

PLACEMENT DE CONTENANTS DANS UNE LIGNE D'ASSEMBLAGE

Nathalie GRANGEON, Sylvie NORRE

LIMOS CNRS UMR 6158
Antenne IUT de Montluçon
Avenue Aristide Briand
03100 Montluçon - France
{grangeon,norre}@moniu.univ-bpclermont.fr

Patrice LECLAIRE

LIMOS CNRS UMR 6158
Université Blaise Pascal
BP 10125
63173 Aubière Cedex - France
leclaire@isima.fr

RESUME : *Cet article présente un problème de placement issu d'une ligne d'assemblage industrielle. Le problème consiste à placer, en bordure de la ligne, les pièces et les outils nécessaires à l'assemblage des véhicules. En fonction de leur taille, les pièces et les outils sont placés dans des contenants ou à même le sol. Pour chaque véhicule, l'opérateur doit se déplacer pour prendre les outils et les pièces nécessaires à la réalisation d'opérations. Contrairement aux opérations d'assemblage, le temps pour effectuer ce déplacement ne crée pas de valeur ajoutée. L'objectif est donc de minimiser le temps total de déplacement de tous les opérateurs. Nous proposons une méthode de calcul du temps de déplacement et des heuristiques de placement.*

MOTS-CLES : *ligne d'assemblage, placement, heuristique, SRFLP, ODSAP*

1. INTRODUCTION

Dans la littérature, les principaux problèmes d'équilibrage de lignes d'assemblage sont issus de l'industrie automobile et concernent des lignes d'assemblage de véhicules. En 1986, Baybars (Baybars 1986) établit une classification de ces problèmes et définit le problème de base noté SALBP (*Simple Assembly Line Balancing Problem*). Ce problème s'intéresse à la fabrication d'un unique produit qui nécessite plusieurs opérations soumises à des contraintes de précedence. Ces opérations doivent être affectées à des stations placées en série le long d'une ligne tout en respectant les contraintes de précedence et les contraintes de temps de cycle. Un problème plus général, le GALBP (*Generalized Assembly Line Balancing Problem*) a ensuite été défini. Ce problème intègre des contraintes qui diffèrent du problème de base et qui s'avèrent plus proches des contraintes industrielles (incompatibilité entre opérations, obligation d'affectation, ...).

Les travaux que nous menons sur l'équilibrage de ligne d'assemblage sont issus de l'industrie automobile et concernent une ligne d'assemblage en série sur laquelle peuvent être usinés plusieurs types de véhicules (*mixed model*). Le problème est de type GALBP et intègre de nombreuses contraintes telles que des contraintes d'incompatibilités entre opérations, d'obligation / interdiction d'affectation, de stockage de composants sur le bord de ligne, ...

Dans les premiers travaux effectués (Boutevin 2003), une majoration de 20% des temps de fabrication était comptabilisée sur chaque poste de travail pour assurer la prise en compte de ces temps de déplacement et le

stockage des pièces et outils était considéré de façon pessimiste. La présence d'obstacles, le stockage redondant de pièce était autorisé. Ainsi, trop d'espace était réservé pour le stockage des pièces et outils.

Nous avons poursuivi ces travaux dans le but d'améliorer la prise en compte du déplacement des opérateurs entre le véhicule et la zone de stockage des pièces et des outils nécessaires à la réalisation des opérations. Une première amélioration a concerné la prise en compte des types de contenants et des obstacles afin de calculer plus précisément l'espace réservé au stockage (Gourgand et al. 2006) tout en conservant une majoration de 20% des temps de fabrication pour la prise en compte des déplacements.

L'objet de ce papier est de présenter la seconde amélioration apportée qui s'intéresse à la fois au stockage précis des pièces et outils (détermination des positions) et au calcul des temps de déplacement. Dans un premier temps, nous présentons le problème, les objectifs et les liens avec la littérature. Ensuite nous donnons une méthode pour évaluer le temps de déplacement des opérateurs, puis des algorithmes de liste basés sur des heuristiques pour le problème du *bin-packing*. Pour finir, la mise en œuvre des méthodes est présentée.

