



**Ecole Doctorale Organisation Industrielle
et Systèmes de Production**
Formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble
Institut National Polytechnique de Grenoble

Thèse en Génie Industriel

***Contribution à une méthodologie de conception
de produits à forte diversité***

par Bruno AGARD

Résumé de thèse

Laboratoire Gestion Industrielle, Logistique et COncception

Institut de la Production et des Organisations Industrielles de Grenoble

Institut National Polytechnique de Grenoble

Université Joseph Fourier

Université Pierre Mendès-France

Université de Savoie

n° 38 – 08 juillet 2002



Bruno AGARD est né le 5 juillet 1974 à Vierzon. Il est titulaire d'un Diplôme Universitaire de Technologie de Génie Mécanique et Productique, d'une Licence et d'une Maîtrise de Technologie Mécanique. Il intègre l'Ecole Normale Supérieure de Cachan en 1997 où il obtient une Agrégation de Génie Mécanique en 1998. En 1999, il a obtenu son DEA en Génie Industriel à l'INP de Grenoble. Il a ensuite préparé son doctorat au sein du laboratoire GILCO (Gestion Industriel, Logistique et COncption), en bénéficiant d'une Allocation Moniteur Normalien et en effectuant son monitorat à l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel.

Thèse soutenue le 8 juillet 2002

Directeur de thèse :

Michel TOLLENAERE Professeur à l'ENSGI-INP Grenoble

Jury :

Michel ALDANONDO	Professeur à l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux	Rapporteur
Alain BERNARD	Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes	Rapporteur
David CAVARO	Ingénieur process et logistique à VALEO	
Andrew KUSIAK	Professeur à l'Université de l'Iowa (USA)	
Mounib MEKHILEF	Maître de conférences HDR à l'Ecole Centrale Paris	
Bernard PENZ	Maître de conférences HDR à l'ENSGI-INPG	

Le mémoire de thèse et les publications de **Bruno AGARD** sont disponibles auprès de :

Madame Christiane PIED
Formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble
ENSGI - INPG
46 avenue Félix Viallet
38000 - GRENOBLE

Tél. 04 76 57 48 32 - Télécopie 04 76 57 43 17 - E-mail : dea@ensgi.inpg.fr

Contribution à une méthodologie de conception de produits à forte diversité

par Bruno AGARD

Ce travail de thèse porte sur la conception de produits en contexte de forte diversité. Le mémoire de thèse est divisé en 5 chapitres. Au cours du premier chapitre, l'intérêt porte tout d'abord sur l'origine de la diversité des produits, afin d'identifier la genèse de la diversité des produits mis sur le marché et pourquoi on observe une diversité croissante. Ce chapitre pointe ensuite sur l'existence d'une diversité optimale, enfin il considère trois cas d'études industriels. Le second chapitre s'intéresse à la représentation des familles de produits dans un contexte de forte diversité, en considérant dans un premier temps la structuration des données techniques, puis les différents types de liens existants, les modèles génériques, enfin un intérêt particulier sera donné à la norme STEP. Le troisième chapitre présente différentes propositions pour la réalisation des produits à forte diversité. En premier lieu sont présentées des méthodologies de conception, ensuite des outils pour la différenciation retardée. Le quatrième chapitre fait la synthèse de la littérature vis à vis de la diversité en montrant comment se situe l'ensemble des travaux dans la chaîne globale de réalisation de produits à forte diversité. Trois types de diversité sont différenciés, les liens qui les unissent sont décrits puis une démarche de conception de produits à forte diversité est proposée. Afin d'aider à l'acquisition des données nécessaires à la conception, les outils de *Data Mining* sont introduits. Le cinquième chapitre met en œuvre nos propositions sur un cas industriel réel dans un contexte client -- fournisseur où le fournisseur doit livrer en synchrone à son donneur d'ordres un produit à diversité totale, c'est à dire ne contenant aucun élément non nécessaire. Enfin, en conclusion, nous dégageons les perspectives de recherches ouvertes sur ce thème.

Le présent document est une synthèse de ces travaux et suit le plan suivant :

- I. Positionnement du sujet
- II. Problématique
- III. Démarche de recherche
- IV. Résultats
- V. Conclusions et perspectives

I- Positionnement du sujet

Dans un marché concurrentiel, les fabricants sont amenés à répondre à des besoins fonctionnels variés par des réponses individuelles, de manière à diversifier et élargir leur clientèle et se réserver des parts de marché. Il en est advenu un marché de plus en plus segmenté dans lequel les fabricants se doivent d'innover et d'adapter chaque produit aux besoins spécifiques de chaque client [Tarondeau, 1998].

Les fabricants sont donc conduits à fournir une grande quantité de produits tous différents pour satisfaire un ensemble de besoins clients. Pour le fabricant, cette diversité commerciale doit être maîtrisée pour ne pas mener à une augmentation des coûts dans toutes les activités de l'entreprise [MacDuffie *et al.*, 1996], de la conception à la production [Ben Aissa, 2000], en passant par le service commercial et le soutien logistique. Nécessairement, la diversité commerciale ne peut être supportée durablement que si elle s'appuie sur une faible diversité technique, qui garantit des coûts de développement et de gestion acceptables [Child *et al.*, 1991].

Les industriels sont confrontés à un dilemme : la diversité ou les économies d'échelles [Kekre *et al.*, 1990]. Pour répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur, il est possible soit de faire des produits sur-mesure, ce qui augmente les coûts et se répercute sur les prix de vente, soit au contraire de standardiser la production pour profiter des économies d'échelles (effets d'apprentissage, coûts fixes diminuant, ...). En revanche, l'accroissement de la standardisation augmente les coûts enveloppe, c'est à dire qu'il existera alors dans les produits finaux des fonctions qui resteront non utilisées.

