

Ordonnancement et Affectation des tâches du cycle de production : Cas de l'entreprise IFRI

Kartout K., Kadri S., Aoudia Z. et Aïssani D.

lamos_bejaia@hotmail.com, zo.aoudia@gmail.com

Résumé L'ordonnancement du processus de changement de format à ressources limitées avec contraintes de délais est l'une des fonctions clés dans la gestion de la production dans toute entreprise.

L'étude que nous avons menée au niveau de l'entreprise IFRI consiste à planifier dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches régies par des contraintes temporelles et de ressources, qui sont limitées par une capacité fixe au cours d'un délai fixe. Une fois le problème caractérisé, nous avons pu élaborer un ordonnancement optimal à l'équilibrage de charge au niveau de la ligne de production CSD. Une application de l'algorithme d'équilibrage de charge a été réalisée qui nous a permis de répartir les charges de travail de façon égale sans augmenter le délai de réalisation du processus de changement de format.

Mots clés : Ordonnancement des tâches avec ressources limitées, équilibrage de charge, changement de format.

7.1 Introduction

Dans les dernières décennies, le succès incontestable d'applications des nouvelles technologies dans l'industrie a créé l'hypothèse qu'un processus technique innovant apportera toujours et simultanément une augmentation de la productivité de l'usine. Cette hypothèse se transforme très souvent dans un gaspillage des ressources et dans une source de non productivité de l'usine, tout simplement par le fait que le développement du processus opérationnel (capital humain) n'est pas considéré comme une priorité et ignoré par la plupart des entreprises [2]. Il est maintenant reconnu qu'en plus de la dimension purement technologique, les facteurs sociaux et humains influencent profondément la productivité de l'entreprise [10].

La modélisation du comportement humain et de son influence sur la performance des processus restent cependant actuellement peu étudiés [6] intégrés la plupart du temps dans les travaux liés à la problématique d'affectation des ressources humaines [8]. Les principales contraintes liées à l'utilisation de ces ressources relèvent de la disponibilité des employés, de leur adéquation aux tâches devant être exécutées, de leur quantité, enfin de la performance qu'ils engendrent au niveau d'une activité et plus globalement du processus [13]. Toutefois, la majorité des études qui s'intéressent à l'ordonnancement se place dans un environnement déterministe et suppose la disponibilité totale des ressources. Cependant, dans la réalité, généralement ce n'est pas le cas. En effet, les ressources matérielles et humaines peuvent être indisponibles pour différentes raisons [9, 5]

Le problème étudié dans cet article apparaît à l'étape de la conception des lignes de production de différents types quand un nouveau produit (ou une nouvelle famille de produits) avec ses gammes de production sont déjà connus, la prise en compte des contraintes liées aux ressources humaines, en terme d'affectation des opérateurs aux tâches, dans les problèmes d'ordonnancement. Ce problème intégrant l'affectation des opérateurs aux tâches consiste à modéliser les

conflits pour l'utilisation des ressources, à déterminer l'état du cycle de production au cours du temps, et à considérer le problème d'ordonnancement du processus de productions dans sa globalité [7] en prenant en compte l'influence de l'affectation des ressources humaines sur les activités de production.

7.2 Etat de l'art

A l'heure actuelle, la demande du marché est devenue pratiquement imprévisible. Les entreprises ne peuvent plus créer des stocks de produits, pour répondre aux demandes de leurs clients pendant la production d'un autre format de produits, tout simplement parce que ces stocks risquent de ne pas être vendus. Les usines doivent donc développer leur capacité de réagir et de s'adapter à la demande du marché dans un temps réduit. Autrement dit, de réaliser des changements de format sur les lignes de production le plus vite et le plus souvent possible [12].