2. PRESENTATION DU PROBLEME

Nous considérons une ligne d'assemblage de véhicules divisée en sections de longueur identique. Les véhicules défilent sur la ligne à une vitesse constante et sont assemblés au fur et à mesure par des opérateurs. Un opérateur est affecté à un poste de travail qui se situe sur

une section. Plusieurs postes de travail peuvent se trouver sur une même section. Pendant le temps où le véhicule est présent sur sa section, l'opérateur doit réaliser un ensemble d'opérations qui nécessitent l'utilisation de pièces et d'outils. Ces pièces et outils sont stockés en bordure de la ligne, dans des contenants ou directement sur le sol. Nous distinguons le bord de ligne du côté gauche du véhicule et le bord de ligne du côté droit du véhicule. Nous nous intéressons au placement des pièces et des outils en bordure de la ligne. La ligne est représentée par la Figure 1.

Les opérations à effectuer dépendent du type du véhicule. Pour chaque type de véhicules, la quantité à produire pour une période de production est connue.

2.1. Définitions

Les pièces sont approvisionnées dans des unités de conditionnement (notées UC). Une UC regroupe des pièces ayant la même référence et possède une longueur et une largeur. Nous considérons trois types d'UC :

- les UC légères qui sont stockées dans des étagères,
- les UC encombrantes qui sont stockées dans des retourneurs,
- les UC gros volumes qui ne sont pas stockées dans un contenant mais directement sur le sol.

Une étagère est composée de trois niveaux de stockage de même hauteur. Cette hauteur permet de stocker n'importe quelles UC légères. Plusieurs UC peuvent être placées sur un niveau d'une étagère. La longueur d'un niveau est égale à la somme des longueurs des UC stockées dans le niveau. La longueur d'une étagère est modulable et dépend des UC placées, mais doit être comprise entre une longueur minimale et une longueur maximale. La longueur d'une étagère est égale à la longueur du niveau le plus long.

Un retourneur permet une manipulation aisée des UC encombrantes. Deux UC au maximum peuvent être stockées. La longueur d'un retourneur est égale à deux fois la plus grande dimension des UC stockées.

Nous considérons deux types d'outils :

- les outils légers qui sont stockés sur un établi,
- les outils lourds qui sont fixés au sol.

Un établi peut stocker un nombre illimité d'outils et possède des dimensions fixes. Les outils lourds possèdent également des dimensions fixes et ne sont pas déplaçables.

Des obstacles sont situés sur les bords de ligne. Ils ont une position et des dimensions. Ils réduisent l'espace utilisable pour le stockage.

2.2. Problème et objectif

Pour chaque bord de ligne de chaque section, nous connaissons les UC nécessaires à la fabrication de tous les véhicules pour une période de travail. Le problème consiste à constituer et placer les contenants (étagère, retourneur et établi) ainsi que les UC gros volumes. De façon plus précise, il s'agit de :

- constituer et placer les étagères :
 - affecter chaque UC légère à un niveau d'une étagère,
 - affecter une position à chaque étagère contenant au moins une UC légère.
- constituer et placer les retourneurs :
 - affecter chaque UC encombrante à un retourneur,
 - affecter une position à chaque retourneur contenant au moins une UC encombrante.