Un compromis judicieux doit être recherché entre la standardisation des produits et processus, pour diminuer les coûts de fabrication, et la fabrication sur mesure (à la commande), pour satisfaire individuellement chaque demande.

Une solution apportée par les industriels est d'utiliser des familles de produits qui permettent un certain degré de standardisation, et laissent encore de la flexibilité aux produits pour pouvoir s'adapter à différents usages [Gonzalez-Zugasti *et al.*, 2000]. Ces familles de produits se déclinent ensuite par une combinaison d'options et variantes choisies en partie par le client final de manière à créer un produit personnalisé selon les besoins et désirs de chacun.

La philosophie actuelle étant de remplacer les anciens produits par de nouvelles versions, soit d'un produit amélioré soit d'une nouvelle variété du produit, la différenciation des produits est d'une importance croissante en marketing. La compétition n'est plus seulement sur le prix mais aussi sur la variété et la vitesse de mise sur le marché. Les consommateurs demandent à la fois une haute qualité, des prix bas et des produits personnalisés, régulièrement actualisés par les progrès techniques. Lors de la conception du produit, il s'avère donc nécessaire de modéliser les interactions entre la diversité commerciale et la diversité technique.

La gestion de la diversité des produits est un point important qui se trouve à l'interaction de plusieurs secteurs dans une même entreprise :

- une grande diversité du produit fini est souhaitée par le service commercial qui vise la satisfaction du consommateur,
- une faible diversité est souhaitée par les services achats pour les produits stockés afin de profiter d'économies d'échelle et de pouvoir plus facilement mettre en concurrence un ensemble de fournisseurs,
- une faible diversité ou une standardisation est souhaitée par les services de gestion de manière à diminuer le nombre de références traitées,
- en conception on préfère raisonner en terme de familles de produits, pour réutiliser les conceptions précédentes et réduire ainsi le nombre de simulations et d'informations de conception à maintenir.
- enfin, au niveau de la production, on désire réduire la diversité process et les changements de production, à l'origine de coûteuses surcapacités de production.

II- Problématique

Dans un contexte de conception de produits, ce travail porte sur la réalisation d'une grande diversité de produits à moindre coût. Pour cela, notre contribution tente de répondre aux deux questions suivantes :

- Quelle diversité proposer ?
- Comment gérer cette diversité ?

Une étude de l'existant dans le domaine a dégagé les différentes propositions faites en matière de modélisation et de réalisation des familles de produits. Cette étude a permis de constater : premièrement l'impact de la modélisation des familles de produits sur la diversité du fait qu'elle structure la définition même des familles de produits ; deuxièmement l'existence d'un certain nombre d'outils, soit au niveau du produit, soit au niveau du process, qui permettent la réalisation de familles de produits ; finalement, le manque actuel de démarche globale dans l'approche et la résolution des problèmes de conception de produits à forte diversité.

III- Démarche de recherche

La démarche méthodologique suivie a été la suivante (représentée figure 1) :

1. Observation et analyse d'une problématique industrielle centrée sur la maîtrise de la diversité à partir de trois cas industriels.
2. Généralisation de la problématique industrielle à la maîtrise de la diversité des produits.
3. Analyse bibliographique pour résoudre le problème général. Nous en avons tiré des modélisations, des outils et des méthodologies.
4. Il en est ressorti quelques manques que nous avons tenté de combler en partie, en proposant tout d'abord une distinction des types de diversité produit. Cette taxinomie permet de situer les outils de la littérature, puis de proposer une méthodologie globale originale visant à résoudre le problème de réalisation de produits à forte diversité.
5. Application de la méthodologie proposée sur un des cas d'étude desquels la problématique a été extraite.

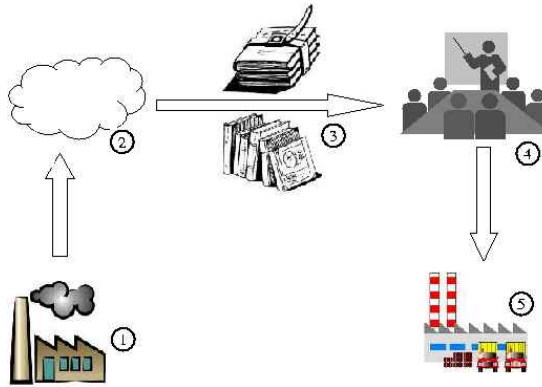


Figure 1 - *Démarche méthodologique.*

Ce travail a été validé sur l'exemple industriel des faisceaux électriques automobiles à l'aide d'un algorithme, visant à retarder le point de différenciation d'un produit à forte diversité pour lequel on souhaite pouvoir fournir individuellement chaque option et variante en minimisant le coût de gestion des références, le tout devant être assemblé sous contrainte d'un temps maximal fixé par avance.

Pour cela, deux types de découpage modulaire ont été mis en œuvre :

- Un découpage structurel qui s'appuie sur la structure physique du faisceau, c'est à dire au niveau des composants (fils, connecteurs, ...),
- Un découpage fonctionnel qui recherche parmi les fonctions du faisceau celles qui peuvent être préassemblées dans un module.

IV- Résultats

Notre contribution porte sur la proposition d'un modèle servant de support à une méthodologie globale de conception de produits à forte diversité. L'apport essentiel de notre travail réside donc plus précisément :

- d'une part, dans une séparation entre les différents types de diversité nécessaires à la description du cycle de mise sur le marché d'une famille de produits ;
- d'autre part dans la déclinaison d'un type de diversité à l'autre en s'appuyant sur les outils disponibles actuellement dans la littérature ;
- et enfin dans la proposition d'une démarche de conception produit/process dans le cas de la conception de produits à forte diversité.

