



Ré-ordonnancement partiel et dynamique d'un planning d'activités de maintenance.

François Marmier, Christophe Varnier, Nouredine Zerhouni

► To cite this version:

François Marmier, Christophe Varnier, Nouredine Zerhouni. Ré-ordonnancement partiel et dynamique d'un planning d'activités de maintenance.. 7ème Congrès International de Génie Industriel, GI'2007, Trois Rivières., Jun 2007, Québec, Canada. sur CD ROM - 10 p. hal-00162947

HAL Id: hal-00162947

<https://hal.science/hal-00162947>

Submitted on 16 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ré-ordonnancement partiel et dynamique d'un planning d'activités de maintenance

François Marmier, Christophe Varnier, Noureddine Zerhouni

Laboratoire d'Automatique de Besançon (LAB) – UMR CNRS 6596 - ENSMM/UFC

24, rue Alain Savary --25000 Besançon – France

{Fmarmier, Cvarnier, Nzerhouni}@ens2m.fr

RÉSUMÉ : La gestion de compétences dans l'industrie est l'une des clefs les plus importantes pour obtenir le meilleur des moyens de production, particulièrement dans le domaine de la maintenance où les différentes connaissances et qualifications sont les outils de travail du personnel. Nous traitons dans cet article des problèmes d'affectation et d'ordonnancement que l'on peut rencontrer dans un service de maintenance. Chacune des tâches qui doivent être réalisées est caractérisée par une compétence requise. La résolution du problème d'affectation et d'ordonnancement nous conduira donc à trouver la bonne ressource et la bonne date de traitement de la tâche. Notre but est d'affecter dynamiquement la charge aux ressources adéquates en donnant à l'expert du service de maintenance le choix entre les solutions les plus intéressantes.

MOTS-CLÉS : Ordonnancement, Disponibilité, Compétence, Maintenance, Ressource humaine.

1. Introduction

Pour rester compétitive, les entreprises doivent gérer le plus efficacement possible leurs coûts de fonctionnement et optimiser leurs moyens de production. Afin d'obtenir une meilleure disponibilité des équipements, et à travers eux, de l'entreprise, le service de maintenance intervient. Il remet les équipements de production en état de bon fonctionnement avant ou après qu'ils soient tombés en panne. Son rayon d'intervention est aussi étendu que l'entreprise et la qualité des améliorations apportées par celui-ci nécessite une bonne gestion de son personnel et de ses compétences.

Il est difficile de déterminer exactement le nombre de ressources humaines nécessaire au sein d'un service de maintenance (Mjema, 2002). En effet, les facteurs rendant possible le calcul de la capacité adaptée sont sujets à des incertitudes (variations des demandes d'interventions, dates d'arrivée des demandes, contenu des demandes, durées de traitement et disponibilité des équipements à maintenir ainsi que du traitement réel des interventions). Les tâches ne sont donc réellement connues que lorsque le service de maintenance reçoit les demandes d'intervention. La réactivité et l'organisation du service de maintenance dépendront alors de l'importance de l'intervention requise.

Il existe principalement deux types de maintenance: la maintenance préventive, dont l'activité peut être planifiée sur du long terme, et la maintenance corrective qui fait référence au traitement des pannes non prévisibles. Au sein du service de maintenance, les employés ont des compétences différentes ainsi que différents niveaux de qualification dans chacune d'entre elles. La rapidité du traitement d'une intervention dépendra donc de la ressource choisie pour l'intervention.

Nous proposons dans cet article une méthode pour prendre en compte l'arrivée imprévue de nouvelles tâches à insérer dans l'ordonnancement initial. Nous nous plaçons dans le cas où l'affectation de tâches à des ressources a déjà été réalisée (par exemple avec l'heuristique présentée dans Marmier *et al.* 2006) et nous souhaitons perturber le moins possible l'ordonnancement existant. Cependant, tout ordonnancement ne peut accueillir une nouvelle tâche sans qu'il y ait des conséquences (mise de tâches en retard par exemple). Afin de proposer des solutions d'insertion pour une nouvelle tâche, il arrive qu'une remise en cause partielle de l'ordonnancement existant soit nécessaire et apporte de meilleurs résultats qu'une simple insertion.