La problématique de changement de formats est l'expression la plus visible puisqu'elle pénalise directement le rendement des lignes. Un changement de format engendre les arrêts de ligne les plus longs. En effet, durant le temps du changement, la ligne ne produit rien et ainsi l'usine ne gagne rien. Or cela peut durer plus de trois heures s'il y a besoin d'un nettoyage et jusqu'à deux heures pour des changements qui nécessitent une modification de la configuration de la ligne. Il faut dans ce cas réinstaller une autre machine et la régler. Ensuite, il faut au moins une heure de rodage. Toutefois, il arrive que des ajustements de réglages soient fait par les opérateurs lors de la mise en route de la ligne. Autant dire que ces temps morts peuvent représenter un souci majeur pour l'usine.

Le temps de réglage permettant de passer d'un format à un autre correspond à l'exécution de multiples opérations (tâches) nécessitant des compétences diverses [4]. Il est donc possible d'optimiser le temps perdu et la surcharge des ressources de façon à régler la ligne de production en affectant les opérations (tâches) aux bons opérateurs aux bons moments, avec pour objectif de minimiser la perte de production engendrée par ce changement et de parvenir à la consommation de ressources la plus efficace (équilibre de charge) sans l'augmentation de la durée totale de la procédure.

La problématique associée à l'affectation et à l'équilibrage des ressources humaines dépend de l'horizon temporel à l'intérieur duquel la décision doit être prise [14]. L'analyse des déséquilibres de la charge de travail entre les ressources humaines permet de mettre en lumière les dysfonctionnements qui perturberaient l'évolution de l'organisation. Ce qui exige, par conséquent, de gérer ces activités et d'allouer des tâches à la meilleure ressource [11]. En effet, un agent doit réaliser son intervention avec une précaution particulière et dans un délai plus court afin d'éviter des conflits sur les ressources (il sera impossible d'utiliser la ressource en même temps par deux tâches distinctes) et d'assurer le bon fonctionnement des machines et en perturbant le moins possible la fonction production [3].

7.3 Gestion du personnel

La force de travail est représentée par l'ensemble des opérateurs, appelés aussi agents, susceptibles de couvrir la charge de travail. Elle est constituée de différentes classes de personnel, les caractéristiques de base du personnel sont l'effectif et la disponibilité et les qualifications.

- **L'effectif** : Dans une approche plus opérationnelle, l'effectif de chaque classe de personnel est contraint en nombre et en disponibilité. Vu la limitation en nombre des agents, il est possible que la charge de travail ne puisse pas être couverte entièrement. D'où l'objectif de répartition de la charge du travail est essentiel, de manière à respecter les contraintes liées à la réglementation du travail et aux disponibilités des agents, tout en prenant en compte leurs compétences.
- **La disponibilité** : Pour qu'un agent puisse effectuer une tâche, il doit être disponible pour cette tâche. Il faut voir la disponibilité sous deux angles : d'un côté, la prise en compte des éventuelles activités pré-affectées et d'un autre côté la prise en compte des indisponibilités (congé, arrêt maladie, ...) de chaque agent.
- **Les qualifications** : Un agent peut avoir une seule qualification ou peut être multiqualifié. Il est possible que les qualifications soient hiérarchisées, il faut respecter certaines limites pour ce genre d'affectation.

7.4 Description et Modélisation

7.4.1 Qu'est ce qu'un changement de format ?

Le changement de format est une succession de multiples tâches des intervenants (production, technique, ...) sur les différentes machines pour adapter le nouveau format, qui nécessite de changer l'outillage des machines de la ligne de production et de faire des réglages tels que : réglage suivant le format (hauteur / largeur) de la bouteille, remplacement de moule spécifique au format voulu, synchronisation des différentes machines (changement de recettes, de cadence, ...).

- Les opérations de montage : il s'agit de monter sur la machine l'outillage adapté au nouveau format ;
- Les opérations de réglage : il s'agit de régler la machine avec l'outillage pour obtenir le format désiré.

Le changement de format sur une ligne CSD composée de plusieurs machines réalisant diverses opérations, est effectué par plusieurs opérateurs (quatre opérateurs, un opérateur polyvalent, un opérateur qualité, un technicien supérieur et un chef d'équipe). Par conséquent, notre étude vise à modéliser le problème permettant de minimiser ces pertes de temps liées à ce changement, donc à ordonnancer les tâches de manière à minimiser le temps de réglage total (minimiser la perte de production) tout en respectant les propriétés d'antériorité de ces dernières et de minimiser tout retard dû à ce changement.

