

8^e Conférence Internationale de Modélisation et Simulation - MOSIM'10 - 10 au 12 mai 2010 - Hammamet - Tunisie

« Evaluation et optimisation des systèmes innovants de production de biens et de services »

UNE APPROCHE HYBRIDE PAR SIMULATION ET OPTIMISATION POUR UN PROBLEME DE PRODUCTION

S. BELMOKHTAR, T. KLEIN

CRAN / Nancy université
Faculté des sciences – BP 239
540506 Vandoeuvre-Lès-Nancy, France
{Sana.Belmokhtar,thomas.klein}@uhp-nancy.fr

A. OULAMARA

LORIA / Nancy université
Ecole des mines de Nancy
Parc de Saurupt, 54042, Nancy, France
Ammar.Oulamara@loria.fr

RESUME : Dans ce papier, nous proposons un modèle conjoint de simulation et d'optimisation d'un système de production de meubles. L'atelier de production est composé de deux unités. Dans la première unité, les produits entrant dans la composition des meubles sont découpés à partir de panneaux standard en MDF (Medium Density Fiberboard), puis dans la deuxième unité, les produits découpés subissent une succession d'opérations de peinture, de ponçage et de laquage. Nous nous intéressons ici au problème complexe combinant le problème de découpe qui consiste à minimiser les chutes lors de la préparation des pièces composant les meubles, et le problème de détermination de la taille des lots de production dans l'atelier de peinture et de laquage des pièces. Nous proposons un modèle conjoint de simulation et d'optimisation des flux de production. A l'aide d'un logiciel commercial de simulation, nous proposons plusieurs préconisations pour une gestion efficace de l'atelier de production.

MOTS-CLES : modélisation, simulation, optimisation, taille des lots, découpe.

1 INTRODUCTION

Les répercussions de la crise économique sur le monde industriel ont été d'une grande ampleur. La baisse de la demande a provoqué un important ralentissement de l'activité de la plupart des industries. Aussi, un usage rigoureux des ressources telles que des matières premières et des moyens de production est devenu plus que jamais crucial. L'industrie du meuble n'est pas en reste face à ces changements. Dans une quête toujours plus intense à des outils garantissant un bon niveau de performance en respectant un maximum de contraintes technologiques. Dans ce papier, nous proposons une approche globale pour évaluer les performances d'un atelier de production de meubles.

Plusieurs études dans la littérature ont abordé les problèmes de gestion de la production au sens large. L'objectif commun de ces études est la proposition de méthodes et d'outils d'aide à la décision pour la gestion de production, et de manière spécifique au contrôle et l'optimisation des outils de production. Naturellement chacune de ces études traite d'un environnement particulier avec des problématiques bien déterminées telles que la définition de la taille des lots dans un système de production, ou l'optimisation du nombre de ressources spécifiques nécessaires à la production. En général, les approches proposées sont soit des méthodes d'optimisation soit des méthodes par simulation à événements discrets. Les approches d'optimisation ont largement montré leur efficacité, dès qu'il s'agit de minimiser les coûts liés à la production, ou optimiser l'utilisation des ressources. Néanmoins, si on cherche à optimiser le fonctionnement

global d'un système de production, les méthodes d'optimisation s'avèrent inexploitable à cause de la taille des problèmes ou de leur complexité qui rend difficile la modélisation et l'optimisation par des approches analytiques. En particulier, ces dernières sont incapables de prendre en compte des phénomènes de nature stochastique. Dans ces cas, ce sont plutôt des techniques basées sur la simulation qui sont les plus appropriées pour évaluer la performance des systèmes de production. Néanmoins, ces dernières présentent à leur tour des inconvénients. En effet, même si elles permettent de modéliser et d'évaluer des systèmes assez complexes, elles sont en revanche incapables de déterminer la meilleure configuration possible, il appartient ainsi au décideur lui-même de retenir le meilleur scénario parmi un certain nombre.

Les méthodes d'optimisation ainsi que les approches par simulation à événements discrets peuvent être considérées comme complémentaires compte tenu de la compensation des avantages de l'une par rapport aux faiblesses de l'autre. Ainsi, l'idée d'un couplage des deux types d'approches permettrait d'assurer, d'une part un seuil de performance garantie par la couche d'optimisation, et d'autre part de considérer une dimension de complexité plus importante grâce à l'approche de simulation à événement discret.