Dans cet article, nous détaillerons une méthodologie qui nous permet d'affecter les tâches aux ressources en remettant en cause de manière locale un ordonnancement existant. La suite de l'article est organisée de la manière suivante : en deuxième partie, nous introduirons la gestion des services de maintenance. Dans la troisième partie, nous présenterons notre problème d'ordonnancement. Puis, nous développerons notre modèle et l'approche de résolution que nous avons mise en œuvre. Finalement, nous discuterons les résultats obtenus.

2. Gestion des activités de maintenance

Il y a plusieurs formes de gestion de la maintenance. En effet, si l'entreprise n'assume pas elle-même cette charge, elle peut la confier à une entreprise sous-traitante. Nous nous plaçons donc ici dans le cas où la surveillance, la maintenance préventive et corrective sont sous-traitées. L'entreprise sous-traitante est spécialisée dans la maintenance industrielle (experte en surveillance et maintenance, mais pas nécessairement spécialisée sur le type d'équipement surveillé).

2.1. Gestion des tâches

Le service de maintenance doit répondre à la demande des différents services de l'entreprise. Pour ce faire, il dispose de ressources humaines et matérielles. Les ressources humaines sont toutes différentes, ce qui est dû à leurs différences de niveau de qualification dans les domaines techniques requis. De plus, les ressources humaines sont en quantité limitée; le nombre maximum de tâche pouvant être traité simultanément sera donc égal au nombre de ressource. 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 manière identique, afin d'éviter les surcharges de travail des « meilleurs » techniciens. Une tâche ne sera donc pas nécessairement affectée à la meilleure ressource (du point de vue qualification pour ce type de tâche).

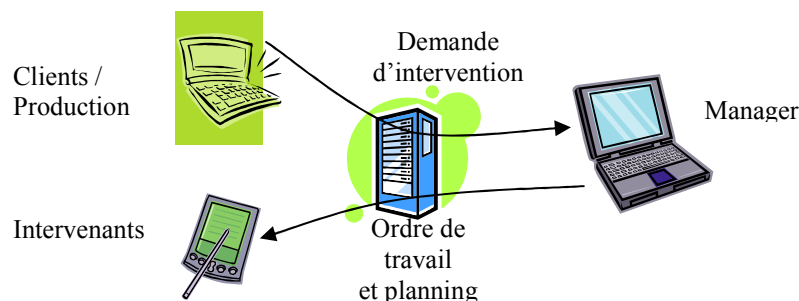


Figure 1. Communication avec la base de données

La gestion distante de la maintenance présente un mode de communication informatisé propre. Lorsqu'une panne survient, le service demandeur de la réparation dépose une demande d'intervention à l'attention du service de maintenance. Celle-ci est enregistrée dans

la base de données de la GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) et contient les différentes informations correspondant au problème à résoudre. Ces informations vont permettre au service maintenance de pouvoir déterminer à quelle ressource affecter la tâche.

Périodiquement, le responsable du service maintenance collecte les demandes d'interventions déposées dans la base de données depuis le poste expert (figure 1). Le poste expert correspond au poste de travail du responsable sur lequel vont se dérouler les processus d'affectation. Dès lors que le poste expert a traité toutes les informations, à l'aide du programme d'ordonnancement, il réalise les affectations. Le poste expert détermine donc pour chaque tâche de maintenance l'emplacement le plus adéquat dans les plannings des employés. Il publie ensuite ces affectations sous forme d'ordre de travail dans la base de données qui est consultable sur n'importe quel poste de travail en lien avec la base de données.

2.1. Gestion des ressources humaines

Les ressources humaines ne sont pas considérées comme étant identiques, la décision d'affectation d'une tâche à une ressource devra donc tenir compte de plusieurs paramètres.

2.2.1. Prise en compte des compétences

Boumane et al. (Boumane *et al.*, 2003) ont étudié les différents types de compétences, qui peuvent être génériques et utilisées dans de nombreuses situations professionnelles, ou spécifiques à une activité. Durant sa thèse, Agnès Letouzey a mené une étude sur 19 entreprises afin d'obtenir leur avis sur le problème de l'affectation des opérateurs (Letouzey, 2001). Cette étude montre que la gestion du personnel, en fonction de leurs compétences, est importante pour les leaders de l'industrie et que les logiciels ne prennent cela en compte.