Notre démarche consiste donc en la réalisation de l'ensemble des tâches du processus de changement avec seulement les ressources disponibles durant un temps limité. Suivant le mode opératoire de l'entreprise (l'affectation ainsi que l'enchaînement des tâches de ce processus) le délai du processus doit être calculé en utilisant le diagramme Gantt. Une fois la construction du diagramme Gantt terminée, la durée de projet est obtenue. En fonction de ce diagramme et des ressources disponibles, nous proposerons une affectation qui permet de répartir la charge de travail de façon relativement homogène entre les ressources dans le temps en modifiant le mieux possible l'ordonnancement courant sans rallonger la durée du projet. L'affectation présentée dans la suite est un parcours pour la résolution du problème d'équilibrage de charge. Le nombre maximum de tâches pouvant être traitées simultanément sera au plus égale au nombre

de ressources. Le temps de traitement d'une tâche dépend du choix de la ressource qui en assumera la charge. Celui-ci variera si l'on choisit d'en changer l'affectation. Cependant, toutes les ressources doivent être occupées de façon à revoir une charge normale.

Les tâches de réglage des machines sont effectuées par des opérateurs multi-compétents. Ces opérateurs vont donc être les ressources du problème d'optimisation de changement de format. Pour être effectuée une tâche requiert un et un seul opérateur disponible avec la compétence nécessaire. Vu que le nombre d'opérateurs est inférieur au nombre de machines et afin d'éviter les surcharges de travail des agents, une tâche ne sera donc pas nécessairement affectée à la meilleure ressource. Les deux principaux problèmes posés par les ressources humaines sont d'une part l'établissement des horaires de travail en fonction de contraintes légales et sociales et la prise en compte des compétences. Dans notre problème, nous considérons que le problème consistant à établir les disponibilités des agents sont des données connues.

7.4.2 Elaboration du modèle

1. Indices

- i : indice d'identification d'une tâche $i = 1 \dots n$.
- j : indice d'identification d'un agent $j = 1 \dots m$.

2. Données et paramètres

Le modèle nécessite les données et paramètres suivants :

- $Disp_j$: Temps de disponibilité de la ressource j dans l'atelier
- C_j : Charge de la ressource j
- M_i : Le sous ensemble des agents pouvant exécuter la tâche i .
- T_i : La durée de la tâche i (en minutes).
- $C_{i,j}$: Matrice de compétence de l'agent j pour l'exécution de tâche i .
- $N_{i,j}$: Niveau de compétence de la ressource j sur la tâche i .
- $T_{i,j}$: Temps de réalisation de la tâche i par un agent j .

3. Les variables de décision

x_{ij} : valeur binaire représentant l'affectation de la tâche i à l'agent j ,

$$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{si la tâche } i \text{ est affectée à l'agent } j ; \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

D_i : Date début de la tâche i .

4. Les contraintes

Comme nous l'avons déjà introduit, plusieurs contraintes doivent être prises en compte [1], notamment le temps de cycle, les contraintes de précédence entre les tâches et les contraintes d'exclusion entre les opérations. Toutes sont définies par les éléments suivants :

- Un agent j peut réaliser n tâches pendant une période considérée :

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq n, \quad j = 1 \dots, m$$

- La charge totale affectée à un agent ne doit pas excéder son temps de présence dans l'atelier :

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} * x_{ij} \leq Disp_j, \quad j = 1, \dots, m$$

- Une tâche n'est exécutée que sur une seule ressource parmi celles possibles :

$$\sum_{i \in M_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

- Une tâche ne peut pas être effectuée par une ressource 'interdite' :

$$\sum_{i \notin M_i} x_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n$$

- La contrainte qualité impose que la ressource 8 appartient à une seule tâche (tâche qualité).

$$x_{i,8} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

- La tâche i ne peut commencer son exécution avant l'achèvement de la tâche i :

$$D_{i'} \geq D_i + \sum_{i \in M_i} T_{ij} * x_{ij}$$

- $x_{ij} \in \{0, 1\}$, $D_i \geq 0$, $j = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$.

