existe un certain nombre de points de vue qui dépendent de l'usage que l'on a de la nomenclature. C'est à dire que l'on a pas besoin des mêmes données si on se place en développement de produit, en maintenance, ou en gestion des stocks. Ceci se traduit au niveau des nomenclatures par différents types de représentation avec des granularités et des niveaux de détail qui peuvent aussi évoluer.

La coopération est nécessaire entre les différents acteurs intervenant tout au long du cycle de vie d'un produit, et celle-ci est d'autant plus facile qu'elle est instrumentée [Guffond et al., 1998]. Nous présenterons donc ici la nomenclature non seulement comme une représentation technique d'un produit, mais aussi comme un outil à l'usage de la fabrication<sup>7</sup> de ce même produit par la coopération qu'elle permet entre les acteurs.

Dans ce qui suit nous allons voir l'exemple de quelques types de nomenclatures :

#### 2.1.3.1 La nomenclature de développement

Ce premier type de nomenclature se situe principalement au niveau des nomenclatures génériques et spécifiques.

A l'intérieur de ce même type de nomenclature, il existe différents types de découpages, qui proviennent de différents besoins et de différents points de vue des utilisateurs. Le modèle de base utilisé ici est le PDM, en effet on a besoin d'une vue systémique du produit. Il existe deux principaux découpages pour le BE :

- le découpage fonctionnel : sa fonction est de donner un point de vue fonctionnel des différents éléments, ce découpage permet de savoir comment est réalisée chaque fonction,
- le découpage structurel : fourni une représentation physique de la pièce en la décomposant en ensembles, sous-ensembles, puis pièces.

#### 2.1.3.2 La nomenclature de production

Ici le problème n'est pas du même ordre, il n'est pas intéressant de savoir qu'une voiture possède 1 moteur et 4 (ou 5!) roues, mais ce qui est intéressant

---

7. Il faut entendre ici « fabrication » au sens large, qui comprend la conception, la réalisation physique, et la maintenance.

c'est de savoir *quel* moteur va sur *quelle* voiture. Le modèle de base utilisé est de type inductif, on utilise donc ERP. Il est indispensable de savoir quelle référence s'assemble avec quelle référence. Ceci aussi bien dans un but d'assemblage que d'approvisionnement et de fabrication. Il s'avère nécessaire de fabriquer ou de commander la bonne référence de pièce pour la réalisation ou l'entretien de tel produit. En production, un modèle ERP permet de suivre chaque référence de pièce, et ainsi de suivre l'évolution du stock.

### 2.1.3.3 La nomenclature de gestion

Le gestionnaire est situé à l'interface entre les deux groupes cités précédemment. Il utilise en fait les deux types de nomenclatures.

- PDM lui sert à déterminer les besoins bruts, il s'appuie pour cela sur la stratégie d'entreprise qui prévoit une certaine orientation des ventes par catégorie de produit,
- ERP lui donne des renseignements sur ce qu'il y a réellement dans les stocks, et les en-cours de production,
- l'ensemble des deux, lui sert à déterminer les besoins nets afin de prévoir les approvisionnements, par exemple à produire le Plan Directeur de Production, gérer les stocks, gérer la charge de l'atelier, ....

Le gestionnaire a une vue principalement préoccupée par les quantités de matières, le nombre de pièces, le nombre de sous-ensembles finis, ... dans un but de gestion. Ce peut être aussi bien pour l'ordonnancement (combien fabriquer et quand?), l'achats (combien acheter et quand?), l'approvisionnement, ...

Ce qui intéresse le gestionnaire c'est avant tout de regrouper les produits, par type de pièces, par matière, par fournisseur, ... afin de pouvoir négocier avec le bon interlocuteur pour obtenir par exemple des réductions sur volumes ou quantités.

### 2.1.4 Problématique

Comme le montrent les parties précédentes, les deux modèles sont complémentaires, et il est nécessaire de les utiliser simultanément, ils interviennent successivement au cours du cycle de vie du produit, et un transfert des données est nécessaire (Cf figure 2.11 tirée de [Mayer, 1997]).

À ce niveau nous sommes amenés à nous poser quelques questions :

- comment ces modèles se partagent-ils la représentation du produit?
- comment se réalise cette évolution de modèle?
- où intervient la diversité?
- comment est-elle gérée?

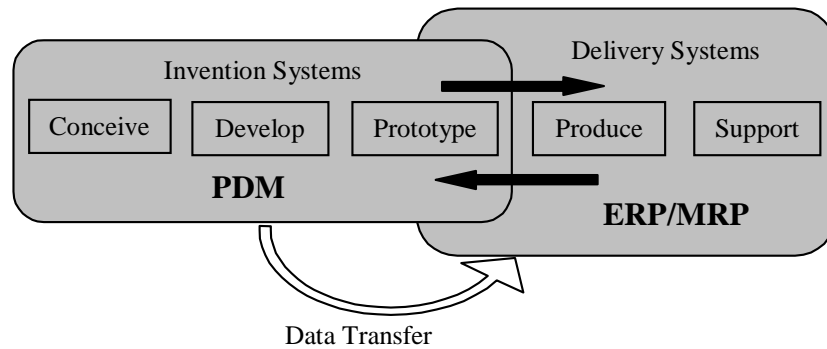


FIG. 2.11 – PDM / ERP et cycle de vie

### 2.1.5 Stratégie industrielle

Dans [Tarondeau, 1998]: « On voit apparaître actuellement les prémices d’une nouvelle stratégie industrielle. Le développement des technologies et des organisations flexibles permet de diversifier l’offre des producteurs jusqu’au « sur-mesure », en permettant au consommateur lui-même de définir les caractéristiques des produits ou service qu’il souhaite acquérir. »

On peut noter par exemple l’évolution du nombre de versions (Tableau en 2.1.5) et variantes (Tableau en 2.1.5) chez quelques constructeurs automobile :

Ford T	1908	1 modèle unique
Renault 4	1935	2 versions
Peugeot 203-403	1958	6 versions
Renault 5	1977	5 versions
Peugeot 405	1992	39 versions

TAB. 2.1 – Evolution du nombre de versions [Cialvaldini and Loubet, 1995]

La diversité dans l’automobile commence fin des années 50 poussée par les commerciaux des groupes automobiles

Ford T	1908	1 modèle unique
Renault 4	1963	11 variantes
Renault 16	1971	6 000 variantes
Renault 18	1982	60 000 variantes
Renault 25	1989	120 000 variantes
Peugeot 306	1998	175 000 variantes

TAB. 2.2 Evolution du nombre de variantes [Tarondeau, 1998] et [Fouque, 1999]

On peut observer ainsi :

- une multiplicité des produits offerts sur des marchés segmentés de façon de plus en plus étroite,

- une accélération du rythme de renouvellement des produits réalisés par les unités de production,

et par conséquent :

- une remise en cause des rigidités qui caractérisent la production de masse,
- une diminution des économies d'échelles.

### 2.1.5.1 Du produit flexible au produit « sur-mesure »

[Tarondeau, 1998]: « alors que la flexibilité des produits permet de réduire la diversité de ceux-ci par une multiplication de leurs usages, le produit « sur-mesure » est un produit rigide, qui satisfait les besoins d'un seul consommateur. Son unicité est obtenue par transformation ou par assemblage réalisés selon des spécifications propres au client. [...]. Le processus de production ne peut donc être initié avant que la demande effective de chaque client soit connue. Une partie des opérations de production est dépendante de chaque demande particulière. Ceci suppose que le processus industriel dispose d'une flexibilité suffisante pour s'adapter à une multitude de conditions dont la survenue ne peut pas être planifiée. »

Pour lui, l'entreprise industrielle peut envisager sa croissance en agissant soit sur le degré de complexité des produits offerts soit sur le degré de standardisation des produits. Dans le premier cas, il s'agira de croissance sans rupture technologique. Dans le second cas, la croissance impliquera la refonte totale des processus industriels. Ceci est illustré figure 2.12.

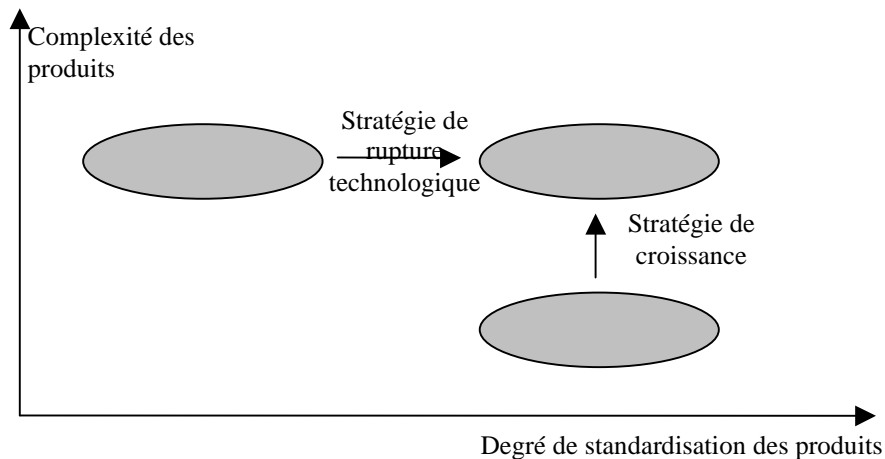


FIG. 2.12 – *Stratégies de croissance et de rupture fondées sur les produits.*

Les classifications des systèmes industriels montrent que ceux-ci dépendent essentiellement de deux caractéristiques des produits : la diversité et le volume. On s'attachera donc à la notion de diversité optimale de produit en analysant les points de vue de l'économiste, du spécialiste de marketing et du producteur.

Les produits aboutissent aux consommateurs grâce à un ensemble de processus au cours desquels ils se transforment et se diversifient. Concevoir le système industriel consistera à définir les structures de produits de telle sorte que la

diversification des produits se situe le plus en aval possible dans les processus industriels, on parle alors de différenciation retardée.

### 2.1.5.2 La conception des systèmes industriels

«Lorsqu'une entreprise accroît arithmétiquement le nombre de ses produits, la complexité de ses besoins de gestion augmente exponentiellement.»<sup>8</sup>

Opposition de deux politiques de conception des produits :

- Henry Ford : conception fondée sur la faible diversité et fort volume dans une optique de minimisation de coûts (Ford « modèle T »),
- General Motors : conception fondée sur une forte diversité et faible volume avec la perspective de mieux satisfaire les besoins hétérogènes du marché.

=> logique du producteur opposée à la logique marketing

C'est pourquoi les concepteurs en sont venu à se demander s'il existait une diversité optimale, et comment gérer l'offre de diversité des produits.

### 2.1.6 Problème de la variété optimale

Différents points de vue :

- les spécialistes du marché se préoccupent de la satisfaction des acheteurs,
- les économistes et sociologues analysent le bien être social,
- les producteurs s'intéressent à la productivité et flexibilité.

Il est nécessaire de comparer les gains résultants de la variété par rapport aux économies d'échelle.

Si aucune économie d'échelle n'est possible alors le choix optimal est le produit « sur mesure », en revanche si aucun gain ne résulte de la variété, le choix optimal sera de réaliser une seule variante, or la plupart des cas sont des intermédiaires et il faut trouver un équilibre entre la variété et les économies d'échelle.

Pour cela, il faut rechercher un optimum minimisant la somme des coûts engendrés (Cf figure 2.13).

#### 2.1.6.1 Approche marketing de la diversité des produits

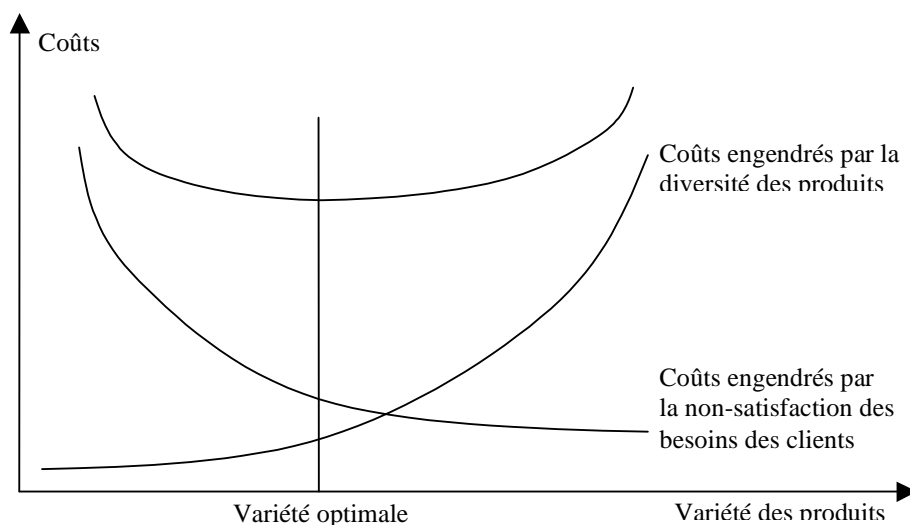
Le postulat de base est que : « Les produits sont créés pour satisfaire des besoins. »

La méthode marketing part du besoin par une étude de marché et en déduit une définition des produits à réaliser.

La différenciation des produits permet de satisfaire les besoins les plus personnels des utilisateurs, ces besoins sont spécifiques, diversifiés et volatils.

Les produits sont appréciés en fonction de leurs caractéristiques, des services qu'ils peuvent rendre, l'insatisfaction dépend de la distance entre le besoin et le produit proposé. Pour augmenter la satisfaction de chaque client, il faudrait donc qu'il trouve un produit qui réponde exactement à ces besoins, ainsi le gain serait maximum. Il faudrait donc multiplier le nombre de variantes de produits pour réduire les écarts entre caractéristiques souhaitées et caractéristiques obtenues.

8. Citation de Philippe Kotler tirée de [Tarondeau, 1998].

FIG. 2.13 – *Variété optimale*

### 2.1.6.2 Approche économique

Les stratégies dites de préemption, visent à assurer des gains par une position dominante sur le marché. Cette recherche de position dominante incite l'entreprise à créer des barrières à l'entrée pour les autres concurrents sur un même marché. Pour cela, l'entreprise propose un produit avec une diversité supérieure à celle que ne nécessite le marché de manière à ne pas laisser de place ouverte pour le marché de la concurrence. Dans ces conditions, de concurrence où chaque producteur offre indépendamment les uns des autres une diversité maximale, l'équilibre du marché génère alors un nombre de produits supérieur à l'optimum.

### 2.1.6.3 Approche industrielle

Concevoir, lancer, produire, distribuer, maintenir des produits engendre des coûts qui dépendent de la diversité du produit de part l'existence de coûts fixes et d'effets d'apprentissage et d'expérience.

Augmenter le nombre de combinaisons possibles permet de partager certains coûts fixes pour les variantes de produits à diversité donnée.

Les familles de produit ont une durée de vie supérieure à celle des produits qui les composent :

- leur multiplication permet d'élargir le marché et d'augmenter les volumes par modèle.
- au contraire, augmenter le nombre de modèles implique une diminution des volumes par modèle.

### 2.1.7 Différentiation retardée des produits

L'augmentation de la diversité des produits et la réduction de leur durée de vie induit une augmentation des exigences de flexibilité donc des surcapacités

de tous ordres (fab, conception, ...) et une limitation du niveau de productivité.

Si l'on admet que la diversité des produits au niveau du marché dépend des attentes des clients, celle-ci devient une donnée pour l'industriel, dans ce cas le domaine de contrôle de la diversité pour le producteur se situe au niveau des produits intermédiaires.

La réduction de la variété des produits intermédiaires permet de :

- réduire les coûts des stocks,
- éviter les surcapacités,
- augmenter les volumes de production,
- réaliser des économies d'échelles,
- diminuer les coûts fixes,
- favoriser les effets d'apprentissage.

Tous ces paramètres permettent d'augmenter la productivité du système industriel. Il apparaît donc comme très avantageux de repousser le plus en aval possible la différenciation de la production (on parle alors de différenciation retardée).

« Cette loi générale, selon laquelle la productivité d'un système industriel est plus élevée lorsque la variété des produits est repoussée en aval du processus de conception, permet de réconcilier les objectifs de la politique de produits en marketing, forte diversité des produits finis et rythme de renouvellement rapide, et ceux des producteurs et distributeurs qui minimisent les exigences de flexibilité en réduisant la variété des produits aux stades intermédiaires de leur transformation. » [Tarondeau, 1998]

L'industriel va disposer de plusieurs stratégies possibles pour mettre en oeuvre cette différenciation retardée.

#### **2.1.7.1 La personnalisation par l'utilisateur**

L'utilisateur est créateur de variété des produits par la diversité des usages qu'il en fait. De ce fait, il réduit les exigences de flexibilité du producteur qui ne peut prévoir tous les cas d'usages. L'industriel peut aller jusqu'à favoriser cette activité créatrice des utilisateurs, en fabriquant des produits facilement adaptables par les utilisateurs.

C'est la capacité d'adaptation du produits à des usages variés qui va répondre à la variété des besoins à satisfaire. De plus, cette capacité d'adaptation permet à l'industriel une moindre anticipation des besoins spécifiques des consommateurs, ainsi qu'une plus faible flexibilité de son système de production.

Dans ce cas, la différenciation retardée est à son maximum puisque c'est utilisateur même qui va différencier le produit pour répondre à son propre besoin.

Pour cela :

- le produit doit présenter une bonne capacité d'adaptation : le nombre de ces états potentiels doit être élevé,



- les technologies de création de variété par l'utilisateur doivent être simples et peu coûteuses

La première condition peut être facilement réalisée en accordant au produit une forte combinaison possible de produits élémentaires de plus faible diversité. Les meubles modulaires sont un exemple qui à l'aide d'un certain nombre d'éléments standard permettent, à moindre coût pour l'utilisateur, de réaliser un grande combinaison de montages différents.

#### **2.1.7.2 La différenciation perceptuelle**

La différenciation des produits se situe ici au stade de la consommation des produits, la création de variété ne porte pas sur la production ni sur la distribution des produits.

La différenciation des produits porte sur la perception des individus, les moyens de différenciation appartiennent donc à la politique de communication de l'entreprise (publicité, promotion, politiques de distribution et de prix).

L'entreprise essaye de faire percevoir comme différents des produits essentiellement semblables. La variété des perceptions répond à la variété des besoins et limite, par conséquent, la variété des objets réalisés par le système industriel.

Pour cela il est tout de même nécessaire que le produit dispose d'une certaine flexibilité qui permettent la politique de différenciation des perceptions.

#### **2.1.7.3 La différenciation au stade de la distribution**

Le distributeur a pour rôle de faire passer les produits finis de leur état de production à celui d'acquisition ou de consommation. Pour cela il peut avoir besoin de réaliser trois types d'actions :

- déplacer le produit du lieu de fabrication au lieu de consommation,
- déconnecter les flux de production et de consommation (en utilisant des stocks intermédiaires),
- transformer les produits, dans le sens de l'adaptation aux besoins du client (le produit devient spécifique par l'adjonction de services, modification des caractéristiques du produit, personnalisations, ...).

On peut faire ressortir de cela deux rôles différents pour les distributeurs :

- tout d'abord, un rôle de déconnexion de la production aux variations des besoins dans l'espace et le temps,
- puis, faire correspondre l'offre de la production au mode de consommation des utilisateurs.

En intervenant sur l'adaptation du produit aux besoins des utilisateurs, les distributeurs se font créateurs de variété. Le distributeur favorise les stratégies de différenciation retardée en impliquant l'utilisateur du produit.

#### 2.1.7.4 La conception modulaire

Lorsque la création de variété ne peut être reportée vers le consommateur ou le distributeur, le producteur s'en chargera. Pour cela, il fera appel à trois types de concepts :

- l'interchangeabilité,
- la modularité,
- la standardisation.

**2.1.7.4.1 Interchangeabilité** Deux produits sont dit strictement interchangeables, lorsque fonctionnellement ils sont complètement identiques, et que dans chacun de leurs usages, il peuvent être remplacés l'un par l'autre.

L'interchangeabilité est dite partielle lorsqu'une partie seulement des fonctions d'un produit est remplie par l'autre produit.

L'interchangeabilité permet de produire en série, ou par lots, et de bénéficier ainsi d'économies d'échelle. Ces stocks permettent de déconnecter le système de production des aléas de la demande et favorisent la spécialisation des unités de productions, et augmentent ainsi la productivité.

**2.1.7.4.2 Modularité** Un produit interchangeable est destiné à un emploi unique, alors qu'un module est par définition un produit interchangeable à emplois multiples. La modularité se mesure par le nombre de cas d'emplois.

C'est à dire que le même module entre dans la composition de la nomenclature de plusieurs produits de niveau supérieur.

On appelle « cas d'emploi » d'un module  $m$  l'ensemble des produits dans lesquels  $m$  entre comme élément de composition.

On voit facilement qu'augmenter la modularité permet de réduire la variété des états d'un produit, et inversement une très forte combinaison de produits finis peut être obtenue avec un nombre assez faible de modules.