Cependant, si le niveau de compétence de chacun est connu, il apparaît d'autres problématiques telle que l'équilibrage de la charge entre les ressources, nécessaire en gestion des ressources humaines. Mais aussi la recherche d'un compromis entre réactivité et les perturbations des employés due aux modifications des emplois du temps.

2.2.1. Un problème à machines parallèles différentes

Un service de maintenance est un environnement composé de m opérateurs qui travaillent en parallèle. Ils peuvent tous traiter chaque tâche mais il n'y a aucune notion de proportion entre les différents temps de traitement. La ressource qui est la plus efficace pour un type de tâche ne le sera pas nécessairement pour toutes les tâches. La multiplicité des compétences montre que nous avons un problème à machine parallèle sans lien entre elles. Celui-ci se note $R \mid \beta \mid \gamma$ ou $R_m \mid \beta \mid \gamma$, (Pinedo, 1995), (Baptiste *et al.*, 2004).

3. Contexte du problème

En ordonnancement et en planification, l'horizon est souvent découpé en période (le court, le moyen et le long terme). Cela permet la gestion des événements sur des intervalles de temps et pas sur une échelle de temps continue. Le contexte de cet article se passe donc dans l'horizon à court terme. Dans cette approche, nous considérons que les tâches de maintenance doivent être affectées dès qu'elles sont connues (c'est généralement le cas des tâches de maintenance corrective). Les ressources humaines sont donc le facteur limitant dans la réalisation de l'ordonnancement. Elles sont organisées au sein du service de maintenance qui a pour mission de planifier leurs activités.

3.1. Les équipements

Au sein de chaque entreprise, le service de maintenance doit maintenir les équipements en état de fonctionnement. Le niveau de résultat à atteindre par le service maintenance est généralement prédéterminé. Dans un contexte de sous-traitance, il s'agit d'un contrat signé entre les partenaires. A travers lui, diverses informations telles que la disponibilité sont contractualisées. La disponibilité garantie est un pourcentage du temps d'ouverture, elle se situe dans une classe de valeur. En cas de non respect de ces conditions, des pénalités sont appliquées en général en fonction de la durée d'indisponibilité.

3.2. Les tâches

Sur le moyen terme, le service de maintenance doit planifier les tâches et affecter la meilleure ressource pour le traitement des différentes tâches de maintenance. Les maintenances conditionnelles et préventives ont comme paramètre commun une durée connue : une date de début au plus tôt r_j avant laquelle la tâche ne peut pas être débutée et une date de fin au plus tard d_j avant laquelle il est préférable que le traitement de la tâche soit terminé. Concernant les tâches de maintenance corrective, leur durée est basée sur une estimation et dépend d'un bon diagnostic. Leur date de début, au plus tôt r_i est généralement la date actuelle, car la maintenance est généralement requise dès lors que la tâche apparaît. Mais leur date de début de traitement est généralement ultérieure surtout s'il y a pénurie de la pièce de rechange nécessaire. Tout comme pour la maintenance préventive, la date de fin est connue. Cela nous permet d'utiliser la même modélisation pour différent type de tâche. Une tâche est j caractérisée par de son temps de traitement nominal p_j et par le type de compétence nécessaire à sa réalisation qui est représenté par une valeur entière k , ($k=1, \dots, o$). Les tâches se distinguent donc les unes par rapport aux autres par une compétence requise à chaque ressource. Par exemple, une compétence peut être en mécanique, en automatique ou encore une habilitation. La durée réelle d'une tâche j dépendra donc de la ressource qui aura en charge son traitement.

3.3. Les ressources humaines

Le service de maintenance est composé de m ressources humaines ($i=1 \dots m$), chacune caractérisée par un profil de compétence. Chaque ressource a donc un niveau de qualification correspondant à chaque type de tâche. C'est ce niveau de qualification qui fait que, d'une ressource à une autre, le temps de traitement ne sera pas le même. La durée réelle de la tâche j en cas d'affectation à la ressource humaine i sera donc notée p_{ij} . Avec:

$$p_{ij} = f(p_j, C_{ik}), \forall i \in \{1 \dots m\} \quad (1)$$

Où C_{ik} est le taux de compétence de la ressource i dans la compétence requise pour le traitement de la tâche du type k . Il est donc possible de représenter cela par une matrice dans laquelle, pour chaque type de tâche et pour chaque ressource, on obtient le taux de compétence correspondant.

