



Proposition d'un modèle général pour le partage et l'allocation des ressources humaines et matérielles dans les tâches de la maintenance

Mohamed Ramadany^(*), Driss Amegouz^(*)

^(*) : Laboratoire de Productique, des Energie et du Développement Durable (LPE2D), Ecole Supérieure de Technologies de Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès.

mramadany@ gmail.com

amegouz@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le responsable de maintenance est souvent confronté à des situations dans lesquelles la prise de décision devient difficile face à des ressources limitées dont il dispose, et il doit les utiliser le plus efficacement possible. En effet, ces ressources qu'elles soient humaines ou matérielles sont sollicitées pour réaliser à la fois des tâches prévues dans le cadre d'un plan de maintenance préventive et des tâches non planifiées, avec une pression temporelle, de la maintenance corrective.

C'est dans ce contexte, que s'inscrit la nécessité de partage de ressources dans les tâches de la maintenance des systèmes de production. Cet article est consacré dans un premier lieu pour appréhender la notion de partage de ressources en maintenance, et en second lieu, pour élaborer un modèle générale pour le partage des ressources humaines et matérielles dans les tâches de la maintenance afin de quantifier cette problématique.

ABSTRACT

The person in charge of maintenance is often confronted with situations in which decision making becomes difficult against limited resources, and it must use them most effectively possible. Indeed, these resources which they are human or material are requested to carry out at the same time tasks envisaged within the framework of a plan of preventive maintenance and not planned tasks, with a temporal pressure, corrective maintenance. Thus, these resources require an optimal assignment and an exploitation. It is in this context, that the need for resource sharing in the tasks of the maintenance of the systems of production is registered. This article is devoted in a first place to apprehend the concept of resource sharing in maintenance, and in the second place, to work out a model general for the human and material resource sharing in the tasks of maintenance in order to quantify this problem.

MOTS-CLÉS: Maintenance, Prise de décision, Plan de maintenance, Ressource, Partage.

KEYWORDS: Maintenance, Decision making, Plan of maintenance, Resource, Share

1. Introduction

Afin de rester compétitive, les entreprises industrielles sont dans une course effrénée à la recherche d'améliorations et d'optimisations sur plusieurs axes. Parmi ces axes : la réduction des temps d'indisponibilité des équipements de production, ainsi que la sûreté de fonctionnement de ces équipements.

C'est dans ce cadre que le service de maintenance intervient à travers deux formes de tâches à savoir : les tâches de la maintenance préventive qui sont préétablies dans le cadre d'un plan de maintenance, et les tâches de la maintenance corrective qui sont imprévues avec un caractère d'urgence.

Afin de réaliser ces tâches, le service maintenance utilise des ressources selon la nature de la tâche à exécuter.

En général, ces ressources ont toutes les compétences nécessaires pour leurs différentes interventions (Monchy, 2000).

Ainsi, le responsable du service de maintenance est souvent confronté à des situations dans lesquelles, la prise de décision devient difficile face à des ressources limitées dont il dispose, de plus, il doit les utiliser le plus efficacement possible. En fait, selon la nature des tâches à exécuter et des ressources disponibles qu'elles soient humaines ou matérielles, le responsable de maintenance devrait trouver pour chaque tâche, quelle ressource à utiliser et quand.

En effet, les tâches de la maintenance préventive sont définies et préparées à l'avance dans le cadre d'un programme de la maintenance déjà planifié, ce qui facilite la gestion des ressources du service maintenance.

Or, ce n'est pas le cas pour les tâches de la maintenance corrective, pour lesquelles, c'est difficile voire impossible d'anticiper les tâches à réaliser, et par conséquent les ressources qui seront allouées à la tâche. Dans la pratique, il est beaucoup plus difficile de faire face à un ensemble tout entier d'équipements réparables avec un nombre limité de techniciens, en effet un réparateur (ressource humaine) n'est en général pas disponible au moment théoriquement prévu (Adzakpa, 2004).

Cette différence d'aspect entre les deux formes de tâches, et parfois pour les tâches de même nature, engendre des perturbations et des conflits qui surviennent quand une ressource est sollicitée par plus d'une tâche.

De plus, suite à des contraintes budgétaires ou autre situation créant une indisponibilité des ressources, le responsable de maintenance peut être amené à revoir le programme établi, et repousser, suspendre voire annuler la réalisation de certaines tâches (Zille, 2009).

Ainsi, la nécessité de partager et d'allouer les ressources s'avère obligatoire pour le responsable du service de maintenance.

Le présent article a pour objectif, de formaliser un problème de partage et d'allocation des ressources de la maintenance, sous forme d'un modèle linéaire à variables mixtes. Dans un premier temps, nous allons dresser un état d'art sur la problématique d'allocation des ressources de la maintenance, par la suite nous présenterons notre modèle général de partage et d'allocation des ressources humaines et matérielles de la maintenance.

2. Etat de l'art

Le responsable de maintenance est souvent confronté au problème de ressources indispensables à l'accomplissement de la fonction maintenance, ainsi ce problème est incontournable en maintenance. Dans la littérature, la plupart des travaux traitent le problème de partage et d'allocation des ressources humaines, notamment les réparateurs, sans tenir compte des ressources matérielles. Nous citons à titre indicatif, les travaux de (Frostig, 1993), (Kool, 1995), (Franchini, 2001), (Vairaltarakis, 2002) et (Bennour et al., 2011).

