



Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

Réalisé par :

LAICHE Hicham

Et

MESSAOUD Marouane

Thème

La modélisation dynamique de l'ordonnancement des taches de maintenance sous contraintes de compétence

Soutenu le:/..../2022

Devant la commission composée de :

Dr :	BENSAFIA Yassine	M.C.A	Univ. Bouira	Président
Dr :	LATRECHE Sadjia	M.A.A	Univ. Bouira	Encadreur
Dr :	KHERCHI Mohamed	M.A.A	Univ. Bouira	Examinateur

Dédicace

Je dédie ce travail

*A toute ma famille, qui m'a soutenu, guidé et encouragé
pendant tout mon cursus pour atteindre le succès dans
le bon chemin avec une éducation digne et un amour
des plus sincères dans la plus profonde abnégation*

*A mon binôme Hicham qui a fait cette grande confiance
à moi pour entamer ce mémoire*

*Particulièrement à mon amie Yasmine et makarb3t ras
et mes amis Yakoub, Lamine, faycel , Khalil, Oussama,
Kenzaoui , Hocine, Saïd, Abdou, Rahmi , Nasrou, Imad
et finalement Bilal. Tous ces derniers m'ont encouragé et
aidé pour travailler dur et sérieusement*

*Et enfin, à toute personne qui était là avec moi de près
ou de loin pendant mes années d'étude*

Marouane

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma maman et mon papa, qui m'a soutenu, guidé et encouragé pendant tout mon cursus pour atteindre le succès dans le bon chemin avec une éducation digne et un amour des plus sincères dans la plus profonde abnégation et à mon soutien dans la vie mon frere houssam et mes soeurs noura et sabrina ,ferial

A mon binôme maroune qui a fait cette grande confiance à moi pour entamer ce mémoire et me amis, yakoub, aissa,farid, aimen, elouanas ,hemza, sami, yazid ,moussa ,said, fayçal, saber,Mahmoud, Khalil ,oussama ,houcine ,abdnour.

Hicham

Remerciement

*Nous tenons avant toute chose, à remercier dieu et à lui rendre grâce pour la force et le courage qu'il nous a donnés et qui nous ont permis de surmonter tous les obstacles rencontrés durant la réalisation de ce travail. Il nous est aussi très agréable de remercier notre promotrice Mdm **Latrache Sadjia**, prof à l'université de Bouira, pour la qualité de son encadrement, pour toutes les connaissances scientifiques, pour nos avis, guides et encouragements pendant toute la durée du travail. Enfin, nous sommes également reconnaissants à nos nombreux amis et collègues pour l'aide morale qu'ils nous ont accordée, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

Résumé

Les services de maintenance interviennent pour maintenir ou remettre en état de bon fonctionnement les équipements. A travers la réduction de l'indisponibilité des équipements, ils participent à l'amélioration de la compétitivité des entreprises. Le service de maintenance est composé entre autre, de ressources humaines qui réalisent les tâches de maintenance. L'un des problèmes du manager de ce service est alors de trouver, pour chaque tâche, quelle ressource la traitera et quand.

Dans cette mémoire nous nous intéressons à un problème d'affectation et d'ordonnancement dynamique en prenant en compte les compétences des ressources humaines.

Nous proposons une approche de résolution dynamique pour un problème monocritère d'affectation et d'ordonnancement des activités de maintenance. Dans le contexte de la maintenance, différents critères concernant les ressources et les tâches sont importants. Nous proposons donc une extension de l'approche dynamique monocritère au multicritère. Certaines données utilisées dans l'affectation et l'ordonnancement sont incertaines. Pour anticiper la présence de ces incertitudes nous proposons une approche dynamique, proactive à un problème multicritère d'affectation et d'ordonnancement d'activité de maintenance sous contrainte compétence toutes ses approches font appel à une méthode d'amélioration par modification partielle de l'ordonnancement, inspirée de la méthode du kangourou.

Mots clé : Les taches de maintenance, ordonnancement dynamique, critères, algorithme de Kangourou.