**2.1.7.4.3 Standardisation** D'après [Tarondeau, 1998], la standardisation est le processus par lequel un produit interchangeable est changée en module. Elle permet de multiplier les usages d'un produit.

La standardisation a permis des gains considérables dans la productivité des entreprise et la diminution des stocks.

La standardisation permet par un produit unique de satisfaire plusieurs besoins. Pour cela il est souvent nécessaire de surdimensionner le produit offert. Le surcoût provoqué par le surdimensionnement est très largement compensé par les gains de productivité et de gestion induits.

La standardisation consiste donc en un problème d'optimisation économique. Il s'agit de déterminer les produits à standardiser, leurs caractéristiques et le nombre de classes de produit qui permettent de satisfaire une variété d'usage suffisamment importante.

## 2.2 Rentabilité d'un produit flexible

La flexibilité des produits est liée au concept de conception modulaire et à l'utilisation de composants communs au sein de différents produits finis.

[Fouque, 1999] définit deux types de flexibilité :

- la flexibilité externe : il y a une multitude d'usages possibles pour un produit, ce qui permet de diminuer la diversité commerciale,
- la flexibilité interne : on multiplie les usages des éléments et des composants qui constituent le produit, ceci permet de diminuer la diversité technique.

On appelle module, les composants, éléments, sous-produits à usages multiples. La combinaison des modules entre eux permet de réaliser un grand nombre de produits diversifiés.

La flexibilité d'un module (le nombre de ses usages) dépend de ses surcapacités fonctionnelles qui lui permettent d'augmenter le nombre de ces cas d'emploi, ceci nécessite des interfaces standards.

La standardisation, permet d'augmenter la flexibilité des produits et de diminuer la diversité et la variété des produits.

Augmenter le nombre de cas d'emploi paraît être un potentiel d'économies importantes. Une analyse des effets de la commonalité (voir figure 2.14) vis à vis du coût du stockage : quelle augmentation maximale  $Cc^*$  du coût de  $Cc$  est acceptable? permet d'en déduire les cas favorables.

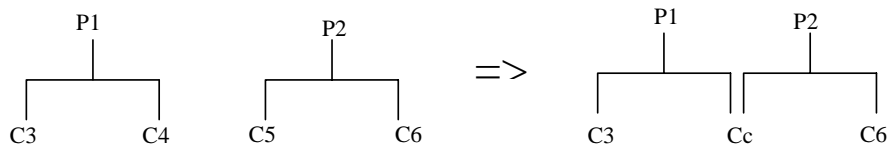


FIG. 2.14 – *Commonalité entre deux produits*

Sachant que  $Cc$  peut être :

- un nouveau produit,
- généralisation de l'utilisation de  $C4$ ,
- généralisation de l'utilisation de  $C5$ .

Il apparaît alors des cas favorables à une augmentation de  $Cc^*$  :

- niveau de service augmente,
- corrélation sur la demande de  $P1$  et  $P2$  diminue (agrégation du risque),
- incertitude sur la demande des produits augmente,
- différence des variances de  $P1$  et  $P2$  diminue,
- les coûts des composants sont le plus proche possible,
- les coûts des composants sont le plus proche possible,
- coûts relatifs des composants dans le produit fini importants => s'intéresser en priorité aux produits coûteux,
- demande moyenne des produits  $P1$  et  $P2$  faible.

De plus la commonalité permet d'augmenter la qualité et l'utilisation des ressources (apprentissage, grande série).

## 2.3 Cas d'étude

### 2.3.1 Syléa : La différenciation retardée

Le cas de l'entreprise Syléa nous est présenté par C. Cabut dans [Cabut, 1997a] et [Cabut, 1997b].

L'entreprise Syléa est un équipementier pour l'automobile. Cette entreprise conçoit et fabrique des faisceaux électriques pour différentes marques (Renault, Peugeot, Citroën, ...).

Les faisceaux électriques sont les câblages électriques nécessaires à l'alimentation et au fonctionnement de tous les éléments électriques qui entrent dans la composition d'un véhicule.

Ce sont des produits soumis à une forte diversité et à une évolution importante :

- la diversité provient du fait que les constructeurs ont considérablement étendu leur offre pour chaque nouveau véhicule, pour viser la plus large clientèle possible. Nous pouvons noter par exemple :
  - les niveaux d'équipements,
  - les motorisations,
  - les volumes d'habitacles (3 à 5 portes, break, monospace, ...),
  - les différentes normalisations des pays d'exportation.

Les concessionnaires aiment signaler que chez tel ou tel constructeur, pour un même type de véhicule, il n'existe pas deux voitures identiques, puisqu'il n'existe pas deux clients identiques.

Sachant que la quasi - totalité des fonctions (climatisation, autoradio, pack électrique, ...) ont un impact sur les faisceaux électriques. Nous pouvons noter ici la difficulté que peut éprouver un équipementier pour la gestion et la fabrication d'un tel produit.

- pour ce qui est de l'évolution, il faut voir que le rythme de renouvellement de la gamme de véhicules (millésimes, 1/2 millésimes) ainsi que les modifications et évolutions techniques invisibles pour le client ont souvent un impact sur les faisceaux électriques.

A cela, s'ajoute le système de gestion de l'approvisionnement des constructeurs, qui pour limiter leurs stocks et fabriquer le «juste nécessaire» fonctionnent en juste à temps.

Il faut donc fabriquer un produit de grande diversité et le livrer très rapidement au client.

Jusqu'alors, pour maîtriser ces deux caractéristiques contradictoires (diversité et délai), Syléa fabriquait des faisceaux enveloppes, c'est à dire des faisceaux électriques qui satisfont à plusieurs besoins à la fois, et donc à des fonctions qui ne seront pas utilisées par la suite.

Maintenant les constructeurs ne veulent plus payer les fils non utilisés, qui sont pour eux un signe de non qualité (les fils qui se promènent, vibrent, font du bruit, ...) et (surtout?) un surcoût non justifié.

Syléa ne veut pas prendre en charge ces câbles non utilisés qui coûtent cher (un faisceau électrique coûte environ 2000 à 2500 Fr pour une voiture) et décide

alors de fabriquer des faisceaux justes nécessaires tout en respectant des délais courts.

De manière à maîtriser cette diversité Syléa a choisi d'utiliser la différenciation retardée. C'est à dire la conception et la fabrication de faisceaux modulaires qui se décomposent en un faisceau de base sur lequel viennent se greffer des modules supplémentaires lors de l'assemblage final.

Ceci permet de fabriquer au fur et à mesure des informations reçues par le client, puisque n'intervient plus le temps de fabrication des différents éléments mais seulement le temps d'assemblage final. Par la même occasion de diminuer le délai «réception des informations / mise à disposition du faisceau électrique».

Enfin, ceci pose d'autres problèmes telle que la livraison synchrone<sup>9</sup>.

La conception et la gestion des faisceaux électriques est très intéressante vis à vis de notre problématique :

- au niveau des instances, chaque faisceau est quasi unique,
- au niveau des composants, il s'agit d'éléments modulaires standard.

Vu la quantité et la variété d'options et variantes pouvant se greffer sur le faisceau de base, quel type de nomenclature est le plus approprié? Quelle modélisation utiliser?

Comment gérer l'ensemble des configurations possibles tout en évitant les incompatibilités comment assurer la gestion du versionnement des différents constituants, sachant que les impacts sont totalement différents en conception, fabrication, approvisionnement, achat, ...

### 2.3.2 Schneider : La diversité standardisée

L'Histoire de Merlin-Gerin<sup>10</sup> présentée par B. Lefebvre dans [Lefebvre, 1998], nous montre l'entreprise comme un pôle d'innovations sociales qui s'inscrit dans le creuset Grenoblois.

De manière à faire face à une diversité de demande toujours croissante, il a été choisi de faire une offre à diversité standardisée, pour un nouveau matériel électrique (poste de transformation HT / MT : PS200). La méthode proposée intervient dès l'offre commerciale, en agissant sur le comportement des commerciaux vis à vis de la vente d'un nouveau produit.

Dans [Girard, 1998], N. Girard nous présente le processus mis en oeuvre. Pour le type de matériel énoncé, il a été choisi de standardiser l'offre afin de réduire les coûts de gestion et de production.

L'ancienne politique commerciale est représentée sur la figure 2.15 :

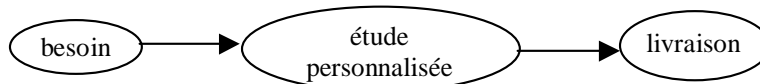


FIG. 2.15 – Ancienne politique commerciale Schneider

9. A ce sujet, il est possible de consulter le travail de B. Vercelli dans [Vercelli, 1999].

10. Scheider Electric à racheté Merlin-Gerin le 28 avril 1992.

Elle se déroule de la manière suivante :

1. le besoin est défini lors d'un appel d'offre ou par une campagne de recherche des commerciaux,
2. le BF réalise une étude personnalisée visant à la juste satisfaction du client,
3. livraison et installation sur site.

Cette politique commerciale ne permet pas la standardisation puisque l'on répond à chaque fois à un besoin déterminé et spécifique. De ce fait le produit obtenu est un produit unique qui ne peut être utilisé ailleurs, puisque les besoins différents ne seront pas satisfaits.

De nouveaux objectifs sont alors définis, on souhaite couvrir plusieurs besoins avec un même produit et s'affranchir d'une trop grande diversité de fabrication. Par la même occasion :

- avoir une démarche commerciale unique et bien définie (standardisation de la gamme),
- réduire les délais entre commande et livraison.

La définition d'un nouvel objectif (standardisation) a rendu nécessaire la création de nouveaux outils communs (arbres de décision)<sup>11</sup>. Ce nouvel outil intervient sur le processus d'obtention d'une commande, sur son traitement ainsi que sur la fabrication. Trois actions ont été menées :

- réduire la complexité de choix =>standardisation de l'offre,
- réduire voir supprimer les traductions internes =>standardisation des outils,
- réduire le nombre de références =>standardisation interne.

Il est nécessaire que la politique commerciale corresponde.

Pour répondre à ces nouveaux objectifs, une nouvelle politique commerciale, qui se présente de la manière suivante (figure 2.16) a été mise en place :

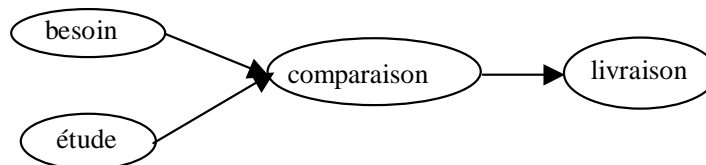


FIG. 2.16 – Nouvelle politique commerciale Schneider

Un nouveau marché se déroule de la façon suivante :

1. analyse des besoins des clients,
2. comparaison de ces besoins avec l'offre standardisée,

<sup>11</sup>. J.C. Moisdon a montré dans [Moisdon, 1997] que : la définition de nouveaux objectifs allait de pair avec l'adaptation ou la création de nouveaux outils.

3. proposition d'un produit standardisé s'il en existe au moins un qui correspond (c'est à dire qui satisfasse au minimum à toute les exigences du client),
4. livraison et installation sur site.

Passage d'une logique de demande vers une logique d'offre. En interne, le nombre de composants standards est limité, mais à l'extérieur l'offre doit paraître diversifiée. Ceci dit, la limitation du nombre de références permet entre autre :

- une diminution des coûts de gestion,
- une diminution des délais de livraison,
- une diminution des coûts de recherche d'étude,
- une simplification dans la gestion des produits (approvisionnement, gestion des stocks, ...)

La méthode de vente a été modifiée. On ne fabrique plus pour un client, mais on fait un produit qui peut satisfaire plusieurs clients. Les commerciaux n'ont alors plus qu'à « orienter » le besoin du client.

En bref : standardisation industrielle et offre diversifiée. On fabrique un produit *adapté* et non produit *catalogué*, l'offre doit correspondre à la demande.

On peut noter ici le rôle fondamental des commerciaux sur qui repose une partie importante de l'offre pour diminuer le nombre de produits spécifiques à fabriquer.

La conception et la gestion de ces transformateurs et tout à fait dans la problématique de gestion de la diversité, en interne le nombre de module est limité, en externe l'offre est diversifiée. Comment modéliser et gérer l'ensemble des combinaisons possibles ?

### 2.3.3 Auxitrol : Options et variantes

La société Auxitrol est spécialisée dans la conception des capteurs de température (parmi lesquels on trouve les thermocouples et les sondes à résistance de platine). Les besoins étant très différents pour chaque client (Renault Sport, Peugeot Sport, aérospatiale<sup>12</sup>, GIAT industries<sup>13</sup>, ...), Auxitrol est amené à concevoir un grand nombre de capteurs différents pour satisfaire à toutes les exigences qui lui sont imposées [Agard, 1995].

Cependant, l'expérience a montré qu'une part non négligeable de la production pouvait être standardisée en proposant aux clients des options et variantes sur une gamme de capteurs limitée.

Pour cela Auxitrol a choisit d'appuyer sa standardisation sur une codification interne des différents composants qui pouvaient être standardisés. Cette codification s'appuie sur les classes de produit, elle est représentée par une chaîne de caractère alphanumérique qui précise le type de technologie, les dimensions

12. Auxitrol fourni tous les capteurs de température pour Ariane 5.

13. Entre autre Auxitrol équipe les Rafales.

du capteur, les matériaux employés, les options et variantes qui composent le capteur en question.

Par exemple un capteur de température pourra avoir la codification suivante :  
K G INC 12 PAJFC 900mm + PG2 125 AT .

En cela il faut comprendre :

- qu'il s'agit d'un thermocouple nickel chrome / nickel allié (K),
- avec une soudure à la masse (G),
- la gaine de protection est en Inconel 600 (INC),
- le diamètre de la gaine est de 3.17mm (12"),
- l'extrémité de branchement est équipée de prises "MARLIN" mâles et femelles (PALFC),
- la longueur utile sous fiche est de 900mm (900mm),
- avec en OPTION ('+'),
- un passage étanche fileté process 1/4" NPT (PG2 125 AT).

Ainsi, nous pouvons voir que cette codification permet très facilement de représenter une très grande famille de capteurs. Elle permet aussi de distinguer les options des variantes. En effet, les variantes sont des paramètres obligatoires pour la conception du capteur, et ceux-ci font partie intégrante de la codification de base. Ce sont les paramètres de principe technologique, de matériaux et de dimension. Ils sont situés dès le premier caractère et sont séparés des paramètres d'option par un «-» on en connaît l'ordre, la nature, les domaines de validité. Les variantes sont rajoutées à la codification, et leur ordre n'a pas d'importance.

Suivant ses besoins, le client est orienté vers une ou plusieurs variantes de base (thermocouple ou sonde à résistance) à laquelle on ajoute des options de manière à mieux encadrer la demande.

Au fur et à mesure que le produit se précise, la codification de celui-ci se met en place. Lorsque le produit est totalement défini et sans ambiguïté, la codification finale obtenue permet d'obtenir automatiquement la gamme de fabrication du produit ainsi que le prix de vente.

Auxitrol a relevé les avantages suivants :

- le calcul du prix est plus précis et plus rapide qu'il ne l'était auparavant (utilisation de la gamme de fabrication et du prix de chaque composant pour le calcul automatisé),
- gain de temps entre commande et gamme de fabrication (la gamme étant générée automatiquement d'après la codification du type de capteur),
- gain de temps en fabrication, car le produit est standardisé par gammes, ce qui permet de réaliser des petites séries,
- gage de qualité :
  - le client peut obtenir immédiatement un prix (le calcul du devis est automatisé.),



- le prix de vente est calculé directement en fonction de la gamme de fabrication et des différents éléments à assembler.

Ainsi en production, il est possible de fabriquer des variantes plus ou moins standardisées (donc de gamme de fabrication à priori déterminée), et d'ajouter ensuite les options que l'on peut produire sur stock.

Finalement, les délais de livraisons peuvent être raccourcis, et les coûts de fabrication diminués.

Comme pour le cas précédent, il a été choisi :

- grande diversité extérieure apparente pour offrir un produit ciblé,
- standardisation maximum en interne pour assurer des coûts de fabrication supportables.

Ici encore la même solution a été apportée pour gérer la diversité, c'est à dire un nombre limité de composants standardisés paramétrables en interne (les longueurs par exemple) auxquels on ajoute un certain nombre d'options, ceci pour proposer en externe un produit qui convienne au mieux aux exigences des différents clients. De même que pour les cas précédents, comment gérer l'ensemble des configurations possible tout en évitant les incompatibilités?

## Chapitre 3

# Structuration des données techniques

Ce chapitre va présenter différentes propositions de structuration des données techniques.

Pour structurer ces données, il existe plusieurs solutions dont quelques unes sont présentées ici.

Une structure du produit est une description des niveaux successifs de décomposition du produit en objets techniques. Le contenu de la description du produit ainsi que le niveau de granularité dépend du point de vue de l'utilisateur. la structure du produit peut donc se présenter sous plusieurs formes:

- nomenclatures de produit,
- fiche mère,
- organigramme technique, ...

D'après [Maurino, 1994], les nomenclatures de produit sont un excellent moyen de structuration de la vue technique d'un produit.

### 3.1 Codification des objets techniques

D'après [Maurino, 1994], le principe de base de la codification est que tout objet technique est identifié par une référence unique. Cette référence porte suivant les entreprises les noms de code article, numéro de nomenclature, de *part-number*, de référence composant ...

Il existe une infinité de systèmes de codification des objets techniques qui dépendent des entreprises, des secteurs d'entreprise, des projets. Il est cependant possible de les ranger dans quelques grandes classes de codifications.

#### 3.1.1 Codification unique

Dans ce type de codification, la référence de l'objet technique est unique. Un objet technique entrant dans la composition de plusieurs produits possède donc une seule référence, commune à tout les cas d'emploi de l'objet.

Intérêt de cette unicité :

- éviter la duplication des informations de définition de l'objet technique (éviter les risques de non-intégrité des données dupliquées),
- supporter les efforts de standardisation des produits : il est aisé d'utiliser un produit déjà existant en réutilisant simplement sa codification,
- effectuer le regroupement des besoins en matières, composants, et sous ensembles entrant dans la composition des différents produits inscrits au plan directeur, selon le principe MRP,
- optimiser la gestion des stocks.

### 3.1.2 Codification significative

Le principe de codification significative s'oppose aux méthodes de codification unique de l'objet technique. Elles étaient utilisées, en l'absence de GPAO, pour gérer manuellement la production. La codification d'un objet n'est pas seulement une référence à celui-ci, mais porte en plus une sémantique qui précise le cas d'emploi. Une codification significative se compose d'un ensemble ordonné de références.

La référence attribuée à un article permet :

- d'identifier l'article par lui même (suffixe de la codification),
- d'identifier l'ensemble dans lequel intervient l'article (racine de la référence).

Comme le montre l'exemple (Cf Tableau page 34 ) tiré de [Maurino, 1994], la codification d'une pièce précise à quels ensembles (sous-ensembles) de quel produit appartient la pièce.

Article	Référence
produit	130
ensemble	130 220 130 270
sous ensemble	130 270 500 130 270 580
pièce primaire	130 270 581

TAB. 3.1 – *La codification significative*

Cependant, quelques inconvénients sont à l'origine de la disparition de ce type de codification :

- il existe autant de références que de cas d'emploi. Si le même produit est utilisé dans différents sous-ensembles, il aura différentes codifications,

- elle est un obstacle à la standardisation. La réutilisation de composants dans différents ensembles nécessite la création de nouvelles références,
- il n’y a pas d’optimisation des stocks. En effet, il est difficile de retrouver toutes les références d’un même produit de manière à gérer tous les flux d’entrée et de sortie du composant entrant dans différents ensembles.

Un avantage par rapport à la codification unique est la gestion des liens unissant un ensemble et les articles entrants dans sa composition.

### 3.1.3 Méthodes mnémotechniques

Elles sont utilisées notamment dans la chimie organique (chez Rhône - Poulenc).

La chimie organique dispose d’un moyen très efficace d’organisation de l’information et des données : il s’agit de la molécule, représentée sous forme de dessin.

Le caractère unique de la molécule permet de lui associer de façon biunivoque un numéro qui donne accès à toute l’information concernant cette molécule. Le numéro sert de manière transparente pour l’utilisateur, de clé d’accès aux données et aux informations.

Hors du domaine de la chimie organique, on perd le bénéfice de cette cohérence interne, l’information est alors structurée par sujets, définis de façon plus ou moins arbitraire et variable dans le temps ceci nécessite une mise en place d’index et de thesaurus, complexes à mettre en place et à maintenir.

L’avantage des procédés mnémotechniques est l’accessibilité à l’information.

### 3.1.4 Codification des exemplaires

Lorsque l’on utilise plusieurs exemplaires de la même référence article, il peut sembler utile d’en tenir compte dans la codification de manière à représenter cette similitude. Pour cela il existe deux types de codification :

1. on utilise la référence article à laquelle on ajoute un numéro de série  
Ex: 130 270 580 (code article) + 256 (numéro de série) = 130 270 580 - 256  
Cependant cette codification reprend en partie le principe de la codification significative, ce qui pose quelques problèmes en cas de modification.