L'idée de couplage des deux approches n'est pas récente, et des approches combinant simulation et optimisation sont utilisées dans diverses applications. Elles peuvent être considérées comme des méthodes hybrides dont le but est de maîtriser un ensemble de paramètres permettant de maximiser les performances du système étudié. Plusieurs études dans la littérature proposent de telles approches. Hani et al. (2009) étudient le problème

d'ordonnement des installations de maintenance dans un réseau ferroviaire. Ils proposent une méthodologie combinant l'utilisation d'un outil de simulation ARENA avec une méthode d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques. Baesler (2002) a développé une méthode combinant la simulation et un algorithme génétique pour l'amélioration d'un système de production de meubles. Muhl et al. (2003) ont proposé une hybridation d'un algorithme génétique avec un recuit simulé le tout couplé à une simulation pour la résolution du *problème car sequencing* de l'industrie automobile. Pierreval (1997), a proposé un schéma de couplage entre simulation et optimisation par des algorithmes évolutionnaires pour les systèmes manufacturiers.

Dans ce papier, nous nous intéressons à un problème industriel complexe de découpe, d'ordonnement et de dimensionnement des lots de fabrication d'une usine de production de meubles. Dans la section problème industriel, nous présentons l'imbrication qu'il y a entre la découpe et la constitution des lots. Nous proposons une méthode hybride de simulation et d'optimisation pour la détermination de la taille optimale des lots tout en minimisant les chutes à la découpe et en maximisant la productivité.

Les problèmes de dimensionnement des lots dans les systèmes de production sont largement considérés dans la littérature, notamment en planification et ordonnancement. Ces problèmes sont aussi connus dans la littérature sous l'appellation de *lot-sizing problems* (Brahimi (2004), Drexl et Kimms (1997), Fleischmann (1990), Pochet et Wolsey (2006)). L'objectif est de déterminer un plan de production d'un ensemble de produits sur un horizon de temps composé de plusieurs périodes, tout en tenant compte de la disponibilité des ressources, et de la satisfaction des clients. L'objectif consiste alors à minimiser les coûts de production, de stockage et les pénalités. Wolsey (1995), a proposé un état de l'art sur le problème de lot-sizing, Brahimi et al. (2006), ont présenté plusieurs modélisations mathématiques et un état de l'art sur les méthodes de résolution. D'autres résultats sur le lot-sizing sont énumérés dans Karimi et al. (2003).

Par ailleurs les problèmes de découpe, sont aussi largement considérés dans la littérature. Le problème consiste à placer des petits objets dans des grands de plusieurs formes possibles (ronds, rectangles) et de taille différentes sur une surface de dimensions fixes de manière à minimiser les pertes. Un tel type de problème est très complexe du fait du nombre de combinaisons possibles et des contraintes de non recouvrement. Depuis l'algorithme de Gilmore et Gomory, proposé en 1965, pour le problème de découpe à deux dimensions, plusieurs modèles et méthodes de résolution exactes ou approchées ont été proposées dans la littérature, Lodi et al. (2002) présentent un état de l'art complet sur le sujet. Plus récemment, Wäscher et al. (2007) ont complété les travaux de Dyckhoff (1990) en présentant une typologie

plus complète pour recenser les types d'attribution ainsi que les assortiments possibles.

Dans ce papier, nous considérons un problème conjoint de dimensionnement de taille de lot et de séquencement (*lot sizing and scheduling*) correspondant à l'atelier de ponçage avec un problème d'optimisation de découpe (*bin packing*) associé à l'atelier de découpe. Nous proposons une approche permettant de prendre en compte les contraintes des deux problèmes afin de trouver une solution globale tenant compte des objectifs contradictoires du problème de découpe et du problème de dimensionnement et séquencement des lots de production.

La suite de ce papier est structurée en trois sections : dans la section 2, nous présentons le problème industriel concerné par cette étude. Dans la section 3, nous proposons un modèle conjoint d'optimisation et de simulation du problème industriel en question et nous présentons et commentons les différents résultats de l'approche hybride, puis nous terminons ce papier par une conclusion et des perspectives.