5. L'objectif

Le but est de déterminer une affectation des ressources qui permet d'équilibrer leur charge temporelle, durant le processus de changement. Alors, on propose la fonction :

$$\sum_{j' < j}^{m-1} |C_j - C_{j'}| \rightarrow \min$$

L'ordonnancement qui répond à l'utilisation des ressources nous montre des surcharges de certains opérateurs par rapport à d'autre :

1. Le technicien supérieur (R1) en premier lieu avec 145 minutes,
2. L'opérateur 2 (R5) en second lieu avec 135 minutes,
3. L'opérateur 3 (R7) avec 130 minutes.

La figure suivante résume que le problème se pose au niveau des ressources R1, R5 et R7 :

Notre étude vise donc à proposer une nouvelle affectation des tâches aux ressources, sans dépasser la durée limite (255 minutes) à savoir qu'on connaît déjà les ressources responsables de l'exécution des tâches critiques et qu'on agit seulement sur les tâches non critiques (trouvons les ressources correspondants à l'exécution des tâches non critique).

7.5 Procédure et prétraitement

On considère ici le cas le plus général où chaque tâche nécessite des ressources disponibles en capacité limitée, la disponibilité des ressources est la même pour tout les agents. Le tableau suivant résume la capacité et la disponibilité de chaque ressource au cours de ce processus.

Chacune des 53 tâches doivent recevoir un opérateur. 8 opérateurs sont disponibles, chacun d'eux admet un niveau de compétence.

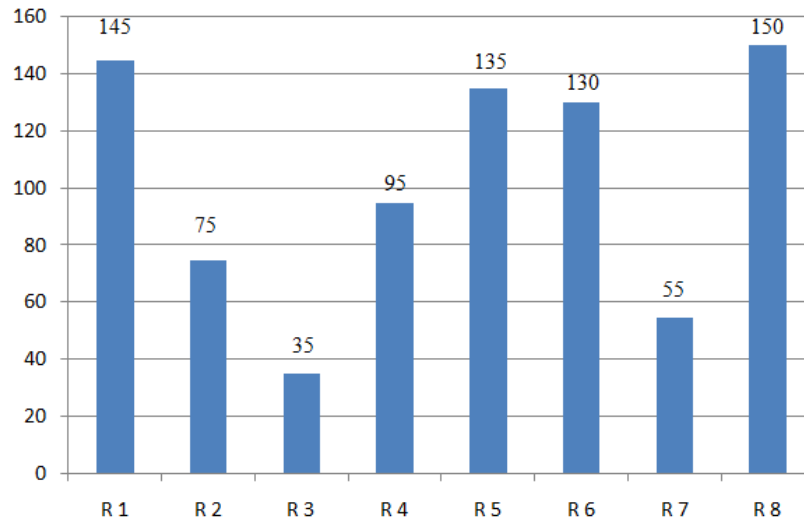


FIGURE 7.1. Le plan de charge de chaque ressource dans la ligne CSD

La matrice de compétence, constitue une donnée d'entrée pour l'élaboration du plan de formation du personnel. En effet, ce niveau de compétence peut diminuer ou augmenter en fonction des activités de l'opérateur. Nous considérons un système de maintenance composé de ressources, ayant des compétences dans des machines complémentaires (souffleuse, remplisseuse, fardeleuse, ...). En effet, chaque agent possède différents niveaux de compétences dans une ou plusieurs machines.

Le niveau (note) de compétence acquise $C_{i,j}$ (avec $1 \leq i \leq 52$ et $1 \leq j \leq 8$) de l'opérateur i , dans une spécialité j , peut avoir les valeurs suivantes :

- $C_{i,j} = 0$: Aucune compétence pour réaliser la tâche considérée.
- $0 < C_{i,j} \leq 5$: Niveau encore insuffisant pour réaliser cette tâche.
- $5 < C_{i,j} \leq 10$: Compétence suffisante pour accomplir un travail dans cette spécialité mais en occupant plus de temps.
- $C_{i,j} = 10$: Forte compétence pour accomplir cette tâche.