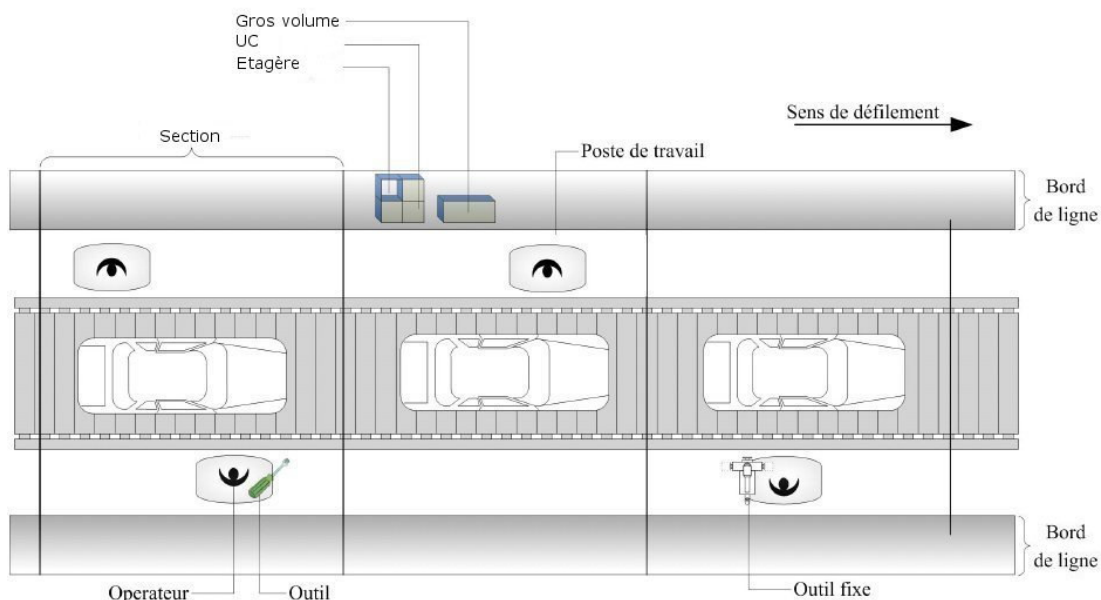


Figure 1 - représentation de la ligne d'assemblage

- placer les UC gros volumes : affecter une position à chaque UC gros volume,
- constituer et placer les établis :
 - affecter chaque outil léger à un établi,
 - affecter une position à chaque établi contenant au moins un outil léger.

Le nombre d'étagères, de retourneurs et d'établis n'est pas limité. Une position est caractérisée par une distance à partir du début de la ligne et un bord de ligne (gauche ou droit).

Outre les contraintes énoncées dans la partie définition, les contraintes sont :

- les étagères, les retourneurs, les établis, les outils lourds, les UC gros volumes sont placés les uns à côté des autres dans la longueur de la ligne, ne se chevauchent pas et sont espacés d'une distance minimum.
- les UC et les outils sont placés sur le bord de ligne (droit ou gauche) où est effectuée l'opération correspondante ; l'opérateur ne traverse pas la ligne.

Chaque opérateur réalise une séquence d'opérations sur chaque véhicule qui se présente sur sa section. Pour chaque véhicule, et chaque opération, l'opérateur doit se déplacer en bord de ligne pour prendre les outils et les pièces nécessaires à la réalisation de l'opération. Les temps de réalisation des opérations apportent de la valeur ajoutée alors que le temps de déplacement en bord de ligne ne crée pas de valeur. Nous faisons l'hypothèse que le temps de prise des pièces et des outils est négligeable. L'objectif est donc de minimiser le temps total de déplacement de tous les opérateurs.

La Figure 2 présente une modélisation sous forme d'un diagramme UML du problème et d'une solution.

2.3. Lien avec la littérature

A notre connaissance, les travaux de la littérature sur les problèmes d'équilibrage de ligne d'assemblage ne prennent pas en compte la problématique de placement de pièces ou d'outils en bord de ligne.

Le *Single Row Facility Layout Problem* (SRFLP), énoncé par (Heragu and Kusiak 1988) et le *One Dimensional Space Allocation Problem* (ODSAP) identifié par (Simmons 1969) ont pour objectif de trouver un arrangement optimal de n mobiliers de tailles différentes l_i ($i=1..n$) rangés en ligne selon une direction donnée de manière à minimiser la somme pondérée des distances entre toutes les paires de mobiliers en tenant compte de l'intensité du trafic c_{ij} entre les paires de mobiliers (i,j).

Plusieurs méthodes ont été proposées pour la résolution du ODSAP. (Simmons 1969) a proposé un branch and bound ; (Love and Wong 1976) s'intéressent à un

modèle de programmation linéaire mixte; (Picard and Queyranne 1981) ont développé un algorithme de programmation dynamique, extension de l'algorithme de (Karp and Held 1967) pour le cas particulier où les mobiliers sont de longueur identique. Tous ces algorithmes permettent d'obtenir une solution optimale, mais ont des temps de calcul importants et ne sont pas efficaces pour des problèmes ayant plus de 20 mobiliers. Des travaux portent également sur la proposition d'heuristiques. A titre d'exemple, nous pouvons citer les travaux de (Heragu and Kusiak 1991) qui utilisent une méthode d'approximation non linéaire, (Anjosa et al. 2005) qui portent sur la proposition d'une borne inférieure par relaxation et d'heuristique, (Romero and Sanchez-Flores 1990) et (Heragu and Alfa 1992), qui ont développé un recuit simulé et (Kumar et al. 1995), qui ont proposé une heuristique gloutonne.

