



Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance industrielle sous contraintes de ressources et compétences

Djalal Hedjazi, Abdelmadjid Zidani

► To cite this version:

Djalal Hedjazi, Abdelmadjid Zidani. Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance industrielle sous contraintes de ressources et compétences. 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, Jun 2012, Bordeaux, France. hal-00728600

HAL Id: hal-00728600

<https://hal.science/hal-00728600>

Submitted on 30 Aug 2012

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.

CONTRIBUTION A L'ORDONNANCEMENT DES ACTIVITES DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE SOUS CONTRAINTES DE RESSOURCES ET COMPETENCES

D. HEDJAZI

Laboratoire LaSTIC / Dpt Informatique / Université de
Batna
Avenue Chahid Boukhrouf
05000 Batna- Algérie
djalal05@yahoo.fr , djalal_hedjazi@univ-batna.dz

A. ZIDANI

Laboratoire LaSTIC / Dpt Informatique / Université de
Batna
Avenue Chahid Boukhrouf
05000 Batna- Algérie
zidani@free.fr , madjid.zidani@univ-batna.dz

RESUME : Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche d'ordonnancement des activités de maintenance industrielle. L'idée consiste à trouver pour chaque tâche la meilleure équipe de maintenance exécutante ainsi que le moment opportun d'exécution. Les équipes, composées de plusieurs personnes, exécutent leurs tâches sur des installations industrielles dispersées géographiquement sur plusieurs sites. Par ailleurs, le niveau de compétence, attribué à chaque équipe, permet de déterminer la durée d'exécution de la tâche. Par conséquent, l'approche proposée tente de minimiser deux fonctions objectifs (la somme pondérée des retards ainsi que le nombre de tâches en retard).

MOTS-CLES : Ordonnancement, activités de maintenance, ressource humaine, compétence, multicritère.

1 INTRODUCTION

Le cercle actuel des organisations est caractérisé par des marchés soumis à une forte compétition et sur lesquels les revendications des clients deviennent de plus en plus exigeantes surtout en termes de qualité, coût et délais. Cette situation se renforce par le degré d'avancement des TIC qui permettent de créer de nouvelles formes de relations directes entre les entreprises et leurs clients. Par conséquent, préserver la performance dans un tel contexte, exige le maintien en état de bon fonctionnement des systèmes de production, qui représente l'un des préoccupations majeure des gestionnaires d'industrie d'où les notions de réactivité, de coûts et de qualité sont d'une importance extrême. C'est autour de ces objectifs que le service de maintenance joue son rôle. Le service de maintenance est composé entre autre, de ressources humaines. Ce sont elles qui accomplissent les activités de maintenance. Généralement, ces ressources ont toutes les capacités pour accomplir leurs différentes interventions (Monchy, 2000). En fonction des caractéristiques des activités et de celles des ressources, l'une des difficultés du manager du service de maintenance sera d'affecter à chaque activité la ressource appropriée et au moment opportun.

Partant de ce constat, nous nous placerons dans le cas de la maintenance externalisée, c'est à dire que la fonction de la maintenance est effectuée soit par une entreprise extérieure qui peut assurer sa tâche pour plusieurs entreprises, soit par un service indépendant de l'entreprise qui peut travailler pour plusieurs sites de l'entreprise étendue. Par ailleurs, les équipes de maintenance, en fonction des opérations de maintenance et du niveau de compétence requis, ne sont pas toujours disponibles instantanément, puisque toutes les

compétences ne sont pas disponibles partout. La maîtrise de l'ordonnancement est d'un intérêt capital pour les entreprises, sans cesse confrontées à des impératifs de productivité, de flexibilité et réactivité (Esquiro, P., 1999).

Dans ce contexte, le problème que nous abordons est un problème d'ordonnancement et d'affectation de ressources dans lequel les tâches sont les opérations de maintenance (préventive ou corrective) et les ressources sont les équipes de maintenance. Les tâches sont caractérisées par des compétences requises pour leurs traitements, tandis que les ressources sont caractérisées par un profil de compétences. Dans les modèles de la littérature, les différences de compétence sont peu abordées. Les ressources sont en conséquence souvent considérées comme identiques ou n'ayant qu'une seule compétence.

Le service de maintenance s'est engagé sur des niveaux de disponibilité. Le retard dans le traitement des tâches provoque une diminution imprévue de ces niveaux. Des pénalités sont alors attribuées lorsque des tâches sont terminées en retard. Celles-ci sont en fonction de la durée du retard et d'une pondération reflétant l'importance de l'engagement. Le total de ces pénalités est appelé : somme pondérée des retards.