Notre but correspond à la mesure de l'efficacité pour répondre à la demande au travail demandée (tâche considérée), c'est à dire le temps de la main d'oeuvre nécessaire pour réaliser la tâche en question. Pour cela, nous avons fait appel à EXCEL a fin de calculer les temps d'utilisation de chaque tâche i par un opérateur j .

Partant du principe : $10 \div C_{i,j} = t_i \div T_i$ et calculons le temps t_i de pour chaque j qu'on note $T_{i,j}$. La procédure suivie est si $C_{i,j} > 0$, $T_{i,j} \times 10 \div C_{i,j}$; 1000, à savoir, 1000 désigne qu'un opérateur j ne peut exécuter la tâche i .

Vu la complexité du problème proposé, nous avons développé un algorithme heuristique qui permet de trouver une affectation des tâches aux ressources de manière à équilibrer la charge, et vu qu'on connaît déjà les ressources affectées aux tâches critiques, on se limite à la recherche d'une affectation de ressources pour les tâches non critiques. La syntaxe générale de l'algorithme est la suivante :

Algorithme Equilibrage de charge

1. Collecte de l'information et Initialisation des données : - Initialiser la charge des opérateurs $C0(j)$. - Initialiser la matrice des temps d'utilisation des tâches par les ressources $T_{i,j}$. - Initialiser les temps de présence des opérateurs pendant le processus de changement $Disp(j)$.
2. Trouver M_i : le sous ensemble des ressources pouvant exécuter la tâche i ;
3. Calculer la nouvelle charge de chaque opérateur de ce sous ensemble par l'équation :

$$C(j) = C0(j) + T_{i,j};$$

4. Trouver le minimum des $C(j)$ calculées ;
5. Renvoyer l'indice j qui satisfait le minimum des charges, qu'on note $j_{\min}$;
6. Si la charge de l'opérateur j trouvée est inférieure $Disp$ (sa présence pendant le processus de changement) Alors
7. Affecter la tâche i à l'opérateur j ; Actualiser la charge.
8. Renvoyer la matrice d'affectation finale ; Renvoyer les charges des opérateurs ;

7.6 Résultats et interprétations

Après l'implémentation de l'algorithme d'équilibrage de charge sous MATLAB, la charge de travail des opérateurs est presque équilibrée sans dépasser leurs disponibilités tout en respectant le délai alloué au processus de changement de format.