Cependant, ce modèle ne prend pas en compte les spécificités de notre problème industriel :

- les étagères de taille modulable,
- le déplacement entre le véhicule et le bord de ligne,
- le déplacement à vitesse constante du véhicule.

3. EVALUATION

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'évaluation du temps de déplacement des opérateurs pour une solution (constitution et placement). Pour simplifier les calculs, toutes les positions sont données en distance par rapport au début de la section.

3.1. Evaluation pour une opération

Pour une opération, réalisée sur une section, nous connaissons la liste des UC et des outils nécessaires et donc la liste des positions où l'opérateur doit se rendre pour prendre des pièces et/ou des outils, avant de réaliser l'opération sur le véhicule. Pour calculer le temps de déplacement d'un opérateur pour une opération donnée, nous utilisons les notations suivantes, représentées par la Figure 3 :

- v_v : vitesse de déplacement du véhicule,
- v_o : vitesse de déplacement de l'opérateur,
- D : distance entre le côté du véhicule et le bord de ligne,
- $P = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$: la liste des positions, classées par ordre croissant,
- x_A : position du véhicule et de l'opérateur au début du déplacement de l'opérateur,
- x_B : position du véhicule lorsque l'opérateur est à la position x_n ,
- x_C : position du véhicule et de l'opérateur après le déplacement de l'opérateur et début de la réalisation de l'opération,

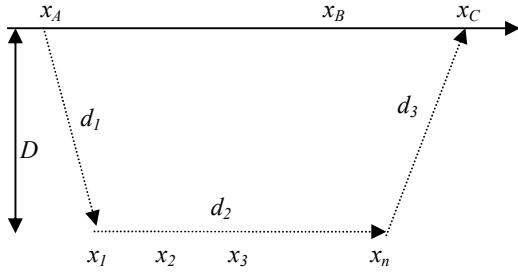


Figure 3 - Notations

Le déplacement de l'opérateur se décompose de la façon suivante :

- d_1 : distance parcourue par l'opérateur, du véhicule vers la première position x_1 ,
- d_2 : distance parcourue par l'opérateur de la première position x_1 vers la dernière position x_n ,
- d_3 : distance parcourue par l'opérateur de la dernière position vers le véhicule x_n .

$$d_1 = \sqrt{(x_A - x_1)^2 + D^2}$$

$$d_2 = x_n - x_1$$

$$d_3 = \sqrt{(x_n - x_C)^2 + D^2}$$

Pendant le déplacement de l'opérateur vers la position x_n , la distance parcourue par le véhicule est de $(d_1 / v_o + d_2 / v_o) \cdot v_v$.

$$x_B = x_A + \left(\frac{d_1}{v_o} + \frac{d_2}{v_o} \right) \cdot v_v$$

L'opérateur et le véhicule se rencontrent en x_C au même moment, c'est-à-dire :

$$\frac{\sqrt{(x_C - x_n + x_B)^2 - D^2}}{v_o} = \frac{\sqrt{x_C^2}}{v_v} \quad (1)$$

A partir de (1), on obtient une équation du second degré dont les solutions :

$$\begin{cases} x_1^* = \frac{x_n - x_B + \sqrt{\Delta}}{1 - \left(\frac{v_o}{v_v}\right)^2} \\ x_2^* = \frac{x_n - x_B - \sqrt{\Delta}}{1 - \left(\frac{v_o}{v_v}\right)^2} \end{cases}$$

$$\text{où } \Delta = (x_n - x_B)^2 - \left(1 - \left(\frac{v_o}{v_v}\right)^2 \right) \cdot ((x_n - x_B)^2 + D^2)$$

On suppose que la vitesse de l'opérateur v_o est strictement supérieure à v_v , la vitesse du véhicule, donc $v_o/v_v > 1$. Le point de rencontre le plus proche du début de la ligne est $x_C = x_B + x_2^*$.