Ce travail de thèse est complété par la proposition d'un outil d'aide à la décision pour la conception de faisceaux électriques automobiles. En effet, nos travaux ne se sont pas limités à une définition conceptuelle de la gestion de la diversité, mais un outil-prototype a été développé pour concevoir des modules industriels permettant d'assurer une diversité fonctionnelle totale des produits finis dans lesquels ils sont assemblés, en s'appuyant à la fois sur la description du produit et du process. Un compromis est recherché entre le nombre de modules industriels à réaliser et les coûts de production permettant l'assemblage final des produits sous une contrainte de temps. Cet outil veut répondre au besoin des concepteurs qui est celui de vouloir optimiser la conception des faisceaux électrique sur toute la chaîne allant de la conception à la livraison synchrone chez le client donneur d'ordres.

Notre contribution est récapitulée de manière schématique par la figure 2. Cette figure montre tout d'abord les trois niveaux de diversité qui ont été considérés (diversité fonctionnelle, diversité technique et diversité process). Elle montre ensuite l'existence d'outils et méthodologies de conception de produits et de process permettant le passage de la diversité fonctionnelle à la diversité technique ainsi que le passage de la diversité technique à la diversité process. Cette figure souligne enfin l'absence d'outils et de méthodes globales de conception produit/process prenant en compte les trois types de diversité. C'est ici que se trouve notre apport principal qui s'appuie sur un cas industriel réel dans le domaine des faisceaux électriques, à partir duquel la problématique de ce travail de recherche a été identifiée.

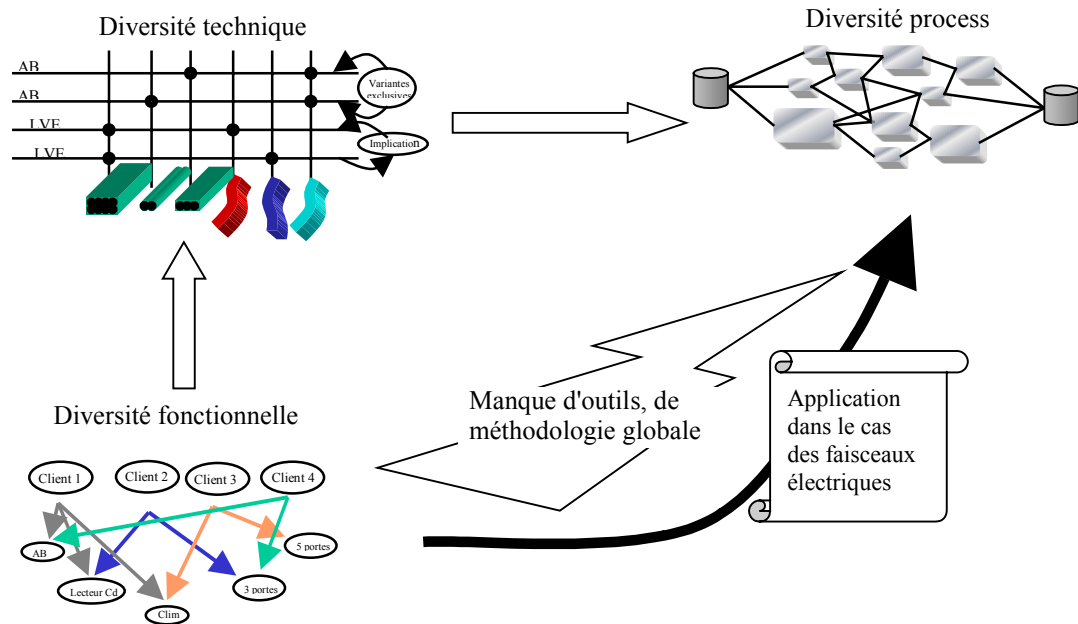


Figure 2 - Représentation globale du problème de la diversité.

IV.1- Contexte

Dans un marché concurrentiel où les capacités de production sont supérieures à la demande, les fabricants se doivent, soit de recentrer leur activité sur une fonction stratégique afin de diminuer leurs coûts et devenir plus compétitifs, soit de diversifier leur production pour embrasser un ensemble plus large de besoins et être ainsi au plus proche des désirs des clients [MacDuffie, 1996].

Nous nous plaçons dans le cas où la seconde option a été choisie. Dans cette perspective, nous considérerons qu'il existe un ensemble de besoins différents à satisfaire. Pour satisfaire des besoins diversifiés, différentes solutions sont disponibles. Un extrême étant la standardisation, qui rend possible la satisfaction d'un ensemble de besoins avec un produit unique par exemple en électroménager ou dans le domaine du logiciel. Un autre extrême consiste en la fabrication sur mesure visant à la satisfaction stricte de chaque besoin, c'est le cas des barrages par exemple.

La majorité des produits industriels se situe à un stade intermédiaire entre ces deux solutions et possède des éléments standards et des éléments personnalisés assemblés de manière plus ou moins personnalisée. Les solutions intermédiaires peuvent utiliser la conception modulaire [Kusiak, 2000] et/ou la différenciation retardée [Lee et Tang, 1997]. Le contexte dans lequel nous nous situons consiste en une production de masse de produits à forte diversité. Plus précisément, nous nous intéressons au cas où un produit est réalisé à partir de l'assemblage d'un grand nombre de composants.

Parmi les composants à assembler une certaine quantité peut être facultative (les options), une autre obligatoire, mais peut posséder des caractéristiques variables (les variantes).

En s'intéressant aux caractéristiques des produits à la sortie du système de production, assemblés à partir d'un ensemble (limité) de composants sélectionnés ou non et avec des paramètres variables, il apparaît qu'il est alors possible de réaliser une grande diversité de produits différents due à la combinatoire engendrée. A partir de n composants différents, on est capable théoriquement de produire $2^n - 1$ produits différents. Cette valeur théorique n'est en fait jamais atteinte, car il existe de nombreuses contraintes de natures différentes entre les composants. Cependant la diversité potentielle réalisable est déjà immense en comparaison de la production effectivement réalisée (liée à la fois aux cadences de production et à la demande). Ainsi, bien que produits en masse, la production réelle ne représente qu'une faible consommation réelle de chaque possibilité. On parle alors de production quasi-unitaire.