2. une autre solution est de créer des références non significative et gérer des liens comme représenté sur la figure 3.1. On sait ainsi que les références 65421, 98165 et 1987154 sont des exemplaires de l’article 123456.

Cette méthode est plus rigoureux et permet de gérer facilement les modifications, mais elle est plus complexe à mettre en oeuvre.

## 3.2 Classification des objets techniques

### 3.2.1 Familles d’Objets

En associant les points communs à différents articles, les objets techniques peuvent être regroupés en familles arborescentes. Selon les critères de comparaison des articles, il est possible d’obtenir différentes familles d’arborescences

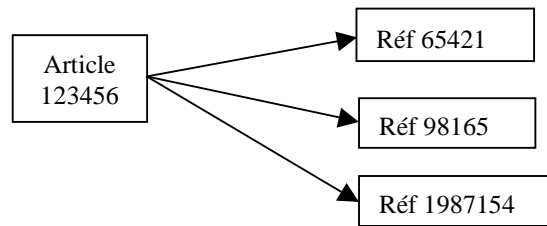


FIG. 3.1 – Codification des exemplaires

(fonctionnelles, technologiques, ...). De plus la structure arborescente des familles est telle que plus on descend dans l'arbre, plus les critères sont précis et inversement (Cf figure 3.2).

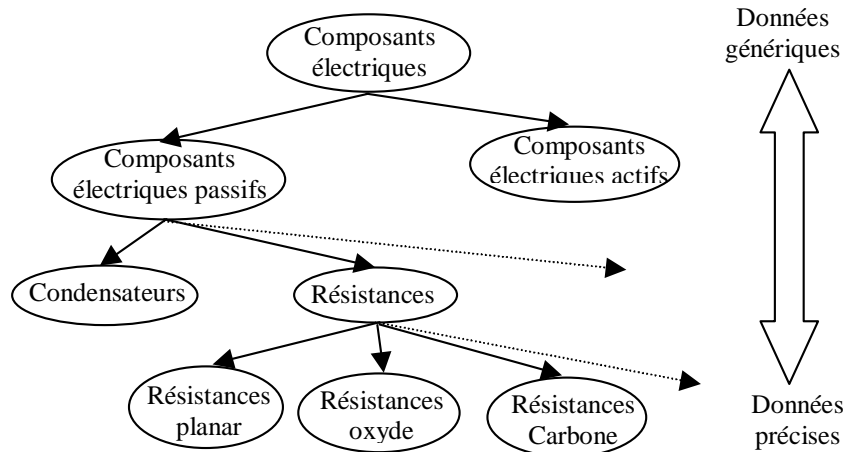


FIG. 3.2 – Les familles d'objets techniques

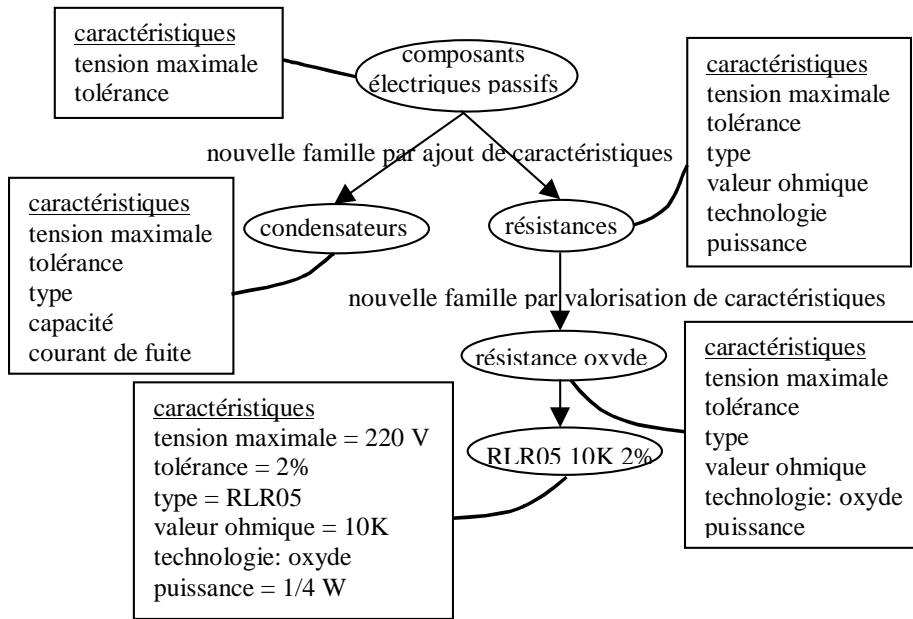
Les caractéristiques communes sont attachées aux familles et par héritage aux objets techniques. Ces caractéristiques participent à la définition des familles, et à l'identification précise de chaque objet dans une famille déterminée. Une famille peut être générée à partir d'une autre :

- par adjonction de caractéristiques (spécialisation),
- par la définition de valeurs ou de fourchettes de valeurs de certaines caractéristiques (instantiation).

Ceci est représenté sur la figure 3.3 :

Les caractéristiques se transmettent de père en fils en suivant l'arborescence des familles et des objets techniques, suivant un phénomène d'héritage. Il existe 2 types d'héritage :

- l'héritage simple (Cf figure 3.2), la famille fille hérite les caractéristiques de la famille mère,
- l'héritage multiple (Cf figure 3.4), la famille fille hérite les caractéristiques des familles parentes,



(source: Matra Marconi Space)

FIG. 3.3 – Les caractéristiques des familles et des objets techniques

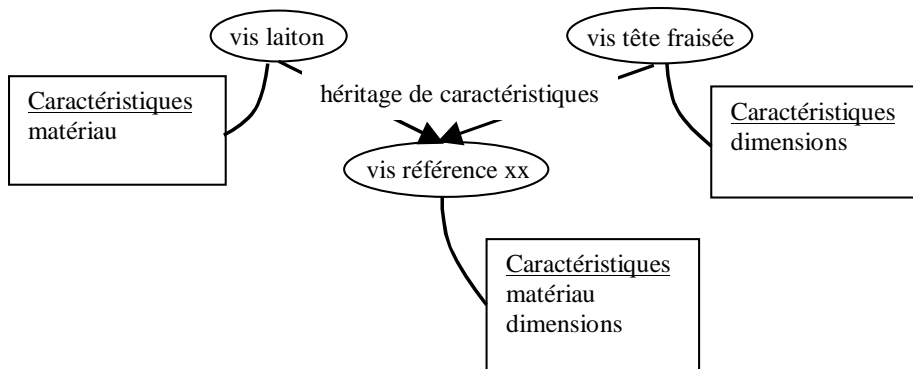


FIG. 3.4 – L'héritage multiple de caractéristiques

### 3.2.2 Classification Objet

M. Tollenaere dans [Tollenaere, 1998] montre les principaux concepts « Objet ». Le modèle Objet répond aux caractéristiques suivantes du modèle GDT :

- extensible : c'est à dire, pas de modification du modèle initial, mais seulement des adjonctions : attributs des objets, leur type, comportement des objets, comportement du système.
- non-redondant : en cas de modification ou d'évolution du système c'est une source très importante d'erreur (notamment par oublis).

Les principaux concepts des modèles objets :

- qu'est-ce qu'un objet? Un objet est une structure qui possède un certain nombre d'attributs ainsi que des outils (méthodes) pour le faire évoluer et/ou pour communiquer avec d'autres objets (Cf figure ??).

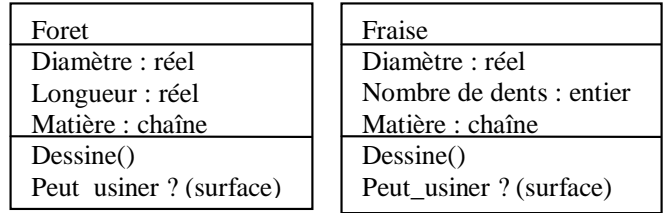


FIG. 3.5 – *Objet*

- on appelle classe d'objet un objet qui regroupe un ensemble d'instances, c'est à dire des objets qui partagent quelques caractéristiques (Cf figure 3.6).

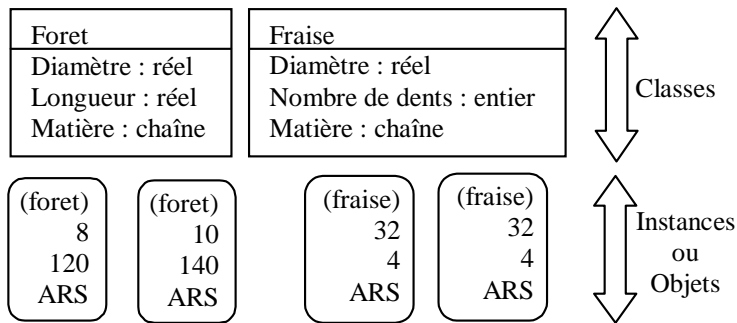


FIG. 3.6 *Classes et Instances*

- héritage :

- partager les points commun : généralisation
- permet de définir une hiérarchie (structure)

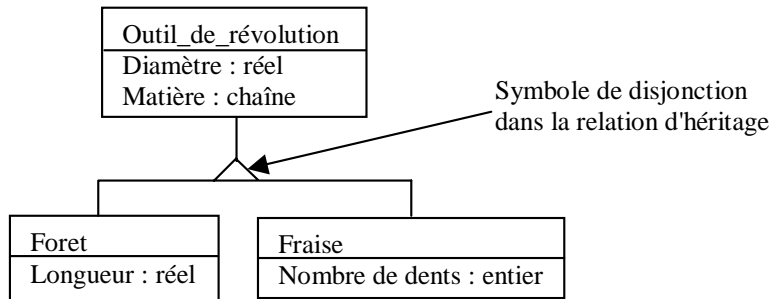


FIG. 3.7 – *Héritage*

sous forme ensembliste :

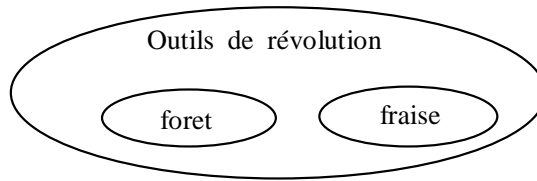


FIG. 3.8 – Sous forme ensembliste

### 3.3 Différents types de lien

#### 3.3.1 Différents types de lien d'après [Maurino, 1994]

##### 3.3.1.1 Lien de composition

«La structure du produit représente les niveaux successifs de décomposition du produit en objets techniques; elle est constituée des liens de composition (également appelés liens composé - composant) unissant un objet technique aux objets entrant dans sa composition.»

Ces liens de composition sont porteurs des propriétés suivantes :

identification du lien : nature (composition), type de structure (fonctionnelle, technique, industrielle, ...), type de configuration décrite (de référence, produite, en service, ...),

- la quantité de composants entrant dans le composé (pour un lien entre article ou entre exemplaires), le rendement,
- la validité du lien (date de création, date de péremption, ...).

Ceci est représenté sur la figure 3.9 tirée de [Maurino, 1994] :

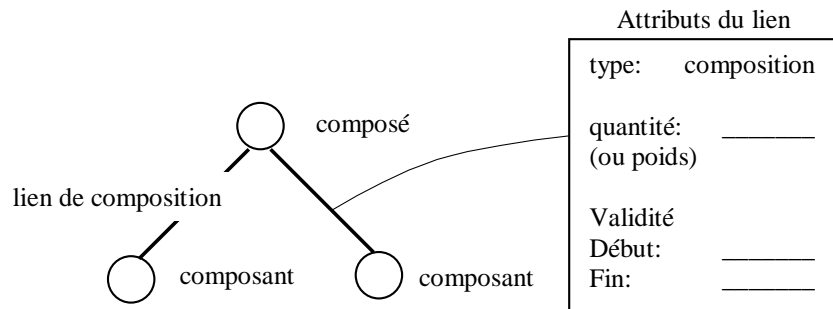


FIG. 3.9 – Le lien de composition

##### 3.3.1.2 Lien d'interface

Les liens d'interface associent de façon transversale plusieurs objets techniques au sein d'une même structure du produit. Ces liens permettent de :

- formaliser les relations de dépendance entre fonctions ou entre organes,



- exprimer la compatibilité entre différents articles pour un produit,
- pondérer la dépendance relative des deux objets associés par le lien.

### 3.3.2 Différents types de liens vus par STEP - AP 203

#### 3.3.2.1 Présentation

Dans [Chambolle, 1998] et [Arbouy et al., 1994], une présentation de STEP est proposée. STEP<sup>1</sup> est une norme référencée sous l'ISO 10 303 dans le but de formaliser un ensemble de normes d'échange de données techniques.

STEP est née début décembre 1983, elle représente aujourd'hui, environ 30 pays et 300 personnes y travaillent.

Cette norme porte sur la représentation et l'échange de données produits dans le but d'intégrer les processus de conception, de développement, de fabrication et de maintenance des produits.

Cette première norme est une partie d'un ensemble de projets de normes couvrant l'ensemble du cycle de vie du produit, qui a pour but de normaliser les données de définition des produits de façon à permettre leur représentation informatique.

Dans la préface de [Arbouy et al., 1994] Henri Maitre président de l'AFNOR à l'époque déclare :

« La norme STEP [...] a pour but de normaliser les données de définition des produits de façon à permettre leur représentation informatique »

« STEP s'imposera ainsi comme référentiel pour les données de produits, tant au sein de l'entreprise [...], qu'entre les entreprises qui opèrent sur un même produit. »

Cette Normalisation vient d'un besoin industriel d'échange de données entre les différentes applications informatiques intervenant tout au long du cycle de vie du produit.

L'AP 203 gère les données d'un produit, définit une structure de données et une méthodologie d'utilisation.

Actuellement : « même si la restitution des données transmises d'un type de poste est syntaxiquement correcte, leur interprétation sémantique par la machine pose encore problème »

Ici on peut voir que seule la partie *données* (syntaxe) est transmise à laquelle il manque la sémantique et donc l'utilisation.

La norme STEP porte sur la normalisation des *données de définition*, définit comme suit :

« Une donnée de définition est une information de référence qui contribue à la description de tous les exemplaires d'un produit répondant à la même dénomination. »

« La norme STEP s'applique aux informations qui définissent un **produit**. »

---

1. STEP : STandarts for Exange of Product model data.

« Les données de gestion de configuration, de gestion des versions, de gestion des gammes, les technologies de groupe ne relèvent pas de la norme STEP au sens strict. »

### 3.3.2.2 Techniques de modélisation

La norme considère les 3 critères d'abstraction suivants (chacun pouvant être appliqué de manière récursive) :

- la classification qui consiste à regrouper les objets en fonction de leurs propriétés. Des classes sont ainsi fabriquées, dont on essaie d'obtenir qu'elles soient, pour un même niveau, exclusives, exhaustives et homogènes de manière à éviter les ambiguïtés d'appartenance. Cette notion conduit souvent à des **hiérarchies**.
- la décomposition qui consiste à relier un objet à ses composantes ou parties élémentaires. Inversement l'agrégation consiste à recomposer des éléments simples pour obtenir un objet plus complexe. Appliquée récursivement, la décomposition revient à **affiner** un élément par **approches successives**.
- la généralisation qui consiste à relier les objets semblables à un autre objet plus général de niveau plus élevé. Elle revient à élargir le champ du modèle, le but étant de minimiser les informations à stocker, les propriétés associées au type d'objet le plus général étant alors héritées par les types plus spécialisés. Inversement la catégorisation a pour but de séparer les objets en différents groupes selon certains critères.

### 3.3.2.3 Modèle de données

La description des structures de données proviennent de [AP203, ]. L'AP 203 est un protocole d'application qui préconise un emploi pour la norme dans un contexte particulier, elle couvre deux types de données :

- les pièces (les données géométriques, créées par un outil de CFAO),
- les assemblages (les données de structuration de produit et de gestion de configuration).

Permet la structuration par domaine et par technologie (« vucs »)

Le modèle proposé gère :

- les nomenclatures avec options et variantes,
- les versions,
- la traçabilité (diffusions, modifications, validités),
- le workflow (approbations, spécifications des clients, certifications, confidentialité, ...).

La norme STEP s'appuie sur un modèle en trois couches représenté figure 3.10 :

- le « MODELE UTILISATEUR » décrit ce que voit l'utilisateur,

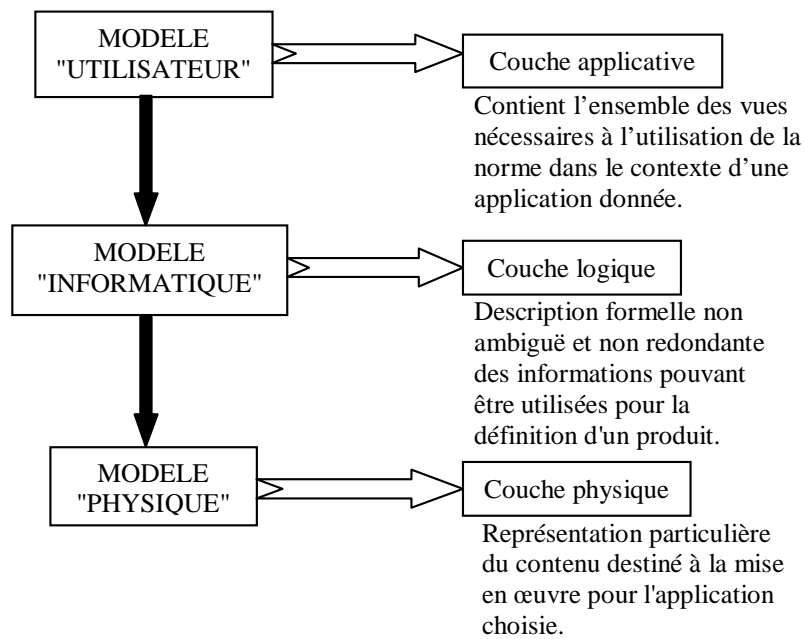


FIG. 3.10 – Modèle en trois couches

- le «MODELE INFORMATIQUE» représente la structure de données (AP 203),
- le «MODELE PHYSIQUE» est la base de donnée.

Le modèle de données proposé par la norme est représenté sur la figure 3.11, le rôle des différentes entités est énoncé brièvement:

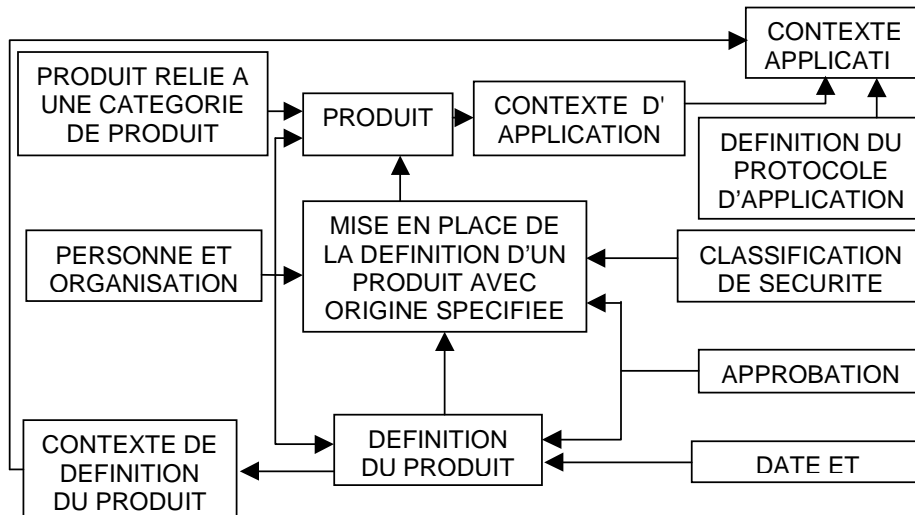


FIG. 3.11 – Les exigences d'une pièce selon l'AP 203

**Contexte applicatif** identifie l'application qui a défini les données. Cette entité est composée de 2 attributs qui sont le « contexte d'application » et la « définition du protocole d'application ».

**Définition du protocole d'application** identifie de manière plus détaillée l'application, précise le statuts (ex: norme internationale) et le nom du modèle applicatif interprété

**Contexte d'application** Identifie le point de vue de la discipline de conception à l'origine des données qui sont échangées

**Produit** Identifie la pièce, (*n°* de pièce, nom de la pièce, nomenclature de la pièce, description)

**Mise en place de la définition d'un produit avec origine spécifiée** Version du produit

**Définition du produit** « vues »

**Date et heures** dates et heures

**Approbation** Cycle d'approbation =>attribut : ex « non encore approuvé ». Le cycle peut être composé d'une seule approbation ou d'un ensemble ordonné d'approbations.

**Classification de sécurité** Attributs : non-classifié, classifié, propriétaire, confidentiel, secret, top-secret

**Contexte de définition du produit** Identifie l'étape du cycle de vie (ou le degré d'avancement des données en train d'être échangées).