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & \cdots & C_{1,o} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m,1} & \cdots & C_{m,o} \end{bmatrix}$$

Le traitement de deux tâches de type différent par deux ressources différentes, permet d'observer qu'une ressource peut être la plus performante pour une tâche mais ne l'est pas nécessairement pour la deuxième.

4. Ré-ordonnancement local multi-objectif

4.1. Synthèse du problème

Dans cet article, nous nous intéressons à l'insertion d'une nouvelle tâche dans un ordonnancement existant. Les nouvelles tâches à insérer étant principalement assimilées à de la maintenance corrective, les caractéristiques les concernant restent stochastiques tant que les tâches ne sont pas réellement connues et que leur diagnostic n'a pas été réalisé.

Lorsqu'une nouvelle tâche doit être insérée dans un ordonnancement existant et qu'aucune solution évidente ne semble possible, plusieurs voies s'ouvrent à nous : celles qui consistent à reprendre l'ensemble des tâches et à régénérer d'une manière statique un nouvel ordonnancement. Cette méthode de résolution ne prend pas en considération la gêne qu'elle peut occasionner pour le personnel dont le planning est complètement modifié. Une autre possibilité consiste à rechercher de nouvelles solutions en modifiant le moins possible l'ordonnancement courant. Les modifications proposées seraient alors des améliorations locales de l'ordonnancement et de l'affectation. Cependant les modifications de l'ordonnancement, destinées améliorer notamment la gestion des retards des tâches, peuvent dégrader d'autres aspects de celui-ci. En effet, il est nécessaire de minimiser la somme des retards de chaque tâche à planifier mais la charge de travail doit restée équilibrée entre les ressources et l'arrivée d'une nouvelle tâche ne doit pas conduire à une remise en cause complète de l'ordonnancement. Notre problème se caractérise donc non pas par un objectif, mais par un ensemble d'objectifs antagonistes à atteindre. Nous proposons de rechercher, non pas une solution unique mais un ensemble de solutions.

Etant donné que les solutions obtenues présentent des résultats sur plusieurs critères, des relations de dominance sont utilisées pour déterminer lesquelles sont à conserver. Le terme de dominance pour signifie qu'une solution en domine une autre sur tous les critères considérés. Une solution qui dominerait l'ensemble des solutions n'a cependant que peu de chance d'exister étant donné l'antagonisme des critères. Nous utiliserons donc la relation de **non dominance** entre deux solutions X_1 et X_2 , qui signifie qu'il existe au moins un critère sur lequel une solution X_1 n'est pas dominée par X_2 ou que celles-ci soient identique.

$\exists j \in [1, N_{\text{objectif}}] \Rightarrow f_j(X_1) < f_j(X_2)$ Implique donc que X_1 n'est pas dominée par X_2

4.2 Modélisation

4.2.1. Données

Nous décrivons ici, dans un premier temps, les notations nécessaires à l'explication du modèle. Pour chaque tâche j :

- p_j : durée de la tâche j (cette durée sera sujette à variations suivant la ressource à laquelle elle sera affectée),
- r_j : date de disponibilité de la tâche j ,
- d_j : date de fin au plus tard de la tâche.

4.2.2. Variables

Les variables de notre problème sont les suivantes, pour chaque tâche j :

- t_j ($j=1 \dots n$) : date de planification de la tâche j ,
- x_{ij} ($i=1 \dots m$ et $j=1 \dots n$) : Indicateur (0-1) représentant l'affectation de la tâche. $x_{ij} = 1$ si la tâche j est affectée à la ressource i , sinon $x_{ij} = 0$,

-
- T_j ($j=1 \dots n$) : retard de la tâche j ,
 - ES_j ($j=1 \dots n$) : date de début au plus tôt de la tâche j ,
 - LS_j ($j=1 \dots n$) : date de début au plus tard de la tâche j ,
 - CP_m : Charge potentielle de la ressource i ,
 - mod_j ($j=1 \dots n$) : Indicateur représentant le nombre de modifications dans l'affectation de la tâche j .