Pour faire face à une diversité client qui augmente, les constructeurs cherchent à standardiser leurs produits et process en interne. Ceci leur permet de rationaliser leur production et d'optimiser soit les produits, soit les processus, parfois les deux, et de profiter ainsi d'une meilleure productivité garante des coûts de production. Pour cela, ils cherchent à repousser le plus loin possible le point à partir duquel chaque produit acquiert sa propre identité [Zinn, 1990], ce qui est connu dans la littérature sous l'appellation "différenciation retardée".

Cependant les outils et méthodes proposés dans la littérature ne nous ont pas semblé remplir totalement ce pour quoi nous les attendions. Il en va ainsi tout d'abord de l'existence de différents types de diversité qui apparaissent souvent mélangés et que nous tenterons de mettre en relief. En revanche, la littérature fournit de nombreux outils permettant le passage plus ou moins structuré d'un type de diversité à l'autre. Ces outils se présentent sous forme de méthodologies de conception ou d'indicateurs.

IV.2- Différents niveaux de diversité

Partant de l'idée de la classification de la diversité des produits selon différents niveaux proposée par Ciavaldini et Loubet (1995), en nous plaçant au niveau de la conception des produits et des process, nous avons été amenés à considérer les trois types de diversité suivants :

- la diversité fonctionnelle,
- la diversité technique,
- la diversité process.

Nous allons décrire ces différents types de diversité afin de voir quels en sont les paramètres et comment ils évoluent.

IV.2.1- La diversité fonctionnelle

La diversité fonctionnelle provient de l'ensemble des besoins à satisfaire pour acquérir des parts de marché sur la concurrence. Elle est liée à la diversité commerciale offerte aux clients. La diversité fonctionnelle dépend des situations de vie, des usages, elle contient des interdépendances et des contraintes.

Il s'agit du type de diversité le plus apparent pour le client, car c'est au niveau des fonctions qu'il choisira le plus souvent, ce qu'il souhaite ou ne souhaite pas et avec quelles caractéristiques (figure 3).

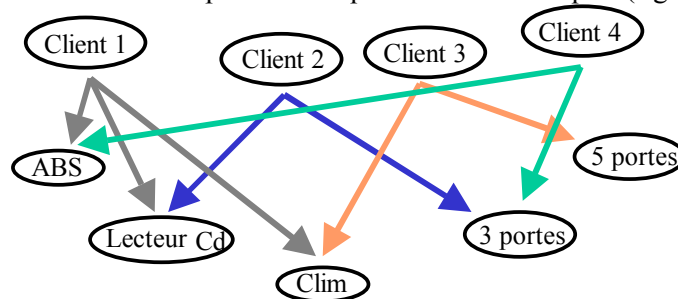


Figure 3 - Diversité fonctionnelle.

S'agissant d'aspects commerciaux, les départements Produits, Marketing et Style y sont très impliqués afin de répondre aux goûts et aux besoins du client et même les anticiper. La stratégie de l'entreprise y prend aussi une part importante car il s'agit de limiter et de cibler l'ensemble de l'offre répondant au mieux à l'attente des clients. L'étendue de la diversité fonctionnelle provient à la fois de la disparité des besoins des clients, mais aussi de leur différence de perception d'un même besoin (niveau de qualité, prix, utilité, ...).

L'entreprise étant soumise à la concurrence et fournissant ses produits à des clients exigeants, on observe que la diversité fonctionnelle évolue dans le temps pour deux raisons principales :

- l'évolution des produits ou l'apparition de nouveaux produits sur le marché fait apparaître de nouveaux besoins (ex : le GPS utilisé initialement pour le repérage de position devient un outil d'orientation routière),
- l'évolution des perceptions des clients (le niveau de vie évolue, les effets de modes, la situation familiale évolue, ...) fait évoluer les critères de satisfaction des besoins.

Ciavaldini et Loubet (1995) parlent alors de :

- "diversité congénitale" : elle représente la diversité mise en œuvre lors du lancement d'un nouveau modèle,
- "diversité thérapeutique" : elle apparaît en cours de vie du modèle afin d'adapter et de faire évoluer le produit par rapport à la concurrence, ou de s'ouvrir de nouvelles niches de marché.

La diversité fonctionnelle se décline en :

- familles : nombre et renouvellement,
- versions : silhouettes, motorisation, niveaux,
- variantes : combinatoire d'options.

IV.2.2- La diversité technique

La diversité technique concerne les réalisations techniques capables de satisfaire la diversité fonctionnelle (figure 4). Il s'agit de la traduction sur le plan technique de la diversité fonctionnelle.

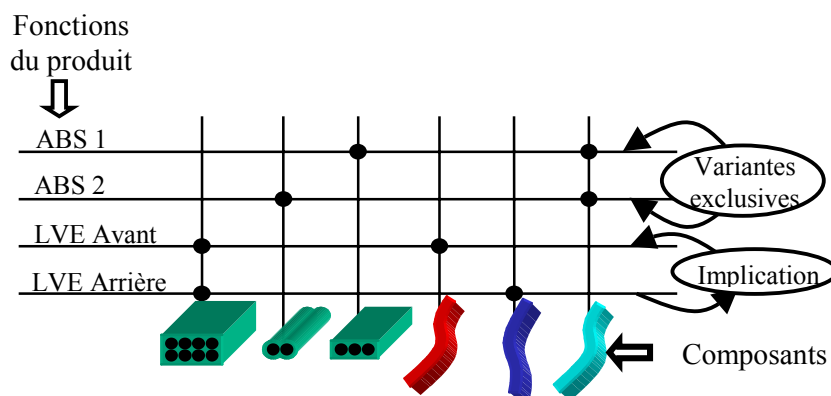


Figure 4 - Diversité technique.