**Personne et organisation** Identifie les personnes et organisations associées aux données et aux relations entre les données. Les différents attributs contiennent entre autre les nom, grades, responsabilités, ... des personnes et définissent les organisations.

**Produit relié à une catégorie de produit** Attribut : détail, assemblage, assemblage inséparable, équipement fourni à un client

Un exemple d'instanciation est donné à l'aide de la figure 3.12.

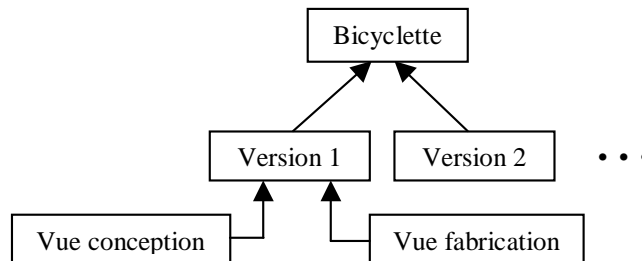


FIG. 3.12 – Exemple d'instanciation

« bicyclette » est une instantiation de « produit » pour lequel différentes versions ont été référencées dans « mise en place ... » de plus pour chaque version différentes vues utilisateur ont été définies.

### 3.3.2.4 Liaison aux spécifications

Différentes liaisons sont définies par la norme. Par exemple une liaison des spécifications aux pièces est proposée par la figure 3.13 :

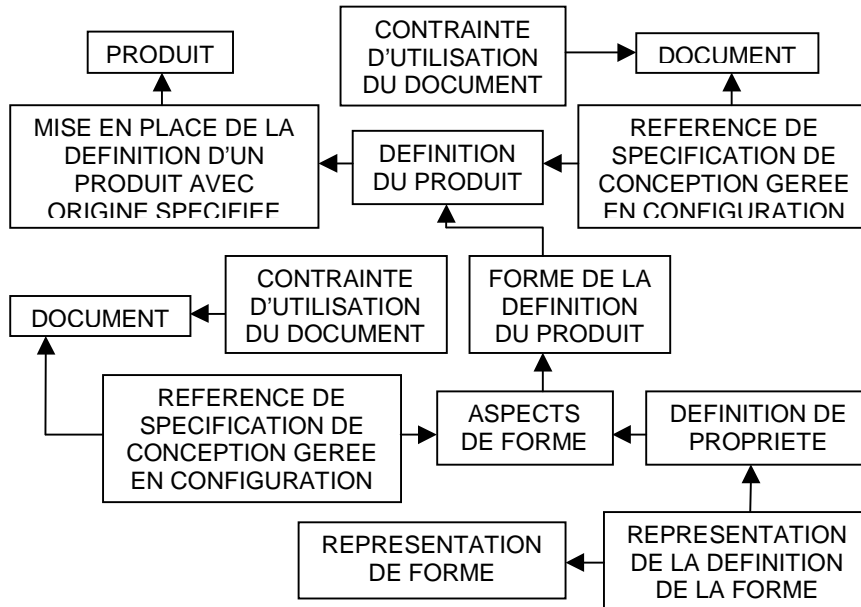


FIG. 3.13 Liaison des spécifications aux pièces

**Document** Cahier des charges

**Contrainte d'utilisation du document** Identifie de manière précise le sous-sujet traité

**Référence de spécification de conception gérée en configuration** La spécification concerne TOUTE la pièce

**Forme de la définition du produit** Décompose la pièce en « sous-parties »

**Aspects de forme** Permet de définir une partie de la pièce par la principale "représentation de forme"

**Référence de spécification de conception gérée en configuration** La spécification ne concerne qu' UNE PARTIE de la pièce

**Représentation de forme** Représentation des formes secondaires de la pièce

### 3.3.2.5 Différents types de relations

**3.3.2.5.1 Produit de remplacement** Cette relation, représentée figure 3.14 permet de spécifier si un produit peut être utilisé en remplacement d'un autre et dans quel contexte.

L'AP 203 fait la différence entre :

- une pièce de remplacement interchangeable dans tous les cas,

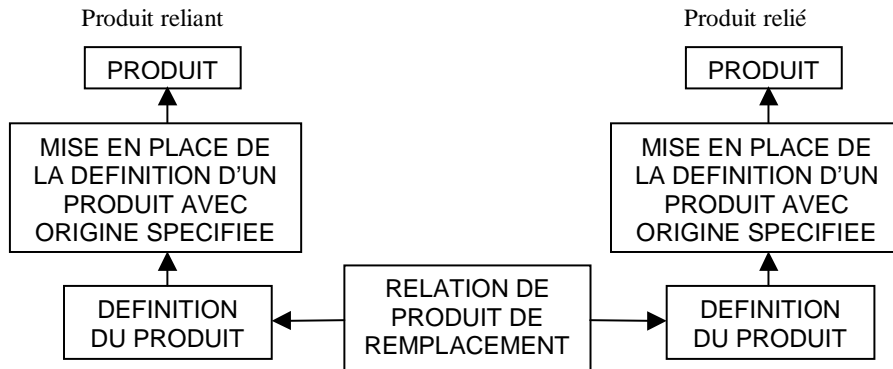


FIG. 3.14 – Relation produit de remplacement

- une pièce de substitution interchangeable seulement dans une utilisation particulière

La différence est relevée dans l'entité «relation de produit de remplacement», avec les attributs :

- condition = «toute utilisation»
- condition = «premier remplacement», ...

**3.3.2.5.2 Relation de conception** Cette relation, figure 3.15, permet de spécifier si la conception d'un produit a été réalisée à partir d'un autre produit.

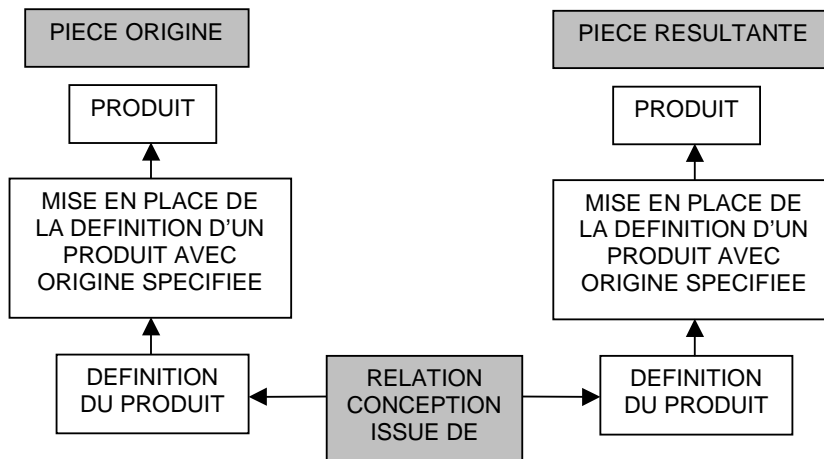


FIG. 3.15 – Relation conception issue de

**3.3.2.5.3 Relation d'assemblage** Lorsqu'un produit est réalisé à partir de l'assemblage d'autres produits (composants), ceci peut être représenté par une relation d'assemblage comme représenté figure 3.16.

On peut donc noter que les assemblages sont définis comme des pièces, à cela prêt que d'autres pièces leurs sont attachées.

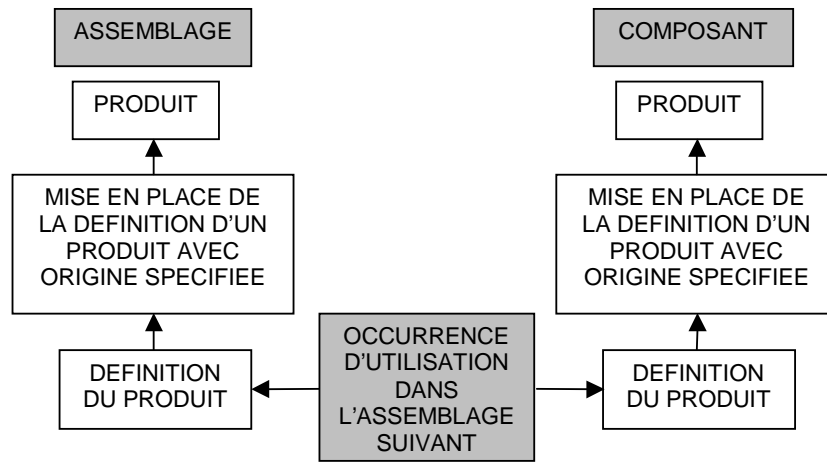


FIG. 3.16 – Relation d'assemblage

**3.3.2.5.4 Autre relations** STEP utilise le même type de représentation pour définir :

- le fait que la conception d'une pièce provient de celle d'une autre pièce en utilisant l'entité : « relation conception issue de »,
- les assemblages de pièces par l'entité « occurrence d'utilisation dans l'assemblage suivant »

**3.3.2.5.5 La quantité dans les assemblages** La quantité dans les assemblages est définie au travers de deux notions qui sont « quantité dans l'assemblage suivant » et « quantité dans le produit final ».

Dans le cas « quantité dans l'assemblage suivant », la norme donne deux méthodes de calcul :

- soit compter le nombre d'« occurrences d'utilisation dans l'assemblage suivant » où les attributs « définition de produit reliant » et « définition de produit relié » sont identiques,
- soit créer une instance complexe « utilisation d'un composant dans un assemblage quantifié » qui comprend des attributs de quantité et d'unité.

En ce qui concerne « quantité dans le produit final », une seule méthode est envisagée :

- créer une instance complexe « occurrence d'utilisation prévisionnelle » avec une entité « utilisation dans un assemblage quantifié ».

Rq : le produit « final » peut être une sous-partie

**3.3.2.5.6 Exemples d'application** La figure 3.17 représente le point de vue conception de la bicyclette.

La figure 3.18 représente les points de vue conception et assemblage de cette même bicyclette.

La figure 3.19 montre l'entité « choix de configuration »





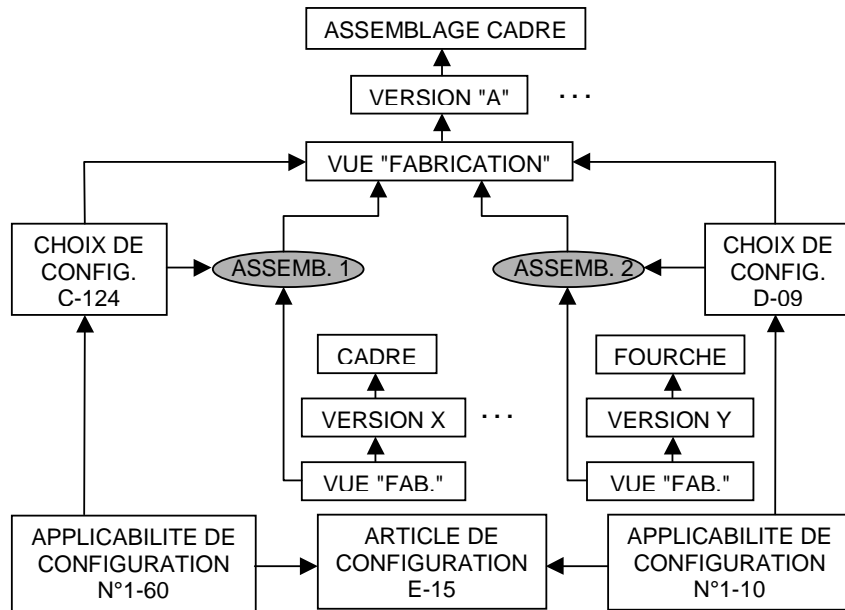


FIG. 3.19 – Gestion de la configuration de la bicyclette

### 3.3.3 Liens inter points de vue d'après [Harani, 1997]

Le travail présenté ici avait pour but de capitaliser les connaissances liées à la description du produit et celles liées au déroulement de son processus de conception. Pour cela il a été proposé deux modèles : modèle produit et modèle processus de conception.

Le modèle produit proposé (Cf figure 3.20) est de type PBS et contient deux points de vue : structurel et fonctionnel, afin de permettre deux approches complémentaires : approche produit et approche métier.

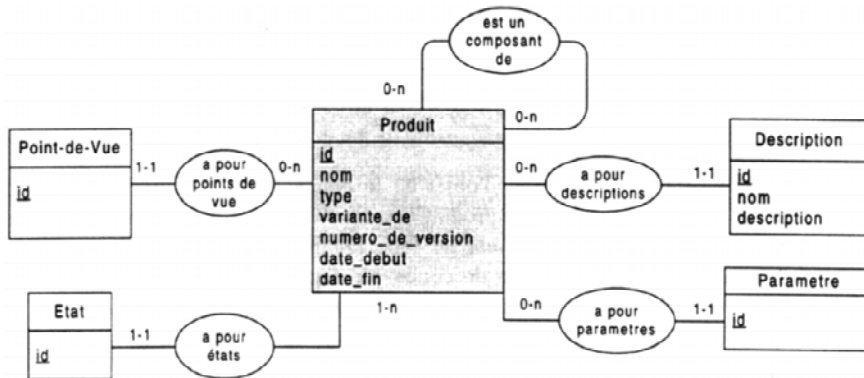


FIG. 3.20 – Méta-modélisation du Concept Produit

De manière à rendre l'opération de consultation des informations attachées à un produit possible, il a été choisi d'utiliser les points de vue. En effet, cette notion a pour principal objectif la description d'une entité complexe ayant plusieurs facettes. Ainsi une multitude de "grappes" d'information peuvent être

définies. Les points de vue permettent :

- de structurer la connaissance relative au produit en blocs homogènes (gestion de la complexité),
- d'enrichir la spécification technique du produit en définissant de nouveaux points de vue si nécessaire,
- d'établir des liens entre points de vue assurant ainsi la complémentarité des points de vue.

En résumé, les points de vue permettent de structurer l'information (à partir de différents critères soit métier, soit produit) pour la rendre plus représentative, plus compréhensive et donc exploitable.

Ce travail par des postulats suivants :

- tout point de vue peut être représenté à l'aide d'une structure de graphe,
- chaque graphe est constitué par un ensemble de noeuds et de liens entre noeuds,
- les noeuds sont destinés à renfermer des informations. Ces informations peuvent être des noms de paramètres, de descriptions, de variables => nécessité de définir une entité noeud (figure 3.21),

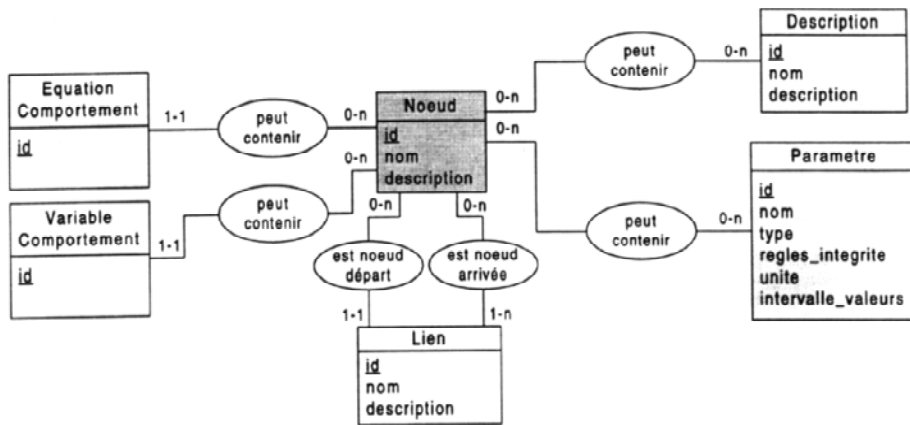


FIG. 3.21 – Méta-modélisation de l'entité noeud

- les noeuds sont reliés entre eux par des liens. Les liaisons ne sont pas forcément d'une cardinalité 1-1 mais peuvent parfois être de l'ordre de 1-n ou même n-m entre les noeuds,
- les liens entre les noeuds sont particuliers car ils sont porteurs d'une sémantique. En effet, deux noeuds peuvent être reliés entre eux pour différentes raisons : pour exprimer un lien de composition, de spécialisation, d'appartenance, ou autre. Plusieurs types de liens sont donc nécessaires. Il faut pouvoir les représenter =>entité lien (figure 3.22),

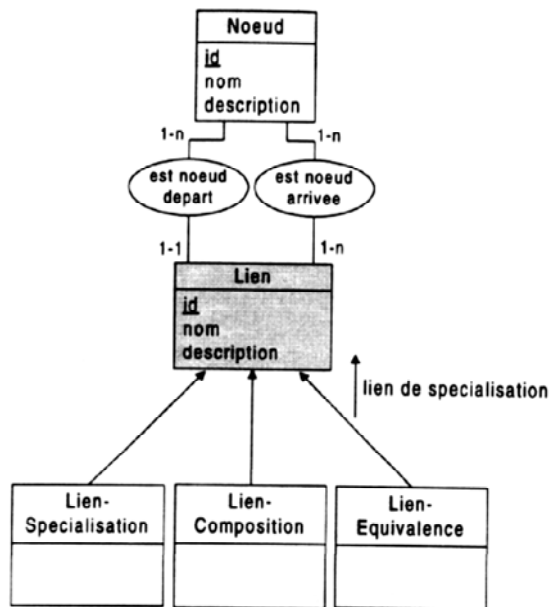


FIG. 3.22 – Méta-modélisation de l'entité Lien

- les liens ne concernent pas uniquement l'établissement de liaisons entre noeuds d'un même graphe et donc d'un même point de vue. En effet, l'apport sémantique attaché aux liens leur permet d'exprimer aussi une relation entre noeuds de deux ou plusieurs graphes différents. Il est alors possible d'exprimer un lien tel que, par exemple, l'équivalence fonctionnelle spécifiant que c'est un même noeud perçu différemment d'un point de vue à l'autre (cf figure 3.23).

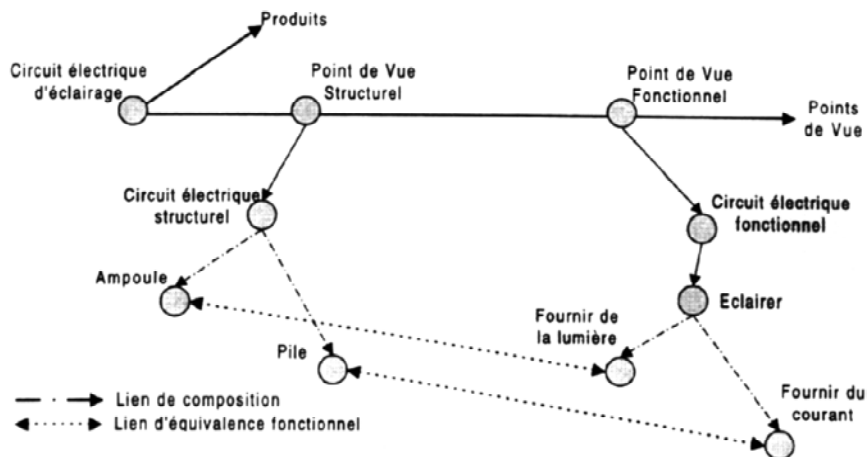


FIG. 3.23 – Liens inter et intra points de vue d'un circuit électrique d'éclairage

L'ensemble peut être éclairci à l'aide de l'exemple figure 3.24

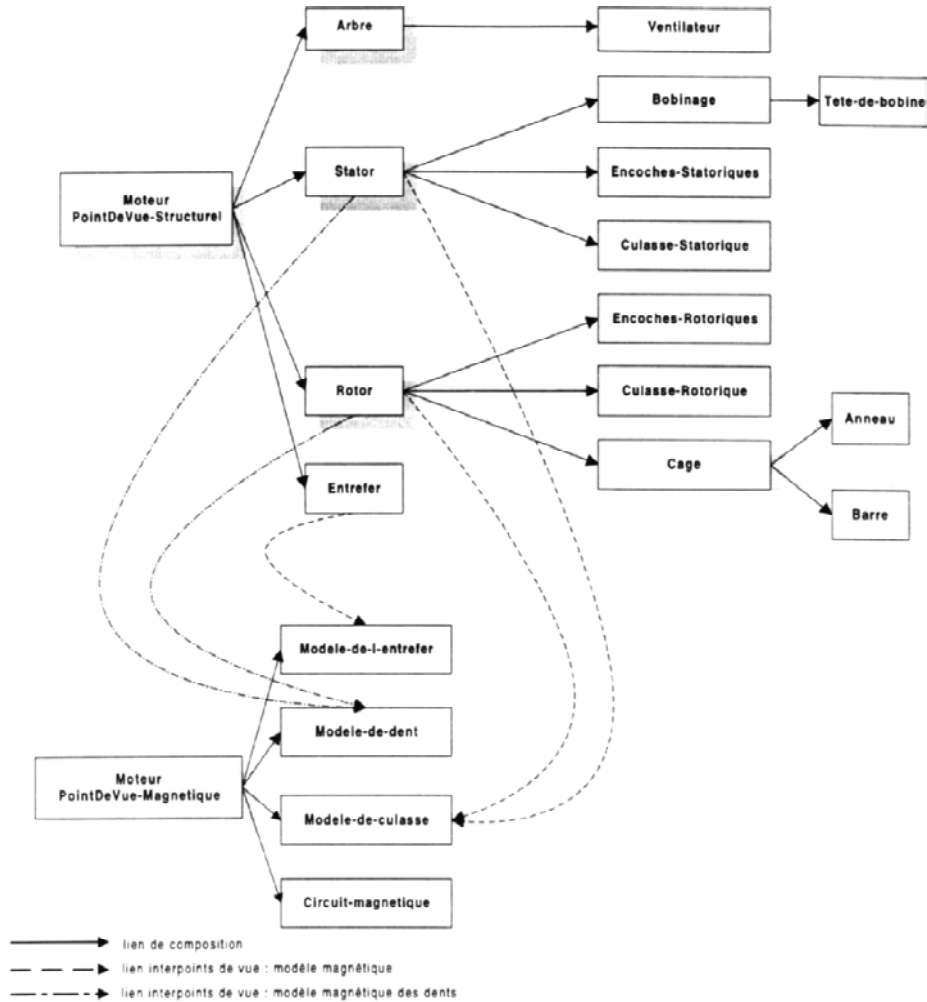


FIG. 3.24 – Représentation des liens entre les points de vue structurel et magnétique d'un moteur électrique asynchrone

### 3.3.4 Contraintes inter-liens d'après [Sellini, 1999]

F. Sellini dans [Sellini, 1999] propose une vérification de modèles de base de connaissance qui utilise des connecteurs sur relation comme contraintes supplémentaires dans le modèle.

