

UN MODÈLE POUR LA CONCEPTION D'UNE NOMENCLATURE DE PRODUIT COUPLÉE À SON PROCESS ET À SA CHAÎNE LOGISTIQUE

B. AGARD¹ et B. PENZ²

¹ École Polytechnique de Montréal
Département de Mathématiques et de Génie Industriel
C.P. 6079, succ. Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3A7 - Canada
bruno.agard@polymtl.ca

² Laboratoire GILCO
ENSGI-INPG
46, avenue Félix-Viallet
38 031 Grenoble - France
bernard.penz@gilco.inpg.fr

RÉSUMÉ : Cet article porte sur la proposition d'un modèle pour la conception simultanée d'une famille de produits, de son process et de sa chaîne logistique. Le but est de déterminer les sous-assemblages (modules) à fabriquer ainsi que le lieu de leur fabrication dans un contexte de livraison synchrone, ceci en minimisant les coûts de production et de transport, sous contraintes de capacité de production des sites délocalisés (où seront réalisés les modules) et de temps de l'assemblage final (pour permettre la livraison synchrone). Le problème modélisé est basé sur un cas industriel réel.

MOTS-CLÉS : conception produit/process/logistique, gestion de la diversité, modélisation

1. INTRODUCTION-PROBLEMATIQUE

Considérons le contexte industriel suivant (représenté figure 1) où un fournisseur réalise des assemblages pour un donneur d'ordres.

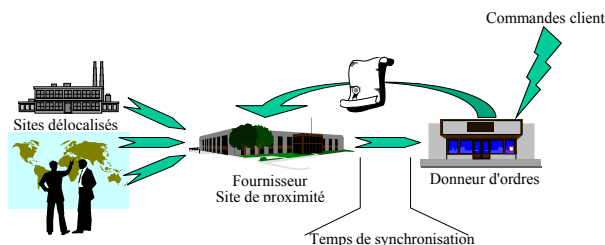


FIG. 1 – Contexte industriel.

Le donneur d'ordre reçoit des commandes clients, ces commandes portent sur des produits finis composés d'options¹ et variantes². Le nombre d'options et variantes est important, si bien que du fait de la combinatoire, les clients choisissent des produits finis (personnalisés) quasiment tous différents.

Les commandes clients sont transmises au fournis-

¹Une option est une caractéristique du produit qui ne se retrouve pas systématiquement dans chaque produit final.

²Les variantes sont toujours présentes dans les produits finaux, en revanche certaines de leurs caractéristiques peuvent être différentes entre différents produits : exemple les motorisations des véhicules, les coques d'un téléphone portable...

seur. Celui-ci doit alors réaliser des assemblages qui entrent dans la composition du produit final assemblé par le donneur d'ordres. Ces assemblages réalisés par le fournisseur sont directement impactés par la sélection des options et variantes effectuée par le client final. De ce fait, chaque assemblage réalisé par le fournisseur est différent (bien que réalisé à partir de composants de base relativement standards).

Pour réaliser les assemblages considérés, le fournisseur dispose de deux types de sites de production. Les sites dits "de proximité" sont des sites situés à une faible distance du site d'assemblage final du donneur d'ordres (parfois même sur le site d'assemblage final du donneur d'ordres). Ces sites sont, de par leur position géographique, très réactifs aux demandes du donneur d'ordres. Un autre type de sites dits "délocalisés" est situé à une relative plus grande distance du site d'assemblage final du donneur d'ordres (ce peut être aussi bien à quelques kilomètres qu'à l'autre bout du monde). Ces sites, moins réactifs, produisent avec des coûts de production inférieurs.

Considérons que le donneur d'ordres travaille en production synchrone et qu'il exige d'être livré en synchrone, dans l'ordre où se trouvent les produits sur sa propre chaîne d'assemblage. Si, de plus, les aléas de production du donneur d'ordres sont tels qu'il ne connaît l'ordre final des produits sur sa chaîne d'assemblage seulement un temps t avant son besoin des assemblages considérés, t étant inférieur au temps de

réalisation des assemblages considérés. Si, enfin, le donneur d'ordres exige de ses fournisseurs la livraison des assemblages strictement nécessaires³, alors le fournisseur ne dispose que du temps t pour mettre à disposition du donneur d'ordres des assemblages (quasiment) tous différents.