Remerciement	I
Résumé.....	II
Liste des matières.....	III
Liste des figures	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Introduction générale	1
Chapitre I : Gestion et organisation du service de maintenance.....	4
1. Introduction.....	5
2. Évolution de la maintenance	5
3. Définition de la maintenance	6
4. Les différentes stratégies de maintenance.....	6
4.1 La maintenance préventive	7
4.2 La maintenance corrective	7
4.3 La maintenance améliorative	7
5. Les ressource du système de maintenance.....	8
5.1 Les pièces de rechange.....	8
5.2 L'outillage	9
5.3 Les ressources humaines en maintenance.....	9
5.3.1 Compétence.....	9
5.3.2 Compétence.....	9
5.3.3 Capacité.....	9
5.3.4 Qualifications	10
6. De la maintenance à l'e-maintenance	10
6.1 La maintenance à distance	11
6.1.1 La télémaintenance	11
6.1.2 L'e-maintenance.....	11
6.1.3 La plate-forme e-maintenance.....	12
6.2 Organisation des services de maintenance.....	12
6.2.1 La maintenance décentralisée	13
6.2.2 La maintenance centralisée	13
6.2.3 Les organisations mixtes.....	14
7. Les fonctions de maintenance	14

7.1 Fonctions de décisions	14
7.2 Fonctions d’ordonnancement	14
7.3 Fonctions opérationnelles	14
8. Conclusion	15
Chapitre II : Modélisation d’ordonnancement des tâches maintenances sous contraintes de compitance	17
1. Introduction:.....	18
2. Introduction aux problèmes d'ordonnancement	18
2.1 Définitions d’ordonnancement:.....	18
2.2 Les tâches de maintenance	19
2.3 Les ressources de maintenance	19
2.3.1 Ressources renouvelables	19
2.3.2 Ressources consommables	19
2.4 Les contraintes:	20
2.4.1 Les contraintes temporelles:.....	20
2.4.2 Les contraintes de ressources:	21
3. Typologie des ateliers	21
3.1 Les ateliers à une ressource.....	21
3.2 Les problèmes à machines parallèles:	22
3.3 Les ateliers a plusieurs ressources:	22
3.3.1 Flow Shop (F)	22
3.3.2 Job Shop (J).....	23
3.3.3 Open Shop (O)	23
4. Les spécificités de l'ordonnancement en maintenance.....	24
4.1 L'ordonnancement et les ressources humaines:	24
4.2 La prise en compte des ressources humaines:.....	25
4.3 La prise en compte des compétences:	25
5. Affectation tâches/ressources:.....	26
6. Ordonnancement statique et dynamique	26
6.1 Ordonnancement statique.....	26
6.2 Ordonnancement dynamique	27
6.3 La différence entre Ordonnancement dynamique et statique.....	27
7. Complexité du l’ordonnancement:.....	27
7.1 Complexité algorithmique:	28

Table des matières

7.2	Complexité problématique	28
8.	Modélisation de l'ordonnancement	28
8.1	Les méthodes de modélisation graphiques:	29
8.1.1	Le diagramme de Gantt	29
8.1.2	Graphe de potentiel:	29
8.1.3	Graphe disjonctif:.....	30
8.2	Les méthodes mathématiques:	30
9.	Flexibilité et robustesse d'un ordonnancement	31
9.1	Incertitude	31
9.2	La robustesse.....	31
9.3	La Flexibilité:.....	32
10.	Modelisation du probleme	32
10.1	Les tâches	32
10.2	Les ressources	33
10.3	Variables	33
10.4	Contraintes	34
11.	Applications	34
11.1	Génération des données	35
11.2	Les fenêtres d'insertion	35
12.	Conclusion	38
	Chapitre III : Approches de résolution des problèmes d'ordonnements.....	39
1.	Introduction.....	40
2.	Ordonnement et affectation dynamique	40
3.	Méthodes de résolution	40
3.1	Méthodes exactes	41
3.2	Méthodes approchées	41
4.	Contexte du problème et approche de résolution.....	42
5.	Les critères d'optimisation étudiés	42
5.1	minimiser la somme pondérée des retards	42
5.2	répartir la charge de travail entre les ressources humanité	42
5.3	limiter les modifications des ordonnancements existants	43
6.	Présentation de l'algorithme	43

Table des matières

6.1	Algorithme de descente locale	43
6.2	Algorithme de kangourou	44
6.3	Les variables	44
6.4	Les Etapes de l'algorithme.....	44
7.	Application.....	45
7.1	Les fenêtres d'insertion	45
8.	Amélioration de l'ensemble de solutions initiales [algorithme de kangourou].....	46
9.	Conclusion	48
	Conclusion générale	49

Chapitre I : Gestion et organisation du service de maintenance

Figure. I. 1. Évolution de la maintenance depuis 1940..... 6

Figure. I. 2. Différentes stratégie de la maintenance..... 8

Figure. I. 3. Nouvelles formas de maintenance..... 11

Figure.I. 4. Technologie de télé-maintenance 12

Figure.I. 5. Représentation de l'organisation du service de maintenance 15

Chapitre II : Modélisation d’ordonnancement des tâches maintenances sous contraintes de compétences

Figure .II. 1. Modèle machine unique 21

Figure .II. 2. Ordonnancement d’une séquence de jobs sur Machines parallèle..... 22

Figure .II. 3. Ateliers à cheminement unique (Flow-shop) 23

Figure .II. 4. Ateliers à cheminement multiple (Job-hop)..... 23

Figure .II. 5. Typologie par les ressources des problèmes d’ordonnancements..... 24

Figure .II. 6. Typologie des problèmes d'ordonnancement des Ressources Humaines 25

Figure .II. 7. Graphe de Gantt 29

Figure .II. 8. Graphe potentiel – tâches 29

Figure .II. 9. Graphe disjonctif d’un problème d’ordonnancement de type job-shop..... 30

Figure .II. 10. Ordonnancement courant avec les contraintes temporelles 36

Figure .II. 11. Les fenêtres d'insertion de la nouvelle tâche..... 37

Chapitre III : Approches de résolution des problèmes d’ordonnancements

Figure .III. 1. Arrivées stochastiques des tâches 40

Figure .III. 2. Déroulement d'un saut (permutation entre les tâches)..... 46

Figure .III. 3. Permutation entre la tâche 1et 3..... 47

Figure .III. 4. Permutation entre la tâche 1et 2..... 47

Liste des tableaux

Chapitre II : Modélisation d'ordonnement des tâches maintenances sous contraintes de compétence

Tableau .II. 1. Données et contraintes relatives à l'exemple de la Figure. I.9 31

Tableau .II. 2. Données concernant les tâches de maintenance de l'ordonnement 35

Tableau .II. 3. les caractéristiques concernant la tâche à insérer 38

Chapitre III : Approches de résolution des problèmes d'ordonnements

Tableau .III. 1. Ensemble des solutions initiales 45

Tableau .III. 2. Ensemble des solution initial après suppressions..... 46

Tableau .III. 3. Application de la méthode du kangourou 47

Introduction générale

Introduction générale

La globalisation, les changements économiques et l'évolution technologique présents dans le panorama industriel actuel, exigent des entreprises plus réactives, qui répondent aux besoins du marché, et s'adaptent à l'évolution de leurs clients. La compétitivité mondiale favorise les entreprises qui ne cessent d'améliorer leurs processus en développant des techniques et des outils qui permettent d'améliorer leur efficacité, afin de conserver des parts de marché.

Pour que les entreprises ne soient pas amenées à suivre cette démarche, il est nécessaire qu'elles améliorent leur compétitivité. Ces grandes entreprises ont des moyens de production déjà optimisés, autres que l'optimisation du fonctionnement des équipements, reste possible, on retrouve par exemple, l'amélioration des conditions de travail, la formation du personnel, ou encore la réduction des temps d'indisponibilité des équipements.[1]

Le service de maintenance intervient pour maintenir ou remettre en état de bon fonctionnement les équipements. Son rayon d'intervention est aussi étendu que l'entreprise et la qualité des améliorations apportées par celui-ci nécessite une bonne gestion de ses personnels et de ses compétences.. Ces travaux doivent être pilotés en ordonnancement avec des méthodes spécifiques déduites de la théorie des graphes. L'ordonnancement des activités de maintenance représente un moyen d'action sur la performance d'entreprise. Les problèmes d'ordonnancement s'apparaissent dans plusieurs domaines d'applications (informatique, industrie, transport, logistique...), Ils constituant d'ordonnancement des problèmes d'optimisation puisque leur objectif est de minimiser (ou maximiser) une fonction objectif tout en respectant certains critères.

Les problèmes d'optimisation sont, en général, difficiles à résoudre. Plusieurs méthodes sont utilisées afin de trouver une réponse satisfaisante à ces problèmes. On distingue les méthodes exactes et les méthodes approchées. Ces derniers sont considérés pour les problèmes d'ordonnancement pour lesquels nous ne trouvons pas de solution optimale dans un temps raisonnable ? Deux stratégies peuvent alors être adoptées pour l'ordonnancement, à savoir : statique, dynamique. Dans ce contexte, le problème que nous abordons est un problème de d'ordonnancement dynamique des tâches sur des ressources ayant des niveaux de compétence différente. Nous nous intéressons à l'insertion d'une nouvelle tâche [2]

Ce travail propose une approche de résolution méta-heuristique pour le problème, c'est une méthode d'optimisation, basée sur l'algorithme de kangourou, dont la fonction objectif est de minimiser les critères : la somme pondérer des retards , le nombres de modifications, nombre des

Introduction générale

tâches en retard, cette approche de d'ordonnancement dynamique et évite le gène qui peut occasionner pour le personnel, un ré-ordonnancement total des tâches

Le présent travail est organisé en respectant le plan suivant :

Le 1^{er} chapitre a pour but d'étudier le fonctionnement du service de maintenance, avec ses stratégies, son organisation et ses ressources. Nous commençons par une présentation des notions de base de la maintenance. Puis, nous présenterons les missions du service maintenance et les différentes formes d'organisation de ce service. Enfin, nous nous intéresserons plus en détail, au fonctionnement des services de maintenance à travers la décomposition fonctionnelle de ces services et de ces fonctionnements afin de situer la fonction ordonnancement.

Dans le 2^{ème} chapitre, nous avons expliqué le problème d'ordonnancement ensuite nous avons traitons la modélisation d'ordonnancement dynamique graphiquement

Le dernier chapitre nous proposons les méthodes de résolution un problème d'ordonnancement au début nous parlons sur Ordonnancement et affectation dynamique et méthodes de résolution deuxièmes on présente le contexte du problème et approche de résolution et nous avons choisissons trois critères pour travail notre étude, un approche ont été appliquées pour atteindre cet objectif. L'approche d'algorithme de kangourou.

*Chapitre I : Gestion et
organisation du service de
maintenance*

1. Introduction

En remettant en état de bon fonctionnement les équipements de production et en prévenant les défaillances, le service de maintenance agit de manière visible sur la compétitivité et la réactivité des entreprises. Il met en place des stratégies d'intervention, de manière à traiter efficacement les différentes tâches qu'il peut rencontrer. Le service de maintenance est organisé autour de ses ressources humaines. Ce sont elles qui réalisent les tâches et agissent pour rendre les équipements de production disponibles pour leur fonction première : produire.

Ce chapitre commence par une présentation des notions de base de la maintenance. Puis nous présenterons les différentes formes d'organisation du service de maintenance. En fin, nous nous intéresserons plus en détail au fonctionnement du service de maintenance à travers la décomposition fonctionnelle de ce service et de son fonctionnement.

2. Évolution de la maintenance

La fonction maintenance est, par nature, une activité transversale de l'entreprise au service des autres fonctions dont elle renforce l'efficacité. Les années cinquante et soixante, ont été marquées par l'apparitions des premières approches scientifiques de la gestion de maintenance. A cette époque, son objectif a été, la remise en service le plus rapidement possible de l'équipement défaillant sans se soucier de faire une analyse préalable des causes et conséquences des défaillances [1]. En effet, elle était rarement considérée comme une activité stratégique au sein de l'entreprise. Dans la même période, les premiers modelés de recherche opérationnelle visant l'optimisation des programmes de la maintenance sont apparus.

Dans les années soixante-dix, grâce aux contrôles des ateliers et à la surveillance, l'utilisation de l'information sur l'état actuel de l'équipement a permis de se concentrer sur des techniques pouvant prédire des défaillances. Cela semblait être plus efficace que les gros programmes de maintenance préventive. Des études détaillées de la part des fabricants, des défaillances de leurs produits ont abouti à de meilleures conceptions, avec moins de défaillances [2]. Dans les années quatre-vingt, l'ordinateur apporte de l'aide à la fonction maintenance. Initialement, il a été utilisé pour faciliter les tâches administratives, ensuite pour la gestion de l'information disponible. A nos jours, l'utilisation de l'outil informatique a contribué à la prise de décision.

John Moubray dans son livre Reliability Centered Maintenance a résumé l'évolution de la maintenance depuis l'années 1940, jusqu'au 2000 en trois générations, la première concerne le remplacement du composant lorsqu'il est détruit, la seconde est caractérisée par : le processus jouit d'une disponibilité supérieure, d'une durée de vie des composants plus longue et de réflexion sur l'optimisation des couts. Tant disque dans la troisième l'objectif est d'améliorer la disponibilité et la

fiabilité dans une plus grande sécurité, d'assurer une meilleure qualité des produits, de trouver les solutions aux problèmes néfastes à l'environnement et en fin garantir un meilleur rapport coût efficacité, [3], Figure (I.1).