Comme modèle structurel pour la représentation entre les différentes vues, il est proposé un modèle acyclique plutôt qu'un modèle arbre.

- arbre : un seul parent n'est possible,
- acyclique : un noeud du graphe peut avoir plusieurs parents, mais un noeud

filis ne peut pas être parent d'un de ses parents.

Le modèle prend en compte les trois points de vue suivant : structurel, fonctionnel, géométrique. Qui permettent aux utilisateurs d'avoir différentes perception ainsi qu'une complémentarité dans l'information.

### 3.3.4.1 Différentes sémantiques de liens

- Méta-modèle fonctionnel :
  - Produit "réalise" fonction / fonction élémentaire (0..n)
  - Fonction "se décompose en" fonction / fonction élémentaire
  - Fonction élémentaire "est réalisé par" solution technique (1..n)
  - Solution technique "est incarné par" entité de conception (1..n)
- Méta-modèle Structurel :
  - Produit "se décompose en" ensemble/ensemble élémentaire (0..n)
  - Ensemble " se décompose en" ensemble/ensemble élémentaire (0..n)
  - Ensemble élément "se décompose en" pièce
- Méta-modèle géométrique :
  - Pièce "est composé de " entité de conception (0..n)
  - Entité de conception "est composé de" entité de conception (0..n)
  - Fait le lien entre les deux modèles précédent à un niveau de décomposition.

### 3.3.4.2 cardinalités sur relations

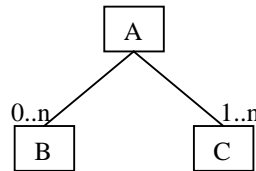


FIG. 3.25 – Cardinalités sur relations

1..n : le lien a un caractère obligatoire (variantes)

0..n : le lien est optionnel (options)

Quatre sémantiques sont définies pour les relations inter-liens (contraintes) explicités sur la figure 3.26 et le tableau en 3.3.4.2:

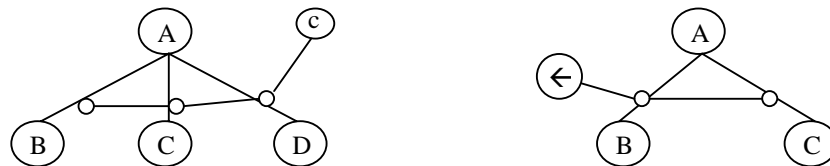


FIG. 3.26 – Sémantique des connecteurs

Ce modèle inclus un mécanisme de vérification du modèle, par exemple pour : fonction -> solution technique

Connecteur	Symbole	Définition
ET-Equivalent	+	A est nécessairement composé de B, de C et de D
Au moins 1	1+	A nécessairement composé d'au moins un élément B, ou C, ou D, ou les deux, ou les trois.
Exclusion mutuelle	*	A nécessairement composé d'un seul des éléments. Le choix de B interdit C et D.
Implication	->	Selon le sens de l'implication, le choix de C entraîne obligatoirement l'existence de B mais B peut exister sans C

TAB. 3.2 – Sémantique inter-liens

Cardinalité 1..n

Règles :

- si nombre-relation >1 alors rajouter connecteur exclusion entre toutes les relations
- si nombre-relation =<1 alors enlever connecteur exclusion entre toutes les relations

A ce mécanisme s'en ajoutent d'autres de simplification du modèle, d'interdiction, de fusion, de non redondance, non sens, incohérence.

### 3.4 Systèmes de Gestion de Bases de Données : SGBD

Un SGBD est un logiciel qui permet d'interagir avec une base de données ([Ruiz, 1997]).

#### 3.4.1 Bref historique

##### 3.4.1.1 années 1960

Il existe des systèmes de gestion de fichiers, les bases de données sont non partagées, il s'ensuit quelques difficultés :

- redondance des données stockées,
- difficulté d'accès aux données,
- risques d'incohérence,
- problèmes de sécurité et de confidentialité,
- non - portabilité des applications,
- problèmes de maintenance.

duplication des informations =>difficultés dans les mises à jour de données qui doivent être propagées sur toutes les copies pour assurer la cohérence des informations stockées.

#### 3.4.1.2 années 1965

SGBD hiérarchiques et réseau

**Le modèle hiérarchique :** dans le modèle hiérarchique, les données sont organisées selon une arborescence. Chaque noeud de l'arbre correspond à une classe d'entités du monde réel et les chemins entre les noeuds représentent les liens existants entre les objets. De nombreuses situations peuvent être représentées, mais la nature arborescente du graphe devient limitative lorsque l'on veut modéliser le partage de certaines données.

**Le modèle réseau :** il s'agit d'une extension du modèle hiérarchique dans laquelle le graphe d'objets n'est pas limité. Il permet de représenter le partage d'objets. Un schéma conceptuel dans le modèle réseau est composé de définitions d'enregistrements décrivant des entités et des liens unissant ces entités, et d'ensembles exprimant des liens multivalués entre les enregistrements.

#### 3.4.1.3 années 1980

SGBD relationnelles :

- définition rigoureuse des concepts,
- grande simplicité,
- facilité d'interrogation de la base de donnée,
- langages de manipulation de données déclaratif<sup>2</sup>,
- intégrité des données grandement améliorées.

limites :

- la pauvreté du modèle ne permet pas de modéliser des données complexes telles que la CAO<sup>3</sup>,
- les langages de manipulation de données associés n'apportent pas la puissance des langages de programmation.

solutions :

- modèle de données plus riche,
- langage de programmation.

=>3 grandes approches :

- modèles relationnels étendus,
- modèles sémantiques,
- modèles orientés objets.

2. Un langage déclaratif est un langage avec lequel l'utilisateur décrit le résultat et non pas le moyen d'obtenir le résultat par opposition aux langages impératifs.

3. CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

#### 3.4.1.4 années 1985

SGBD Orientées Objet (SGBDOO) Etendre le concept de la programmation orientée objet aux SGBD.

### 3.4.2 Modèles relationnels étendus

Ils consistent à élargir les possibilités du modèle relationnel. Généralisation du modèle relationnel, en permettant aux attributs de prendre des valeurs complexes. A cela s'ajoute un langage de manipulation pour objets complexes plus puissant que les langages pour le modèle relationnel et qui permet par exemple les requêtes récursives.

#### 3.4.2.1 Modèle NF2

Extension du modèle relationnel permettant de représenter des structures plus complexes, en décrivant un modèle appelé NF2<sup>4</sup>.

Dans ce modèle, les contraintes de relation sous première forme modale<sup>5</sup> sont abandonnés. Les relations peuvent prendre comme valeur sur un attribut soit des valeurs atomiques, soit des ensembles de relations. Ceci permet de manipuler des relations dont les attributs sont eux-mêmes des relations.

Ce modèle a évolué jusqu'à offrir des relations constituées de relations acceptant comme valeurs d'attributs, des valeurs atomiques, des ensembles de valeurs atomiques et des relations NF2.

#### 3.4.2.2 Modèles à objets complexes

Les recherches sur les modèles NF2 ont conduit aux modèles à objets complexes. Dans ce modèle, il existe deux constructeurs : le produit cartésien et l'ensemble, qui peuvent s'appliquer l'un à l'autre.

En appliquant récursivement ces constructeurs, on obtient l'objet.

Les objets complexes sont constitués :

- d'objets atomiques (entiers, réels, booléens, chaîne de caractère, ...),
- de relations,
- d'ensembles.

Dans ce modèle, un objet complexe peut être représenté sous forme d'un arbre fini dont les noeuds, selon leur nature, sont étiquetés différemment : les feuilles correspondent a des valeurs atomiques, le symbole 'x' représente les noeuds de relations, le symbole '+' représente les noeuds ensemble, les arcs des relations sont étiquetés avec les noms des attributs. L'exemple suivant (figure 3.27) est tiré de [Benzaken and Doucet, 1993] :

---

4. NF2 : Non First Normal Form.

5. Une relation est en première forme modale si tout attribut de la relation contient un valeur atomique.



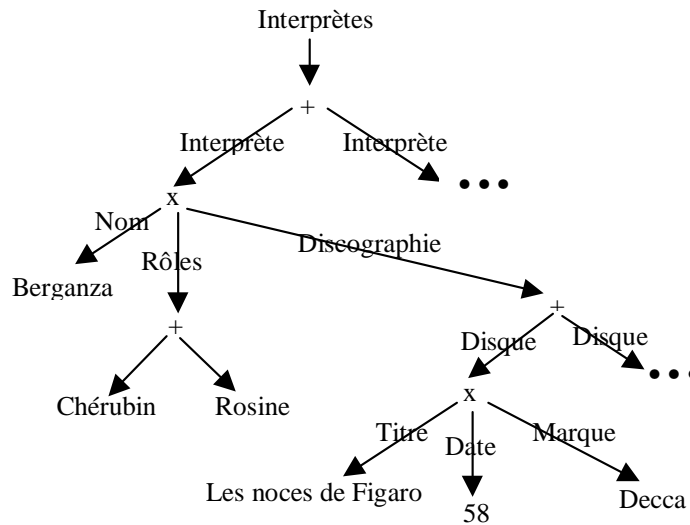


FIG. 3.27 – Modèles à objets complexes

### 3.4.2.3 Modèles avec identité d'objets

Ce type de modélisation sera expliqué à l'aide d'un exemple tiré de [Benzaken and Doucet, 1993]. Considérons l'exemple suivant : l'objet *Personne* est composé d'un nom, d'un âge, et d'un ensemble d'enfants, qui sont eux-mêmes des personnes.

Dans la famille Bach, Jean-Sébastien et Anna-Magdalena ont un enfant de 10 ans, prénommé Jean-Christien. Ces faits se représentent par les objets suivants :  
 [Nom: Jean-Sébastien, Age: 35, Enfants: {[Nom: Jean-Christien, Age: 10, Enfants: {}]}]  
 [Nom: Anna-Magdalena, Age: 33, Enfants: {[Nom: Jean-Christien, Age: 10, Enfants: {}]}]

La situation décrite ci-dessus est ambiguë, en effet rien ne dit que l'enfant de Jean-Sébastien est le même que celui de Anna-Magdalena, il pourrait s'agir de deux Jean-Christien du même âge.

Ce pose aussi le problème des mises à jour. S'il s'agit du même enfant, la mise à jour des caractéristiques devrait se propager pour l'enfant de Jean-Sébastien et pour celui de Anna-Magdalena, ce qui n'est pas le cas dans le modèle ci-dessus.

Une solution consiste à introduire le concept d'identité d'objets, en modifiant le modèle comme suit par ajout d'un identificateur :

- ( $i_1$ , [Nom: Jean-Sébastien, Age: 35, Enfants: { $i_3$ }])
- ( $i_2$ , [Nom: Anna-Magdalena, Age: 33, Enfants: { $i_3$ }])
- ( $i_3$ , [Nom: Jean-Christien, Age: 10, Enfants: {}])

L'objet Jean-Sébastien est alors identifié par  $i_1$  et sa valeur est [Nom: Jean-Sébastien, Age: 35, Enfants: { $i_3$ }].

Une mise à jour sur Jean-Christien sera immédiatement prise en compte pour ses deux parents.

Les modèles avec identité d'objet permettent de plus la représentation d'objets cycliques. Comme on peut le voir sur l'exemple suivant :

- ( $i_1$ , [Nom: Jean-Sébastien, Conjoint:  $i_2$ , Age: 35, Enfants: { $i_3$ }])
- ( $i_2$ , [Nom: Anna-Magdalena, Conjoint:  $i_1$ , Age: 33, Enfants: { $i_3$ }])
- ( $i_3$ , [Nom: Jean-Christien, Conjoint:  $\emptyset$ , Age: 10, Enfants: {}])

Ce qui était impossible avec le premier modèle. Chaque objet ayant besoin de la description de l'autre et ainsi de suite.

#### 3.4.2.4 Modèles sémantiques

Ces modèles développés dans les années 70 proviennent d'une approche totalement déconnectée du relationnel. Il s'agit d'une approche basée sur des concepts plus riches en sémantique. Cependant la plupart des modèles sémantiques sont restés des propositions « papier ».

En conception, on utilise le modèle Entité-Relation. Le concept de base utilisé est que des *entités* sont reliées par des *liens*. Chacun de ces élément représentant une partie du modèle. Les entités contiennent les données et les liens leurs associations.

Le modèle de représentation des entités ressemble au concept objet, elles possèdent un nom, des attributs, et prennent en compte la notion d'identité d'objet énoncée précédemment. Ceci lui confère une grande capacité de modélisation comparable aux modèles à objets complexes.

Il est possible de regrouper des entités de même structure au sein de *classes*, d'où la possibilité de modéliser des ensembles d'éléments possédant les mêmes caractéristiques. Ceci donne la possibilité de modéliser plus finement et plus fidèlement la réalité, notamment en utilisant les mécanismes d'abstraction.

### 3.4.3 Approche objet

Les langages orientés objets ont de gros avantages pour le génie logiciel :

- programmation structurée, qui consiste à décomposer les programmes importants en un ensemble de modules indépendants,
- programmation dirigée par les données, nécessité de structurer et de regrouper les données en fonction de caractéristiques communes.

#### 3.4.3.1 Concepts orientés objets applicables aux bases de données

**l'objet :** qui regroupe les données et les opérations

- les données : partie statique de l'objet, attributs qui décrivent l'état de l'objet,
- les opérations : partie dynamique de l'objet, méthodes<sup>6</sup> qui décrivent le comportement de l'objet.

**l'encapsulation :** c'est à dire qu'un objet comporte une partie visible (son interface) et une partie cachée (son implémentation).

**les messages :** les objets communiquent entre eux par l'envoi de messages, qui correspondent à l'invocation d'une méthode d'un des objets.

**les classes :** il s'agit d'une description abstraite en termes de données et de comportement d'une *famille* d'objets. Les objets appartenant à une classe sont appelées les instances de la classe. L'ensemble des instances d'une classe forme son extension.

---

6. Les opérations que l'on peut appliquer à l'objet sont appelées « méthodes ».

**l'héritage :** Les classes sont organisées en hiérarchie et forment un graphe d'héritage. L'héritage est un mécanisme destiné à exprimer les similitudes entre classes. Il met en oeuvre deux mécanismes : la généralisation et la spécialisation.

- La généralisation consiste à factoriser les parties communes de plusieurs classes en les regroupant dans une classe de plus haut niveau appelée super classe.
- La spécialisation consiste à créer, à partir d'une classe, des sous-classes héritant des caractéristiques de la classe de départ, mais se distinguant par des caractéristiques propres.

Il faut distinguer différents types d'héritage :

- Héritage simple : une classe fille n'a qu'une seule classe mère et elle hérite des attributs et méthodes de celle-ci, en ayant ses caractéristiques propres.
- Héritage multiple : une classe fille hérite de plusieurs classes mères. Elle hérite des attributs et méthodes de ses classes mères, en plus de ses caractéristiques propres.

**à cela s'ajoutent :** la surcharge sémantique et la résolution tardive.

### 3.4.3.2 Les concepts propres aux bases de données orientées objet

**objets complexes :** construits à partir d'objets atomiques (entier, réel, booléen, chaîne de caractère, ...) et de constructeurs. Un SGBDOO doit permettre de gérer des données et des liens complexes entre ces données. Ces liens correspondent à des associations entre les objets de l'application qui sont présentés. Il doit s'appuyer sur un modèle de données qui permette de définir la structure des données avec leurs liens, et offrir un ensemble d'opérateurs destinés à manipuler ces données.

**identité d'objet :** dans les bases de données ce principe est fondamental, il permet d'identifier deux objets (différents) ayant les mêmes attributs (égaux), de modéliser les cycles entre objets, de partager les objets, résoudre certains problèmes de mise à jour.

**persistance :** signifie que la durée de vie d'un objet dépasse la durée d'exécution du programme qui l'utilise. La persistance des données signifie qu'il existe de façon permanente, un ensemble de données : la base de données.

**partage des données :** Plusieurs utilisateurs, à travers différentes applications, doivent pouvoir accéder, simultanément, aux mêmes données sans avoir à se soucier du fait qu'il ne sont pas les seuls à opérer sur ces données. Il est nécessaire de contrôler le partage des données, de détecter d'éventuels conflits d'accès et de les résoudre.

La représentation est dite normalisée si toute l'information n'apparaît que dans les feuilles, les autres noeuds ne contenant que de l'information sur la structure et les liens. Cette représentation correspond à la fragmentation maximale de la structure car chaque unité d'information peut être accédée de manière indépendante.

## Chapitre 4

# Modélisation de la diversité

### 4.1 Modélisation avec STEP

#### 4.1.1 Structure de produit générique avec EXPRESS

Un nombre croissant d'entreprises essayent d'augmenter leur compétitivité avec l'utilisation de produits configurables qui ont un large nombre de variantes et sont configurés par le consommateur. Il reste cependant un problème pour modéliser les combinaisons.

Considérons une machine pour laquelle on a le choix de différents moteurs, en principe on doit créer une structure de produit différente pour chaque choix de moteur. Seulement, cela devient impossible quand le nombre de choix augmente. Par exemple :

- 3 types de moteurs,
- un petit choix d'embrayages,
- différentes sortes de mécanismes de contrôle, ...

Dans une telle situation, il n'est pas possible de lister les différentes structures de produit un par un. Il y a donc besoin d'un mécanisme pour représenter les configurations possibles plus efficacement, les auteurs de [Männistö et al., 1998] ont appelé ce modèle « generic product structure »

Ils se sont intéressés à savoir

- Comment STEP permettait de modéliser des structures de produits génériques?
- Comment un produit pouvait être modélisé avec STEP en utilisant des méthodes objet (càd la classification et l'héritage)?

Ces méthodes peuvent être importantes pour de nombreux autres types de produits complexes, parmi lesquels les produits configurables ne sont qu'un exemple. Le concept de base est qu'un composant peut lui-même être composé d'autres éléments, ce qui implique que la structure d'un produit générique doit supporter la classification.

Par exemple la classe *automobile* peut avoir les sous-classes *voiture* et *camion*. De même la classe *moteur* peut avoir les sous-classes *moteur essence* et *moteur diesel*.

Un des principaux avantages de la classification est le partage d'information à travers l'héritage. Par exemple supposons la structure d'un produit générique qui spécifie qu'une *automobile* possède un *moteur* comme sous-partie. Si *camion* est une sous-classe de *automobile*, alors *camion* possède aussi un *moteur*.

De même *moteur essence* et *moteur diesel* sont des sous-classes de *moteur*, l'un ou l'autre de ces sortes de moteurs peut être utilisé comme un élément d'une *automobile*.

Parfois la combinaison des différents éléments doit être restreinte, par exemple on peut spécifier qu'un *camion* doit avoir un *moteur diesel* plutôt qu'un autre type de *moteur*.

Les structures de produit génériques aussi ont besoin d'éléments optionnels « optionnal » ou variantes « alternative part ». Par exemple *toit-ouvrant* peut être un élément optionnel de la *voiture* alors que *lecteur CD* ou *lecteur cassette* peuvent être des variantes de l' *équipement audio*.