2 PROBLEME INDUSTRIEL

Les fabricants de meubles qui proposent une grande variété de produits dans des volumes importants (fournisseurs de distributeurs de meubles) doivent faire face à des problèmes de production complexe au niveau du pilotage de l'atelier. En pratique, le fabriquant de meubles reçoit les commandes de meubles de plusieurs distributeurs. La nomenclature de chaque meuble permet de connaître le type et le nombre de pièces nécessaires pour sa composition. Dans ce problème, on ne s'intéresse pas à l'assemblage du meuble fini mais uniquement à la fabrication des pièces qui le composent pour obtenir des kits prêts à être monter puis à livrer aux distributeurs. Chaque pièce est caractérisée par une forme, des dimensions (longueur, largeur et épaisseur) et une couleur. Le système de production est composé de deux ateliers. Le premier atelier est spécialisé dans la découpe des panneaux standard pour obtenir les pièces avec les caractéristiques demandées. On trouve deux types de panneaux standard d'épaisseur différente. Les produits sont regroupés selon leur épaisseur pour une éventuelle découpe du même panneau. Le second atelier est spécialisé dans le laquage et le ponçage des pièces pour leur donner leur aspect final. Il est composé d'un robot pour le laquage (dépôt de fond ou première couche de peinture, la couleur principale ou la deuxième couche de couleur et la laque) suivi de machines de ponçage manuel et automatique. Ainsi les pièces font deux passes dans l'atelier à savoir le passage : robot – ponçage - robot – ponçage - robot. Dans cet atelier, les pièces sont regroupées en lots de même couleur de sorte à minimiser les temps de changement de couleur sur le robot.

Les deux problèmes interviennent de manière séquentielle du point de vue du flux des matières puisque en amont, se pose le problème lié à la découpe et en aval le

dimensionnement des tailles de lots & séquençement. Ces deux problèmes sont fortement liés car les décisions prises à chaque niveau ont un impact direct sur les performances globales du système. Par conséquent, ils doivent être considérés conjointement afin de prendre en compte l'ensemble des objectifs à atteindre à savoir : la chute matière, les niveaux de stocks ainsi que les temps de réglage. Dans ce qui suit, nous décrivons d'abord le problème de découpe propre à ce type d'industrie ensuite nous présentons le problème de dimensionnement & séquençement avec ses spécificités dans ce contexte bien particulier.

2.1 Atelier de découpe

Les commandes sont regroupées de manière à trouver un compromis entre les chutes engendrées par la découpe des pièces et le temps de cycle à ne pas dépasser pour maintenir un taux de service maximum. Le temps de cycle d'une pièce correspond au temps que passe la pièce dans l'atelier de laquage, soit l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment où la pièce entre dans l'atelier de laquage et le moment où elle est emballée dans un colis pour y être expédiée. Il est à noter que certains ouvrages désignent par temps de séjour le temps de cycle des pièces auquel nous faisons référence ici.

Ainsi, il faudrait regrouper un minimum de commandes pour augmenter la fluidité des pièces et réduire leur temps de cycle. À l'opposé pour l'optimisation de la chute des matières, il faudrait avoir un maximum de pièces à découper et par conséquent un maximum de commandes regroupées. Par ailleurs, les pièces à fabriquer n'ont pas toujours la même épaisseur. En effet, les pièces étant caractérisée en outre par leur épaisseur, elles doivent, elles-mêmes, être regroupées pour être découpées sur des panneaux de l'épaisseur correspondante.

2.2 Atelier de laquage

Une fois découpées, les pièces doivent passer par l'atelier de laquage afin qu'elles soient complètement finies. En effet, plusieurs opérations de peinture (dépôt de plusieurs fonds) ainsi que de laquage seront nécessaires avant que les pièces puissent être expédiés. Après chaque dépôt de fonds, des opérations de ponçage manuel puis mécanique sont nécessaires. L'atelier de laquage est composé : (i) d'un robot chargé de déposer un fond de couleur sur les pièces ainsi que de la laque (ii) deux séries de machines de ponçage, la première série correspond à des machines manuelles et la seconde série est constituée de machines automatiques uniquement. Les pièces passent sur toutes les machines dans le même ordre. En premier sur le robot puis sur les machines de ponçage manuel et mécanique. Sur le robot, le traitement concerne le dépôt de peinture sur les pièces, ainsi un temps de réglage correspondant au temps de nettoyage est nécessaire à chaque changement de couleur. De plus, certains changements de couleurs sont plus délicats que d'autres, par exemple le passage d'une couleur au blanc nécessite plus de temps de nettoyage si l'on

souhaite avoir une couleur fidèle à l'originale. En effet, selon les séquences de couleurs, les temps de changements de séries ne sont pas identiques. Ce type de temps de réglage a été largement considéré dans la littérature de l'ordonnancement, il est désigné par temps de réglage dépendant de la séquence.