Dans le travail de (Frostig, 1993) m réparateurs doivent assurer la maintenance de n machines en série, lorsqu'une machine tombe en panne, elle est affectée à un des réparateurs, ou attend dans une file d'attente la disponibilité d'un réparateur, avec la possibilité de réaffecter un réparateur à tout moment.

(Kool, 1995) propose une approche suivant laquelle le réparateur est alloué au système ayant le plus petit nombre de composants en marche, il appelle cette approche, la politique du plus petit groupe. L'objectif est de maximiser le temps moyen de bon fonctionnement du système.

Quant aux travaux de (Franchini, 2001), ils permettent d'ordonner et d'allouer effectivement les ressources, en prenant en compte des contraintes plus opérationnelles comme, la disponibilité, le temps de repos, les jours de congés et très rarement la compétence.

(Vairaltarakis et al., 2002) proposent une approche qui vise à planifier l'affectation du personnel, en ajustant la capacité de l'entreprise à la charge prévisionnelle, sans une affectation nominative des réparateurs.

(Bennour et al., 2011) proposent une démarche pour répondre à un besoin industriel réel et qui se compose de trois étapes : la cartographie des compétences du service de maintenance, la formalisation des contraintes de compétences et la résolution du problème d'affectation des ressources humaines sous contraintes de compétences par programmation linéaire.

3. Les ressources des tâches de la maintenance

« Une ressource est un moyen technique ou humain destinée à être utilisé pour la réalisation d'une tâche et disponible en quantité limitée » (Bennour, 1996).

Les ressources nécessaires pour réaliser les tâches de la maintenance qu'elles soient préventives ou correctives sont les ressources humaines et les ressources matérielles.

En ce qui concerne les ressources humaines, elles englobent tout le personnel de la maintenance avec les différents niveaux de compétences (exploitant, réparateur, technicien de la maintenance...), ce sont des ressources renouvelables, aptes à être réutilisées.

Quant aux ressources matérielles, elles sont constituées principalement par l'outillage, les pièces de rechange et la fourniture de maintenance (la graisse, l'huile de lubrification, les rouleaux de papiers pour appareils enregistreurs de maintenance, vernis et peinture), les manuels d'utilisation et d'entretien, ainsi que les ressources informatiques (logiciels, système GMAO) etc...

3.1. Les ressources humaines

Dans la majorité des cas, il est difficile d'automatiser les tâches de la maintenance, puisque chaque tâche a son aspect particulier, c'est pourquoi le personnel de la maintenance a une importance capitale aux yeux du responsable du service de maintenance. Le personnel doit avoir une formation adéquate, des connaissances et des informations suffisantes sur la machine en question, ainsi que l'outillage adéquat pour réaliser les tâches.

La principale caractéristique de ce personnel est le niveau de compétence de compétence, celle-ci est définie comme étant « la mise en œuvre, en situation professionnelle, de capacités qui permettent d'exercer convenablement une fonction ou une activité » (AFNOR, 2002). La capacité représente la possibilité de réussite dans l'exécution d'une tâche ou l'exercice d'une profession (Pieroni, 2005).

Pour réaliser les tâches de la maintenance, le personnel a besoin de ressources matérielles.

3.2. Les ressources matérielles

Il regroupe tous les outils nécessaires à l'exécution des tâches de la maintenance, ainsi que les pièces de rechange et les manuels d'utilisation et d'entretien nécessaires pour les tâches de la maintenance, les fournitures, ainsi que les ressources informatiques.

3.2.1. L'outillage

Il existe trois types d'outillage :

- Le petit outillage ou outillage individuel dont chaque opérateur de maintenance dispose comme les boîtes ou caisses à outils.
- L'outillage spécifique à l'équipement qui est dédié spécialement à la machine.
- Le gros outillage spécifique de l'entreprise comme les bancs d'essai et le matériel de manutention, il est qualifié d'outillage collectif.

3.2.2. Les pièces de rechange

Les pièces de rechange ou de remplacement sont nécessaires, soit pour la remise en service de l'équipement dans le cadre d'une tâche corrective, ou pour la prévention contre la défaillance dans le cadre d'une tâche préventive. Ainsi, elles doivent être gérées d'une manière rationnelle et optimale. On distingue :

a) Les pièces à remplacement programmé

Elles rentrent dans le cadre des tâches de la maintenance préventive, et elles résultent directement de la description des tâches de maintenance systématique ou conditionnelle.

b) Les pièces à remplacement non programmé

Elles rentrent dans le cadre des tâches de la maintenance corrective, suite à une défaillance imprévue. La gestion de ce type d'articles, peut se baser sur l'expérience antérieure sur des équipements analogues ou sur des données statistiques des pièces les plus consommées pour une machine donnée.

3.2.3. Les manuels d'utilisation et d'entretien

Idéalement, le programme de maintenance comprend un manuel d'utilisation (manuel de l'utilisateur) et un manuel d'entretien pour chaque modèle de matériel.