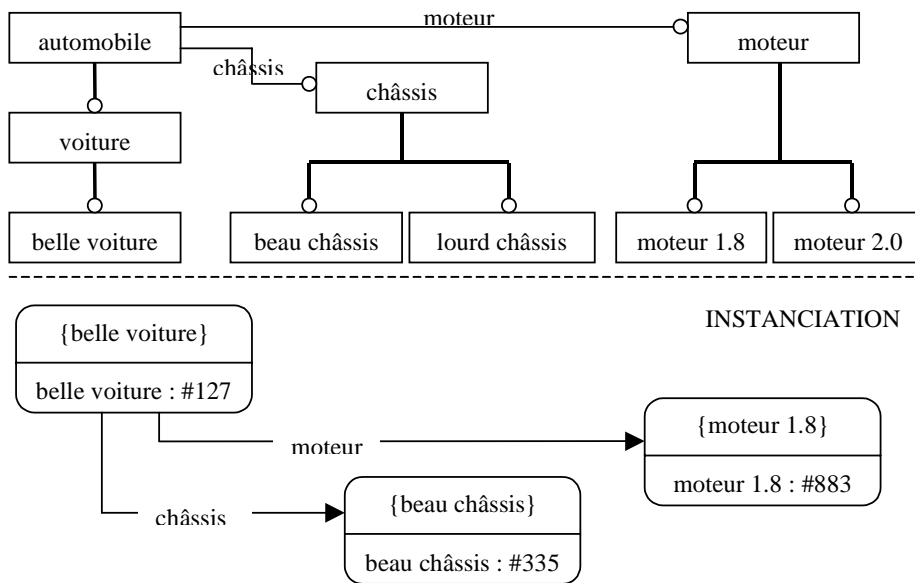


FIG. 4.1 – Modélisation de produits génériques avec EXPRESS

Un modèle de structure de produit explicite définit un large nombre de combinaisons d'éléments. En pratique certaines de ces combinaisons sont impossibles.

Une structure de produit générique inclut donc un modèle de structure de produit implicite qui donne des conditions supplémentaires qui doivent être respectées par un produit valide. Par exemple la structure de produit implicite peut interdire la combinaison de *lourd châssis* et *moteur 1.8*. Cette condition peut être exprimée par la règle EXPRESS suivante pour une voiture (en utilisant la fonction 'types of components') :

NOT('heavy body' IN 'types of components(SELF)'  
AND 'engine 1.8' IN 'types of components(SELF)')

La description d'un produit fourni à un client est créé sur la base d'un produit générique par un jeu de paramètres fixés. Par exemple, la voiture de type 'belle voiture #127' est composée d'un moteur 'engine 1.8 #883' et d'un 'nice body #335'

### 4.1.2 Variantes de produits avec l'AP 214

A l'aide de l'exemple figure 4.2 tirée de [Männistö et al., 1998] nous allons voir comment les auteurs proposent de gérer les options et variantes dans l'AP 214.

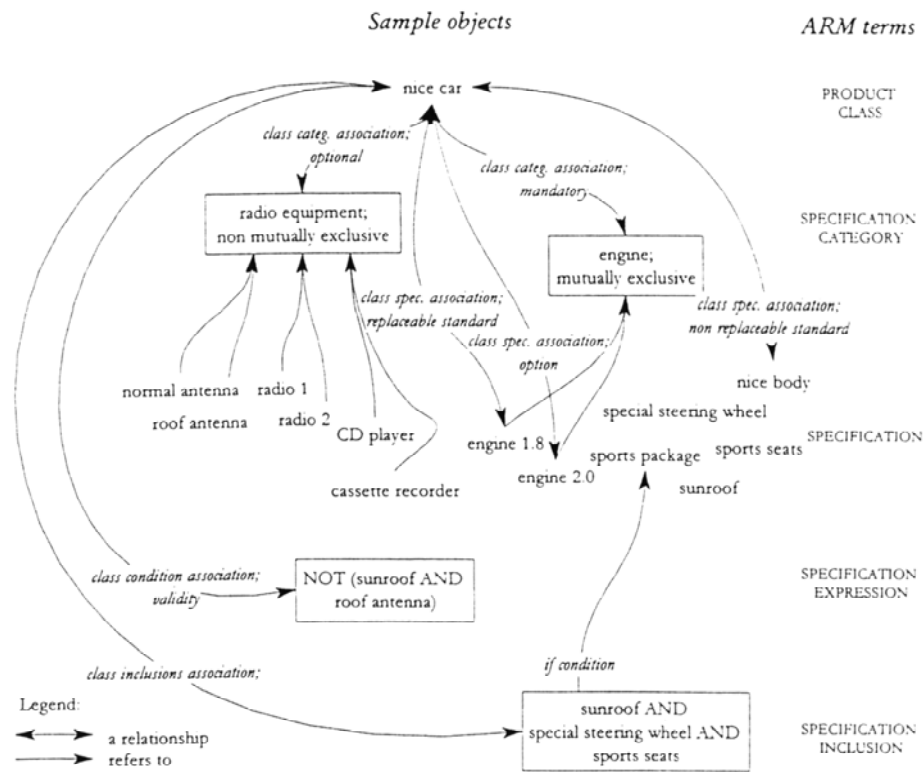


FIG. 4.2 – Gestion des variantes avec l'AP 214

Sur un même niveau sont représentés les termes ARM<sup>1</sup> et un exemple instantiation.

**Product Class** permet la classification d'un produit offert par une entreprise sur la marché. Par exemple *voiture* peut avoir les sous-classes *compacte* et

1. Application Reference Model.

*économique.*

L'exemple figure 4.2 considère un produit imaginaire *nice car* qui est représenté par un 'Product Class Objet' du même nom.

**'Specification' et 'Specification Category'** Une spécification est une caractéristique ou une fonctionnalité du produit vu par le consommateur. Figure 4.2 *engine 1.8* et *normal antenna* sont des exemples de 'Specification'.

Les spécifications sont regroupées en catégories de spécifications qui permettent de spécifier des règles, ex :

'Mutually Exclusive' ->l'un OU l'autre

'Non Mutually Exclusive' ->l'un ET / OU l'autre.

'Product Class' et 'Specification Category' sont rattachés par des associations 'Class Category Association' qui précisent si une 'Specification Category' est obligatoire 'Mandatory' ou optionnelle 'Optionnal' pour un 'Product Class'. Par exemple : *engine* est obligatoire, *radio équipement* est optionnel.

'Product Class' et 'Specification' peuvent être directement reliés par différents types d'association parmi lesquelles :

- 'Non Replacable Standard' qui spécifie (figure 4.2) qu'une *nice car* aura obligatoirement un *nice body*,
- 'Replacable Standard' *engine 1.8* est une valeur par défaut mais peut être remplacée par une autre sélection de la même catégorie,
- 'Option' une *nice car* peut avoir un *engine 2.0* en option qui alors remplace le 'Replacable Standard' *engine 1.8*.

**Specification Expression** il s'agit d'une expression logique qui doit être satisfaite pour qu'un produit soit valide. L'opérateur est soit «and», «or», «oneof» soit «not».

Par exemple les spécifications *sunroof* et *roof antenna* peuvent être reliés par une condition qui interdit leur emploi simultané.

=>NOT ('*sunroof*' AND '*roof antenna*')

**Specification Inclusion** Il s'agit d'un mécanisme qui permet de lier les 'Specification' elles sont spécifiées par 2 entités 'If Condition' et 'Included Specification'. Par exemple si le consommateur choisi *sport package* alors il aura *sunroof*, *special steering wheel* et *sport seats* d'automatiquement inclus.

'If Condition' = *sport package*

'Included Specification' = (*sunroof* AND *special steering wheel* AND *sport seats*)

### 4.1.3 Comparaison des approches

Les figures 4.1 et 4.2 sont similaires dans le sens qu'elles présentent toutes les deux les variantes de *nice car*.

- Figure 4.1 : la représentation EXPRESS est utilisée,

- Figure 4.2: la représentation AP 214 est utilisée avec les concepts 'Specification Category' et 'Specification' dans le même but.

Le mécanisme de classification de l'AP 214 pour modéliser les produits inclut une forme limitée d'héritage. L'AP 214 définit que les instances 'Class Condition Association' et 'Class Inclusion Association' sont héritées par les sous-classes représentées par les instances de 'Product Class'. Les autres propriétés de 'Product Class' ne sont pas héritées.

Par exemple, si automobile, voiture et camion sont modélisés comme 'Product Class' dans l'AP 214, les 'Specification' reliées à automobile ne seront pas automatiquement des propriétés de camion.

Dans l'approche EXPRESS (figure 4.1) les propriétés de automobile seront héritées dans voiture et camion.

L'AP 214 propose donc une classification qui peut être utilisée pour modéliser les variantes de produit.

## 4.2 Une architecture de famille de produits

Dans [Jiao and Tseng, 1999] on peut trouver une méthodologie pour développer une architecture de famille de produits pour rationaliser le développement de produits pour la customisation de masse, et cela avec 3 points de vue (fonctionnel / technique / physique).

### 4.2.1 Challenges techniques

Connaissant les besoins de la customisation de masse, il va falloir travailler sur les paramètres suivants :

- réduire temps de mise sur le marché,
- disposer d'une variété produit,
- profiter des économies d'échelle.

Pour cela 3 propositions techniques sont notés :

**réutilisabilité** profiter de l'efficacité de la production de masse (achats, marketing, logistique ...) en réalisant des familles de produits

**plateau projet** création continue de nouveaux produits, en prenant en compte les contraintes de tous les intervenants. Ceci permet d'approvisionner la customisation, manager la diversité, utiliser la force de production existante et par la même occasion évite la prolifération de la diversité.

**conception de produits intégrée** afin de diminuer le temps de mise sur le marché, multitude de points de vue à prendre en compte.

L'idée de base est de passer de la conception d'un produit unique à la conception d'une famille de produits. Pour cela, l'utilisation d'une architecture générique (PFA<sup>2</sup>) permettra d'obtenir une famille de produits robuste.

---

2. PFA : Product Family Architecture.



La rationalité du PFA réside :

- dans la base de connaissance qui permet d'obtenir plusieurs variantes pour la solution,
- dans la modélisation du processus de conception d'un *classe de produits*.

Un exemple de construction est donné figure 4.3.

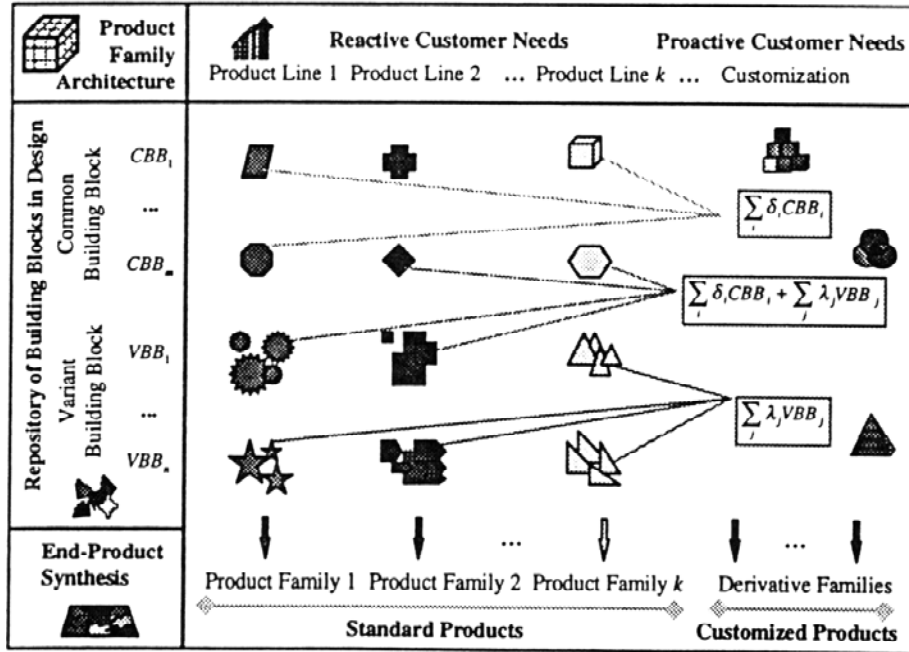


FIG. 4.3 – The principle of PFA-based product development for mass customization

#### 4.2.2 Implications structurelles

La structure s'appuie sur les 3 vues ci-dessous :

1. vue fonctionnelle : qui représente les fonctions souhaités par le consommateur, ainsi que leur décomposition en sous-fonctions (FRs<sup>3</sup>),
2. vue technique : Révèle l'application d'une technologique pour la conception d'un produit. Elle décrit la décomposition d'un produit final en plus petites unités et les interconnexions entre les modules. Les modules et structures modulaires sont définis en tant que paramètres de conception correspondants à des FRs,
3. vue physique : elle représente l'information sur le produit par une description de la réalisation physique de celui-ci.

3. FRs : Fonctionnal Requirements.

#### 4.2.2.1 Variété fonctionnelle et variété technique

Les méthodologies de conception "design for manufacturability" sont généralement destinées à des produits uniques. Contre ces limitations une nouvelle classe de méthodologie pour des produits variés est nécessaire pour optimiser les lignes de production.

Dans le but d'optimiser la variété des produits, il est avant tout nécessaire de classer les types de variété, particulièrement en terme de "requirements of mass customization" et ainsi développer des stratégies de conception pertinentes. La variété des produits est définie comme la diversité des produits que le système de production fournit au marché. Dans leur article [Jiao and Tseng, 1999] définissent deux types de variété : la variété fonctionnelle et la variété technique.

- La variété fonctionnelle est utilisée pour définir les différenciations dans les attributs affectés aux fonctionnalités du produit desquelles le consommateur tire des bénéfices.
- La variété technique fait référence aux diverses technologies, conceptions, moyens de production, composants et assemblages, ... nécessaires à la réalisation des fonctions souhaitées par le consommateur.

Tandis que la variété fonctionnelle est plus rattachée à la satisfaction du consommateur, la variété technique est généralement mêlée à la fabrication et aux coûts. Malgré tout, les deux types de variété sont liés dans le développement du produit, ils ont des implications dans deux stratégies de conception différentes.

Comme la variété fonctionnelle affecte directement la satisfaction du consommateur, ce type de variété doit être encouragé dans le développement du produit. Tandis qu'une conception avec une stratégie de variété fonctionnelle augmente la variété fonctionnelle, une conception à variété structurelle essaye de réduire la variété technique pour diminuer les coûts.

#### 4.2.2.2 Modularité et intégration dans PFA

Alors qu'un module est un groupement physique ou conceptuel de composants qui partagent des caractéristiques, la modularité essaye de séparer un système en pièces ou modules indépendants.

Pour traiter du dilemme de variété et d'échelle; PFA atteint sa modularité à partir de multiples points de vue (fonctionnel, technologique et structurel), auxquels correspondent trois types de modularité c'est à dire modularité fonctionnelle, technique et physique.

Les interactions entre modules doivent être minimisés alors que les interactions des composants avec les modules doivent être élevés. Chaque type de modularité est caractérisée par une mesure particulière de ses interactions. Dans la modularité fonctionnelle, les interactions sont proches des FRs.

En plus de traiter de différents types de variétés, un PFA organise et représente la variété d'un objet dans différents vucs en utilisant des relations de "class-member". Pour les trois types d'objets correspondants aux trois vues, la variété des objets résulte de deux niveaux.

Premièrement les objets sont différenciés en terme d'attributs. Différentes valeurs pour les attributs distinguent des différents objets. Puis pour chaque type d'objet (classe) avec des valeurs d'attributs particulières la variété peut provenir des différentes instances de variables particulières.

Ainsi une représentation utilisant les classes d'objets permet de représenter les deux niveaux de diversité dans les différentes vue du PFA.

### 4.2.3 Développement

#### 4.2.3.1 modèle fonctionnel

Pour la classification fonctionnelle, les consommateurs similaires au sens des valeurs souhaitées (instances) pour FR sont partagés en petits groupes. Plusieurs groupes sont nécessaires à la définition d'une famille de produits. En pratique on moyenne les désirs des consommateurs du même groupe pour obtenir un vecteur de FR représentatif. Ainsi chaque variante de produit sera destiné à un petit groupe de consommateur.

Dans le but de décrire à la fois une famille et ses variantes de produits dans un formalisme unique, un arbre combiné de décomposition / classification (DCT) a été adopté pour représenter la vue fonctionnelle d'une famille de produits à partir d'un niveau abstrait vers des instances particulières.

Il y a deux niveaux de structure d'arbre dans un DCT.

L'un est l'arbre de décomposition adopté pour représenter la hiérarchie des FRs, où chaque noeud représente un FR qui est subdivisé en d'autres FRs. Les liens entre enfants et parents s'apparentent aux relations "a-part-of".

L'autre est l'arbre de classification utilisé pour décrire les variantes de chaque FR. L'arbre de classification s'étend au plus bas niveau d'un DCT, en indiquant différentes instances pour chaque Fr. Les liens parents/enfants s'apparentent à des liens "a-kind-of".

La figure 4.4 montre la structure d'un DCT général.

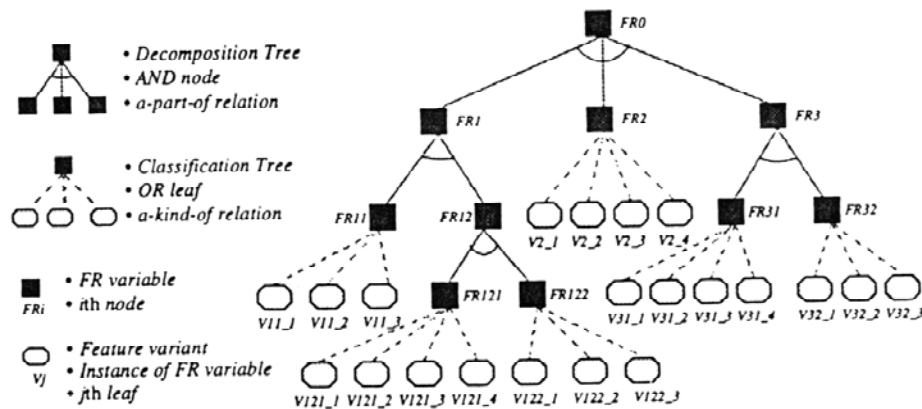


FIG. 4.4 – The and/or tree representation of the functional view of a product family

Par nature, un DCT peut décrire exhaustivement toute différenciation de produits en terme de variété fonctionnelle. Au niveau particulier d'abstraction le long de l'arbre de décomposition un choix de noeuds comprend un vecteur de FRs qui précise les spécifications fonctionnelles d'une famille de produit.

Par exemple les spécifications fonctionnelles d'une famille de produits peut-être:



**4.2.3.2.4 Représentation des modules de conception** La représentation de modules de conception implique à la fois son aspect fonctionnel et structurel. Une matrice  $FR - DP$  est ce qui représente le mieux la correspondance entre un module de conception et les fonctions qu'il peut réaliser. De plus, une relation de type classe d'objet est applicable pour caractériser la différenciation de block de construction semblables qui dérivent soit le type (classe) d'un mapping  $FR - DP$  ou bien les différentes instances d'un mapping particulier.

Par conséquent, une classe block de construction (Building Block BBk) est défini par les  $FR_k$  et  $DP_k$  qui sont impliqués dans le mapping des relations  $(FR_k - DP_k) \Rightarrow BBk = \{FR_k - DP_k\}$ .

Une instance du block de construction  $BB_{k-i}$  est déterminée par une valeur spécifique de  $FR_k$  et/ou  $DP_k$ . C'est à dire  $BB_{k-i} = \{FR_{k-i} - DP_{k-i}\}$  où  $k$  est l'indice d'un block de construction particulier et  $i$  l'indice d'une instance spécifique.

La figure 4.6 représente différentes instances d'un même BBk.

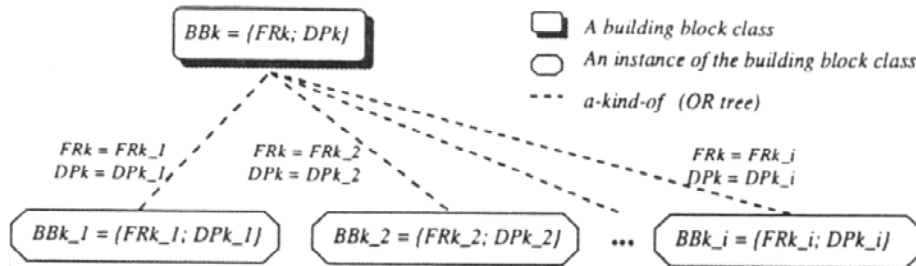


FIG. 4.6 – Representation of a Building block class and its instances

### 4.2.3.3 Modèle Physique :

Dans le modèle physique, la modularité technique est réalisée en terme de structure physique du produit. Les composants et sous-assemblages (CAs) sont déterminés suivant les modules de conceptions identifiés dans le modèle technique. La fabrication, les coûts, les volumes sont pris en compte par une transformation de modularité technique en modularité physique.