L'origine est cette fois centrée sur les Etudes, le Style et les Achats. On cherchera à réutiliser au maximum les éléments déjà existants afin de réduire le nombre de références.

Il faut noter qu'une option apparemment anodine peut avoir des répercussions importantes sur le plan technique et nécessiter plus ou moins de pièces spécifiquement conçues. Par exemple, choisir l'option toit ouvrant provoque l'impossibilité de placer une antenne de toit à l'avant, il faudra donc soit placer une antenne de toit à l'arrière et passer d'autres fils de connexion plus long, soit fixer l'antenne sur l'aile du véhicule et encore une fois modifier les fils de connexion. Ici ce n'est encore qu'un exemple ayant peu de répercussions, le changement de puissance du moteur peut quand à lui nécessiter un nouveau système de refroidissement, de nouveaux amortisseurs, de nouveaux pneus, ...

La diversité technique dépend des compétences de l'entreprise, ce que l'entreprise sait faire, des connaissances disponibles au moment de la conception, mais aussi du matériel à disposition, de la charge de travail et du réseau de sous-traitants qui entoure l'entreprise, des progrès de la science, ...

Tous ces paramètres évoluant indépendamment la diversité technique évolue dans le temps :

- par l'évolution des technologies (de l'entreprise, des sous-traitants, de la concurrence)
- par l'amélioration des solutions existantes, l'entreprise apprend sur ses produits tout au long de son cycle de vie (retours d'expériences). Les solutions existantes peuvent être améliorées pour des raisons de coûts, de productivité, de qualité ...
- par l'évolution des connaissances de l'entreprise sur son produit, sur ses processus, sur ses clients.

Tout ceci provoque donc des évolutions au niveau technique de la satisfaction des besoins fonctionnels, cette évolution au niveau technique provoque le versionnement.

IV.2.3- La diversité process

La diversité process (ou diversité industrielle) concerne la manière dont seront réalisées les solutions techniques, elle se retrouve sur les lignes de fabrication (Méthodes, Usines, Achats). Il s'agit de l'ensemble des process capables de réaliser une solution technique donnée dans un contexte industriel donné (figure 5).

La diversité process évolue :

- par l'introduction de nouvelles machines,
- par l'évolution du réseau de fournisseurs,
- par l'évolution des méthodes de gestion de production, gestion des stocks, ...

La diversité process provoque des problèmes de qualité, de gestion des stocks et d'organisation. Cette catégorie de diversité est très coûteuse, il va donc s'agir de la limiter au maximum pour limiter les surcoûts de production dus à l'introduction de la diversité.

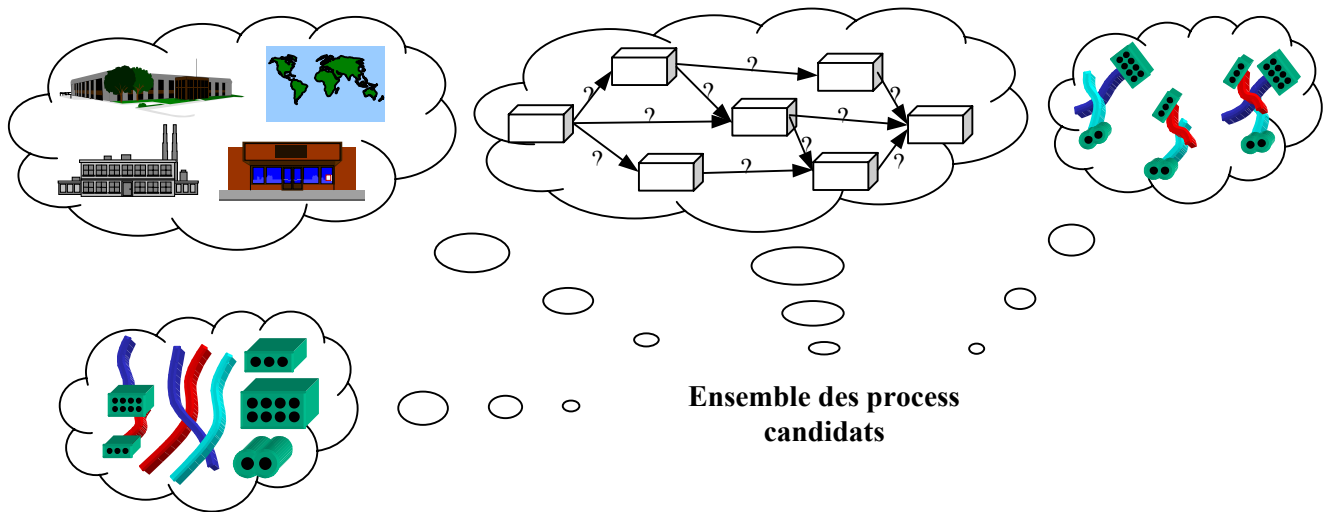


Figure 5 - *Diversité du process.*

IV.2.4- *Partage de la représentation*

Partant de la diversité fonctionnelle (souhaitée en marketing) jusqu'à la diversité produite (et mise sur le marché), on observe donc trois niveaux de diversité qui coexistent et se partagent la représentation du produit et du process (figure 6).

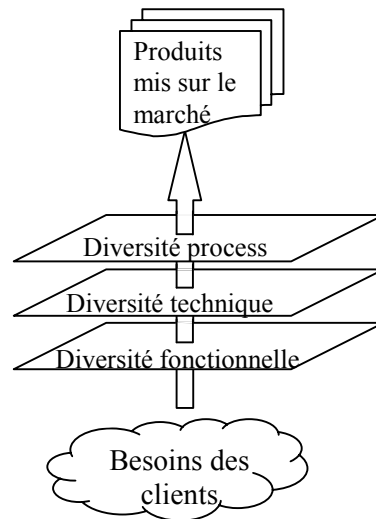


Figure 6 - *Partage de la représentation du produit.*

La diversité des besoins des clients devra subir différentes déclinaisons, différentes traductions pour être convertie en besoins satisfaits :

- comment s'effectue le passage d'un type de diversité à l'autre ?
- comment est outillé le passage d'un type de diversité à l'autre ?