Le temps de déplacement t_d associé à l'opération (i) est égal au temps mis par l'opérateur pour parcourir $d_1 + d_2 + d_3$.

$$t_d^{(i)} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{v_o} \quad (2)$$

3.2. Evaluation pour un type de véhicule

Pour un poste de travail et un type de véhicule, nous connaissons une liste ordonnée des opérations à effectuer. Le temps de déplacement d'un opérateur pour un type de véhicule est égal à la somme des temps de déplacement pour chaque opération à laquelle est ajouté le temps de retour de l'opérateur au début de la section. Nous faisons l'hypothèse qu'au début du calcul, l'opérateur et le véhicule sont au début de la section. Le calcul est donné par l'algorithme de la Figure 4. Nous utilisons les notations suivantes :

- $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_p\}$: la liste ordonnée des opérations à réaliser,
- x : position du véhicule au cours du calcul,
- V : nombre de types de véhicule à produire,
- $t_o^{(i)}$: temps de réalisation de l'opération i ,
- $t_d^{(i)}$: temps de déplacement associé à l'opération i ,
- $T_d^{(v)}$: temps de déplacement de l'opérateur pour le véhicule de type v .

```

x := 0
T_d^{(v)} := 0
Pour i := 1 à p faire
    Calculer t_d^{(O_i)} selon la formule (2) avec x_A=x
    T_d^{(v)} := T_d^{(v)} + t_d^{(O_i)}
    x := x + (t_d^{(O_i)} + t_o^{(O_i)}) \cdot v_v
Fin pour
T_d^{(v)} := T_d^{(v)} + x/v_o
    
```

Figure 4 - algorithme de calcul du temps de déplacement pour un type de véhicule

3.3. Evaluation pour la ligne

Pour un poste de travail donné, nous connaissons la séquence de véhicules à produire. Le temps total de déplacement de l'opérateur affecté au poste de travail est égal à la somme des temps de déplacement pour chaque véhicule. Nous utilisons les notations suivantes :

- q_v : quantité de véhicules de type v à produire,
- $TD^{(P)}$: temps total de déplacement pour le poste de travail p .
- P : nombre de postes de travail de la ligne

- TD : temps de déplacement de tous les opérateurs de la ligne.

$$TD^{(p)} = \sum_{v=1}^V T_d^{(v)} \cdot q_v$$

$$TD = \sum_{p=1}^P TD^{(p)}$$

4. RESOLUTION

Pour résoudre les problèmes de constitution et de placement, nous proposons des heuristiques à base de règles de priorité. Ces heuristiques utilisent, par bord de ligne de chaque section, une liste ordonnée d'UC. Cette liste est obtenue à partir d'une liste ordonnée d'opérations.

4.1. Construction des listes ordonnées d'opérations, UC

Dans un premier temps, une liste ordonnée d'opérations est construite, pour chaque bord de ligne de chaque section. Il nous est apparu plus judicieux de placer les opérations les plus fréquentes en premier, de sorte que les UC les plus fréquemment utilisées seront placées en début de section, de manière à minimiser les déplacements les plus fréquents. Si plusieurs postes de travail sont présents sur un même côté d'une même section, la constitution de la liste intercale les opérations des différents postes.

A partir de la liste des opérations, on peut construire une liste d'UC et d'outils nécessaires pour la réalisation des opérations. Chaque bord de ligne de chaque section dispose au maximum d'un établi. La première occurrence d'outil est remplacée par un établi et les suivantes sont supprimées. De plus, afin de limiter l'espace occupé en bord de ligne, des regroupements d'UC peuvent être envisagés si les quantités de pièces nécessaires pour la réalisation de la séquence de véhicules le permettent. Les UC les plus fréquemment utilisées sont placées en début de section. En cas de regroupement d'UC, la première occurrence est conservée et les suivantes sont supprimées.

4.2. Constitution et placement

Pour le problème de constitution et de placement, nous avons fait des parallèles avec le problème du bin-packing. Dans la littérature, un grand nombre de méthodes permet de proposer rapidement une solution à un problème de bin-packing. Les heuristiques *Next-Fit*, *First-Fit* et *Best-Fit* sont des heuristiques de liste qui considèrent une liste d'objets. L'heuristique *Next-Fit* affecte les objets, les uns après les autres, à la boîte courante. Si un objet ne peut pas être placé dans la boîte courante, la boîte est « fermée » et une nouvelle boîte est

ouverte. La nouvelle boîte devient la boîte courante. Une amélioration de l'heuristique *Next-Fit* est l'heuristique *First-Fit*, dans laquelle les boîtes ne sont jamais « fermées ». Toutes les boîtes sont examinées pour l'insertion d'un objet et dès qu'une boîte convient, l'objet est inséré. Si aucune boîte ne peut être affectée à un objet, une nouvelle boîte est créée. L'heuristique *Best-Fit* améliore l'heuristique *First-Fit* est affectant un objet à la boîte avec le moins d'espace restant qui peut l'accueillir. (Coffman et al., 1996) donne des garanties de performance pour ces trois heuristiques.