Le manuel d'utilisation sert non seulement aux utilisateurs de l'équipement, mais aussi aux techniciens de maintenance, qui doivent comprendre en détail comment ce matériel est utilisé dans la pratique. Le manuel d'entretien est essentiel à l'inspection, la maintenance préventive, la réparation et l'étalonnage du matériel. Cependant ce manuel peut être incomplet suite à la perte de pages, voir même introuvable.

3.2.4. La fourniture de maintenance

Il s'agit essentiellement des articles de nettoyage (papiers, torchons) et produits de lubrification (graisse et huile de lubrification), qu'il convient d'acheter en quantité suffisante. C'est le consommable de la maintenance.

3.2.5. Les ressources informatiques

La présence d'un utilitaire de base de données, d'un système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur ou de logiciels d'aide au diagnostic des défaillances, facilite d'une manière considérable les tâches de maintenance.

Ces ressources offrent une traçabilité et une conservation rationnelle des documents, ainsi que le suivi des indicateurs de performances des tâches exécutées.

De plus, l'accès à Internet peut être une ressource intéressante, dans la mesure où un grand nombre de documents et de recommandations techniques sont disponibles en ligne gratuitement, ce qui permet d'approfondir les connaissances et une exploitation du retour d'expérience à travers des défaillances ou des actions préventives similaires sur des équipements identiques à celles qui vont subir les tâches de maintenance.

4. Présentation du problème de partage et d'allocation des ressources en maintenance

Un problème de partage est un problème d'optimisation de l'allocation et l'affectation de ressources et de prise de décision concernant celles-ci.

Le partage des ressources touche plusieurs domaines :

- Aéronautique : espaces aériens, créneaux d'utilisation d'aéroports
- Spatiale : station internationale cofinancée par plusieurs états, satellites
- Enseignement : documents, cours, matériels et bancs didactiques de travaux pratiques.
- Agriculture : ressources hydriques comme les barrages et les puits.
- Militaire : images satellite, informations des services de renseignements.

Dans la littérature, certains auteurs ont traité la problématique de partage des ressources dans différents domaines, nous citons, sans souci d'exhaustivité :

- (Denda et al., 2000), traite la notion d'équité des réseaux de télécommunication, la ressource à partager est l'accès au réseau.
- (Deschinkel, 2001) aborde l'équité dans le transport aérien, les ressources à partager, sont dans ce cas, les créneaux d'utilisation des aéroports et les espaces aériens.
- (Bouveret et al., 2005), traite le partage des ressources dans le cadre d'une constellation de satellites d'observation cofinancés par plusieurs pays, les ressources sont les demandes de prise d'images commandées par les agences civiles et militaires de chaque pays, via un centre de planification commun situé au sol.
- (Schweizer, 2013) évoque la problématique d'accessibilité, d'équité et de partage des ressources en eau, à travers des bisses des Alpes Suisses, qui sont des canaux d'irrigation typiques.

Dans un problème de partage et d'allocation de ressources en maintenance, le responsable de service de maintenance est souvent confronté à des situations dans lesquelles, il se trouve face à :

- Des ressources disponibles limitées.
- Plusieurs tâches avec deux natures différentes
- Des contraintes sur les allocations possibles des ressources
- Une préférence des ressources humaine vis-à-vis les tâches à exécuter, et aussi les ressources matérielles utilisées.
- Un critère d'optimisation ou de prise de décision.

La finalité du responsable, est l'allocation adéquate d'une partie des ressources à chaque tâche, tout en prenant en considération les contraintes sur les ressources, ainsi que la vérification du critère.

4.1. Les variables d'un problème de partage en maintenance

Plusieurs variables sont à prendre en compte pour le formalisme d'un problème de partage des ressources de la maintenance.

4.1.1. Les tâches

Le responsable doit prendre en considération la nature de la tâche de la maintenance à exécuter en temps réel, en effet soit, il est en face seulement à des tâches préventives prédéfinies dans le cadre d'un plan de maintenance et pour lesquelles le temps d'intervention est estimé, ou bien, il reçoit une ou plusieurs demandes d'intervention pour des tâches correctives et pour lesquelles c'est impossible de savoir la durée de l'intervention.

Signalons que le responsable du service maintenance peut se trouver dans une situation, dans laquelle, le nombre des demandes d'interventions pour les tâches excède le nombre des tâches préventives à exécuter à un instant donné.