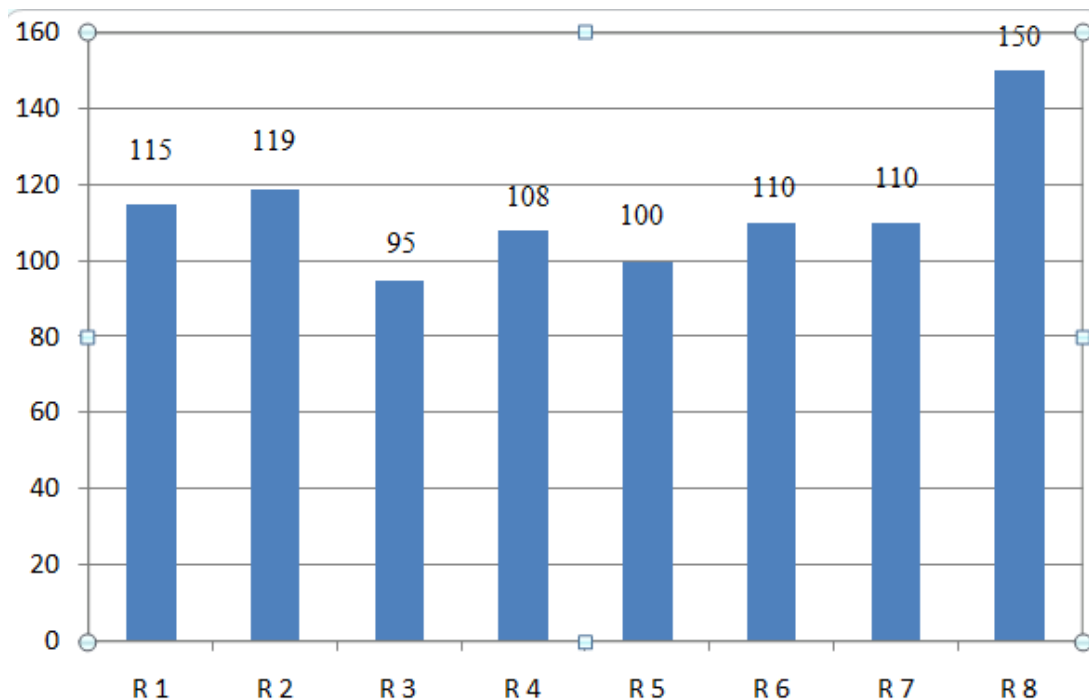


FIGURE 7.2. Le plan de charge de chaque ressource dans la ligne CSD après affectation

L'enchaînement des tâches ainsi l'affectation fournis par le logiciel de l'ordonnancement proposé est illustré dans le diagramme Gantt que montre la figure suivante. La durée totale de l'ordonnancement correspond à 225 minutes, ce qui fait qu'on a respecté le délai du processus de changement de format. Le chemin critique est celui en rouge, c'est le même chemin avant l'affectation des ressources aux tâches non critiques, sauf que les tâches de précédences et d'antériorités ont changées.