Nous avons identifié trois problèmes de bin-packing :

- Pb1** : les boîtes sont les espaces entre les éléments fixes de la ligne (obstacle et outils lourd) et les objets sont les contenants et UC gros volumes à placer,
- Pb2** : les boîtes sont les retourneurs et les objets sont les UC encombrantes à affecter aux retourneurs,
- Pb3** : les boîtes sont les niveaux des étagères et les objets sont les UC légères à affecter aux étagères.

Pour chacun des problèmes, le principe des heuristiques *Next-Fit*, *First-Fit* et *Best-Fit* peut être appliqué. Pour chaque problème, des règles peuvent être énoncées :

- Pb1 – Règle 1** : le contenant ou l'UC gros volume est placé dans l'espace inter-éléments fixes courant. S'il ne peut pas être placé, il est placé dans le premier espace suivant possible. Celui-ci devient l'espace courant.
- Pb1 – Règle 2** : le contenant ou l'UC gros volume est placé dans le premier espace inter-élément possible. Les espaces sont parcourus dans l'ordre inverse de leur création.
- Pb1 – Règle 3** : le contenant ou l'UC gros volume est placé dans l'espace inter-élément avec le moins d'espace restant qui peut l'accueillir.
- Pb2 – Règle 1** : si le dernier contenant placé est un retourneur, l'UC encombrante est placée dans ce retourneur. Sinon, un nouveau retourneur est créé et placé en utilisant une des règles du problème Pb1 et l'UC encombrante lui est affectée.
- Pb2 – Règle 2** : l'UC encombrante est placée dans le premier retourneur trouvé qui n'est pas complet. Les retourneurs sont examinés dans l'ordre inverse de leur création. Si aucun retourneur n'est trouvé, un nouveau retourneur est créé et placé en utilisant une des règles du problème Pb1 et l'UC encombrante lui est affectée.
- Pb3 – Règle 1** : si le dernier contenant placé est une étagère, l'UC légère est placée dans le niveau possédant le plus de place libre. Si aucun niveau ne peut accueillir l'UC, l'étagère est agrandie, si possible, pour placer l'UC. Si la longueur maximale de l'étagère est atteinte, une nouvelle étagère est créée et placée en utilisant une des règles du Pb1 et l'UC légère lui est affectée.
- Pb3 – Règle 2** : l'UC légère est placée dans la première étagère pouvant accueillir l'UC. L'agrandissement des étagères peut être étudié. Si aucune étagère n'est trouvée, une nouvelle

étagère est créée et placée en utilisant une des règles du problème Pb1 et l'UC lui est affectée. Les étagères sont parcourues dans l'ordre inverse de leur création.

Pb3 – Règle 3 : l'UC légère est placée dans l'étagère avec le moins d'espace restant. L'agrandissement de l'étagère peut être étudié. Si aucune étagère n'est trouvée, une nouvelle étagère est créée et placée en utilisant une des règles du problème Pb1 et l'UC lui est affectée.

L'agrandissement d'une étagère pour les règles 2 et 3 peut s'envisager de deux manières : soit en déplaçant les éléments placés en aval de l'étagère, soit en ne déplaçant pas les éléments placés en aval. Ce dernier cas ne permet d'explorer que d'éventuels espaces vides avant un élément fixe. L'agrandissement doit tenir compte de la longueur maximale.

Le principe général de l'heuristique consiste à parcourir, la liste des UC et à utiliser une des règles 1, 2 ou 3 en fonction de l'UC rencontrée dans la liste. Ce principe est mise en œuvre pour chaque côté de chaque section. Toutes les combinaisons de règles sont énumérées et le placement qui minimise le temps de déplacement des postes de travail est conservé.