3 MODELE DE SIMULATION-OPTIMISATION

Bien que l'atelier de laquage se situe en aval de la découpe, c'est l'opération de laquage qui va déterminer la meilleure taille des lots. Il est ainsi logique de considérer en premier la détermination de la taille des lots avant d'établir les règles de découpe des produits.

Ainsi, notre approche pour le traitement du problème se décompose en deux phases : la première phase consiste à simuler le fonctionnement de l'atelier de laquage à l'aide d'un logiciel de simulation à événements discrets. L'objectif de cette phase est de déterminer la taille optimale des lots à traiter, (taille exprimée en mètre carré). La deuxième phase est l'optimisation de la découpe. Cette phase utilise les résultats de la première pour élaborer des règles de sélection des produits à découper et leur emplacement sur les planches standard de sorte à minimiser les chutes et préparer les lots pour la partie laquage.

3.1. Simulation de l'atelier laquage

Nous avons modélisé le fonctionnement global de l'atelier de laquage en utilisant le logiciel de simulation à événements discrets : *EXTEND*. Les flux de production sont représentés graphiquement grâce aux bibliothèques standard ou spécifiques à la modélisation des flux. *EXTEND* dispose entre autres de composants pour modéliser les goulets d'étranglement, les aléas, l'utilisation des ressources, les règles d'exploitation, pour mesurer la productivité et la rentabilité du processus modélisé.

Dans cette simulation, nous avons regroupé les lots en pièces de même couleur afin de minimiser les temps de changements au niveau du robot. Il reste alors à déterminer la taille des lots ainsi que le séquençement des couleurs dans l'atelier de laquage. La simulation doit permettre :

1. De déterminer la taille optimale des lots, pour ensuite pouvoir générer des lots de cette taille au niveau de la découpe.
2. De déterminer l'ordre de passage des couleurs dans le robot.

Concernant la caractérisation des lots, nous avons utilisé 3 indices de couleurs en plus de la laque, la couleur 1 pour le blanc, les indices 2 et 3 pour les autres couleurs. Le choix de trois indices pour la représentation des couleurs ne restreint toutefois pas la modélisation du problème. En effet, le robot est le seul endroit où la couleur du lot est significative et pourrait poser un problème. Or comme le temps de changement de couleur sur le robot entre 2 couleurs différentes autres que du blanc est toujours le même, alors notre modèle permet de

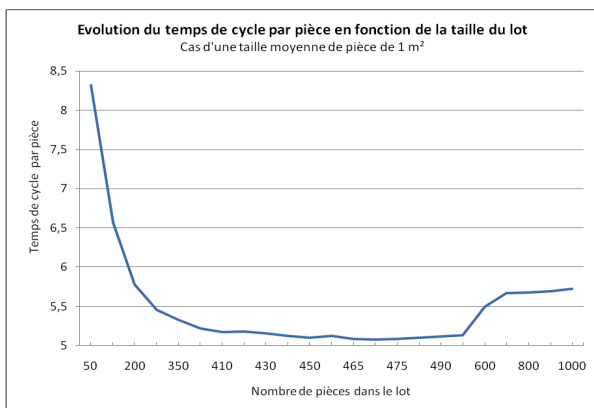
modéliser un atelier possédant une gamme de couleurs aussi grande qu'on le souhaite. Par exemple, pour une gamme de 5 lots de couleurs différentes, la séquence de couleurs 1, 2, 3, 4, 5 pourrait être modélisée par la séquence 1, 2, 3, 2, 3. L'important étant d'alterner les couleurs 2 et 3 pour modéliser un temps de changement de couleur.

Dans cette de simulation, les lots sont caractérisés par leur couleur, le nombre de passages dans le robot et puis par leur taille. Sur les machines de ponçage (automatique ou manuel), chaque lot est individualisé en pièces homogènes de t mètre carré. Nous avons testé le cas de $t=1$ et $t=0.7$. Dans la phase de simulation, nous n'avons pas besoin de considérer les différentes épaisseurs de pièces possibles car le laquage est en aval de la découpe qui génère déjà des lots par épaisseur. De plus l'épaisseur des pièces n'a pas d'influence sur le réglage des machines de ponçage.