4.2.3. Contraintes

- Chaque tâche doit être affectée à une seule ressource :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \in \{1, \dots, m\} \quad (2)$$

- Une tâche ne peut pas être planifiée avant sa date de disponibilité :

$$\forall j, t_j \geq r_i \quad (3)$$

4.2.4. Préférences

Il est préférable que le traitement de chacune des tâches soit terminé avant leur due-date. Cependant toutes les tâches devant être traitées les retards seront tolérés mais à minimiser.

$$\forall j, t_j + x_{ij} * p_{i,j} \leq d_j \quad (4)$$

4.2.5. Objectifs

Les objectifs de notre travail sont les suivants :

- Minimiser la somme pondérée des retards :

$$\min \sum_{j=1}^n w_j T_j \quad (5)$$

- Minimiser le nombre de tâches en retard :

$$\min \sum_{j=1}^n U_j \quad (6)$$

- Equilibrer et réduire la charge en minimisant l'écart type de la charge entre les ressources :

$$\min \sigma = \min \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (CP_i - \overline{CP_i})^2} \quad (7)$$

- Minimiser les modifications de l'ordonnancement initial à travers les changements d'affectations des tâches :

$$\min \left(\sum_{j=1}^n mod_j \right) \quad (8)$$

4.3. Approche de résolution

Nous proposons une méthode de recherche de solutions par voisinage. Cette méthode permet d'obtenir non pas une solution dominante, mais un ensemble de solutions non dominées parmi lesquelles le décideur pourra choisir. La méthode est basée principalement sur des opérateurs de voisinage qui vont nous permettre d'explorer de nouvelles solutions. Ces opérateurs donnent des solutions dans des voisinages locaux et plus larges.

4.3.1 Présentation de l'algorithme

L'algorithme est composé de variables:

- S : solution non dominée que l'on essaye d'améliorer,
- S' : solution sur laquelle la recherche est en cours d'exécution,
- E_S : ensemble de solutions non dominées,
- $nb_recherche$: nombre de parcours de l'algorithme,
- $nb_descente$: nombre de recherche locale,
- nb_saut : nombre de saut effectué,
- $trouve = vrai$: signifie qu'un saut a permis de trouver une solution qui domine E_S .

Mais aussi de données :

- $nb_recherche_max$: Destiné à limiter le nombre de parcours de l'algorithme,
- $nb_descent_max$: Destiné à limiter le nombre de recherche locale,
- nb_saut_max : Destiné à limiter le nombre de saut.

Et de fonctions :

- $Initialisation(E_S)$: réalise l'ensemble initial des solutions non dominées. Celui-ci est créé en essayant toutes les possibilités d'insertion de la nouvelle tâche dans l'ordonnancement courant. Ces solutions (ou ordonnancements) sont ensuite comparées et seules les solutions non dominées sont conservées.
- $Choix_aléatoire(E_S)$: choisi aléatoirement une solution dans E_S ,
- $Evaluation(S)$: retourne l'évaluation, suivant les critères, de la solution S ,
- $Voisin(S)$: retourne un voisin de S en échangeant deux tâches choisies aléatoirement dans E_S ,
- $Suppression_solutions_dominées(E_S)$: supprime les solutions dominées de E_S ,
- $Saut(S)$: retourne une solution après avoir réalisé trois consécutifs de tâches choisies aléatoirement dans E_S ,

La méthode d'amélioration multicritères présentée ci-dessous est donc basée sur une descente locale couplée à la méthode kangourou pour éviter tout enfermement dans un optimum local.