5. MISE EN ŒUVRE

Les heuristiques présentées ont été intégrées dans un outil d'aide à la décision, que nous avons conçu lors de nos travaux initiaux (Boutevin 2003). Cet outil intégrait les temps de déplacement par une majoration de 20% des temps de réalisation des opérations et ne gérait pas de façon réaliste le stockage en bord de ligne. Son fonctionnement après intégration des heuristiques pour la constitution des étagères et le placement de contenants suit les étapes suivantes :

- 1) Une étape de rééquilibrage qui consiste à rendre un équilibrage admissible vis-à-vis d'un certain nombre de contraintes. Les temps de déplacement des opérateurs sont modélisés en réduisant de 20% le temps de cycle.
- 2) Une étape de placement des pièces et outils en bord de ligne et le calcul des temps de déplacement des opérateurs.
- 3) Une étape d'intégration des temps de déplacement des opérateurs, qui sont ajoutés aux temps de réalisation des opérations. Cette modification des temps de réalisation peut entraîner une violation du temps du cycle sur certain poste de travail. L'étape 1 de rééquilibrage est relancée.

Les tests réalisés sur des jeux d'essais fournis par l'entreprise ont permis de montrer que les règles basées sur l'heuristique *Best-Fit* permettent d'obtenir les meilleurs résultats, car elles ont pour objectif de remplir au maximum les niveaux des étagères.

Cependant, les résultats ont montré une très forte occupation des bords de ligne qui pouvaient entraîner des déplacements dans des sections voisines de la section de l'opérateur. Une visite d'une ligne d'assemblage nous a amenés à constater un fort taux d'occupation des bords de ligne avec des chevauchements de contenants ou de contenants et d'obstacles, ce qui explique les débordements de section obtenus.

6. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un problème industriel de placement de pièces et outils en bord d'une ligne d'assemblage. L'objectif que nous avons considéré est la minimisation du temps total de déplacement des opérateurs. Pour cela, nous avons proposé une méthode de calcul et des heuristiques de placement basées sur des heuristiques dédiées au problème du *bin-packing*.

REFERENCES

- Anjosa M.F., Kenningsb A. and Vannellib A., A semidefinite optimization approach for the single-row layout problem with unequal dimensions, *Discrete Optimization 2* (2005) 113 – 122.
- Baybars, I., A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem. *Management Science*, 1986, 21, 909–932.
- Boutevin, C., Problème d'Ordonnancement et d'Affectation avec Contraintes de Ressources de type RCSP et Line Balancing. Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand, France, 2003.
- Coffman E.G. Jr, Garey M.R. and Johnson D.S., *Approximation Algorithms for NP-Hard Problems, chapter Approximation Algorithms for Bin Packing: A Survey*, Dorit S. Hochbaum (1996) 46–93.
- Gourgand M., Grangeon N., Leclaire P., Norre S., Le problème du rééquilibrage du ligne d'assemblage de véhicules, *6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM 2006)*, Rabat (Maroc), 10 pages, (2006).
- Heragu S.S., Alfa A.S., Experimental analysis of simulated annealing based algorithms for the layout problem, *European J. Oper. Res.* 57 (2) (1992) 190–202.
- Heragu S.S. and Kusiak A., Machine layout problem in flexible manufacturing systems, *Operation Research* 36 (2) (1988) 258–268
- Heragu S.S., Kusiak A., Efficient models for the facility layout problem, *European J. Oper. Res.* 53 (1991) 1–13.
- Karp R.M., Held M., Finite-state processes and dynamic programming, *SIAM J. Appl. Math.* 15 (1967) 693–718.
- Kumar K.R., Hadjinicola G.C., Lin T., A heuristic procedure for the single-row facility layout problem, *European J. Oper. Res.* 87 (1) (1995) 65–73.
- Love R.F., Wong J.Y., On solving a one-dimensional space allocation problem with integer programming, *INFOR* 14 (2) (1976) 139–143.

- Picard J.-C., Queyranne M., On the one-dimensional space allocation problem, *Operation Research*. 29 (2) (1981) 371–391
- Romero D., Sanchez-Flores A., Methods for the one-dimensional space allocation problem, *Comput. Oper. Res.* 17 (5) (1990) 465–473
- Simmons D.M., One-dimensional space allocation: an ordering algorithm, *Operation Research* 17 (1969) 812–826