3.1.1. Détermination de la taille des lots

Afin de déterminer la taille optimale des lots, nous avons simulé le fonctionnement de l'atelier de laquage, via notre programme *Extend*. Nous avons réalisé cette expérience pour une taille moyenne de pièces de 1 mètre carré puis pour une taille moyenne de 0.7 mètre carré. Pour chaque taille de lot, nous avons récupéré les valeurs de temps de cycle sur 20 simulations puis en avons calculé la moyenne. Enfin pour comparer les résultats obtenus, nous avons normalisé les moyennes obtenues des deux simulations, nous avons donc divisé chaque valeur moyenne par la taille du lot correspondant. Enfin, nous avons tracé l'évolution de la valeur de ce temps de cycle par pièce en fonction de la taille de lot. Pour une taille moyenne de pièce de 1 m², la courbe d'évolution du temps de cycle par pièce en fonction de la taille de lot présente un minimum sur une plage située entre 400 et 500 m², mais plus précisément pour une taille de lot de 470 m² où sa valeur est de 5.08 minutes par pièce environ.

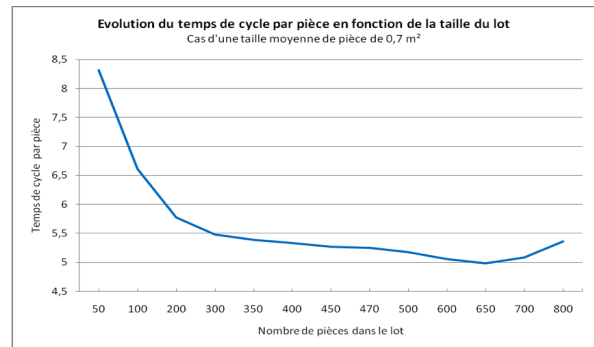
Figure 1. Évolution du temps de cycle en fonction de la taille du lots – Cas de taille moyenne de pièce de 1m².



Lorsque l'on réalise cette même simulation pour une taille moyenne de pièce de 0.7 m², la courbe d'évolution

du temps de cycle par pièce en fonction de la taille présente un minimum décalé vers la droite (environ 650 m²) par rapport à la courbe précédente. La valeur du temps de cycle par pièce est ici diminuée par rapport à la courbe précédente. Il est de 4.99 minutes par pièces.

Figure 2. Évolution du temps de cycle en fonction de la taille du lots – Cas de taille moyenne de pièce de 0.7m².



La différence entre les 2 courbes s'explique simplement par le fait que plus la taille d'une pièce est petite, plus il sera possible de mettre de pièces en même temps dans les différentes machines. Par conséquent, des lots d'une plus grande taille vont pouvoir être traités, d'où le décalage de la taille optimale de lots dans les résultats de simulation observés. Dans le deuxième cas, on remarque également que le temps de cycle par pièce est plus faible. Là également l'explication provient du même phénomène puisque en mettant plus de pièces en même temps sur les machines, celles-ci attendent forcément moins ce qui permet de réduire leur temps de cycle.

3.1.2. Détermination du séquençement (ordre de passage des couleurs)

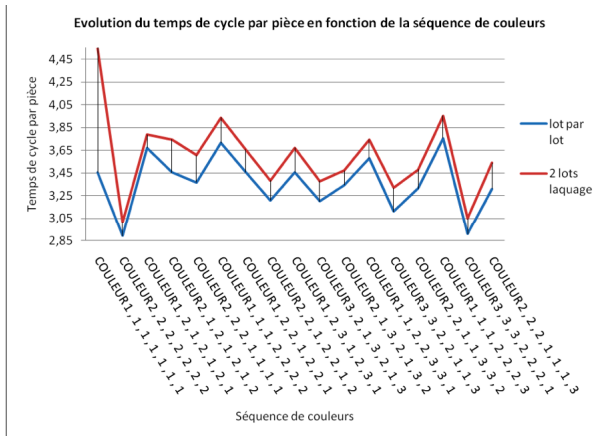
Afin de déterminer l'enchaînement optimal qui minimise le temps de cycle, nous avons réalisé des simulations représentant les différentes possibilités de travail sur une semaine. Nos hypothèses de travail sont issues de la problématique industrielle, auxquelles nous avons intégré la taille de lot optimale obtenue dans la phase de simulation. Ainsi les hypothèses sont les suivantes :

- Quantité à produire : 3290 m²,
- Nombre de lots : 7,
- Taille des lots : 470 m²,
- Taille moyenne des pièces : 1 m²,

N'ayant pas d'informations précises provenant de l'atelier de fabrication sur les quantités de pièces couleurs et pièces blanches, nous avons testé toutes les possibilités de couleur de lots afin d'obtenir des règles transposables suivant les contraintes de production. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence un planning de travail hebdomadaire qui minimise le temps de cycle. La figure 3 ci-dessous représente les résultats des différentes simulations.