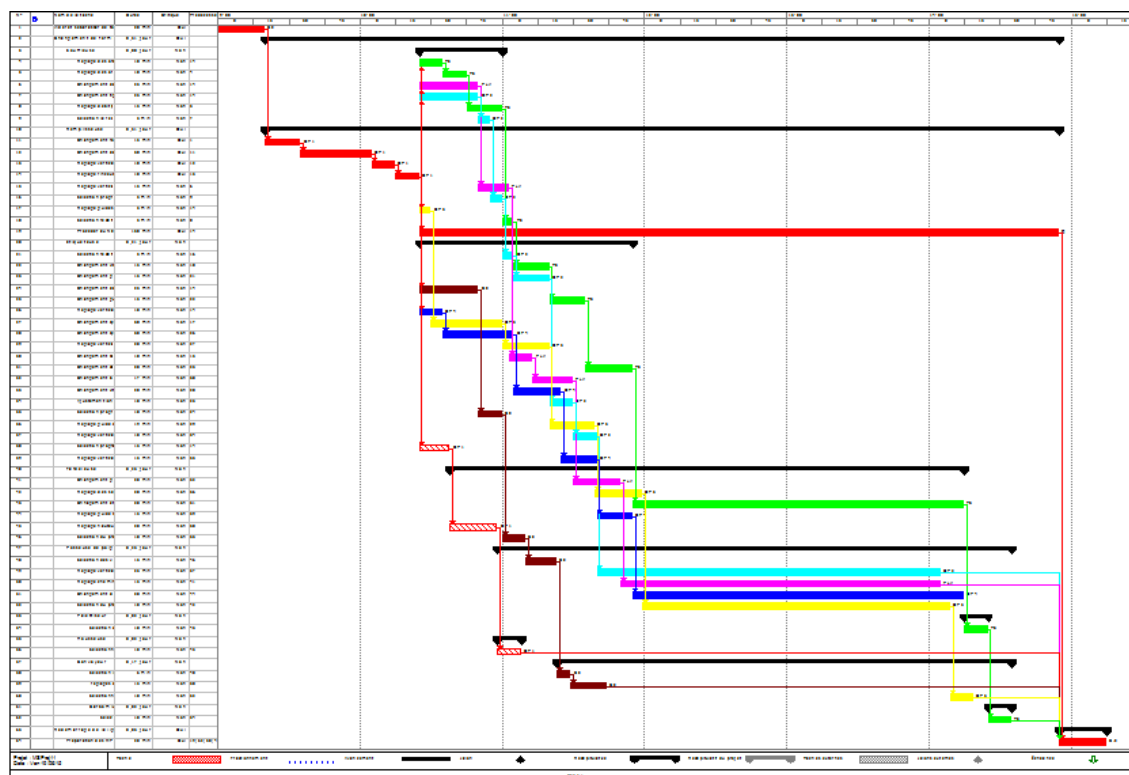


FIGURE 7.3. iagramme de Gantt après affectation

7.7 Conclusion

La gestion du personnel d'une entreprise est devenue un enjeu économique et social incontournable. En effet, une meilleure prise en compte du facteur humain dans la planification des travaux permet d'améliorer la flexibilité de l'entreprise.

Dans cet article, nous avons pu élaborer un ordonnancement optimal du processus changement de format au niveau de la ligne de production CSD, cas de l'entreprise Ifri. Nous avons présenté une solution d'équilibrage de charge, et cela en appliquant un algorithme que nous avons développé sous MATLAB et qui permet l'amélioration de la répartition de la charge de travail d'exécution en s'appuyant dans notre modélisation sur les tâches non critiques, ceci nous a permis également de mieux gérer les ressources. Pour un meilleur suivi de l'évolution

des opérations, nous avons fait recours à la méthode PERT, le diagramme de GANTT et nous avons utilisé le logiciel Microsoft Project.

De ce fait, on a estimé la durée minimale de la procédure de changement de format à 255 minutes. Nous proposons une approche de modélisation du problème en tant que problème d'affectation généralisé. La modélisation du problème porte alors sur des décisions de type ordonnancement mais également sur des décisions de type affectation.

Une perspective intéressante serait de prendre en compte la coopération des agents pour la réalisation des tâches, notamment les tâches critiques qui pourraient diminuer les durées d'ordonnancement. Comme on peut également étudier la sensibilité de l'algorithme proposé par rapport à la variation dans les ressources et les tâches.

Références

1. Y. Chater et A. Talbi B. Dakkak. Modélisation d'un problème d'allocation des agents de maintenance. 2012.
2. M. Bennour. Contribution à la modélisation et à l'affectation des ressources humaines des processus industriels. Thèse de doctorat de l'Université Montpellier2, décembre 2004.
3. M. Cheurfa. Gestion des ressources humaines en production cyclique. Modeling and Simulation. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France, 2005.
4. C. Pessan et E. Néron. Ordonnancement des opérations de réglage machine lors d'un changement de série : prise en compte des compétences des opérateurs. 2007.
5. N. Zerhouni F. Marmier, C. Varnier. Ré-ordonnancement partiel et dynamique d'un planning d'activités de maintenance. 7^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada, Juin 2007.
6. R. M. Hachicha. Contribution à la Modélisation et Résolution du Problème d'Affectation sous Contraintes de Compétences et Préférences. l'Université Paris 8, juillet 2012.
7. J. K-Harrath. Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance dans les systèmes de production. l'Université de Franche-Comté, 2004.
8. D. Crestani et O. Crespo. M. Bennour. Une méthode d'affectation des ressources humaines aux processus industriels. Springer Verlag, 2008.
9. F. Marmier. Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multi-critère. l'Université de Franche-Comté, décembre 2007.
10. A. Hait F. Soumis P. Baptiste, V. Giard. Gestion de production et ressources humaines, méthodes de planification dans les systèmes productifs. Presse Internationales Polytechniques, Québec, Canada, 2006.
11. J-C. Régis P. Schaus, P.V. Hentenryck. Problème d'équilibre des charges de travail dans l'affectation de patients aux infirmières. 2009.
12. C. Pessan. Optimisation de changements de séries par ordonnancement des tâches de réglage. l'Université François Rabelais Tours, 2008.
13. A. El Mhamdi R. M. Hachicha, EL M. Dafaoui. Approche de résolution du problème d'affectation sous contraintes de compétences et préférences. MGSI-IUT de Montreuil, 2011.
14. R. Stock V. B-Campaner. Intégration du temps de formation et des desiderata des opérateurs dans un ordonnancement. 9^e Congrès International de Génie Industriel, Canada, 2011.