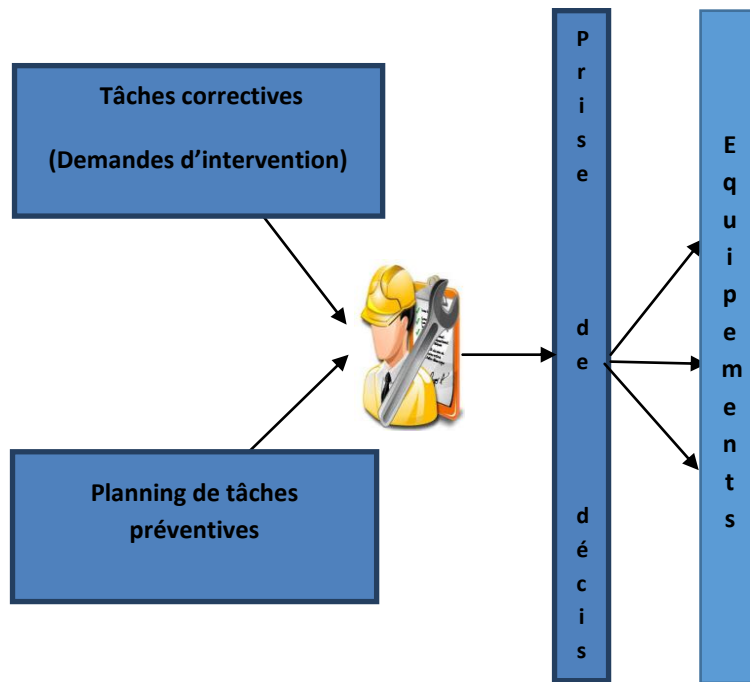


Figure1. Situations de prise de décision suite à la nature des tâches

4.1.2. Le degré de complexité de la tâche

La nature des opérations constituant une tâche dans le cadre du préventif, est une variable cruciale dans la problématique du partage. Par exemple, le fait d'exécuter des opérations de nettoyage, de graissage ou de lubrification à l'huile avec outillage simple, ne représente pas la même difficulté pour le responsable du service maintenance en matière de prise de décision, dans le cas des tâches préventives nécessitant une certaine technicité, le changement de plusieurs pièces de rechange avec l'utilisation d'outillage spécifique.

En effet, pour les simples opérations des tâches préventives, l'exploitant (dans le cadre d'une politique TPM), ou un simple opérateur convient à l'exécution de ce genre d'opérations. Ainsi, il en résulte une flexibilité et une marge de manœuvre pour le responsable.

4.1.3. Le degré de criticité des équipements

Afin d'évaluer le degré de criticité des équipements, le responsable du service de maintenance, peut se baser sur une AMDEC ou une matrice de criticité. Une machine ; critique, exige l'allocation des ressources humaines et matérielles suffisantes, avec une priorité élevée, dans le cadre du partage de ressources. Cette priorité diminue au fur et à mesure que la criticité diminue, c'est le cas d'une machine doublée ou ne faisant pas partie du chemin critique de la production. En effet, le degré de criticité, est un paramètre pertinent pour qualifier une demande d'intervention, qui caractérisera une tâche corrective. Si l'équipement concerné par la demande d'intervention est jugé critique, le redéploiement des ressources humaines et matérielles s'impose.

4.1.4. Le niveau de compétence du personnel de la maintenance

Il concerne le profil de compétence des opérations des tâches que le personnel est capable de réaliser, ainsi que la vitesse d'exécution de ces dernières. En fait, les compétences peuvent être identifiées à la fois sur la tâche (compétences requises pour la réalisation de la tâche, de missions ou d'actions stratégiques) et sur le personnel de la maintenance (compétences acquises) (Fikri, 2011).

Cette variable est capitale dans le partage des ressources humaines par le responsable du service de maintenance. En effet, tant que le degré de complexité des tâches, ainsi que l'indice de criticité des équipements augmentent, le niveau de compétence exigé augmente aussi. Ainsi, l'évaluation du niveau globale de compétence, sera une combinaison des deux niveaux.

D'autre part, le niveau de maîtrise des ressources matérielles et spécialement l'outillage spécifique, le manuel d'utilisation et d'entretien, et la ressource informatique, est un facteur déterminant de la compétence globale du personnel de la maintenance. Ce niveau de maîtrise diffère d'une ressource matérielle à une autre. En ce qui concerne le petit outillage et le consommable de maintenance, nous considérons que le personnel a la maîtrise parfaite de ceux-ci.

Ainsi, il est commode au responsable du service de maintenance, et pour avoir une vision globale concernant les compétences disponibles, d'établir une double matrice de compétences. Elle fera la correspondance d'une part, entre l'opérateur et le niveau de compétence pour la spécialité exigée pour la réalisation des opérations de la tâche. Et d'autre part, entre l'opérateur et le niveau de maîtrise de la ressource matérielle.

En ce qui concerne la matrice de compétence par spécialité requise, elle se traduit par le tableau suivant :

	Spécialité 1	Spécialité 2	Spécialité n
Opérateur 1	C _{1,1}	C _{1,2}	C _{1,n}
Opérateur 2	C _{2,1}	C _{2,2}	C _{2,n}
Opérateur 3	C _{3,1}	C _{3,2}	C _{3,n}
Opérateur o	C _{o,1}	C _{o,2}	C _{o,n}

Tableau1. Matrice de compétence par spécialité requise

Quant à la matrice de maîtrise de ressources matérielles, elle se traduit par le tableau suivant :

	Outillage spécifique			Manuel d'entretien			Ressource informatique		
	s			m			i		
	1	2	s	1	2	m	1	2	i
Opérateur 1	M _{1,1}	M _{1,2}	M _{1,s}	M _{1,1}	M _{1,2}	M _{1,m}	M _{1,1}	M _{1,2}	M _{1,i}
Opérateur 2	M _{2,1}	M _{2,2}	M _{2,s}	M _{2,1}	M _{2,2}	M _{2,m}	M _{2,1}	M _{2,2}	M _{2,i}
Opérateur 3	M _{3,1}	M _{3,2}	M _{3,s}	M _{3,1}	M _{3,2}	M _{3,m}	M _{3,1}	M _{3,2}	M _{3,i}
Opérateur o	M _{o,1}	M _{o,2}	M _{o,s}	M _{o,1}	M _{o,2}	M _{o,m}	M _{o,1}	M _{o,2}	M _{o,i}

Tableau2. Matrice de maîtrise de ressources matérielles

Pour compléter les matrices, le responsable doit établir une grille de notation pour chaque niveau, et qui permettra d'en évaluer la valeur.