Les tests ont été effectués en deux parties : (i) Une simulation de traitement lot par lot : Chaque lot est mis en attente tant que le précédent n'est pas terminé, (ii) Une simulation regroupant les lots deux par deux pour la partie laquage.

Figure 3. Évolution du temps de cycle par pièce en fonction de la séquence de couleurs



Une rapide analyse du résultat de la figure 3 permet de mettre en évidence les conclusions suivantes :

- Il est essentiel de traiter les lots un par un afin de minimiser le temps de cycle. En effet, le regroupement des lots pour le laquage génère une file d'attente importante au niveau du stock qualité.
- Il est plus intéressant de traiter des lots de couleurs plutôt que des lots de blancs. En effet, les temps de réglage associés au blanc sont plus importants que pour la couleur pour les raisons évoquées auparavant.
- Pour traiter des lots comportant une couleur unique et du blanc, il est préférable de débuter par les lots de couleurs groupés et d'intercaler les lots de blanc un par un.
- Pour traiter des lots comportant des couleurs différentes et du blanc, il est préférable de débuter par les lots de couleurs groupés et d'intercaler les lots de blanc un par un.

3.1.3. Détermination des stocks

Un autre objectif de la simulation est de répondre à la question concernant les stocks. Plus précisément, l'entreprise souhaite savoir si les espaces de stockage sont bien dimensionnés. Afin de répondre à cette question, nous avons réalisé des simulations avec différentes capacités de stock. Les espaces de stockage concernés ici sont l'espace de contrôle qualité et les espaces de stockage avant ponçage. De même les hypothèses de travail de cette simulation sont issues de la problématique industrielle en ajoutant les résultats des précédentes simulations. Les valeurs considérées sont les suivantes :

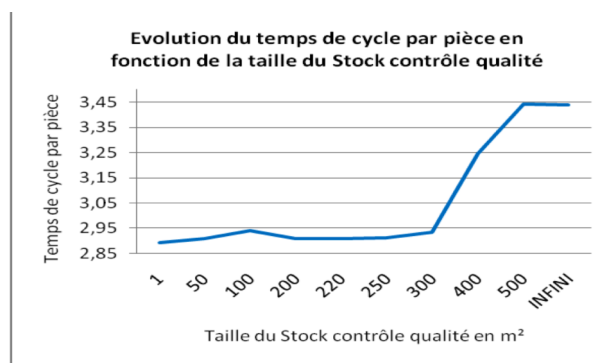
- Quantité à produire : 3290m²
- Nombre de lots : 7

- Taille des lots : 470m²
- Taille moyenne des pièces : 1m²
- Type de traitement : lot par lot
- Enchaînement : gamme de couleur 3,3,3,2,2,2,1

Pour maîtriser les flux matières en pratique dans l'atelier de laquage, l'entreprise se limite à la production de trois couleurs au plus par semaine.

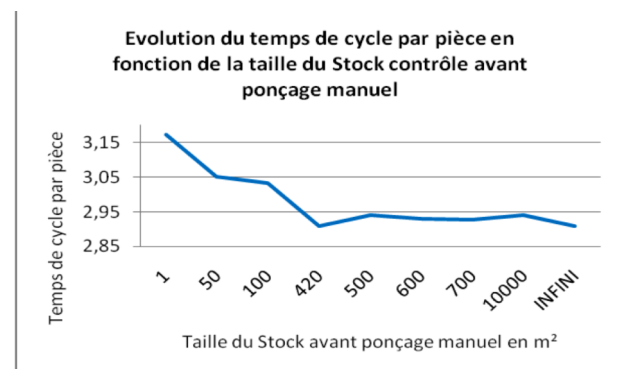
L'examen des résultats montre que seuls les stocks en amont des postes de ponçage manuel et contrôle qualité atteignent leur maximum et par conséquent peuvent avoir un impact sur le temps de cycle.

Figure 4. Évolution du temps de cycle par pièce en fonction de la taille du Stock contrôle qualité



L'analyse des résultats des figures 4 et 5 montre que le dimensionnement des stocks pour les hypothèses de travail présentées précédemment, est optimisé. Par conséquent, la simulation montre qu'une modification de la taille des stocks ne permettrait pas de réduire d'avantage le temps de cycle.

Figure 5. Évolution du temps de cycle par pièce en fonction de la taille du Stock ponçage manuel



3.2. Optimisation de la découpe

Bien que l'atelier de découpe se situe en amont de l'atelier laque, nous avons montré que la constitution des lots était établie compte tenu de l'atelier de laquage. Ainsi, dans cette phase d'optimisation de découpe, il

s'agit essentiellement de considérer les résultats de la simulation de l'atelier de laquage pour optimiser la découpe des pièces. Ainsi, la découpe a pour but :

- D'une part, la minimisation des chutes dans les patrons de panneaux à découper.
- D'autre part, la création de lots monocolores, de taille la plus proche possible de la taille optimale.
- Enfin, le rangement de ces lots selon l'ordre défini par la simulation de l'atelier laquage

L'approche utilisée dans la découpe utilise des règles de priorité, elle consiste en premier à grouper les commandes suivant leur date de fin souhaitée, puis dans chaque groupe, les pièces sont triées selon d'abord les épaisseurs, ensuite les couleurs et quantités à fabriquer. Ainsi, l'heuristique commence par découper les planches selon les épaisseurs des pièces (*i.e.* ne découpera pas des pièces de 16 mm en utilisant des planches de 18 mm), puis la priorité est donnée à la couleur des pièces, afin d'obtenir des lots monocolores, pour ainsi éviter qu'une commande soit divisée en plusieurs lots. Toutefois, cette dernière règle ne signifie pas l'interdiction de découper un ensemble de pièces de couleurs différentes. En effet, si leur épaisseur est commune, il est préférable de minimiser la chute en utilisant un maximum de pièces puisque l'agencement des pièces dans les planches peut grandement être amélioré si le nombre de pièces est important.

L'utilisation d'une heuristique par règles est aussi facilitée par le format des pièces à découper qui sont des rectangles. Cette propriété des pièces nous permet d'obtenir des résultats très performants par la simple adaptation de l'algorithme par niveau et l'algorithme *Bottom left* – BL, (Berkey et Wang, 1987). Concrètement, l'heuristique permet d'ordonner les pièces de chaque groupe (les groupes sont obtenus suivant les règles de priorité définies ci-dessus) selon l'ordre décroissant de la hauteur des pièces et en cas d'égalité selon l'ordre décroissant de leur largeur, puis elle place chaque pièce le plus bas possible sur la planche à découper et le plus à gauche possible. Comme l'outil de découpe est de type guillotine, le placement de la première pièce sur la planche va définir un premier niveau de coupe. La base du niveau suivant est délimitée par la ligne horizontale que définit le dessus de la pièce la plus haute dans le niveau précédent. La création de niveaux est répétée tant qu'il reste de pièces à placer que le niveau courant ne peut pas contenir. Pour un niveau donné, l'heuristique permet de placer la pièce courante en la justifiant à gauche au niveau où elle peut être placée entièrement (la propriété BL est totalement vérifiée). Si aucun des niveaux déjà existants ne peut la contenir, on initialise un nouveau niveau et on passe au **Petit test de planification** de l'heuristique, nous avons généré plusieurs instances aléatoires de différentes pièces types qui correspondent aux données fournies par l'industriel. Comme nous ne connaissons pas les solutions optimales correspondantes aux instances générées, nous avons fait le choix de prendre en compte le taux de chute pour chaque planche dont nous déduisons un taux

de chute moyen sur l'ensemble des planches utilisées. Des expérimentations effectuées, il en résulte que le taux moyen est de l'ordre de 12% par rapport à la surface totale des planches. Toutefois concernant la chute matière constatée dans l'atelier, aucune estimation n'est connue pour affirmer l'apport de notre méthode.

Ces premiers résultats doivent être davantage analysés notamment en les comparant à des bornes inférieures pour les instances dont les solutions optimales sont inconnues. Pour cette étape préliminaire, l'objectif premier était de fournir à l'industriel des premières estimations des pertes générées et du gain potentiel grâce à une optimisation couplée avec le problème de dimensionnement de lots. Ainsi, la validation de cette approche passe obligatoirement par une phase expérimentale plus approfondie en testant l'heuristique sur des instances difficiles puisque les instances industrielles ne sont pas significativement importantes. Néanmoins, ces premiers résultats ont permis de quantifier des mesures de performance pour les deux ateliers, ce qui n'était pas le cas jusque-là. Nous pouvons ainsi dire que les décisions prises concernant les tailles de lots pratiqués aujourd'hui sont dans l'intervalle présentant le meilleur compromis entre coût de stocks et réglage.