Dans ce contexte, cet article a pour but de proposer, pour le fournisseur, une solution à moindre coût, permettant de satisfaire les contraintes de son donneur d'ordres (assemblages tous différents, livraison synchrone, temps de synchronisation inférieur au temps de production des assemblages), tout en intégrant les contraintes du fournisseur (deux types de sites, réactivités différentes, coûts de production différents, coûts de transports entre les sites différents).

Dans l'approche proposée, la conception du produit, du process et la chaîne logistique seront liés, puisque les choix sur l'un influent sur les autres. Les décisions se voudront globales plutôt que locales : le but est de déterminer les sous-assemblages (modules) à fabriquer (construction de la nomenclature du produit ainsi que du process) ainsi que le lieu de leur fabrication dans un contexte de livraison synchrone. Ceci dans le but de minimiser les coûts de production sous contraintes de capacité de production des sites délocalisés (où seront réalisés les modules) et de temps d'assemblage final (pour permettre la livraison synchrone). Ce problème basé sur un cas industriel réel est modélisé en section 4.

La section 2 présente le positionnement du problème par rapport à la littérature existante. La section 3 précise la formulation du problème et la modélisation considérée. La section 5 conclut la proposition.

2. ÉTAT DE L'ART

Dans le contexte présenté, la littérature propose un ensemble de méthodologies de conception pour les familles de produits. Ces méthodologies de conception se distinguent par le niveau d'intervention proposé et par la proposition de la solution. Ainsi, il est possible de relever [1] :

1. Des méthodologies de conception du produit :
 - qui portent sur la standardisation des composants [8], [10], [28], [35]
 - qui portent sur la standardisation des produits [20], [4]
 - qui traitent de la conception modulaire des produits [17], [21], [22]
 - qui proposent des architectures de familles de produit [3], [6], [9], [12], [13], [19], [30], [33]

2. Des méthodologies de conception du process basées sur :
 - la standardisation des process [28], [2]
 - le report de la différenciation au stade de la distribution [5], [36]
 - le reséquencement des processus [25]
 - la restructuration des processus [29]
 - la technologies de groupe [18]
 - les gammes génériques d'assemblage [13], [15], [34]
3. Des méthodologies de conception de la chaîne logistique [14] :
 - il existe des propositions ayant pour but de minimiser les coûts, maximiser les profits, minimiser les délais..., ces propositions s'appuient sur différentes méthodes de résolution.
 - en intégrant les fournisseurs et les clients, en environnement incertain [7]
 - centrés sur la gestion des stocks [26], en environnement incertain [27]
 - dans le but de minimiser le coût total de fonctionnement de la chaîne logistique [31]
 - dans le but d'optimiser les flux annuels des articles finis [11]
 - pour la localisation de sites à capacité finie [32]
 - pour la prise en compte des taux de change [16]

Dans ces propositions, la conception du produit, du process et de la logistique sont intégrées deux à deux mais non trois à trois.

Cependant, Lee [24] montre que les choix faits lors de la conception des produits (conception modulaire, standardisation ou différenciation retardée) influent très fortement sur la chaîne logistique liée à sa réalisation et distribution. Ce qui montre l'importance de déterminer simultanément la conception du produit et la chaîne logistique.

De même, la littérature abonde d'article traitant de la conception simultanée du produit et du process (Design for Manufacturing, Design for Assembly ...). Ce qui tent aussi à montrer l'intérêt d'une telle démarche.

Cet article se propose d'intégrer les trois décisions, à savoir la conception du produit, de son process et de la chaîne logistique liée, le tout dans un contexte de forte diversité des produits.

Le modèle de Rota [31], très complet, se base sur la connaissance des différentes localisations possibles des sites, sur les liens possibles entre les installations (caractérisés en quantité maximale, coût unitaire et durée du transport), sur les nomenclatures des articles finis et sur les demandes prévisionnelles des clients,

³C'est à dire ne contenant pas d'éléments superflus.

afin de déterminer la localisation⁴ et l'allocation⁵ de chaque site. Cependant dans cette modélisation les nomenclatures des produits finis sont connues, donc la conception des produits est *a priori* terminée.

Nous nous plaçons dans un contexte plus proche des travaux de Lamothe *et al.* [23], en proposant de concevoir la nomenclature d'un produit en prenant en compte simultanément le process et la chaîne logistique liés.

"Le dimensionnement des réseaux logistiques de production/distribution multi-sites est proche de notre problématique. Toutefois, tous les auteurs considèrent toujours que la conception des produits est complète. Ainsi à toute demande correspond un seul produit fini dont la nomenclature est entièrement définie. Pour répondre à la problématique de choix des références produit permettant de répondre à une demande, ces modèles demandent d'être résolus pour chaque combinaison possible de choix." (Lamothe *et al.* [23])

Dans leur approche, Lamothe *et al.* [23] utilisent une représentation générique de la nomenclature afin d'identifier simultanément la meilleure instance de la nomenclature de produit et la structure optimale de sa chaîne logistique. Ce problème est résolu en programme linéaire en nombre entiers minimisant le coût total de la chaîne logistique sous diverses contraintes.

Dans l'approche présentée ici, il ne s'agit pas de choisir la meilleure instance de la nomenclature générique, mais de construire la nomenclature générique⁶.

3. DESCRIPTION DU PROBLÈME

Précisons les hypothèses : un produit, un assemblage ou un sous-assemblage (parfois appelé 'module') est considéré comme l'ensemble des fonctions qu'il doit remplir, ainsi :

- On appelle fonction F_i , un produit approvisionné par l'entreprise et utilisé dans au moins un produit fini.
- On appelle module M_j , un assemblage de fonctions qui pourra être assemblé à d'autres modules ou fonctions pour donner un produit fini.
- On appelle produit fini P_k un assemblage de modules et de fonctions répondant exactement à la demande d'un client.

⁴Localisation : il s'agit de répondre à la question où seront situés les installations ?

⁵Allocation : Quelles activités seront affectées à chacune des installations ?

⁶Générique dans le sens de représenter un ensemble de produits, une famille de produits.

Les sites de production, leur capacité de production, les coûts de transport entre les sites sont des données liées au cas industriel traité. Le donneur d'ordres transmet au fournisseur la liste des fonctions contenues dans chaque produit à assembler. Afin d'éviter la duplication d'outillage spécifique, chaque module ne peut être assemblé que dans un seul site délocalisé.

Afin de décrire la chaîne logistique, sont pris en compte : les sites d'assemblages délocalisés, le site d'assemblage final de proximité avec le donneur d'ordres permettant d'effectuer une livraison synchrone, ainsi que les différents temps et coûts de production (C_p^l) et de transport (C_t^l) pour le fournisseur (Cf. figure 2).

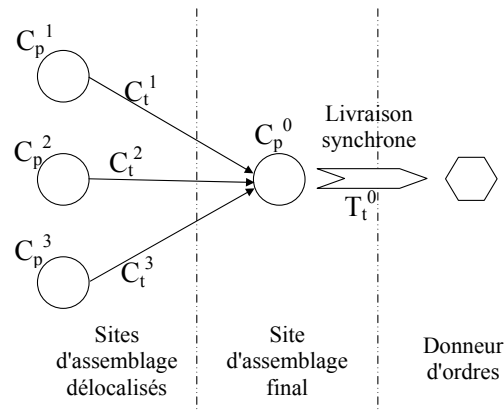


FIG. 2 – Modèle considéré

Les temps d'assemblage dépendent de la nature du travail à effectuer et des caractéristiques du produit. Les éléments assemblés peuvent être selon les cas des fonctions ou des modules (eux-mêmes composés par un assemblage de fonctions).

Concernant **le produit**, le but est de déterminer, à partir de fonctions standards, quelle nomenclature est la plus appropriée (Cf. figure 3), à savoir quels modules, quels sous-ensembles sont à considérer lors de la conception des assemblages à livrer au donneur d'ordres.

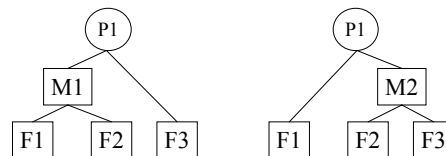


FIG. 3 – Quel sont les sous-assemblages à produire ?

Pour prendre en compte **le process** : (1) les coûts de fabrication du fournisseurs sont considérés – (2) le temps de fabrication (lors de l'assemblage final)

du produit ayant le temps de fabrication le plus long devra être inférieur au temps disponible (compatible avec la livraison synchrone).

Pour prendre en compte **la logistique**, les coûts de transports entre les différents sites sont considérés.

En entrées, les données considérées sont :

- un site d'assemblage final et des sites délocalisés fixés,
- les coûts de productions dans ces différents sites,
- les coûts de transport de chaque site délocalisé vers le site d'assemblage final,
- la liste des produits finis à assembler,
- le temps de synchronisation ($T_{synchro}$) entre le donneur d'ordres et le fournisseur (temps maxi pour l'assemblage final),
- le temps de process pour la réalisation de chaque fonction,
- les capacités de production de chaque site délocalisé,
- la liste des modules potentiels.

En sortie, le but est de définir :

- la liste des modules à réaliser dans chaque site.

4. APPROCHE DE MODÉLISATION PROPOSÉE

L'approche de modélisation proposée consiste en un problème d'optimisation en plusieurs variables sous contraintes.

4.1. Paramètres du problèmes et variables de décision

4.1.1 Elements de description des fonctions, modules et produits

i : indice de la fonction, $1 \leq i \leq F$.

F_i : fonction i . Une fonction peut être présente dans un module ou assemblée directement dans un produit fini.

j indice de module, $1 \leq j \leq M$ avec M fixé, représentant une sélection **a priori** de modules fabricables et ayant un sens d'un point de vue industriel. En effet, les contraintes d'assemblage ou d'incompatibilité de fonctions limitent le nombre de module qu'il est raisonnable de produire. Cette connaissance est le plus souvent apportée par l'industriel.

M_j : module j

δ_{ij} : $\delta_{ij} = 1$ si la fonction F_i est présente dans le module M_j , 0 sinon.

k : indice du produit, $1 \leq k \leq P$.

P_k : produit k .

λ_{ik} : $\lambda_{ik} = 1$ si la fonction F_i est présente dans le produit P_k .

4.1.2 temps, charge de travail et coûts

tm_{jk} : temps estimé d'assemblage du module M_j dans le produit P_k .

tf_{ik} : temps estimé d'assemblage de la fonction F_i dans le produit P_k .

l : indice de site de production, $0 \leq l \leq S$. L'indice 0 est réservé au site d'assemblage final alors que les indices de 1 à S sont réservés aux sites délocalisés.

S_l : site de production l .

CFp_{jl} : coût fixe de production du module M_j sur le site S_l .

CVp_{il} : coût variable de production de la fonction F_i dans le site S_l . Ce coût comprends le coût d'assemblage de la fonction dans un module. En première approximation, ce coût apparaît à chaque fois que la fonction F_i est présente dans un module fabriqué sur le site S_l .

C_{il} : charge de travail unitaire apportée par la fonction F_i dans le site S_l . Cela signifie que cette charge apparaît à chaque fois que la fonction F_i est présente dans un module fabriqué dans le site S_l .

Cap_l : capacité de travail du site S_l

CFt_{jl} : coût fixe de transport du module M_j depuis le site S_l jusqu'au site d'assemblage final, prenant en compte les besoins en équipements de manutention et de conditionnement du module.

CVt_l : coût variable de transport entre le site délocalisé S_l et le site d'assemblage final. En première approximation, nous considérons que ce coût est proportionnel au nombre de modules affectés au site S_l .

4.1.3 variables de décision

Nous avons opté pour trois familles de variables de décision.

y_{jl} : $y_{jl} = 1$ si le module M_j est fabriqué dans le site S_l , 0 sinon.

x_{jk} : $x_{jk} = 1$ si le module M_j est présent dans la nomenclature du produit P_k , 0 sinon.

$z_{ik} : z_{ik} = 1$ si la fonction F_i est assemblée directement dans le produit P_k , c'est-à-dire qu'elle ne figure pas dans un module pré-assemblé, 0 sinon.

Les variables x_{jk} et z_{ik} permettent de décrire la nomenclature finale de chaque produit. Les variables y_{jl} permettent de définir les modules qui doivent être prévus et leur lieu de production.

4.2 Formulation mathématique du problème

4.2.1 La fonction objectif

$$C_{global} = \sum_{l=1}^S \sum_{j=1}^M (CFp_{jl} \times y_{jl}) \quad (1)$$

qui représente la somme des coûts fixes de fabrication des modules,

$$+ \sum_{l=1}^S \sum_{j=1}^M (CFt_{jl} \times y_{jl}) \quad (2)$$

qui représente la somme des coûts fixes de transport,

$$+ \sum_{l=1}^S \sum_{i=1}^F \left(CVp_{il} \times \sum_{j|\delta_{ij}=1} y_{jl} \right) \quad (3)$$

qui représente la somme des coûts variables associés à la présence des fonctions F_i dans les modules M_j fabriqués sur les sites S_l ,

$$+ \sum_{l=1}^S \left(CVt_l \times \sum_{j=1}^M y_{jl} \right) \quad (4)$$

qui représente la somme des coûts variables de transport entre les sites délocalisés et le site d'assemblage final.