4.1.5. La préférence

Un problème de partage de ressources, peut se réduire à un problème de décision, concernant la répartition et l'allocation de ressources humaines et matérielles. Ce problème de décision, donne naissance à la notion de préférence. Cette notion ne concernera que les ressources humaines. La problématique de la modélisation des préférences intervient dans un ensemble de domaines très différents : économie, psychologie, sciences politiques, recherche opérationnelle, intelligence artificielle, ou de manière plus générale l'ensemble des domaines scientifiques dont s'inspire la théorie de la décision (Boyssou et al., 2006).

La préférence de la ressource humaine décrit la satisfaction absolue ou relative du personnel de la maintenance, face à la réalisation des tâches préventives et/ou correctives, selon l'exigence du responsable du service de maintenance.

Cette préférence s'étendra aussi à l'usage des ressources matérielles. Autrement dit, la satisfaction de l'opérateur de maintenance dépend de la nature de la ressource matérielle utilisée par cet opérateur. Prenons le cas d'un outillage spécifique, rapide, simple à utiliser, et qui ne nécessite pas un effort physique pour être déplacé, la satisfaction de l'opérateur n'est pas la même dans le cas contraire.

De plus certains opérateurs de maintenance présentent une réticence envers l'utilisation des ressources informatiques comme les systèmes de GMAO, ou les logiciels de diagnostic, et considèrent l'opération de saisie ou d'analyse comme un fardeau ou une tâche pénible. Dans des cas, ces opérateurs sont délimités par leurs capacités intellectuelles ainsi que l'absence d'envie, pour la maîtrise de ces ressources informatiques.

C'est le cas aussi pour les manuels d'utilisation et d'entretien, pour lesquels une partie des opérateurs ne peut pas utiliser suite à leurs niveaux de formation (opérateur analphabète, ou mal instruit), ou sont exprimés par une langue étrangère qui n'est pas maîtrisée par l'opérateur. Ainsi, la préférence a un impact direct sur la qualité du service, exprimée en efficacité du travail réalisé par la ressource humaine.

Signalons que l'opérateur de maintenance peut être confronté à une situation dans laquelle, il est satisfait par l'allocation de la tâche i , par contre, il ne l'est pas face à l'utilisation de la ressource matérielle m , sollicitée par la tâche i .

4.2. Les contraintes dans un problème de partage et d'allocation en maintenance

Dans un problème de partage, l'opération d'allocation et de répartition des ressources, qu'elles soient humaines ou matérielles, est toujours délicate, puisqu'elle est soumise à certaines contraintes. Par exemple, pour une contrainte physique, une ressource humaine ou matérielle, ne peut pas se trouver au même temps dans deux ou plusieurs tâches différentes. Tandis que pour une contrainte légale, elle peut se traduire par l'obligation du respect des législations du code de travail, par le responsable du service de maintenance (heures de travail, heures de repos, charge horaire globale...).

Dans un problème de partage des ressources de la maintenance, les contraintes qui s'imposent sont comme suit :

4.2.1. Le nombre maximal de tâches à exécuter

Face à des ressources limitées, l'exécution de toutes les tâches, qu'elles soient préventives ou correctives, est pratiquement impossible. En effet, même si la planification des tâches préventives dans un plan de maintenance garantit plus au moins l'exécution de celles-ci ; l'apparition d'une ou plusieurs demandes d'interventions (tâches correctives), peut perturber considérablement, l'exécution de

l'ensemble des tâches, en obligeant le responsable de service de maintenance, à ne pas dépasser un nombre maximale de tâches pour la période considérée.

4.2.2. La disponibilité des ressources humaines pour l'exécution des tâches

Pour faciliter la prise de décision par le responsable de service de maintenance dans un problème de partage, il doit avoir à sa disposition, toutes les informations liées à la disponibilité des ressources humaines (congés, jours de maladie, départ pour la retraite, astreinte...). Ainsi, la tenue à jour de ces informations relatives à la disponibilité est cruciale pour l'opération de partage, tout en tenant compte du code de travail.

4.2.3. La disponibilité des ressources matérielles

Afin d'avoir une vision globale, dans un problème de partage, le responsable doit avoir, la tenue à jour des informations concernant les ressources matérielles (Pièces de rechange en stock, matériels de manutention de la maintenance, appareillage spécifique, logiciels de diagnostic, système de GMAO...). De plus, il doit avoir les informations complètes sur les ressources matérielles qui pourraient être transférées, d'une tâche préventive et réaffectées pour une tâche corrective, en cas de priorité de celle-ci.