Dans ce papier, nous proposons une approche de résolution statique et dynamique pour un problème multicritère d'affectation et d'ordonnancement des activités de maintenance. Certaines données utilisées dans l'affectation et l'ordonnancement sont incertaines. Pour prévoir la présence de ces incertitudes nous proposons une approche dynamique à un problème multicritère d'affectation et d'ordonnancement d'activité de maintenance en contexte incertain. Dans cette

perspective, nous supposons que les tâches de maintenance sont traitées sans préemption, ainsi que le temps logistique est assez petit pour être intégré dans les temps des tâches de maintenance. Selon (Lawler, 1977), le problème est NP-difficile au sens fort.

Dans l'objectif de comparer les performances de l'approche proposée, plusieurs expérimentations ont été effectuées. Les résultats de ces expériences montrent que notre proposition donne de bons résultats, surtout en termes de minimisation du nombre de tâches en retards. Ainsi, des comparaisons, ont été faites, avec quelques heuristiques proposées dans littérature : à savoir WSPT-H-EDD et ECT-EDD (Marmier et al., 2006)).

Dans le reste de ce papier, nous présentons dans la section 2 un aperçu sur le problème d'ordonnancement des activités de maintenance. La section 3 explique en détail le principe de modélisation du problème d'ordonnancement. Les caractéristiques de notre approche de résolution du problème sont bien explicitées dans la section 4. La section 5 discute les différents résultats obtenus par la simulation de la solution proposée. Finalement, nous concluons en donnant quelques perspectives du travail accompli.

2 ORDONNANCEMENT DES ACTIVITES DE MAINTENANCE

Le problème d'ordonnancement est extrêmement important dans le contexte industriel, notamment dans le service de maintenance. Ce dernier intervient dans un contexte très exigeant ainsi que son organisation doit non seulement intégrer les contraintes propres au service, mais aussi prendre en compte celle de l'entreprise telle que la disponibilité des équipements. En effet, le service de maintenance organise l'activité de ses ressources humaines pour répondre aux requêtes de ses "clients" qui sont les services de production. L'apport d'une solution efficace à ce problème d'ordonnancement constitue un enjeu économique essentiel.

La résolution d'un tel problème consiste à placer dans le temps des activités, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement, etc.) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises par les tâches (Esquiro, 1999) (Lopez et Roubellat, 2001).

Dans la littérature, plusieurs approches de résolution ont vu le jour. Certaines d'entre elles donnent des solutions optimales tout en optimisant un seul critère donné et ce en un temps raisonnable. D'autres solutions approchées, aussi appelées heuristiques, permettent de fournir des solutions d'excellente qualité en un temps raisonnable. Elles sont généralement utilisées quand les méthodes optimales ne permettent pas de résoudre le problème en un temps acceptable. Ces méthodes sont généralement classées en plusieurs types à savoir :

- Les algorithmes gloutons permettent de construire progressivement une solution. Dans la construction de solutions, les décisions sont prises grâce à des règles de priorités simples (SPT, EDD, ...) ;
- Les méthodes de recherche locale qui démarrent d'une solution initiale et explorent un voisinage pour améliorer la solution (tabou (Glover, 1986), recuit simulé (Kirkpatrick et al., 1983), Algorithmes génétiques (McLay et al., 2005) (Volkanovskia et al., 2008), etc.)

Par ailleurs, plusieurs études de recherche, référant l'ordonnancement des ressources humaines, ont été menées. Cependant, très peu d'entre elles ont considéré le problème avec prise en compte des compétences des ressources. Tchommo et al. (Tchommo et al., 2003) ont réalisé une synthèse bibliographique sur l'ordonnancement simultané de moyens de production et des ressources humaines. Il ressort de cette étude un manque dans la prise en compte des ressources humaines en ordonnancement.

Au sein du service de maintenance, le personnel dispose de compétences différentes et de niveaux de compétences différents (Boschian-Campaner et Stock, 2010). La vitesse de traitement dépendra du choix du personnel qui sera affecté. Selon (Tchommo et al., 2003), l'intégration de l'ordonnancement des tâches et des ressources humaines n'est pas un sujet très présent dans la littérature et, en ordonnancement classique, le personnel est peu pris en compte. Les quelques articles proposent principalement deux courants d'idées. Les ordonnancements séquentiels qui sont réalisés en plusieurs étapes (Ernst et al., 2004). Les ordonnancements conjoints réalisés en une seule phase et prennent en compte les informations disponibles sur le personnel lors de l'accomplissement du planning. Cependant, même si l'ordonnancement tient compte des compétences des travailleurs, les différents logiciels d'ordonnancement de la production ont posé comme hypothèse que les durées des tâches sont connues (Tchommo et al., 2003). Ces approches sont généralement liées à la production et non à la gestion des activités de maintenance. L'application à la maintenance de méthode d'ordonnancement et d'affectation de tâche doit, pour être réaliste, tenir compte des compétences et niveaux de compétences des ressources (et donc de durées variables) qui vont les exécuter. Dans cette perspective, les approches qui prennent en compte les compétences du personnel sont principalement du type "capable ou non". Elles peuvent être des classements (Boumane et al., 2003), pour différencier les compétences génériques des compétences spécifiques qui sont détenues ou non.

3 MODELISATION DU PROBLEME

3.1 Tâches de maintenance

Une tâche de maintenance est caractérisée par sa durée p_i , sa date de début au plus tôt r_i et sa date de fin au plus tard d_i (Esquiro, 1999). Ainsi, le coût d'une telle tâche peut se varier comme suit (Fig. 1.):

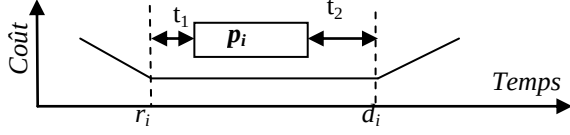


Figure 1. Modélisation du coût d'une tâche de maintenance.

La période de temps entre r_i et d_i est appelée *fenêtre d'optimalité* de la tâche pendant laquelle le coût d'exécution de la tâche est minimal. Lorsqu'on se place devant la stratégie de maintenance préventive systématique, L'explication de la courbe est double. D'un côté, si on intervient avant la date r_i , le coût de la maintenance augmente. Cela signifie que l'on réalise trop souvent les tâches de maintenance préventive. De l'autre côté, si on dépasse la date de fin au plus tard, le risque que l'équipement tombe en panne augmente, ce qui nécessite des tâches de maintenance corrective. Cette dernière engendre des coûts supplémentaires liés à l'arrêt de la production.

Par ailleurs, la fenêtre élémentaire entre deux tâches T_i et T_{i+1} représente l'espace entre ces tâches (Fig. 2.).

$$F_e^{[i][i+1]} = [r_{[i]}^{pi} + p_{[i]}; d_{[i+1]}^{pi} - p_{[i+1]}] \quad (1)$$

Une fenêtre maximale F_{mt} pour une date tm_{ps} , est la fenêtre la plus longue parmi les fenêtres élémentaires, contenant la date tm_{ps} .

$$F_m^{[t_i; t_{i+1}]} = \max(F_e^{[i][i+1]}) \quad \forall i, i+1 \in \pi, t \in F_e^{[i][i+1]} \quad (2)$$

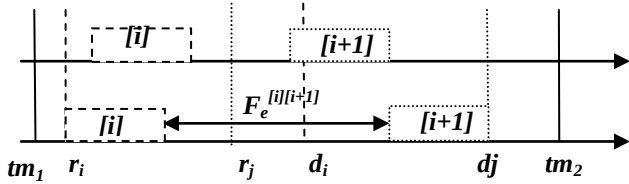


Figure 2. Fenêtre élémentaire et fenêtre maximale

Une fenêtre élémentaire est dite meilleure pour une tâche T_i si elle peut englober la tâche T_i avec un coût global minimal.

3.2 Ressources humaines

Le service de maintenance est composé de M ressources humaines présentes et disponibles en permanence (et qui coûtent donc de l'argent à l'entreprise). Chacune de ces ressources est caractérisée par un profil de Compétence. La vitesse de traitement ne dépend pas seulement de la tâche mais aussi de la compétence qui l'exécute. Ainsi, chaque ressource dispose d'un niveau de qualification pour chacune des compétences requises par les tâches.

La durée réelle d'exécution de la tâche j par la ressource humaine i est alors notée p_{ij} . Avec :

$$p_{ij} = f(p_j, \text{Comp}_{i,j}); \quad \forall i \in \{1, \dots, m\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (3)$$

Dans laquelle $\text{Comp}_{i,j}$ est le niveau de compétence de la ressource i , pour la compétence requise, pour la tâche j . L'approche que nous proposons dans ce papier est totalement indépendante de la forme de f . Cependant par mesure de simplicité f sera une fonction affine, comme dans notre cas, telle que :

$$p_{ij} = p_j * \text{Comp}_{i,j}; \quad \forall i \in \{1, \dots, m\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

L'ensemble des taux de compétences des ressources peut être exprimé par une matrice, dans laquelle, pour chaque tâche la compétence requise peut être trouvée :

$$\text{Comp} = \begin{pmatrix} \text{comp1,1} & \dots & \text{comp1,n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \text{compm,1} & \dots & \text{compm,n} \end{pmatrix} \quad (5)$$

3.3 Fonctions objectifs

Afin de respecter les engagements d'un service de maintenance, les délais de traitement doivent être minimisés. Cependant, en raison des pénalités prévues en cas de retard, a durée de retard égale, il sera plus urgent de remettre en état de fonctionnement l'équipement dont le coefficient de pénalité (w_j) est le plus important. L'objectif est donc de minimiser la somme pondérée des retards ainsi que le nombre de tâches en retard.

$$\min \sum_{j=1}^n w_j R d_j \quad (6)$$

$$\min \sum_{j=1}^n U_j \quad (7)$$

Où $R d_j$ est le retard de la tâche j et U_j est le nombre de tâches en retard

4 HEURISTIQUE PROPOSEE

4.1 Ordonnancement statique

L'heuristique proposée génère le planning de toutes les ressources humaines, mises à la disposition des systèmes de production, afin d'assurer les tâches de maintenance. Dans cette optique, la solution reçoit en entrée une liste L contenant les tâches de maintenance avec leurs caractéristiques (r_i , d_i , p_i). Elle effectue en premier lieu un prétraitement sur la liste L qui peut être soit **Trie**(L , *Croissant*) qui représente le tri en ordre croissant par rapport à début de tâche (r_i). Si deux tâches en le même r_i , le tri se fait en ordre croissant par rapport à fin de Tâche (d_i), ou **Trie**(L , *Décroissant*) qui représente le tri de la liste L en ordre croissant par rapport à début de tâche (r_i). Si deux tâches en le même r_i , le tri se fait en ordre décroissant par rapport à fin de Tâche (d_i). Cette première étape nous crie deux variantes de la solution.

La première avec **Trie**(L , Croissant) et la seconde avec **Trie**(L , Décroissant).

Une étude expérimentale a été faite pour comparer les performances des deux variantes de la solution (solution utilisant le trie croissant et solution utilisant le trie décroissant). Les résultats obtenus démontrent que le trie n'a pas d'influence sur les performances de l'heuristique, en termes de minimisation de la somme pondérée des retards, alors qu'il a, en terme du nombre de tâche en retard (Fig. 3).

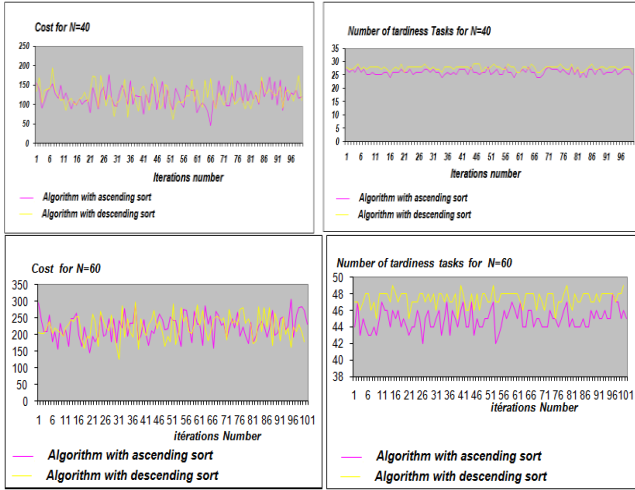


Figure 3. Quelques résultats expérimentaux de l'étude comparative entre l'approche avec tri croissant et Tri décroissant.

Par ailleurs, la solution fait deux passes sur les éléments de la liste L , jusqu'à ce que toutes les tâches soient assignées aux équipes de maintenance. Une équipe peut intervenir pour exécuter plusieurs tâches, à condition que les dates de celles-ci ne chevauchent pas.

La première passe sert à affecter les tâches qui ne se chevauchent pas aux différentes équipes de maintenance. La deuxième passe affecte les tâches non affectées dans la première passe. En effet, on affecte la tâche dans l'emplacement correspondant à la meilleure fenêtre élémentaire (voir section 3.1.). Lorsqu'il n'aura pas d'emplacements on l'affecte à la fin du planning de l'équipe de maintenance qui minimise les fonctions objectifs suscitées.

4.2 Ordonnancement dynamique

Lorsque l'ordonnancement est réalisé au fur et à mesure de l'apparition d'événements dont on n'a pas d'informations a priori on dit qu'il s'agit d'un ordonnancement dynamique (Parashkevov, 1994). L'heuristique proposée traite le problème d'ordonnancement dynamique au fur et à mesure des détections des pannes qui entraînent de nouvelles tâches. Par conséquent, un nouvel ordonnancement comprenant cette nouvelle tâche est réalisé directement sans avoir besoins de modifier les plannings des équipes de maintenance. Cela correspond à l'insertion d'une tâche de maintenance corrective, dont on ne connaît les

caractéristiques qu'après l'apparition, dans un ordonnancement existant et connu.

5 RESULTATS ET COMPARISONS

Nous avons également programmé la solution proposée en langage MatLab. Nous avons ainsi testé la solution sur des exemples de 4, 6 et 8 équipes de maintenance qui représentent les ressources humaines de l'ordonnancement. Nous avons en conséquence lancé les tests sur plusieurs exemples (100 itérations). Pour chaque teste, nous avons généré N tâches (N se varie entre 10 et 160 tâches). Les paramètres de chaque tâche (p_j , r_j , d_j , cr_j et w_j) sont générés de façon aléatoire. D'autre part, nous avons comparé les performances de la solution avec celles des méthodes ECT-EDD et WSPT-H-EDD. Les tableaux 1 et 2 récapitulent les expérimentations menues lors de cette étude.

L'approche proposée		ECT-EDD		WSPT_H_EDD	
M	N	$\sum w_i \cdot Rd_i$	$\sum_{j=1}^n U_j$	$\sum w_i \cdot Rd_i$	$\sum_{j=1}^n U_j$
4	10	0	0	5.8943e+7	280
	20	9.3239e+4	5	2.8122e+8	1092
	40	2.9459e+6	154	1.6676e+9	3134
	60	4.3804e+7	1128	3.9164e+9	5112
	80	2.8822e+8	3582	7.3499e+9	7094
	100	8.3990e+8	5885	1.2075e+10	9162
6	10	0	0	2.8333e+7	173
	20	0	0	2.0212e+8	830
	40	5.5562e+4	2	1.0142e+9	2621
	60	1.5126e+6	88	2.8678e+9	4676
	80	1.7922e+7	721	5.9909e+9	6662
	100	9.7583e+7	2306	1.0116e+10	8728
8	10	0	0	1.2439e+7	66
	20	0	0	1.3180e+8	622
	40	0	0	7.3600e+8	2311
	60	0	0	2.2753e+9	4273
	80	9.9914e+5	76	4.5061e+9	6207
	100	6.6053e+6	409	8.3482e+9	8277
150	2.9877e+8	5304	2.1704e+10	13225	2.9067e+8
	4.6065e+8	6597	2.5818e+10	14275	4.1559e+8

Tableau 1 : résultats des expérimentations (approche statique)

Notre proposition présente, pour un nombre de tâches inférieur à 60, la meilleure performance en termes de minimisation de la somme pondérée des retards ainsi que le nombre de tâches en retard. En revanche, la solution commence à perdre ses performances en termes de la somme pondérée des retards, par rapport à la méthode WSPT-H-EDD, à partir de 80 tâches pour 4 équipes, à partir de 120 tâches pour 6 équipes et à partir de 150 tâches pour 8 équipes. En outre, la solution proposée reste toujours la meilleure en termes du nombre de tâches en retard.

Par ailleurs, l'efficacité de l'aspect dynamique de la solution s'explique par les expérimentations et les comparaisons. Nous avons alors constaté que les performances de notre solution sont toujours meilleures que celles de l'algorithme WSPT-H-EDD dynamique.

Le tableau suivant récapitule en fait les résultats expérimentaux :

L'approche proposée dynamique				WSPT-H-EDD dynamique	
M	N	$\sum w_i * Rd_i$	Nbr-retards	$\sum w_i * Rd_i$	Nbr-retards
4	10	0	0	$1.8726 e^{+6}$	121
	20	$6.7740 e^{+4}$	4	$5.1065 e^{+6}$	294
	40	$2.4421 e^{+6}$	134	$2.7985 e^{+7}$	1084
	60	$5.2856 e^{+7}$	1216	$1.5521 e^{+8}$	3142
	80	$3.0048 e^{+8}$	3542	$4.5756 e^{+8}$	5807
	100	$8.4995 e^{+8}$	5916	$1.0909 e^{+9}$	8421
	160	$4.3468 e^{+9}$	12200	$4.7381 e^{+9}$	15293

Tableau 2 : résultats des expérimentations (approche dynamique)

6 CONCLUSION

Dans ce papier, comme mentionné précédemment, nous avons présenté les caractéristiques d'une nouvelle solution proposée pour résoudre le problème d'ordonnancement des tâches de maintenance sous contraintes de compétences. Les fonctions objectifs visées sont également la minimisation à la fois de somme pondérée des retards ainsi que le nombre de tâches en retards.

Les résultats de simulation de la solution proposée et les comparaisons avec ceux des méthodes ECT-EDD et WSPT-H-EDD ont été clairement discutés.

Dans ce travail, nous avons considéré les ressources humaines indépendantes dont chacune à ses propres outils de travail. Cela ne peut être toujours vrai, surtout lorsqu'il s'agit des outils de travail spécifiques qui vaut chères dont impossible d'équiper toutes les équipes de maintenance. Dans cette situation, nous proposons comme perspective d'intégrer dans notre modèle les critères de partage de ressources matérielles entre les équipes de maintenance, ainsi que d'adapter la solution au nouveau problème ou de proposer une nouvelle.

Enfin, il faut noter que les données, sur lesquelles se base la réalisation d'un ordonnancement de tâches de maintenance, sont généralement incertaines. En effet, une autre perspective de ce travail consiste à traiter le problème en contexte incertain.

REFERENCES

Boumane A., Talbi A., Bouami D. et Tahon C., 2003. Contribution méthodologique à la construction d'un référentiel de compétences en maintenance industrielle, *Colloque Francophone sur le thème : Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance*, Valenciennes, France.

Ernst A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M., Owens B. et Sier D., 2004. Staff scheduling and rostering : A review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research*, vol.153, No. 3, p.3-27.

Esquiro P., 1999. *L'ordonnancement*, Ed. Economica.

Glover F., 1986. Futur paths for integer programming and links and links to artificial intelligence, *Computers and Operations Research*, vol. 13, p. 533-546.

Kirkpatrick S., Gelatt C.D. et Vecchi M.P., 1983. Optimization by simulated annealing, Science, New Series, Vol. 220, No. 4598, p. 671-680.

Boschian-Campaner V. et Stock R., 2010. Matrice de compétences pour l'ordonnancement des tâches de maintenance, *8e Conférence Internationale de Modélisation et SIMulation – MOSIM'10*, Tunisie.

Lawler E.L., 1977. A pseudo polynomial algorithm for sequencing jobs to minimize total tardiness, *Annals of Discrete Mathematics*, 1 p. 331-342.

Lopez P. and Roubellat F., 2001. *Ordonnancement de la production*. Ed. Hermès Science Publications, France.

Marmier F., Varnier C. et Zerhouni N., 2006, Ordonnancement des Activités de Maintenance sous Contraintes de Compétences, *Symposium International sur la Maintenance et la Maîtrise des Risques, MMR'06.*, Rabat, Maroc.

Marmier F., Varnier C. et Zerhouni N., 2009, Static and Dynamic Scheduling of Maintenance Activities Under the Constraints of Skills, *Journal of Operations and Logistics*, Vol. 2, No. 3, p. 1-16.

McLay Laura A. and Goldberg David E. 2005. *Efficient Genetic Algorithms Using Discretization Scheduling*, Evolutionary Computation, p. 353-385.

Monchy F., 2000. *Maintenance, méthodes et organisation*, Ed. Dunod.

Parashkevov A., 1994. *Distributed real-time computer systems*, mémoire de master, Université d'Adelaide, Australia.

Tchommo J.L., Batiste P. et Soumis F., 2003. Etude bibliographique de l'ordonnancement simultané des moyens de production et des ressources humaines, *fifth French-Quebec International Congress of Industrial Engineering*, Quebec, Canada.

Volkanovskia A., Mavkoa B., Bosevskib T., C ausevskib A., Cepin M., 2008. Genetic algorithm optimisation of the maintenance scheduling of generating units in a power system, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 93, p.757-76