Fonction recherche de l'ensemble de solutions non dominées

Début

```

Initialisation ( $E_S$ ) ;
Tant que nb_recherche < nb_recherche_max faire
    nb_recherche++;
     $S \leftarrow$  Choix_aléatoire( $E_S$ ) ;
    Eval  $\leftarrow$  Evaluation( $S$ ) ;
    nb_descente  $\leftarrow$  0 ;
    Tant que (nb_descente < nb_descente_max) ou (trouve == faux) faire
        nb_descente++;
         $S' \leftarrow$  Voisin( $S$ ) ;
        Si  $E_S \not\prec S'$  alors
            nb_descente  $\leftarrow$  0 ;
             $E_S \leftarrow S'$  ;
            Si  $S' \prec E_S$  alors
                 $S \leftarrow S'$  ;
            FinSi
            Suppression_solutions_dominées( $E_S$ ) ;
        FinSi
    Fin Tant que
    Tant que (nb_saut < nb_saut_max) ou (trouve == faux) faire
        Nb_saut++;
         $S' \leftarrow$  Saut( $S$ ) ;
        Si  $E_S \not\prec S'$  alors
            nb_saut  $\leftarrow$  0 ;
             $E_S \leftarrow S'$  ;
            Si  $S' \prec E_S$  alors
                 $S \leftarrow S'$  ;
                Trouve  $\leftarrow$  vrai ;
            FinSi
            Suppression_solutions_dominées( $E_S$ ) ;
        FinSi
    Fin Tant que
Fin Tant que

```

Fin

5. Résultats

5.1. Génération des données

Nous avons réalisé ces tests sur un Pentium IV 3.00GHz en générant aléatoirement les valeurs des p_{ij} . Ces valeurs sont calculées par le produit de la durée de base des tâches (en unité de temps) qui est un entier obtenu par une distribution uniforme comprise dans l'intervalle [1, 7200]. Cette durée est multipliée par le niveau de la ressource dans la compétence correspondante. Pour chaque tâche, le type de compétence requise est déterminé par un entier compris dans l'intervalle [1, 3] avec une distribution uniforme. Elle se réfère à un taux de compétence qu'à chacune des ressources qui est un réel obtenu par une distribution uniforme dans l'intervalle [1.01, 2.00].

Le paramètre *nb_recherche_max* est fixé à 5, *nb_descent_max* à 5 et *nb_saut_max* à 5 aussi.

5.2. Exemple

Nous avons étudié l'insertion de tâches dans trois exemples différents d'ordonnancement existant : le cas de 3 ressources 40 tâches, le cas de 5 ressources 60 tâches et le cas de 7 ressources 80 tâches existantes. Ces cas seront comparés avec les résultats obtenus avec l'heuristique qui, quant à elle, régénère complètement un ordonnancement.

Dans certains cas, en effet, il est intéressant de noter que la proposition de l'heuristique peut-être complètement dominée par certaines des solutions obtenues avec la recherche multicritère. Dans tous les cas, les solutions proposées par la méthode multicritère sont meilleures sur au moins l'un des critères. Dans tous les cas aussi, cette méthode permet de déplacer moins de tâches qu'un ré-ordonnancement statique.

Nous présentons ici un exemple d'insertion successive de plusieurs tâches dans un ordonnancement existant. Nous traiterons le cas d'un ordonnancement de 40 tâches affectées à 3 ressources dans lequel 10 nouvelles tâches doivent venir s'insérer. Ces cas seront comparés avec les résultats obtenus de manière statique avec l'heuristique.

Les choix entre les différentes solutions proposées se feront en choisissant la solution qui donnera les meilleurs résultats concernant le critère $w_i T_i$. Les 10 nouvelles tâches seront donc insérées dynamiquement dans le planning existant.

Les résultats de l'évaluation du planning final permettent d'observer que la solution obtenue dominait la solution obtenue par l'heuristique.