La structure de configuration totale d'une famille de produits est aussi formulée, où les variantes de produits peuvent être dérivées de diverse CAs selon la configuration spécifique. Les étapes pour un modèle physique sont :

1. Déterminer les instances physiques des modules de conception selon les capacités des process disponibles.
2. Relever tout les modèles physiques (CAs) capables.
3. Mesurer la performance des modules physiques en fonction du degré de satisfaction.
4. Estimer le coût des modules physique.
5. Evaluation économique des blocks de construction. Le but de l'évaluation économique est de positionner les différents BBk selon leur contribution à

maintenir l'économie d'échelle et à permettre la variété fonctionnelle. Une représentation simple figure 4.7 permet de composer les différents BBk. - la zone : conception économique et grande satisfaction des besoins.

6. Etablir la structure de la configuration de chaque famille de produit. Avec différents modules physiques pour chaque famille de produit, une structure de configuration a besoin d'être établie pour finir la configuration du produit.

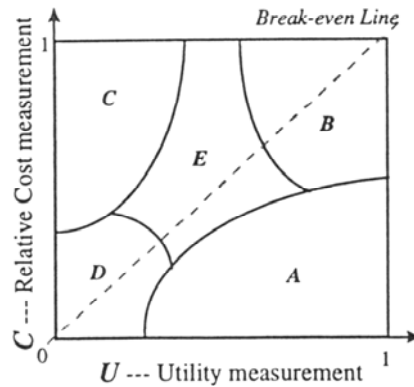


FIG. 4.7 – The C-U plot for building block evaluation

Une structure de configuration pour une famille de produits décrit comment les différentes variantes de produit dérivent de la combinaison des modules physiques et de leurs interconnexions à travers les différents niveaux d'assemblages.

En plus des modules physique et de la hiérarchie d'assemblage, la structure technique modulaire révèle les principes de travail pour guider la configuration du produit final.

Différemment de la hiérarchie de type "bill-of-matériau" (BOM) largement utilisée pour modéliser un produit unique, un graphe nJud-arc polyhiérarchique peut-être utilisé pour décrire la structure de configuration d'une famille de produits. La figure 4.8 montre un tel graphe pour la représentation de la structure de configuration d'une famille de produits. Ceci peut-être considéré comme l'adaptation et l'extension de la structure BOM pour décrire une famille de produits.

Les noeuds représentent les objets et les arcs indiqués les interrelations entre les noeuds. Tandis que les niveaux hiérarchiques sont indiqués aux niveaux d'assemblages physiques des composants jusqu'aux produits finaux, les nombres attachés aux arcs représentent le nombre d'objets nécessaires pour l'assemblages De niveau supérieur. Plus important, une telle structure de configuration décrit la réalisation de la différenciation du produit en terme de structure de produit physique et la production de variété dérive des BBk.

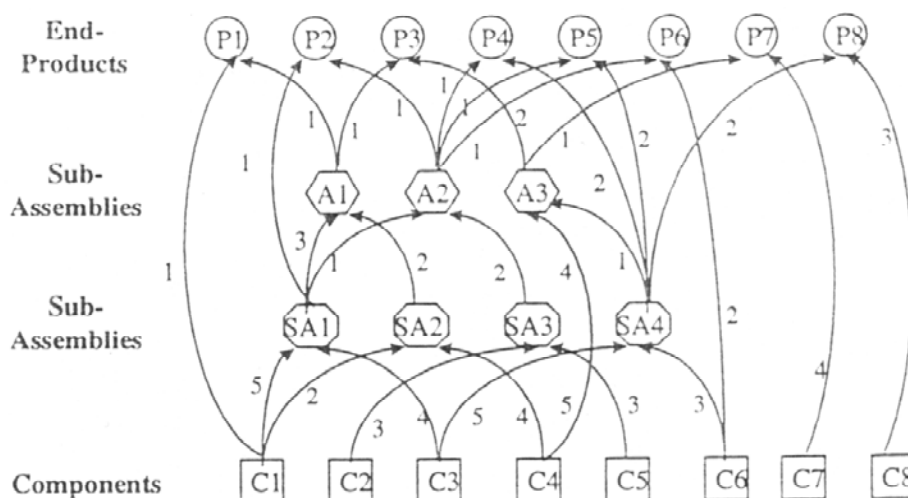


FIG. 4.8 – Graphe noeud-arc polyhiérarchique

### 4.3 Application de l'AP 214 de STEP

#### 4.3.1 Gestion des familles de produits et des options et variantes

Dans [Chambolle, 1999], la gestion de la diversité véhicule est présentée à travers deux modes de gestion de nomenclature de STEP, à savoir :

- la nomenclature explicite : elle permet de définir de façon explicite la structure des produits. Avec cette modélisation, il faut réaliser une nomenclature pour chacune des versions du produit. Cependant dans le cas de l'automobile évoqué par Chambole, la diversité est telle que la combinatoire des solutions rend impossible la représentation de chaque solution de cette manière.
- la nomenclature variationnelle : lorsque la combinatoire des options et variantes pour un produit devient trop importante pour permettre la représentation de toutes les nomenclatures explicites, il est possible de décrire le produit avec des spécifications structurées par catégories. Une spécification peut être utilisée par plusieurs produits. Les cas d'emploi d'une pièce sont alors exprimés au moyen des spécifications. Une pièce pouvant être composée d'autres pièces, il est alors possible de les structurer au moyen d'une structure explicite d'assemblage.

Dans le cas de l'industrie automobile, la diversité étant très importante, il a été choisi d'utiliser la nomenclature variationnelle.

A l'aide des entités 'product class' et 'product class hierarchy' il est possible d'établir des relations entre les produits désignés, de manière à obtenir une structure de hiérarchie de classification (Cf figure 4.9).

Les produits sont caractérisés par des attributs de conception, gestion, personnalisation, descriptifs à l'aide de l'entité 'specification'. Ces caractéristiques

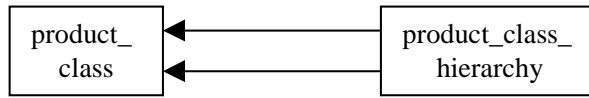


FIG. 4.9 – Décomposition véhicule

sont regroupés par classes ('category'). Par exemple, vitre électrique a pour classe VE et pour attributs 00 pour les véhicules dépourvus de vitre électrique et 01 pour ceux qui en ont. Ces entités sont rattachés avec 'class specification association' et 'class category association' (voir figure 4.10 tirée de [Chambolle, 1999])

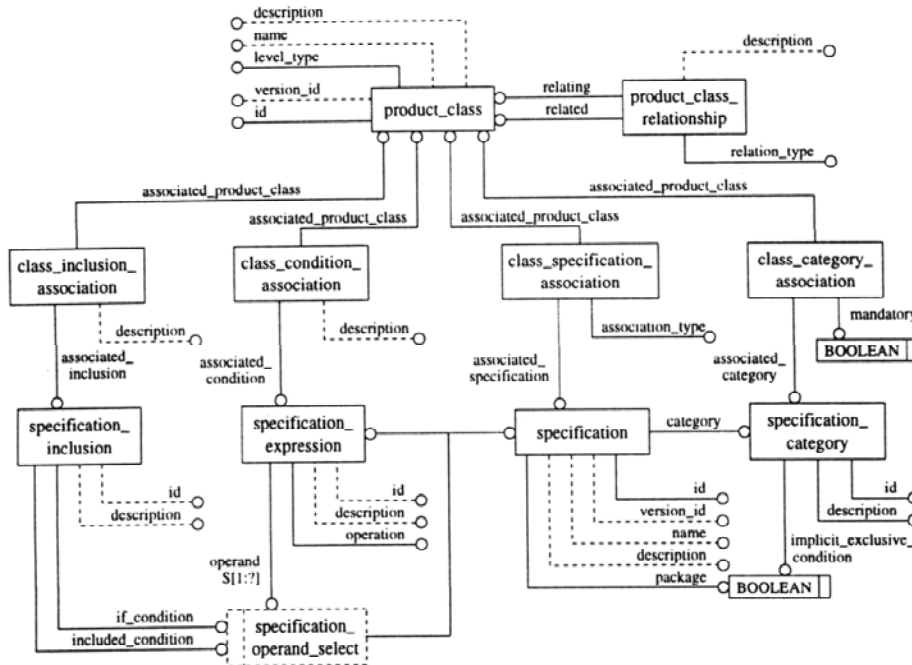


FIG. 4.10 – Gestion des diversités, famille et version de véhicule

Ainsi un produit se compose de quelques attributs de base. Ceci permet d'obtenir un titre étendu du produit sur lequel reposeront les nomenclatures des produits. Il est alors possible de définir des règles d'utilisation de ces classes/attributs. Par exemple une règle peut être : Si Pack électrique alors Vitre électrique et Fermeture centralisée, qui se traduit par :

SI PA01 ALORS (VE01 ET FC01)

Quelques attributs supplémentaires permettent de spécifier des contraintes :

- l'attribut *mandatory* de 'class category association' permet de spécifier si l'utilisation d'une classe est obligatoire (TRUE) ou optionnelle (FALSE),



- l'attribut *association type* de 'class specification association' permet de préciser si l'attribut d'un véhicule est monté en standard et peut être remplacé (non replaceable standard), monté en standard et ne peut pas être remplacé (replaceable standard), disponible (availability), identifiant (identification) ou optionnel (option),
- l'attribut *implicit exclusive condition* de 'specification category' a pour rôle d'autoriser (FALSE) ou non (TRUE) le choix de plusieurs attributs dans une classe.

C'est sur cette partie de modèle que repose toute la gestion des données techniques automobiles concernant les pièces et sous-ensembles composant un véhicule, l'approvisionnement au cours du processus de fabrication.

### 4.3.2 Gestion des versions

La gestion des versions de pièce s'appuie sur la représentation de la figure 4.11.

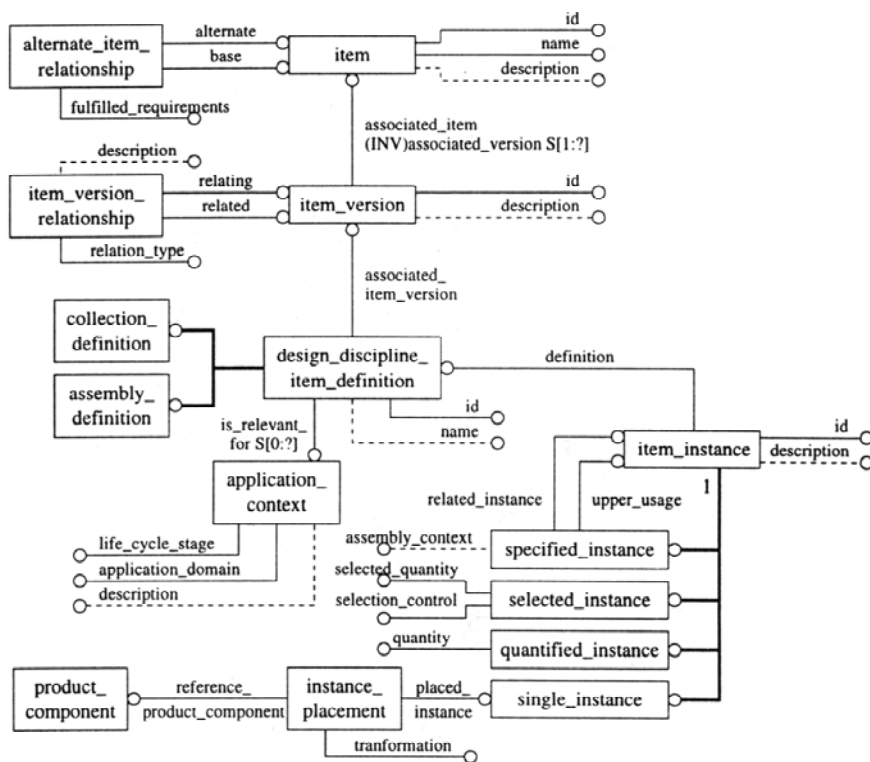


FIG. 4.11 – Gestion des pièces et de leurs instances

C'est à dire que les pièces sont identifiées par un 'item', lequel possède plusieurs versions ('item version'). Pour chacune d'elles, différentes vues sont disponibles ('design discipline item definition') qui dépendent des contextes d'application ('application context').

De plus, l'entité 'alternate item relationship' permet d'identifier les pièces interchangeables, ainsi que les relations qui peuvent exister entre les différentes versions d'une pièce ('item version relationship').

Pour chaque utilisation d'une pièce dans un véhicule, une instance ('item instance') est créée. Ces instances prennent leur définition sur une vue d'une version d'une pièce et peuvent être de types différents :

- les instance simples ('single instance') dont on peut donner le positionnement ('instance placement').
- les instances quantifiées ('quantified instance') qui identifient soit des éléments utilisés plusieurs fois (ex: une vis dans un contexte d'approvisionnement), soit des éléments, dont la quantité ne s'exprime pas en pièce, tels que la graisse, l'huile, le carburant.
- les instances contraintes ('selected instance'): le poids maxi d'une pièce par exemple.

Afin de faciliter l'organisation et la structuration des informations et pièces d'un véhicule, deux découpages sont proposés:

- le découpage dit organique ('product component') qui est une vue structurée du véhicule. Il s'agit d'une structure hiérarchique dont les noeuds sont des organes tels qu'une boîte de vitesse.

Entité 'product structure relationship' (Cf figure 4.12).

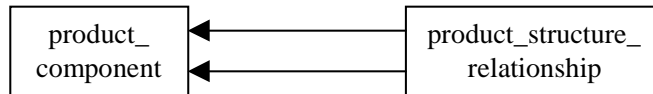


FIG. 4.12 – *Décomposition organique*

- le découpage dit fonctionnel ('product function') qui est une vue fonctionnelle du véhicule. Il s'agit aussi d'une structure hiérarchique mais les noeuds sont ici des fonctions telles que le freinage.

Entité 'product structure relationship' (Cf figure 4.13).

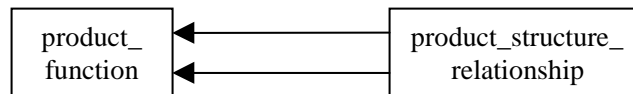


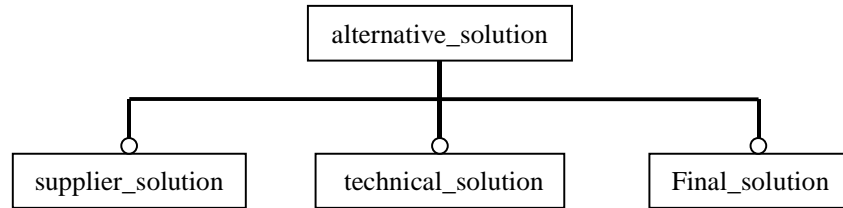
FIG. 4.13 – *Décomposition fonctionnelle*

Il est possible de représenter les relations entre les noeuds de ces deux découpages en utilisant l'entité 'product structure relationship'.

La diversité des solutions peut être structurée à l'aide de 'alternative solution' qui peut être de différents types (Cf figure 4.14) :

- les solutions techniques ('technical solution') qui permettent l'identification de techniques différentes remplissant un même besoin fonctionnel,

- les solutions fournisseur ('supplier solution') qui identifient les solutions par fournisseur (ex projecteur VALEO),
- les solutions dites finales ('final solution'), qui permettent d'identifier les solutions de bases auxquelles des caractéristiques 'sensitives' ont été ajoutées (des pièces colorées par exemple)

FIG. 4.14 – *Différents types de solutions*

## 4.4 Architecture pour familles de produit

Dans [Erens and Verhulst, 1997], les auteurs soutiennent que le développement d'une famille de produit nécessite une architecture de produit dans trois domaines qui prennent en compte : les exigences fonctionnelles, la réalisation technique et la réalisation physique.

Ils proposent une architecture de produit qui sépare les aspects stables et variables de la conception. L'aspect stable est pris en compte pour augmenter le ratio coût/performance, l'aspect variable pour développer dans un but de modularité pour augmenter le ratio coût/variété (modularité/intégration.)

**Modularité** Cette apparente variété est en fait basée sur des modules communs de manière à baisser les efforts de conception et augmenter les économies d'échelle. Des modules spécifiques sont souvent nécessaires pour satisfaire un segment de marché précis. La proportion entre les modules communs et spécifiques doit être choisie judicieusement de manière à maximiser les profits.

**Intégration** Parfois les fabricants sont amenés à intégrer les fonctions dans un nombre minimum de modules de manière à diminuer leurs coûts.

Modularité et intégration peuvent imposer des besoins conflictuels, l'architecture de produit proposée pour résoudre ce conflit basée sur les familles de produit.

### 4.4.1 Modèles produit

Les systèmes, sous-systèmes et composants peuvent être représentés avec différents modèles.

**Modèle fonctionnel** Ce modèle permet de décrire le produit en termes de fonctionnalités. Il dérive des besoins fonctionnels, en permettant une représentation uniforme de l'ensemble des fonctions d'un système.

Les besoins fonctionnels sont décomposés (FAST, SADT,...) indépendamment de la technologie.

**Modèle technologique** Il décrit le produit en principe de solutions et permet une représentation uniforme de l'ensemble des fonctions d'un système.

Permet de représenter la décomposition des modules technologiques les fonctions sont réalisées à l'aide d'une combinaison de modules.

**Modèle physique** Il décrit les réalisations physiques pour le produit en termes de pièces et d'assemblages.

#### 4.4.2 Architecture de Produit

Une architecture de produit :

- Créé un environnement stable où chaque composant peut être développé en parallèle avec des risques managés,
- Permet de remplacer un composant par un autre composant ayant une interface identique, dans le but de satisfaire les besoins des consommateurs. Certains composants n'ont pas de variantes et sont alors communes pour la famille de produit, ces composants sont un facteur relativement stable dans la conception.
- Est généralement plus stable que les composants qui la composent. Ceci peut être utilisé pour créer une nouvelle version d'un produit en remplaçant des composants par une version plus récente.

Il existe des relations entre les différents modèles. Le besoin est décrit dans le domaine fonctionnel les solutions sont pensées dans le domaine technologique et la réalisation finale s'effectuent dans le domaine physique. Les différents domaines doivent coopérer dans le processus de conception et par conséquent les relations entre les modèles produits doivent être maintenues. Les fonctions sont affectées à des modules technologiques qui à leur tour sont affectés à des assemblages physiques

Ce chapitre discute d'une méthodologie de conception dans laquelle l'affectation des relations joue un rôle important. Une chose importante dans cette méthode de conception est qu'une fois que les fonctions sont définies à un niveau donné de la hiérarchie fonctionnelle, elles ne peuvent plus être décomposées indépendamment des domaines technologiques et physiques. Par conséquent une méthode itérative de décomposition et d'affectation entre les domaines fonctionnels et technologiques doit être utilisée pour prendre en compte de nouvelles informations en fonction des principes de solution. Ceci nécessite donc des allers retours pour la décomposition et l'affectation entre les domaines physique et technologique.

#### 4.4.3 Modularité et intégration

Ce sont des critères importants dans le développement de familles de produit. La modularité correspond à la flexibilité et l'interchangeabilité, alors que l'intégration correspond à la stabilité et l'optimisation.

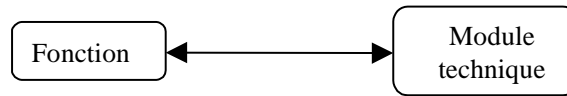


FIG. 4.15 – Cardinalités

cardinalités	description	définition
1 : 1	1 fonction est affectée à 1 module technique	conception modulaire
1 : N	1 fonction peut être réalisée par N modules techniques	conception intégrée avec distribution d'une fonction sur plusieurs modules
N : 1	N fonctions sont réalisées par 1 module technique	conception intégrée avec partage des fonctions
N : M	fonctions distribuées et partagées	intégration

TAB. 4.1 – Cardinalités du lien *Fonction/Module technique*

Regardons le lien fonction/module technique (Cf figure 4.15) dans le cas de la conception modulaire :

Les différentes cardinalités sont données dans le tableau 4.1

Dans les cas 1:N et N:M, il y a ambiguïté, on ne sait pas quel part de la fonction est réalisée avec chaque module technologique, il est alors préférable de transformer en 1:1 ou N:1 à des niveaux plus faibles de la hiérarchie du produit

Les cardinalités 1:1 représentent une conception stable et optimisée.

En ce qui concerne N:1, un grand nombre de fonctions sont réalisées par un petit nombre de modules, les coûts initiaux pour une conception multifonctionnel sont supérieurs aux coûts d'une conception modulaire, mais les coûts opérationnels (fabrications, utilisation) sont relativement faibles.

Les familles de produit ont besoin d'une architectures dans lesquels à la fois modularité et intégration sont pris en compte. La modularité est nécessaire pour offrir une grande variété de produit. L'intégration est nécessaire pour augmenter le ratio coût/performance.

#### 4.4.4 Familles de produit

Les familles de produit permettent d'augmenter la variété commerciale en limitant les efforts de développement, fabrication et entretien. Les familles de produit sont basées sur la technique de réutilisation.

Comme définition d'une famille de produit dans [Erens and Verhulst, 1997] on trouve : «produit avec des interfaces internes (interfaces entre les composants du produit) identiques pour toutes les variantes dans chaque domaine».