4.2.2 Les contraintes

$$\sum_{l=1}^S y_{jl} \leq 1, \quad (5)$$

pour $j \in [1, M]$

qui signifie qu'un module ne peut être produit que dans un seul site,

$$x_{jk} \leq \sum_{l=0}^M y_{jl}, \quad (6)$$

pour $k \in [1, P]$ et $l \in [1, S]$

qui signifie qu'un module ne peut être utilisé que s'il est produit quelque part,

$$z_{ik} + \sum_{j|\delta_{ij}=1} x_{jk} = 1, \quad (7)$$

pour $i \in [1, F]$ et $k \in [1, P]$,
tel que $\delta_{ik} = 1$

qui impose que pour chaque produit, toutes les fonctions qui le composent sont bien présentes une fois et une seule,

$$\sum_{j=1}^M (x_{jk} \times tm_{jk}) + \sum_{i=1}^F (z_{ik} \times tf_{ik}) \leq T_{synchro}, \quad (8)$$

pour $k \in [1, P]$

qui assure que le temps d'assemblage final est bien inférieur à ce que la contrainte de livraison synchrone impose,

$$\sum_{i=1}^F \left(C_{il} \times \sum_{j|\delta_{ij}=1} y_{jl} \right) \leq Cap_l, \quad (9)$$

pour $l \in [0, S]$

qui impose que la charge de travail donnée à chaque site respecte bien la capacité de production du site.

4.3 Perspectives pour la résolution

Le modèle mathématique proposé permet de définir formellement ce nouveau problème d'optimisation conjointe de la nomenclature de produit et de la chaîne logistique. Le programme linéaire en nombres

entiers obtenu ne permet pas d'envisager une résolution efficace par un solveur dédié à ce type de problème. Nous envisageons donc de développer des méthodes d'approximation, et nous travaillons actuellement à la mise au point d'une métaheuristique. Pour la validation ultérieure de la méthode, nous nous proposons d'utiliser des jeux de données générés à partir d'une application industrielle issue du domaine de la construction automobile.

5. CONCLUSION

Dans le contexte actuel d'optimisation globale sur tout le cycle de vie du produit, le modèle proposé se propose d'aider à concevoir simultanément le produit (sa nomenclature), le process et la logistique associés afin de minimiser les coûts de production (process et logistique) d'une famille de produit, en contexte de livraison synchrone.

Une limite du modèle actuel est que la conception du produit se base sur un seul niveau de nomenclature (il n'y a pas de modules de modules), du fait de la prise en compte d'un seul étage d'assemblages intermédiaires. De plus, le cas industriel à l'origine de cette modélisation s'intéresse à la différenciation totale du produit, il sera intéressant de porter une attention particulière à la standardisation possible de certains modules. Le modèle de nomenclature générique construit ici, ne gère pas les liens (d'exclusion ni d'implication) éventuels entre les différents composants de la nomenclature, ce qu'il serait intéressant de remonter dans la représentation de la nomenclature générique. Enfin, le modèle proposé ne prend pas en compte les contraintes d'assemblage éventuelles (contraintes d'antériorité par exemple), une suite à ces travaux sera de les intégrer et de s'assurer de l'applicabilité de l'approche à d'autres types de produits.