4.2.4. La contrainte d'équité

La question qui revient souvent dans un problème de partage des ressources de la maintenance est comment partager ces ressources, entre les différentes tâches, de manière à ce que le résultat du partage, soit le plus juste et le plus équitable possible ?

Ce problème de justice distributive, a été abondamment étudié par les philosophes et les économistes, car il est lié au développement de toute société : du partage de territoires de chasse dans les sociétés primitives, au partage des zones d'exploitation minières mondiales (Bouveret, 2007). Ainsi, Le concept d'équité est indissociable de la notion de partage des ressources.

L'équité dans un problème de partage, peut se traduire par la répartition juste et équitable des différentes tâches, entre les opérateurs, et l'allocation équitable des ressources matérielles nécessaires pour l'exécution de ces tâches. Cette allocation doit tenir compte de l'âge de la ressource humaine, son sexe, son état de santé et de ses préférences. La contrainte d'équité fait ressortir les deux sous contraintes suivantes :

a) Le nombre maximal de ressources humaines par tâche

Dans un problème de partage, l'allocation de l'ensemble des opérateurs de maintenance, pour une seule tâche n'est pas envisageable. De plus, la nature des opérations qui caractérisent la tâche, peut définir le nombre maximal des ressources humaines à attribuer pour chaque tâche.

b) Le nombre maximal de ressources matérielles par tâche

Afin d'optimiser les interventions en temps et en qualité de service, des ressources matérielles sont à la disposition des opérateurs de maintenance.

Cependant, la répartition et l'allocation de ces ressources par tâche et par opérateur, fait partie du problème de partage des ressources de la maintenance. Signalons, qu'une tâche ne peut pas consommer toutes les ressources matérielles disponibles pour l'ensemble des tâches. Ainsi, chaque tâche a un nombre maximal de ressources matérielles, utilisées par les différentes opérations, définies par le mode opératoire de la tâche.

5. Formalisme d'un modèle général de partage et d'allocation**5.1. Modélisation de la fonction maximisation**

Afin de formaliser un modèle général de partage, nous allons adopter un modèle linéaire à variables mixtes, dont la finalité est de maximiser l'allocation des ressources humaines et matérielles pour les différentes tâches de la maintenance.

Pour ce faire, nous allons dans un premier temps définir les indices suivants :

p : indice d'identification de la tâche préventive, $\mathbf{p} \in [1, \mathbf{N}]$.

c : indice d'identification de la tâche corrective, $\mathbf{c} \in [1, \mathbf{N}']$.

o : indice d'identification d'un opérateur, $\mathbf{o} \in [1, \mathbf{K}]$.

s : indice d'identification de l'outillage spécifique, $\mathbf{s} \in [1, \mathbf{S}]$.

m : indice d'identification du manuel d'entretien et d'utilisation, $\mathbf{m} \in [1, \mathbf{Q}]$.

i : indice d'identification de la ressource informatique, $\mathbf{i} \in [1, \mathbf{I}]$.

l : indice d'identification d'un type d'opérations de la tâche préventive, $\mathbf{l} \in [1, \mathbf{L}]$.

l' : indice d'identification d'un type d'opération de la tâche corrective, $\mathbf{l}' \in [1, \mathbf{L}']$.

Dans un second temps, nous allons introduire les variables binaires suivantes :

X_{p,o} : affectation de la tâche préventive **p** à l'opérateur **o**.

Y_{c,o} : affectation de la tâche corrective **c** à l'opérateur **o**.

Z_{s,o} : affectation de l'outillage spécifique **s** à l'opérateur **o**.

T_{m,o} : affectation du manuel d'entretien et d'utilisation **m** à l'opérateur **o**.

U_{i,o} : affectation de la ressource informatique **i** à l'opérateur **o**.

Pour le formalisme de la préférence des opérateurs vis-à-vis les tâches, ainsi que les ressources matérielles, nous introduisons les variables binaires suivantes :

α_{p,o} : satisfaction de l'opérateur **o**, quand il est affecté à la tâche préventive **p**.

β_{c,o} : satisfaction de l'opérateur **o**, quand il est affecté à la tâche corrective **c**.

λ_{s,o} : satisfaction de l'opérateur **o**, quand il utilise l'outillage spécifique **s**.

γ_{m,o} : satisfaction de l'opérateur **o**, quand il utilise le manuel **m**.

μ_{i,o} : satisfaction de l'opérateur **o**, lorsqu'il utilise la ressource informatique **i**.

Les variables binaires d'affectation et de préférence se traduisent de la manière suivante : Par exemple, pour l'affectation de la tâche :

- Si la tâche **p** est affectée à l'opérateur **o**, alors **X_{p,o} = 1**, sinon **X_{p,o} = 0**.

En ce qui concerne la préférence ou la satisfaction de l'opérateur :

- Si l'opérateur est satisfait pour l'usage de la ressource informatique alors **U_{i,o} = 1**, sinon **U_{i,o} = 0**.