Les interfaces doivent donc être standardisées dans chacun des domaines fonctionnel, technique et physique pour permettre un échange total des composants.

Une famille de produit est caractérisée par des relations 1:1 et N:1 entre domaines. Au contraire les relations de type 1:N et N:M disqualifie un produit de famille de produit, la distribution d'une fonction sur différents modules techniques implique que les modules techniques peuvent seulement être choisis ensemble avec d'autres modules techniques.

La variété d'un produit dépend de la variété de ses composants.

Famille de produit 1:1 et N:1 => la diversité dans une famille de produit est plus petite dans les domaines technologiques et physiques (ce qui satisfait le fabricant) que dans le domaine fonctionnel (ce qui satisfait le client).

#### 4.4.5 Structure de produit générique

Beaucoup de produit ne respectent pas strictement la définition de famille de produit, les variantes n'ont pas une interface identique dans les trois domaines. Cependant une large variété de produits peut être réalisée à partir d'un nombre limité de composants.

Il y a des composants qui ne peuvent pas être combinés pour créer de nouvelles variantes de produit, mais seulement avec un nombre limité d'autres composants. Ceci est le cas lorsqu'une fonction variable est distribuée sur différents composants. L'existence de liens 1:N ou N:M nécessite un langage de modélisation de produit spécial => structure de produit générique :

Distingue deux types de produits :

produit générique primitif (PGP)

- composant de produit générique (CPG)

Un PGP :

- ne peut pas être décomposé en produits génériques,
- a une ou plusieurs variantes,
- est à l'origine de la variété.

Un CPG peut être décomposé en PGP's et CPG's. Si un PGP est un module technique, ces variantes seront sélectionnées en utilisant les variantes de fonctions qui sont affectées par ce module.

Une fonction peut être distribuée sur différents modules techniques. Le besoin d'une variante de fonction résulte alors dans la sélection de quelques variantes de module. Si la fonction est distribuée sur les modules M1 et M2 alors la variante de module M1.1 devra être utilisée avec la variante de module M2.2.

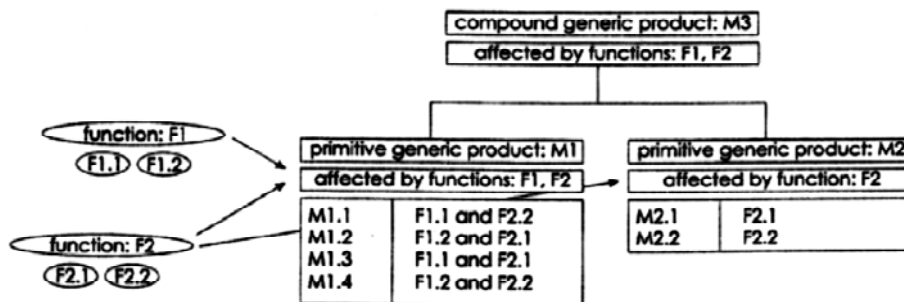


FIG. 4.16 - Example of generic products

#### 4.4.6 Conclusion

Cet article décrit l'utilisation de familles de produit pour permettre une large variété commerciale avec des efforts de développement et fabrication limités.

1. Une architecture de produit est essentielle pour séparer les parties stables et variables d'une conception. Les aspects stables créent une structure dans laquelle la variété du produit peut être développée.
2. Les standardisations des interfaces dans un domaine augmentent la possibilité de combinaisons de composants pour avoir une large variété dans ce domaine.
3. La standardisation des interfaces dans trois domaines et par conséquent l'existence de relation N:1 réduit le nombre de modules techniques et d'assemblages physiques nécessaires pour créer la variété commerciale dans le domaine physique.
4. L'architecture d'une famille de produit est découplée de l'architecture de ces composants.
5. Le concept de structure de produit générique dérivé de famille de produit permet de décrire une large variété de produits.

### 4.5 Modèle Produit Générique

On peut noter dans [O'Donnell et al., 1996] une méthodologie de structuration de produit. Dans le but d'aider les concepteurs à gérer le processus de définition de configuration d'un nouveau produit.

Premièrement, le processus de configuration doit être itératif et doit permettre un changement de décision.

Deuxièmement, l'information du produit doit être gérable c'est à dire les composants, relations et autres données produit doivent être organisés de manière à permettre un accès et une manipulation facile.

Troisièmement, la configuration des solutions doit être uniforme, c'est à dire le travail de gestion de configuration est de maintenir cette uniformité entre les décisions et les éléments sélectionnés.

#### 4.5.1 Modélisation des connaissances de structure produit

Le but principal de l'utilisation du système est de produire un "Product Breakdown Structure" (PBS) pour un nouveau produit qui est une combinaison d'éléments sélectionnés parmi une série de décisions de conception.

Les éléments d'une "breakdown structure" peuvent être spécifiques ou abstraits. Les éléments abstraits peuvent être désignés plus tard par un module ou un sous-système une fois qu'il sera prêt à être désigné.

##### 4.5.1.1 Arbres de classification de famille de produit :

Une étendue de produits peut être rangée dans un arbre de classification de famille de produit (PFCT : Product Family Classification Tree) qui est un

arbre qui représente une classe de produits et ces modules.

- Chaque noeud de l'arbre représente un produit ou une classe de modules avec ces composants.
- Les relations entre deux classes sont des types : une sorte de ("a kind of"). Chaque classe d'entité à son propre PFCT. L'association d'une "break-down structure" abstraite avec un noeud du PFCT distingue ce type d'arbre des autres familles d'arbres.

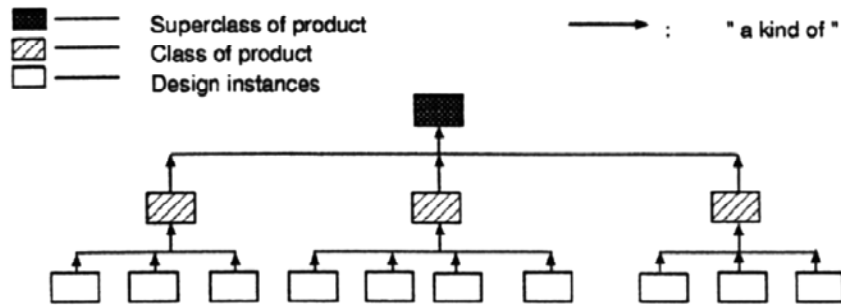


FIG. 4.17 - Product Family Classification Tree (PFCT)

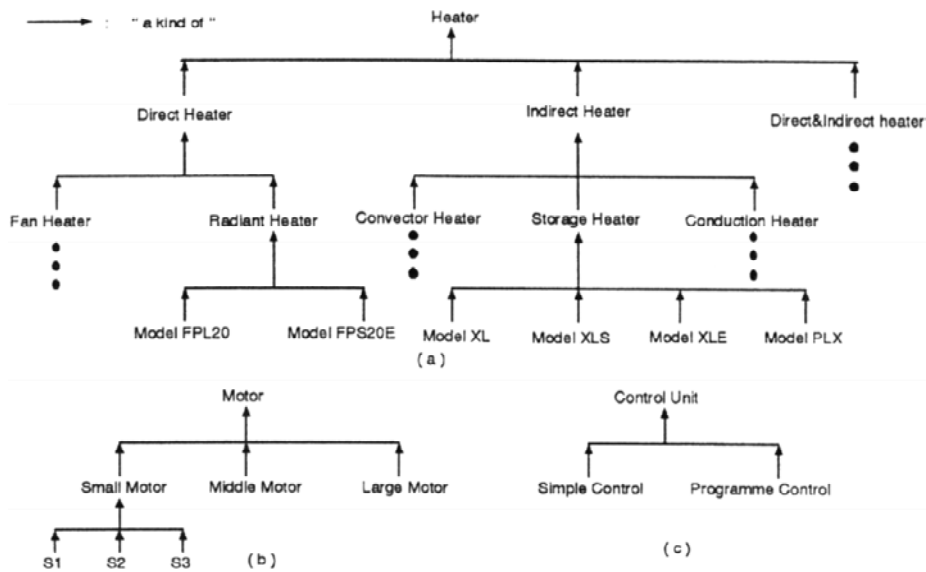


FIG. 4.18 - Heater PFCT

#### 4.5.1.2 Connaissance de contraintes de conception :

Il y a deux types de contraintes :

- L'une représente les dépendances le long du PFCT.



- L'autre représente un ensemble de limitation des combinaisons possibles pour les sous systèmes, composants, éléments : Exemple de dépendance logique entre les arbres des familles Heater et Motor.  
IF Direct Heater or Indirect Heater is chosen.  
THEN Small Motor will be chosen for its Motors part.  
On peut utiliser les relations AND, OR et NOT pour réduire l'ensemble des possibles

#### 4.5.1.3 PBS

Le PBS représente une liste d'éléments dans une structure hiérarchique (Cf figure 4.19).

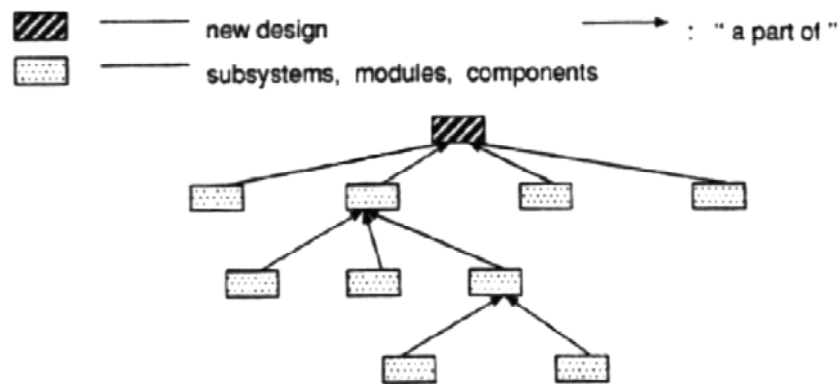


FIG. 4.19 – *Product Breakdown Structure (PBS)*

Il faut noter la différence de signification des liens "a part of" différent "a kind of". Tous les attributs, caractéristiques et propriétés des éléments sélectionnés sont enregistrées dans la liste des éléments.

Le PBS est représenté par un arbre hiérarchique "ET".

#### 4.5.2 Méthodologie de description

Le but est de définir un modèle de représentation de structure de produits variés pour un produit existant. Quatre étapes :

1. Créer le PFCT : Regrouper les produits en catégories, le PFCT représente l'étendue et la variété des produits.
2. Réaliser les PBS : Le but est d'analyser la structure de chaque produit.
3. Comparer les PBS : Identifier la variété, approche modulaire, matrice de comparaison.
4. Créer un modèle de produit générique. :

## Chapitre 5

# Conclusion

### 5.1 Consensus

A travers l'étude des articles cités, il apparaît un certain nombre de consensus sur les points suivants :

1. Points de vue : Sur la notion de point de vue, il semble que les auteurs s'accordent sur le fait de la nécessité de proposer une approche multi points de vue. Que ce soit pour simplifier la représentation pour chaque acteur, ou par complémentarité des informations.
2. Structuration : Dans les différents travaux présentés, il est apparu que la structuration des données soit mieux gérée par les liens. Les liens sont porteurs d'une sémantique.
3. Sémantique associée aux liens : Quelques soient les travaux sur la structuration des données présentés ici, les liens sont toujours porteurs d'une sémantique, c'est au niveau de cette sémantique que repose toute l'information de structuration. Il faut noter les exemples de sémantique suivants : "a part of", "a kind of", OR, composition, spécialisation et appartenance qui sont apparus assez souvent et à travers différents travaux. Certaines modélisations proposent de faire porter aux liens les informations nécessaires au work-flow, [AP203, ] en est le meilleur exemple.
4. Familles de produit : De manière à modéliser les produits à forte diversité, les différents travaux ont proposés de regrouper les produits en fonction de leurs points communs, qui peuvent apparaître dans plusieurs vues et dépendre de critères assez différents. Après cette étape de comparaison, les produits sont rangés dans des « familles » qui permettent de partager certaines caractéristiques. Principalement deux méthodes de représentations des familles ont été utilisées, les arbres "OU" qui proposent une architecture de type explicite, et une modélisation de type Objet en s'appuyant sur le concept d'héritage.

Le concept de familles de produit qui permet de :

- représenter une grande variété de produits à partir d'un ensemble restreint de modules,

- limiter les coûts de développement et fabrication par réutilisation d'éléments communs à tout un ensemble de produit.

Une famille de produit identifie les points communs et les différences entre les produits individuels qui forment une gamme de produits.

5. Modélisation : Une dissociation semble nécessaire entre la représentation du contenu et celle du contenant [Tollenaere, 1999], [AP203, ].
  - le contenu représente la définition du produit qui est en général représentée sous forme objet ou tout du moins encapsulé par l'application à l'origine des données,
  - le contenant gère la structure du produit ainsi que les propriétés de type workflow. Il semble être plus efficacement représenté par les liens.
6. Liens inter points de vue : Il est possible et nécessaire (?) de créer des liens entre les différentes vues, que ce soit au niveau des noeuds [Harani, 1997], [AP203, ] ou au niveau des liens inter points de vue [Sellini, 1999], on parle alors de connecteurs. Les connecteurs permettent de limiter le nombre de combinaisons et d'éviter les incompatibilités. Certains outils ont été proposés pour vérifier la cohérence des connecteurs et proposer des simplifications, qui peuvent être utiles en cas de modifications du modèle.

## 5.2 Proposition

Il est de plus en plus difficile de modéliser les informations relatives à un produit complexe. Ceci est dû non seulement à la quantité d'informations mais surtout à la complexité de ces informations à travers leur nature, leur provenance, leurs différentes interactions et liaisons avec d'autres informations, etc. ainsi, les modèles de représentation des données classiques tels que entité-association deviennent difficilement lisibles et donc exploitable plus l'information est nombreuse.

L'état de l'art sur le domaine montre qu'une modélisation de type famille de produit est la mieux adaptée à la représentation des variantes de produits. Il reste cependant à définir une modélisation pour ces familles de produit?

Cette modélisation doit permettre :

- un accès par différents points de vue qu'il reste à définir. Au minimum les points de vue structurel et fonctionnel semblent néanmoins nécessaires,
- de gérer les différentes versions qui interviennent au cours du cycle de vie,
- de gérer les informations de type work-flow

Une sémantique associée aux liens devra être étudiée.

# Bibliographie

- [Agard, 1995] B. Agard (1995). Développement d'un logiciel de gestion des options et variantes pour des capteurs de température sous Dbase 5. Rapport de stage DUT, IUT de Bourges.
- [AP203, ] AP203. Conception de pièces et d'assemblages mécaniques 3D gérés en configuration. partie 2. Description des structures de données. Norme STEP - AP 203.
- [Arbouy et al., 1994] S. Arbouy, A. Bezos, A.F. Cutting-Decelle, P. Diakonoff, P. Germain-Lacour, J.P. Letouzey, and C. Veil (1994). *STEP Concepts Fondamentaux*. AFNOR. ISBN 2-12-486912-4.
- [Benzaken and Doucet, 1993] V. Benzaken and A. Doucet (1993). *Bases de Données Orientées Objet: Origines et Principes*. Armand Colin.
- [Browne et al., 1994] J. Browne, J. Haiken, and J. Shivnan (1994). *Les Systèmes de Production Dans un Environnement CIM*. AFNOR.
- [Cabut, 1997a] C. Cabut (1997a). Conception modulaire de faisceaux électriques. Projet de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel.
- [Cabut, 1997b] C. Cabut (1997b). Simulation du flux logistique global et de l'assemblage final de faisceaux électriques modulaire - outils méthodologiques d'aide à la conception. Mémoire de DEA en génie industriel, Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel.
- [Chambolle, 1998] F. Chambolle (1998). *Conception de Produits Mécaniques*, chapter Chap 18: Normes et échange de données: le standard STEP, pages 435–454. Hermès. Sous la Direction de M. Tollénac.
- [Chambolle, 1999] F. Chambolle (1999). *Un Modèle Produit Piloté Par Les Processus D'élaboration: Application Au Secteur Automobile Dans L'environnement STEP*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [Cialvaldini and Loubet, 1995] B. Cialvaldini and J.L. Loubet (1995). La diversité dans l'industrie automobile française: Hésitations et enjeux. Regards croisés de l'historien et du gestionnaire. *Annales des mines*, 41:4–19.
- [Erens and Verhulst, 1997] F. Erens and K. Verhulst (1997). Architectures for product families. *Computers in Industry*, 33:165–178.
- [Fouque, 1999] T. Fouque (1999). A la recherche des produits flexibles. *Revue Française de Gestion*, pages 80–87.

- [Fraenkel, 1995] B. Fraenkel (1995). *La Traçabilité, Une Fonction Caractéristique Des Écrits Au Travail.*, volume n° 65, pages 63–75. Connexion.
- [Girard, 1998] N. Girard (1998). Développer la structuration d’une offre nouvelle en s’appuyant sur une démarche interne s’intégrant dans le processus industriel de traitement de la commande. Rapport de stage ingénieur adjoint, Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel.
- [Guffond et al., 1998] J.L. Guffond, G. Leconte, F. Bounnaas, and A. Culet (1998). *Coopération et Échange de Données Inter-Métier , Le Dossier Unique Actualisé*, volume n°95 of *Plan Construction et Architecture*. Recherches.
- [Harani, 1997] Y. Harani (1997). *Une Approche Multi Modèles Pour la Capitalisation Des Connaissances Dans Le Domaine de la Conception*. Thèse de doctorat en génie industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- [Jiao and Tseng, 1999] J. Jiao and M. Tseng (1999). A methodology of developing product family architecture for mass customization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10:3–20.
- [Lefebvre, 1998] B. Lefebvre (1998). *La Transformation Des Cultures Techniques, Merlin Gerin 1920/1996*. L’Harmattan. Collection « Logiques Sociales ».
- [Männistö et al., 1998] T. Männistö, H. Peltonen, A. Martio, and R. Sulonen (1998). Modelling generic product structures in STEP. *Computer-Aided Design*, 30(14):1111–1118.
- [Manson, 1997] Nicolas Manson (1997). *Système de Gestion de Bases de Données Orientés Objet*. Hermes.
- [Maurino, 1994] M. Maurino (1994). *La Gestion Des Données Techniques, Technologie Du Concurrent Engineering*. Masson. Collection « Organisation industrielle ».
- [Mayer, 1997] Ralph Mayer (1997). How do MRP/ERP & PDM co-exist? *PDM Information Center*, page <http://www.pdmic.com>.
- [McMahon and Browne, 1998] C. McMahon and J. Browne (1998). *CAD CAM 2<sup>nd</sup> Edition. Principles, Practice and Manufacturing Management*. Addison-Wesley. ISBN 0-201-17819-2.
- [Moison, 1997] J.C. Moison (1997). *Du mode d’existence des outils de gestion - Les instruments à l’épreuve de l’organisation*. Editions Seli Arslan, Paris.
- [O’Donnell et al., 1996] F.J. O’Donnell, K.J. MacCallum, T.D. Hogg, and B. Yu (1996). Product structuring in a small manufacturing enterprise. *Computers in Industry*, 31:281–292.
- [PDMIC, ] PDMIC. Understanding product data management. *PDM Information Center*, page <http://www.pdmic.com>.
- [Randoing, 1995] J.M. Randoing (1995). *Les SGDT*. Techniques de l’information. Hermes. ISBN 2-86601-489-8.

- [Rezgui et al., 1995] Y. Rezgui, A. Brown, G. Cooper, G. Aouad, J. Kirkham, and P. Brandon (1995). An integrated framework for evolving construction models. page <http://salford.ac.uk/iti/projects/commit/papers/ifecm/ifecm.html>.
- [Ruiz, 1997] R. Ruiz (1997). *Système de Gestion de Bases de Données Orientés Objet*. Hermes. Collection «Synthèses informatiques du CNAM».
- [Sellini, 1999] F. Sellini (1999). *Contribution à la Représentation et à la Vérification de Modèles de Connaissances Produit en Ingénierie D'ensembles Mécaniques*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [Tarondeau, 1998] J.-C. Tarondeau (1998). *Stratégie Industrielle*. Vuibert. Collection Gestion.
- [Tiger and Weil, 1996] H. Tiger and B. Weil (1996). *Conception Partagée: Vers Quel Partage de la Conception*, pages 2–8. La lettre du CRIN bureau d'étude du futur n° 1.
- [Tollenaere, 1998] M. Tollenaere (1998). *Conception de Produits Mécaniques*, chapter Chap 17: Modélisation de données. Gestion des données techniques, pages 413–434. Hermes. Sous la Direction de M. Tollenaere.
- [Tollenaere, 1999] M. Tollenaere (1999). Internet, intranet, SGDT : couvertures fonctionnelles et complémentarités. pages 1–15. PRIMECA. IFMA, le 10 Juin.
- [Vercelli, 1999] B. Vercelli (1999). Evaluation des performances d'une mise en ligne pour la fabrication de faisceaux électriques. Mémoire de DEA en génie industriel, Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel.