

# Optimisation 2-phases de la mise en place d'une famille de produits

Radwan El Hadj Khalaf<sup>1</sup>, Bruno Agard<sup>2</sup>, et Bernard Penz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> G-SCOP, INP Grenoble – CNRS – UJF, 46 av. Félix-Viallet, 38031 Grenoble Cedex 1, France

radwan.el-hadj-khalaf@g-scop.inpg.fr bernard.penz@g-scop.inpg.fr

<sup>2</sup> Département de Mathématiques et Génie Industriel, Ecole Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, succ.

Centre-Ville, Montréal (Québec), H3C 3A7, Canada

bruno.agard@polymtl.ca

**Mots-Clefs.** Optimisation, nomenclature, chaîne logistique.

## 1 Introduction et présentation du problème

On propose dans cet article la modélisation et la résolution de la conception simultanée d'une famille de produits, de son process et de sa chaîne logistique. L'objectif est de déterminer des sous assemblages (modules) à fabriquer ainsi que leur lieu de fabrication dans un contexte de livraison synchrone, tout en minimisant les coûts de production et d'assemblage des modules sous contraintes de capacité de production des sites délocalisés (où seront réalisés les modules) et de temps d'assemblage final pour respecter la livraison synchrone [1].

Considérons le contexte industriel suivant : un donneur d'ordres émet des commandes à son fournisseur en exigeant qu'il soit livré dans un délai maximal de  $T_{syn}$  très court. Une commande concerne un produit appartenant à une même famille donnée. Celui-ci est modélisé par un vecteur binaire de taille  $q$  ( $q$  est le nombre total de fonctions possibles) où chaque composante indique si la fonction  $k$  est requise (1) ou non (0). Les faisceaux électriques utilisés dans le cablage automobile sont un exemple d'une famille qui admet ce genre de représentations [2,3].

Pour satisfaire les exigences de son donneur d'ordres, le fournisseur adopte une organisation particulière : il dispose de deux types de sites, les sites délocalisés qui sont répartis dans le monde et qui se caractérisent par un faible coût de production, et les sites de proximité qui se trouvent à très faible distance du site du donneur d'ordres et qui se caractérisent par une forte réactivité aux demandes de celui-ci. Les sites délocalisés assurent la production de modules standard. Chaque module est un sous assemblage qui possède quelques fonctions. Les sites de proximité assurent l'assemblage des produits finis à partir des modules standard sous un délai ne devant pas dépasser  $T_{syn}$ . Les modules utilisés dans l'assemblage des produits définissent leur nomenclature.

Agard et al. [1] proposent un algorithme génétique pour minimiser le temps moyen d'assemblage des produit finis pour une demande donnée. Agard et Penz proposent une modélisation du problème pour la minimisation des coûts de production et de transport des modules et une approche de résolution basée sur un recuit simulé [2]. Lamothe et al. [3] utilisent une représentation générique de la nomenclature afin d'identifier simultanément la meilleure solution de nomenclature d'un produit et la structure optimale de sa chaîne logistique.

## 2 Modélisation du problème

Nous avons modélisé le problème sous la forme d'un Programme Linéaire en Nombres Entiers (PLNE). Notre objectif consiste à déterminer l'ensemble des modules qui permet de minimiser tous les coûts liés à l'activité du fournisseur. Une approche en deux phases est alors proposée puis testée sur des petites instances (on traite ici le cas d'un seul site de proximité).

Dans le modèle en deux phases, on optimise séparément les coûts du site de proximité et ceux des sites délocalisés. Dans la première phase, le choix des modules et la nomenclature des produits finis sont déterminés :

$$\min \sum_{j=1}^M CF_j Y_j + \sum_{j=1}^M CV_j \left( \sum_{i=1}^P D_i X_{ij} \right) \quad (1)$$

s.c.

$$AX_i = P_i \quad \forall i = 1 \dots P \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M w_j X_{ij} \leq T_{syn} \quad \forall i = 1 \dots P \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i = 1 \dots P \quad \forall j = 1 \dots M \quad (4)$$

$$Y_j, X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1 \dots P \quad \forall j = 1 \dots M \quad (5)$$

où  $M$  est le nombre total des modules possibles,  $P$  est celui des produits finis demandés et  $D_i$  est la demande prévisionnelle du produit  $i$ .  $CF_j$  et  $CV_j$  sont respectivement le coût fixe de gestion et le coût variable d'assemblage du module  $j$  dans le site de proximité.  $X_{ij} = 1$  si le module  $j$  est utilisé dans la nomenclature du produit  $i$ , 0 sinon.  $Y_j = 1$  si le module  $j$  est choisi (appartient à la solution), 0 sinon.  $A$  est la matrice binaire dont la colonne  $j$  est le vecteur représentatif du module  $j$ .  $X_i$  est le vecteur colonne composé des variables  $X_{ij}$ .  $P_i$  est le vecteur binaire représentatif du produit  $i$ .  $w_j$  est le temps nécessaire pour l'assemblage du module  $j$ .

L'objectif de la deuxième phase est de répartir la production des modules (issus de la première phase) sur les sites délocalisés :

$$\min \sum_{l=1}^S \sum_{j|Y_j=1} CF_{jl} Y_{jl} + \sum_{l=1}^S \sum_{j|Y_j=1} CV_{jl} \left( \sum_{i=1}^P D_i X_{ij} \right) Z_{jl} \quad (6)$$

s.c.

$$\sum_{l=1}^S Z_{jl} = 1 \quad \forall j|Y_j = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{j|Y_j=1} C_{jl} \left( \sum_{i=1}^P D_i X_{ij} \right) Z_{jl} \leq Cap_l \quad \forall l = 1 \dots S \quad (8)$$

$$Z_{jl} \leq Y_{jl} \quad \forall j|Y_j = 1 \quad \forall l = 1 \dots S \quad (9)$$

$$Z_{jl} \geq 0 \quad \forall j|Y_j = 1 \quad \forall l = 1 \dots S \quad (10)$$

$$Y_{jl} \in \{0, 1\} \quad \forall j|Y_j = 1 \quad \forall l = 1 \dots S \quad (11)$$

Où  $S$  est le nombre total des sites délocalisés.  $CF_{jl}$  et  $CV_{jl}$  sont respectivement le coût fixe de gestion et le coût variable de production du module  $j$  dans le site  $l$ .  $Y_{jl} = 1$  si le module  $j$  est fabriqué dans le site  $l$ , 0 sinon.  $Z_{jl}$  est le pourcentage du besoin du module  $j$  produit dans le site  $l$ .  $C_{jl}$  est la charge engendrée par la production du module  $j$  dans le site  $l$ .  $Cap_l$  est la capacité disponible dans le site  $l$ .

### 3 Conclusion

Le modèle présenté propose une optimisation globale des produits et de la chaîne logistique associée, par une approche 2-phase et par une optimisation globale. Quelques tests ont pour l'instant été réalisés sur des instances de petite taille avec Cplex 9.0, ces tests ont révélé que la configuration des coûts ainsi que le temps d'assemblage offert jouent un rôle essentiel sur la détermination de l'ensemble des modules à adopter. Des heuristiques sont en cours d'élaboration visant le traitement de plus grandes instances. D'une façon générale, l'augmentation des coûts fixes favorise le choix des petits modules avec de grands besoins tandis que l'augmentation des coûts variables favorise le choix de grand modules avec de petits besoins. D'autre part, l'augmentation du délai de synchronisation permet de réduire la taille de l'ensemble des modules choisis.

### Références

1. B. Agard, B. Cheung, C. Da Cunha : Selection of a modules stock composition using genetic algorithm. INCOM'06, Saint-Étienne, France (2006).
2. B. Agard, B. Penz : A simulated annealing method based on a clustering approach to determine bills of material for a large size product family. Working paper (2007).
3. J. Lamothe, K. Hadj-Hamou, M. Aldanondo : An optimization model for selecting a product family and designing its supply chain. *European Journal of Operational Research* 169 :1030-1047 (2006).