Ainsi la fonction maximisation qui quantifie le problème de partage de ressources, se traduit par l'expression suivante :

$$\begin{aligned} \text{Max} & \left(\sum_{p=1}^N \sum_{o=1}^K \sum_{l=1}^L C_{l,o} X_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \sum_{o=1}^K \sum_{l'=1}^{L'} C_{l',o} Y_{c,o} + \sum_{p=1}^N \sum_{o=1}^K \alpha_{p,o} X_{p,o} + \right. \\ & \left. \sum_{c=1}^{N'} \sum_{o=1}^K \beta_{c,o} Y_{c,o} + \right. \\ & \left. \sum_{s=1}^S \sum_{o=1}^K M_{s,o} Z_{s,o} + \sum_{m=1}^Q \sum_{o=1}^K M_{m,o} T_{m,o} + \sum_{i=1}^I \sum_{o=1}^K M_{i,o} U_{i,o} + \right. \\ & \left. \sum_{s=1}^S \sum_{o=1}^K \lambda_{s,o} Z_{s,o} + \sum_{m=1}^Q \sum_{o=1}^K \gamma_{m,o} T_{m,o} + \sum_{i=1}^I \sum_{o=1}^K \mu_{i,o} U_{i,o} \right) \end{aligned} \quad [1]$$

Cette formule générale peut être subdivisée en quatre fonctions principales :

- Une première fonction qui maximise la qualité des opérations des tâches exécutées. Cette fonction est donnée par l'expression :

$$\text{Max} \left(\sum_{p=1}^N \sum_{o=1}^K \sum_{l=1}^L C_{l,o} X_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \sum_{o=1}^K \sum_{l'=1}^{L'} C_{l',o} Y_{c,o} \right) \quad [2]$$

- Une deuxième fonction qui maximise la maîtrise des différentes ressources matérielles sollicitées pour l'exécution des tâches, et s'exprime par la formule suivante :

$$\mathbf{Max} (\sum_{s=1}^S \sum_{o=1}^K \mathbf{M}_{s,o} \mathbf{Z}_{s,o} + \sum_{m=1}^Q \sum_{o=1}^K \mathbf{M}_{m,o} \mathbf{T}_{m,o} + \sum_{i=1}^I \sum_{o=1}^K \mathbf{M}_{i,o} \mathbf{U}_{i,o}) \quad [3]$$

- Une troisième fonction, qui maximise la préférence ou la satisfaction des opérateurs vis-à-vis à l'affectation des tâches, celle-ci se traduit par :

$$\mathbf{Max} (\sum_{p=1}^N \sum_{o=1}^K \alpha_{p,o} \mathbf{X}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \sum_{o=1}^K \beta_{c,o} \mathbf{Y}_{c,o}) \quad [4]$$

- Une quatrième fonction a pour objectif de maximiser la préférence des opérateurs vis-à-vis aux ressources matérielles, représentées notamment par, l'outillage spécifique, le manuel d'entretien et d'utilisation et la ressource informatique, cette fonction s'exprime par :

$$\mathbf{Max} (\sum_{s=1}^S \sum_{o=1}^K \lambda_{s,o} \mathbf{Z}_{s,o} + \sum_{m=1}^Q \sum_{o=1}^K \gamma_{m,o} \mathbf{T}_{m,o} + \sum_{i=1}^I \sum_{o=1}^K \mu_{i,o} \mathbf{U}_{i,o}) \quad [5]$$

5.2. Modélisation des contraintes

Afin de formaliser les contraintes imposées par le problème de partage et d'allocation, nous allons introduire les paramètres suivants :

- Soit **A**, le nombre maximal de tâches à exécuter pour une période considérée, incluant les tâches préventives établies dans le cadre d'un programme de maintenance, ainsi que les tâches correctives qui découlent des demandes d'intervention.
- Soit **B**, l'ensemble des ressources humaines dont dispose le responsable du service de maintenance.
- Soit **E**, l'ensemble des ressources matérielles, englobant l'outillage spécifique, le manuel d'entretien et d'utilisation, et la ressource informatique.
- Soit $\overline{\mathbf{H}}_{p,o}$, le temps moyen d'exécution de la tâche préventive p par l'opérateur o.
- Soit $\overline{\mathbf{H}}'_{c,o}$, le temps moyen d'exécution de la tâche corrective c par l'opérateur o.
- Soit **DISP**_o, la disponibilité d'un opérateur o.
- Soit **DISP**_s, la disponibilité de l'outillage spécifique s.
- Soit **DISP**_m, la disponibilité du manuel d'entretien et d'utilisation m.
- Soit **DISP**_i, la disponibilité de la ressource informatique i.