4 CONCLUSION

Dans ce papier, nous proposons un outil d'aide à la décision mettant en oeuvre une approche globale pour un problème complexe composé d'une part d'un problème de découpe et d'autre part d'un problème de dimensionnement de tailles de lots et séquençement. Les sous-problèmes ne peuvent être traités séparément car les objectifs considérés à chaque niveau peuvent mener à des décisions contradictoires. Nous avons proposé de répondre au problème de l'atelier de laquage par une approche de simulation à événements discrets en raison de complexité du problème (présence de plusieurs types de pièces, stocks à maîtriser, rebus dû au ponçage manuel). Quant à la détermination des plans de coupe, nous avons utilisé une méthode d'optimisation qui prend en entrée les tailles de lots obtenus par simulation. Les résultats expérimentaux obtenus permettent de mettre en évidence tout un intervalle de valeurs possibles pour la taille de lot ce qui introduit une flexibilité intéressante au niveau du pilotage. Une phase expérimentale plus approfondie est toutefois à mener dans cette direction afin de mieux quantifier la flexibilité introduite et les objectifs à maintenir comme les niveaux de stocks aux endroits critiques ainsi que les taux de chutes limites qu'on pourrait s'autoriser.

REFERENCES

- Baesler, F. Productivity improvement in the wood industry using simulation and artificial intelligence. *Winter Simulation Conference; San Diego*, 1095-1098, 2002.

- Berkey, J.O. et Wang, P.Y. Two dimensional finite bin packing algorithms, *Journal of the Operational Research Society*, 38 : 423- 429, 1987.
- Brahimi, N. Planification de la production : modèles et algorithmes pour les problèmes de dimensionnement de lots. Thèse de doctorat, université de Nantes, 2004.
- Brahimi, N, Dauzère-Pérès, S. N.M. Najid, et Nordli. A. Single item lot sizing problems. *European Journal of Operational Research*, 168 (1):1-16, 2006.
- Drake G, et J. Smith. Simulation system for real-time planning, scheduling, and control. *Winter Simulation Conference; Colorado*, 1083–1090, 1996.
- Drexler, A. et Kimms, A. Lot sizing and scheduling – survey and extensions. *European journal of Operational Research*, 99 : 221-235, 1997.
- Dyckhoff, H. A typology for cutting and packing problems, *European Journal of Operation Research*, 44 :145–159, 1990.
- Elmaraghy H.A., Abdallah, I.B. et W.H. Elmaraghy On-line simulation and control in manufacturing systems. *Annals of the CIRP*, 47, 401–404, 1998.
- Fleischmann, M. The discrete lot-sizing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 44 : 337-348, 1990.
- Gilmore, P.C. et Gomory, R.E. Multistage cutting problems of two and more dimensions, *Operations Research*,13, 94-119, 1965.
- Hani, Y. Amodeo, L. Yalaoui, F. Chen, H. Simulation based optimization of a train maintenance facility export. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(3) : 293-300, 2008.
- Karimi, B, Fatemi Ghomi, S.M.T. et Wilson, J.M. The capacitated lot sizing problem : a review of models and algorithms. *Omega*, 31(5) : 365–378, 2003.
- Lodi, A., S. Martello et Monaci, M. Two-dimensional packing problems: a survey, *European Journal of Operational Research*, 141, 241-252, 2002.
- Muhl, E. Charpentier, P. et F. Chaxe. Optimzation of physical flows in an automotive manufacturing plant: some experiments and issues. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 293–305, 2003.
- Pierreval, H. Using Evolutionary Algorithms and simulation for the optimization of manufacturing systems. *IIE Transactions*, 29(3) : 181–190, 1997.
- Pochet, Y. et Wolsey L.A. Production planning by Mixed integer programming. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer, 2006.
- Wäscher G., Haubner H. et Schumann H. An improved typology of cutting and packing problems, *European Journal of Operation Research*, 183 : 1109–1130, 2007.
- Wolsey, L.A. Progress with single-item lot-sizing. *European Journal of Operational Research*, 86(3) : 395–401, 1995.