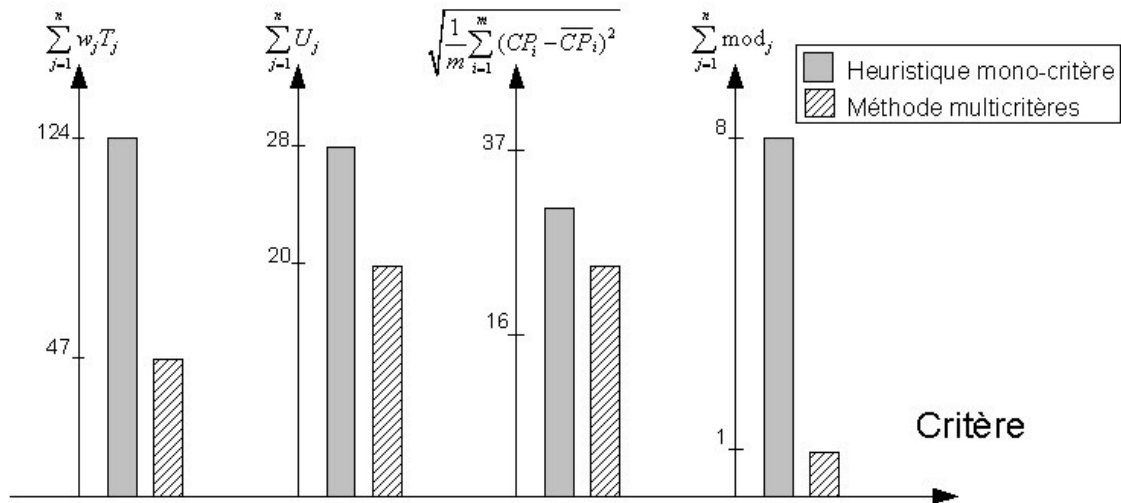


Figure 2. Comparatif suite à l'insertion de tâches dans un ordonnancement existant

5.2. Discussion

Les résultats obtenus ont tout d'abord été comparés avec ceux obtenus dans Marmier *et al.* (Marmier *et al.*, 2006). Ces travaux ont présenté une heuristique monocritère permettant l'affectation de tâches à des ressources humaines sous contrainte de compétences. L'évaluation des résultats obtenus par l'heuristique, suivant les différents critères, permet

d'effectuer des comparaisons. Notamment d'observer que le fait de privilégier un critère en particulier peut présenter des solutions dont les résultats sur les autres critères sont de mauvaises qualités. Les solutions obtenues à travers la méthode présentée montre notamment qu'un nombre beaucoup moins important de tâches peut être déplacé pour de meilleurs résultats qu'avec l'heuristique. Ceci est d'autant plus important que les changements de ressource des tâches perturbent les plannings de ceux-ci.

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une méthodologie multicritères d'insertion dynamique de tâche dans un ordonnancement existant. Cette méthode fournit au responsable du service de maintenance un ensemble de solutions. Celles-ci sont fournies avec les évaluations correspondantes aux quatre critères pris en compte. Les critères correspondent à ceux pris en compte classiquement lors du choix de l'endroit d'insertion d'une nouvelle tâche : la somme pondérée des retards, le nombre de tâches en retard, la charge à travers l'écart type de la charge entre les ressources et le nombre de modifications de l'ordonnancement initial.

L'originalité de notre méthode est de proposer au manager du service de maintenance l'ensemble des solutions rencontrées qui ne sont pas dominées. Celui-ci en fonction de sa perception de l'importance de certains critères par rapport aux autres sera amené à choisir une solution en particulier parmi l'ensemble proposé.

Nous avons comparé cette méthode multicritère aux résultats obtenus à travers l'heuristique développé par Marmier *et al.* Dans certains cas, les résultats de l'heuristique sont complètement dominés par certaines des solutions obtenues avec la recherche multicritère. Dans tous les cas, les solutions proposées par la méthode multicritère sont meilleures sur au moins l'un des critères. Dans tous les cas aussi, cette méthode permet de déplacer moins de tâches qu'un nouvel ordonnancement statique de l'ensemble des tâches.

7. Références bibliographiques

- Baptiste P., Néron E., et Sourd F., (2004) «Modèles et Algorithmes en Ordonnancement», Groupe GOTHa.
- Boumane A., Talbi A., Bouami D., and Tahon C., (2003) «Contribution méthodologique à la construction d'un référentiel de compétences en maintenance industrielle», Pentom.
- A. Letouzey, (2001) «Ordonnancement interactif basé sur des indicateurs : Application à la gestion de commandes incertaines et à l'affectation des opérateurs», thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Marmier F., Varnier C., and Zerhouni N., (2006) «Maintenance activities scheduling under competencies constraints». *IEEE-ICSSM*.
- Mjema E., (2002) «An analysis of personnel capacity requirement in the maintenance departement by using a simulation method » *Journal of Quality in MaintenanceEngineering*, vol. 8, no. 3, pp. 253–273.
- Mickael Pinedo. «Scheduling, Theory, Algorithms and Systems». Prentice, 1995.