Ainsi, les contraintes se traduisent par les expressions suivantes :

- Pour la contrainte qui concerne le nombre maximal de tâches à exécuter :

$$\sum_{p=1}^N \mathbf{X}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \mathbf{Y}_{c,o} = \mathbf{A} \quad \forall o \in [1, \mathbf{K}] \quad [6]$$

- Pour la contrainte de disponibilité des ressources humaines :

$$\sum_{p=1}^N \overline{\mathbf{H}}_{p,o} \mathbf{X}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \overline{\mathbf{H}}'_{c,o} \mathbf{Y}_{c,o} \leq \mathbf{DISP}_o \quad \forall o \in [1, \mathbf{K}] \quad [7]$$

- Pour la contrainte de disponibilité des ressources matérielles :

$$(\sum_{p=1}^N \overline{H}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \overline{H}'_{c,o}) Z_{s,o} \leq \mathbf{DISP}_s \quad \forall s \in [1, S] \quad [8]$$

$$(\sum_{p=1}^N \overline{H}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \overline{H}'_{c,o}) T_{m,o} \leq \mathbf{DISP}_m \quad \forall m \in [1, Q] \quad [9]$$

$$(\sum_{p=1}^N \overline{H}_{p,o} + \sum_{c=1}^{N'} \overline{H}'_{c,o}) U_{i,o} \leq \mathbf{DISP}_i \quad \forall i \in [1, I] \quad [10]$$

- Pour la contrainte du nombre maximal de ressources humaines par tâche :

$$\sum_{o=1}^K (X_{p,o} + Y_{c,o}) = \mathbf{B} \quad \forall p \in [1, N]; \forall c \in [1, N'] \quad [11]$$

- Pour la contrainte du nombre maximal de ressources matérielles par tâche :

$$\sum_{s=1}^S Z_{s,o} + \sum_{m=1}^Q T_{m,o} + \sum_{i=1}^I U_{i,o} = \mathbf{E} \quad \forall o \in [1, K] \quad [12]$$

6. Conclusion

La fonction de partage et d'allocation des ressources humaines et matérielles est un pilier de la gestion des ressources de la maintenance. Dans cet article, nous avons mis l'accent sur cette problématique, avec laquelle le responsable est en confrontation permanente. Dans un premier temps nous avons dressé un état d'art sur le problème d'allocation des ressources de la maintenance. Dans un second temps, nous avons essayé d'appréhender la notion de partage et d'allocation des ressources de la maintenance, grâce à la définition de ses variables, ainsi que ses contraintes, en tenant compte des deux types de ressources : humaines et matérielles. Par la suite, nous avons présenté un modèle général qui se base sur une fonction de maximisation, en proposant un modèle linéaire à base de variables mixtes.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons d'étendre ce modèle général dans un contexte de partage et d'allocation mixtes, traduits par la présence de ressources externes. C'est le cas d'une externalisation des tâches de la maintenance. De plus, il est intéressant d'appréhender cette problématique de partage et d'allocation dans le cas d'une maintenance centralisée, exprimée par des activités et des ressources communes pour un système composé de plusieurs sites de production.

7. Bibliographie

Adzakpa P., Maintenance des systèmes distribués : méthodes à d'aide à la décision en temps réel, Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 12 Octobre 2004.

Norme AFNOR NF X 60-000, « Maintenance Industrielle : Fonction Maintenance », Ed. Afnor, Paris, Mai 2002.

Bennour M., Intégration des opérations de la maintenance dans la production, DEA de Laboratoire de Besançon, Septembre 1996.

Bennour M., Addouche S.A., El Mhamedi A., « *RCPSP sous contraintes de compétences dans un service de maintenance* », 9^{ème} Congrès International de Génie Industriel, École Polytechnique de Montréal, Québec, CANADA 12, 13 et 14 octobre 2011.

Bouveret S., Fargier H., Lang J., Lemaitre M., "Allocation of indivisible goods: a general model and some complexity results", *Proceedings of the 4th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Utrecht, Netherlands, Juillet 2005.

Bouveret S., Allocation et partage équitable de ressources indivisibles: modélisation, complexité et algorithmique, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 16 Novembre 2007.

Boyssou D., Vincke P., Relations binaires et modélisation des préférences, Concepts et Méthodes pour l'Aide à la Décision, volume 1, chapitre 2. Lavoisier, 2006.

Denda R., Banchs A., Effelsberg W., "The fairness challenge in computer networks". *Proceedings of the First COST 263 International Workshop on Quality of Future Internet Services*, London, UK, 2000, p. 208-220.

Deschinkel K., Régulation du Trafic aérien par Optimisation dynamique des prix du réseau, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 2001.

Fikri M., Planification des ressources humaines : modélisation et résolution par les métaheuristiques : proposition d'un indice semi flou de pauvreté, Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 22 Octobre 2011.

Franchini L., Caillaud E., Nguyen P., Lacoste G., "Workload Control of Human Resources to Improve Production Management". *International Journal of Production Research*, Vol. 39, n°7. 2001.

Frostig E., "Optimal policies for machine repairman problems". *Journal of Applied Probability*, 30, p. 703–715, 1993.

Kool, G. "Optimal repairman assignment in two symmetric maintenance models". *European Journal of Operational Research*, 82, p. 295–301, 1995.

Monchy F., « *Maintenance : Méthodes et Organisations* », DUNOD, 2000.

Pieroni M., Lexique de la formation continue, rapport technique, [http : //www.hommes-et-savoirs.fr](http://www.hommes-et-savoirs.fr), 2005.

Schweizer R., « *Accessibilité, équité et partage des ressources en eau* », *Journal of Alpine Research*, 2013.

Vairaltarakis G., Cai X., Less C., "Workforce Planning in Synchronous production Systems", *European Journal of Operational Research*. 2002.

Zille V., Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants, Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 28 Janvier 2009.