En utilisant les dénominations de Martin et Ishii (1996) nous n'adressons pas les choix stratégiques de diversité (quels types de produit fabriquer ?), nous nous intéressons aux décisions tactiques (qui concernent les aspects non visibles par le client) afin d'aider dans le choix des produits et process communs entre différents produits. Nous n'adressons pas l'acquisition des besoins et désirs des clients. Dans le travail présenté ici, l'ensemble des fonctions à réaliser sera une donnée de même que les quantités de ventes escomptées de chaque produit, sous-produit, fonction selon le cas. Dans le cas de données floues ou incomplètes des propositions de solutions seront faites soit pour se passer de ces données soit pour les acquérir à l'aide du *Data Mining*. De même, nous n'adressons pas les aspects de différenciation perceptuelle des produits [Tarondeau, 1998] : offres de services, offres promotionnelles, politiques commerciales.

IV.3- Passage d'un type de diversité à l'autre

L'étude bibliographique présentée dans l'état de l'art montre qu'il existe des liens entre la diversité fonctionnelle et la diversité technique de même qu'entre la diversité technique et la diversité process. Les outils proposés permettent le passage maîtrisé d'un type de diversité à l'autre comme présenté dans le tableau 1.

Déclinaison	Outils
Fonctionnelle technique	Personnalisation par l'utilisateur Différenciation perceptuelle Standardisation des composants Conception modulaire des produits Commonalité Méthodologies de conception pour la diversité
Technique process	Standardisation des process Différenciation au stade de la distribution Reséquencement Restructuration des processus Technologies de groupe Gammes génériques d'assemblage

Tableau 1 - *Déclinaison d'un type de diversité à l'autre.*

Cependant la littérature ne dispose pas de processus global, ni au niveau des outils, ni au niveau de la démarche qui propose le passage d'un ensemble de besoins clients à satisfaire aux produits mis sur le marché. Nous nous trouvons donc dans un processus de conception qui dispose de deux démarches locales, l'une au niveau du produit (passage fonctionnel --- technique), l'autre au niveau du process (passage technique --- process) alors qu'il s'avère cependant nécessaire de lier les informations processus et produits sur tout le cycle de conception des produits pour garder la cohérence de l'ensemble et contrôler toute la chaîne globale de diversité, afin de produire à diversité donnée ou tout du moins maîtriser l'évolution de la diversité.

Notre contribution consiste à proposer une démarche méthodologique globale de conception des familles de produits. Cette démarche suit un cadre général de maîtrise de la diversité et s'appuie sur un certain nombre d'outils et d'indicateurs pour la gestion de la diversité en s'appuyant très largement sur la littérature afin de maîtriser l'évolution de la diversité.

IV.4- Méthodologie de conception de familles de produits

Maîtriser la diversité est une option stratégique pour une entreprise afin d'améliorer sa compétitivité par une réduction de ses coûts de conception et de production. Ce ne peut être une action locale ou la démarche d'une personne isolée, il faut considérer la diversité dans sa globalité. La maîtrise de la diversité doit s'inscrire dans une démarche transversale qui vise un ensemble de paramètres. La méthodologie proposée présente les étapes clés afin de maîtriser la diversité, il ne s'agit en aucun cas d'un outil automatique ou d'une démarche automatique, mais d'un guide pour spécifier dans chaque cas particulier en utilisant les variables et paramètres les mieux adaptés au cas d'étude considéré. Notre méthodologie comporte 8 points (tableau 2).

Méthodologie	
1.	Mise en place d'une action "Maîtrise de la diversité"
2.	Choix des indicateurs.
3.	Analyse des besoins fonctionnels.
4.	Création d'une structure fonctionnelle.
5.	Création d'une structure technique.
6.	Création des ensembles de process.
7.	Recherche des solutions.
8.	Choix d'une solution.

Tableau 2 - *Méthodologie de conception.*

Une action "Maîtrise de la diversité" peut concerner un produit nouveau que l'on envisage de fabriquer ou bien s'attaquer à la production actuelle dans le but de rationaliser le fonctionnement de l'entreprise. Les différents points cités sont développés dans le mémoire de thèse.

IV.5- Application industrielle

La méthodologie présentée a été appliquée sur un cas industriel dans un contexte client--fournisseur, où le fournisseur doit livrer en synchrone un produit à diversité totale (c'est à dire qui ne contient que des composants strictement nécessaires). Pour cela, le fournisseur dispose de sites de proximité, réactifs car proches du site du donneur d'ordres, et de sites délocalisés, à coût de production moindre (Figure 7).

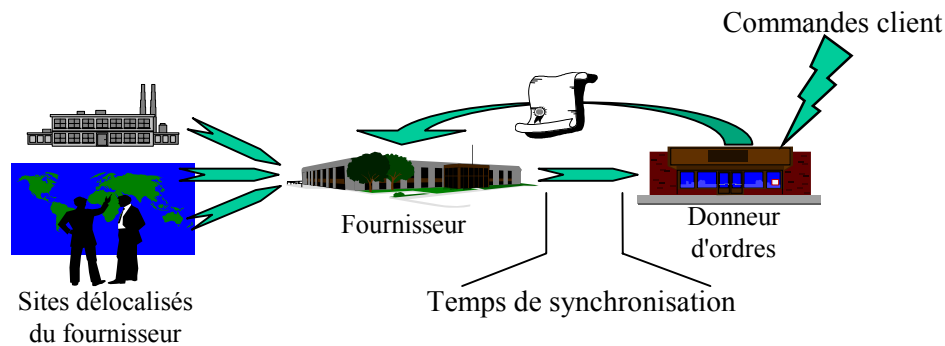


Figure 7 - Contexte industriel.