Références

- [1] B. Agard. Conception des familles de produits : Etat de l'art. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 2004. To be Published.
- [2] B. Agard and M. Tollenaere. Conception d'assemblages pour la customisation de masse. *Mécanique et Industrie*, 3 :113–119, 2002.
- [3] B. Agard and M. Tollenaere. Méthodologie de conception des familles de produits. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 37(6) :755–777, 2003.
- [4] O. Briant. *Etude théorique et numérique du problème de la gestion de la diversité*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.
- [5] L. Bruce. The bright new worlds of BENNETTON. *International Management*, November :24–35, 1987.
- [6] J.B. Dahmus, J.P. Gonzalez-Zugasti, and K. Otto. Modular product architecture. *Design Studies*, 22 :409–424, 2001.
- [7] E.W. Davis. Global outsourcing : have U.S. managers thrown the baby out with the bath water ? *Business Horizons*, pages 58–65, 1992.
- [8] L. Dupont, M. Erol, G. Cormier, and N. Turkan. La standardisation des composants : modèles et algorithmes. *3ème Congrès International de Génie Industriel*, pages 671–680, Mai 1999.
- [9] F. Erens and K. Verhulst. Architectures for product families. *Computers in Industry*, 33 :165–178, 1997.
- [10] T. Fouque. A la recherche des produits flexibles. *Revue Française de Gestion*, mars-avril-mai :80–87, 1999.
- [11] A.M. Geoffrion and G.W. Graves. Multicommodity distribution system design by benders decomposition. *Management Science*, 20(5) :822–844, 1974.
- [12] J. Gonzalez-Zugasti, K. Otto, and J. Baker. A method for architecting products platforms. *Research in Engineering Design*, 12 :61–72, 2000.
- [13] S. Gupta and V. Krishnan. Product family-based assembly sequence design methodology. *IIE Transactions*, 30 :933–945, 1998.
- [14] K. HadjHamou. *Contribution à la conception de produits à forte diversité et de leur chaîne logistique : une approche par contraintes*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2002.
- [15] D.W. He and A. Kusiak. Design of assembly systems for modular products. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 13(5) :646–655, 1997.
- [16] J.E. Hodder and M.C. Dincer. A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty. *Computers and Operations Research*, 13(5) :601–609, 1986.
- [17] C.C. Huang and A. Kusiak. Modularity in design of products and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A : Systems and Humans*, 28(1) :66–77, 1998.
- [18] N. Hyer and U. Wemmerlöv. Group technology and productivity. *Harvard Business Review*, July-August :140–149, 1984.

- [19] J. Jiao and M. Tseng. A methodology of developing product family architecture for mass customization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10 :3–20, 1999.
- [20] S. Kota, K. Sethuraman, and R. Miller. A metric for evaluating design commonality in product families. *Journal of Mechanical Design*, 122 :403–410, 2000.
- [21] A. Kusiak. *Engineering Design : Products, Processes, and Systems*. Academic Press, San Diego, CA., 1999.
- [22] A. Kusiak and C.C. Huang. Development of modular products. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A*, 19(4) :523–538, 1996.
- [23] J. Lamothe, K. Hadj-Hamou, and M. Aldanondo. Définition simultanée de produit et de chaîne logistique : une approche pour les produits à forte diversité. *Proceedings of 4eme Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'03*, 2003.
- [24] H.L. Lee. Product universality and design for supply chain management. *Production Planning and Control*, 6(3) :270–277, 1995.
- [25] H.L. Lee. Effective inventory and service management through product and process redesign. *Operations Research*, 44(1) :151–159, 1996.
- [26] H.L. Lee and C. Billington. Managing supply chain inventory : Pitfalls and opportunities. *Sloan Management Review*, 33(3) :65–73, 1992.
- [27] H.L. Lee and C. Billington. Material management in decentralized supply chain. *Operations Research*, 41(5) :835–847, 1993.
- [28] H.L. Lee and C.S. Tang. Modelling the costs and benefits of delayed product differentiation. *Management Science*, 43(1) :40–53, 1997.
- [29] H.L. Lee and C.S. Tang. Variability reduction through operations reversals. *Management Science*, 44(2) :162–171, 1998.
- [30] M.V. Martin. *Design for Variety : A methodology for developing Product Platform Architectures*. Ph.D. Thesis, Stanford University, 1999.
- [31] K. Rota. *Coordination temporelle de centres géant de façon autonome des ressources. Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, France, 1998.
- [32] T. Van Roy. Cross decomposition algorithm for capacity facility location. *Operations Research*, 34 :145–163, 1986.
- [33] T.W. Simpson, J.-R.A. Maier, and F. Mistree. Product platform design : method and application. *Res Eng Design*, 13 :2–22, 2000.
- [34] P.C. Stadzisz. *Contribution à une Méthodologie de Conception Intégrée des Familles de Produits pour l'assemblage*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 1997.
- [35] U.W. Thonemann and M. Brandeau. Optimal commonality in component design. *Operations Research*, 48(1) :1–19, 2000.
- [36] D. Twede, R.H. Clarke, and J.A. Tait. Packaging postponement : A global packaging strategy. *Packaging technology and science*, 13 :105–115, 2000.