Les produits considérés, des faisceaux électriques, ont un temps de fabrication supérieur au temps de synchronisation entre les deux partenaires. La stratégie adoptée a été de créer des sous assemblages intermédiaires dans les sites délocalisés pour effectuer un assemblage final dans les sites de proximité, ainsi seul le temps d'assemblage final dans les sites de proximité contraint le temps de synchronisation.

La difficulté repose alors dans le choix judicieux des Modules Industriels (MI) réalisés pour stock dans des sites délocalisés. Ce choix doit permettre une diversité totale du faisceau électrique, assurer un temps d'assemblage final conforme au délai disponible tout en minimisant le nombre coûteux de références de MI à gérer. Pour cela deux types de découpage modulaires ont été proposés (découpage structurel et découpage fonctionnel) et mis en œuvre dans une application informatique.

La méthodologie a permis de repousser le point de différenciation du produit en réalisant des MI. Un assemblage final à la commande des MI sur site de proximité est effectué en un temps inférieur au temps de synchronisation entre les deux partenaires avec un nombre minimal de MI.

V- Conclusions et perspectives

A travers ce travail de thèse, nous avons abordé le problème de la conception de produits en contexte de forte diversité. Suite à une étude bibliographique du domaine, une méthodologie en 8 points a été proposée. Cette méthodologie peut s'appliquer soit en conception de produits nouveaux soit en reconception de produits existants dans le but de rationaliser l'existant.

Une application industrielle menée en parallèle a permis de valider la méthodologie sur un cas particulier. Il reste néanmoins à mesurer l'apport de la méthodologie sur différents cas industriels afin de s'assurer de la généricité de l'approche, ce qui est susceptible de faire évoluer la méthodologie.

L'application de la méthodologie sur différents cas d'étude peut faire ressortir différentes classes de problèmes pour lesquels des propositions spécifiques pourront être discutées.

Principales références bibliographiques

- H. Ben-Aissa. La complexité au montage véhicule : de la production à la conception. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 19(3):77-94, 2000.
- P. Child, R. Diederichs, F.-H. Sanders, et S. Wisniowski. The Management of Complexity. *Sloan Management Review*, 73-80, 1991.
- B. Cialvaldini et J.-L. Loubet. La diversité dans l'industrie automobile française : Hésitations et enjeux. Regards croisés de l'historien et du gestionnaire. *Gérer et comprendre*, 41:4-19, décembre 1995.
- J. Gonzalez-Zugasti, K. Otto et J. Baker. A method for architecting products platforms. *Research in Engineering Design*, 12:61-72, 2000.
- S. Kekre and K. Srinivasan. Broader product line : a necessity to achieve success? *Management Science*, 36(10):1216-1231, 1990.
- A. Kusiak. *Engineering Design : Products, Processes and Systems*. Academic Press, San Diego, CA, 2000.
- H.L. Lee et C.S. Tang. Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation. *Management Science*, 43(1):40-53, 1997.
- J.-P. MacDuffie, K. Sethuraman et M.-L. Fisher. Product variety and manufacturing performance : Evidence from the international automotive assembly plant study. *Management Science*, 42(3):350-369, mars 1996.
- M. Martin et K. Ishii. Design for Variety : A Methodology For Understanding The Costs Of Product Proliferation. *Proceedings of 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences, August 18-22, Irvine, California*, 1996.
- J.-C. Tarondeau. *Stratégie Industrielle : Seconde édition*. Collection Gestion. Vuibert, 1998.
- W. Zinn. Should we assemble products before an order is received ? *Business Horizons*, March-April:70-73, 1990.

Liste des publications de l'auteur

Revues

- B. Agard, M. Tollenaere. Conception d'assemblages pour la customisation de masse. *Mécanique et Industrie*, 3:113-119, 2002.

Conférences internationales avec comité de lecture et actes

- B. Agard, M. Tollenaere. Design of of wire harnesses for mass customization. *IDMME 2002, Clermont-Ferrand, France, Mai 2002*.

Conférences nationales avec comité de lecture et actes

- B. Agard, M. Tollenaere. Conception modulaire de produits à forte diversité. *IPI 2002, pages 101-108. Autrans, France, Janvier 2002*.
- B. Agard, M. Tollenaere. Conception d'assemblages pour la customisation de masse. *PRIMECA'01, pages 1-8. La Plagne, France, Avril 2001*.

Autres communications

- B. Agard, M. Tollenaere. Optimisation globale de la diversité. *Journée du GRP. Grenoble, France, Mars 2002*.
- 12^{ème} Journée Régionale de la Recherche en Rhône Alpes, Lyon, 2001. Présentation d'un poster.

Rapports internes

- Configuration de Produits à Schneider Electric High Voltage : Etat des lieux.

Ecole doctorale Organisation Industrielle et Systèmes de Production

L'Ecole doctorale est le fruit d'une longue coopération locale dont est notamment issue l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel (INPG-UPMF). Elle a vocation à coopérer avec toutes les composantes universitaires traitant de l'organisation industrielle, pôle d'excellence du site grenoblois. Elle entend donc encourager les échanges interdisciplinaires, notamment par les co-directions de mémoire ou de thèse.

L'Ecole doctorale *Organisation Industrielle et systèmes de production* fédère trois filières : *Génie industriel* - filière interdisciplinaire pour ingénieurs visant la maîtrise globale des systèmes de production et de la performance industrielle -, *Sociologie industrielle*, analysant les changements en cours dans les organisations de travail -, et *Economie industrielle*, formant aux nouvelles théories de l'économie industrielle et à l'économie du management. Ces filières s'appuient sur un potentiel de douze laboratoires dont huit Unités Mixtes de Recherche rattachées au CNRS et à l'INRA.

L'ED OISP organise une journée annuelle de présentation des thèses en cours avec la participation active des Directeurs de thèse et de laboratoire. Elle s'efforce de contribuer à la diffusion des travaux des doctorants à l'extérieur tant auprès des communautés scientifiques que des milieux professionnels. Elle œuvre à l'insertion professionnelle des docteurs sans hiérarchie a priori entre les carrières publiques de l'enseignement supérieur et de la recherche et celles du monde économique.

L'École OISP propose aux doctorants de première et deuxième années des modules d'enseignement doctoral. Ceux-ci se répartissent entre des **séminaires transversaux** (les séminaires de l'ED proprement dite) et des **séminaires ouverts** (montés à l'initiative d'un ou plusieurs laboratoires, relayés par l'ED OISP et proposés à tous les doctorants).

La formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble

La formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble s'articule autour de trois thèmes : la conception de produits, la conception et la gestion des systèmes de production, l'innovation industrielle. Elle développe une approche interdisciplinaire des questions techniques, économiques et humaines posées par les entreprises dans la maîtrise de leur production.

L'année de DEA conduit ainsi à une meilleure prise en compte des problèmes de l'industrie, notamment manufacturière, sur la base de la formation d'origine des étudiants issus des filières EEA, Mécanique, Recherche Opérationnelle et, sous certaines conditions, des Sciences Humaines et Sociales.

La formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble est co-habilitée Institut National Polytechnique de Grenoble, Université Pierre Mendès France et Université Joseph Fourier.

Le Laboratoire Gestion Industrielle, Logistique et Conception

Le laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et Conception) est un laboratoire de l'INPG. Il a été reconnu comme Equipe d'Accueil lors du plan quadriennal 1999-2002.

GILCO a été créé par un regroupement des enseignants-chercheurs de l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel (ENSGI) dans le champ des Sciences Pour l'Ingénieur (SPI). L'activité scientifique du laboratoire se situe en gestion des flux physiques (application à la logistique) et Gestion des flux informationnels (application à la conception). GILCO est un des dix laboratoires participant à l'Institut de la Production et des organisations Industrielles.

L'Institut de la Production et des organisations Industrielles

L'Institut de la Production et des organisations Industrielles (IPI) est une structure inter-établissement INPG et Université Pierre Mendès France, Pluriformation du Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie. Créé en 1986, l'IPI se donne pour objectifs de promouvoir, développer, soutenir les recherches interdisciplinaires dans le domaine de la Productique et du Génie Industriel à Grenoble. Il associe dix laboratoires : six en Sciences de l'Ingénieur (3S - GILCO - LAG - LEG - LLP - LSR) et quatre en Sciences Humaines (CERAG - CRISTO - IEPE - IREPD).

Ses domaines de recherche s'organisent autour de trois thèmes majeurs : la conception intégrée de produits, la conception et la gestion des systèmes de fabrication, l'innovation. Chaque thème est organisé en projets associant deux ou trois disciplines différentes.

Contribution à une méthodologie de conception de produits à forte diversité

Résumé :

Dans un contexte de conception de produits, les industriels sont conduits à concevoir et réaliser une grande diversité de produits pour répondre à des besoins clients différents et des contraintes spécifiques liées aux marchés. Deux questions couplées apparaissent donc immédiatement qui concernent d'une part la diversité qu'il est nécessaire de proposer, d'autre part la manière de gérer et produire cette diversité dans des délais et des coûts acceptables.

La contribution de cette thèse porte sur la proposition d'un modèle servant de support à une méthodologie globale de conception de produits à forte diversité. L'apport essentiel réside plus précisément d'une part, dans une séparation entre les différents types de diversité nécessaires à la description du cycle de mise sur le marché d'une famille de produits, d'autre part dans la déclinaison d'un type de diversité à l'autre en s'appuyant sur les outils disponibles actuellement dans la littérature. L'étude de la littérature montre l'absence de démarche globale. Une proposition de démarche a été formalisée en de 8 étapes clés, elle porte notamment sur l'analyse des besoins fonctionnels (avec une distinction entre les fonctions stables et les fonctions variables), la création d'une structure fonctionnelle, la création d'une structure technique et l'analyse de l'ensemble des process utilisables.

Ce travail de thèse est illustré par la mise en œuvre de la démarche sur le cas des faisceaux électriques automobiles dans un contexte de livraison synchrone ; un outil logiciel créé spécifiquement permet de supporter le travail des concepteurs.

Mots-clés :

Diversité produit, familles de produits, conception modulaire, différenciation retardée, faisceaux électriques.

Contribution to a product design methodology in a context of wide diversity

Abstract :

In a product design context, industrials are lead to design and manufacture a wide diversity of products in order to satisfy diversified customers and markets. Two linked questions appear immediately that concern for a first part the diversity that is adequate to put in the market, and for a second part the way to manage and manufacture it with acceptable lead time and cost.

The contribution of this thesis is a proposition of a model that supports a global methodology for the design of products with high diversity, more specifically a separation between different kinds of diversity necessary for the life cycle design of product families, a passage through this different kinds of diversity with available tools from the literature. A study of the literature shows that there isn't any global methodology for that type of problems. A proposition of a methodology with 8 steps has been carried out. The methodology focuses in particular on the analysis of the functional requirements (with a distinction between stable and variable functions), the creation of a functional structure, the creation of a technical structure and an analysis of the set of relevant available processes.

This work is illustrated with an application of the methodology on electrical wire harnesses in a context of synchronous delivery; a software tool has been specially developed to support the designers' tasks.

Keywords :

Product diversity, product families, modular design, postponement, electrical wire harnesses.