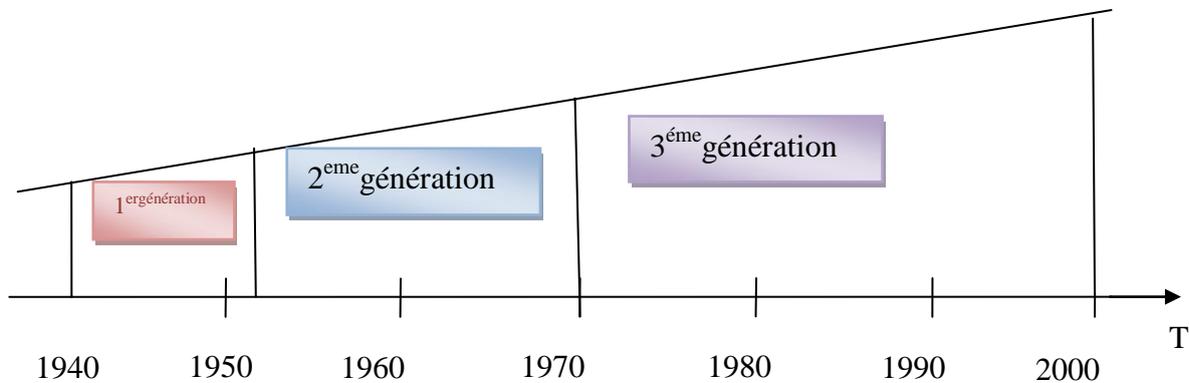


Figure. I. 1. Évolution de la maintenance depuis 1940.

3. Définition de la maintenance

L'association française de normalisation définit la maintenance comme étant l'ensemble de toutes les actions administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Il est précisé dans cette définition que des événements peuvent survenir sur tout bien et entraîner des conséquences sur son fonctionnement.

A travers le terme de défaillance, il y a la notion d'un événement anormal survenu à une instants donnée de fonctionnement de l'équipement. Cela le diffère de la dégradation, qui est une évolution de l'état de fonctionnement de l'équipement dans le temps. Cette évolution provoque l'éloignement de ce que l'on obtient en fonctionnement en mode dégradé par rapport à ce que l'on devrait obtenir au cours d'un fonctionnement normal ou en mode de fonctionnement nominal, Si la dégradation continue dans le temps et l'équipement n'est pas pris en charge, nous nous retrouvons dans l'état de panne.

4. Les différentes stratégies de maintenance

La norme AFNOR distingue plusieurs types de maintenance aussi appelée stratégies. Les deux principales stratégies de maintenance sont la maintenance préventive et la maintenance corrective. La différence entre les deux réside dans le fait que la maintenance préventive est réalisée avant l'arrivée de la défaillance tandis que la maintenance corrective s'effectue après.

La maintenance préventive peut être systématique, conditionnelle ou encore prévisionnelle, tandis que la maintenance corrective peut être palliative ou curative. Bien que les deux stratégies de maintenance évoquées précédemment soient les principales, on rencontre aussi « la maintenance méliorative » qui permet d'améliorer les fonctions des équipements.

4.1 La maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire :

- La probabilité de défaillance.
- La dégradation du fonctionnement d'un bien.

La maintenance préventive peut être de trois types : systématique, conditionnelle ou encore prévisionnelle.

- **La maintenance systématique** : est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unité d'usage mais sans contrôle de l'état du bien.
- **La maintenance conditionnelle** : est basée sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les fonctions qui en découlent.
- **La maintenance prévisionnelle** : quant à elle correspond à une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

4.2 La maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. La maintenance corrective peut être dite palliative si l'intervention donne lieu à un dépannage et à une réparation provisoire. Mais elle peut aussi être dite curative si la réparation restitue l'état de fonctionnement nominal.

4.3 La maintenance améliorative

Cette activité s'inscrit dans le cadre d'une démarche de progrès et d'amélioration. Souvent elle est inscrite dans une démarche de développement qualité C'est l'ensemble des mesures qui, par le

biais de l'intervention de maintenance, parviennent à améliorer la sûreté de fonctionnement du bien sans changer sa fonction première [1].

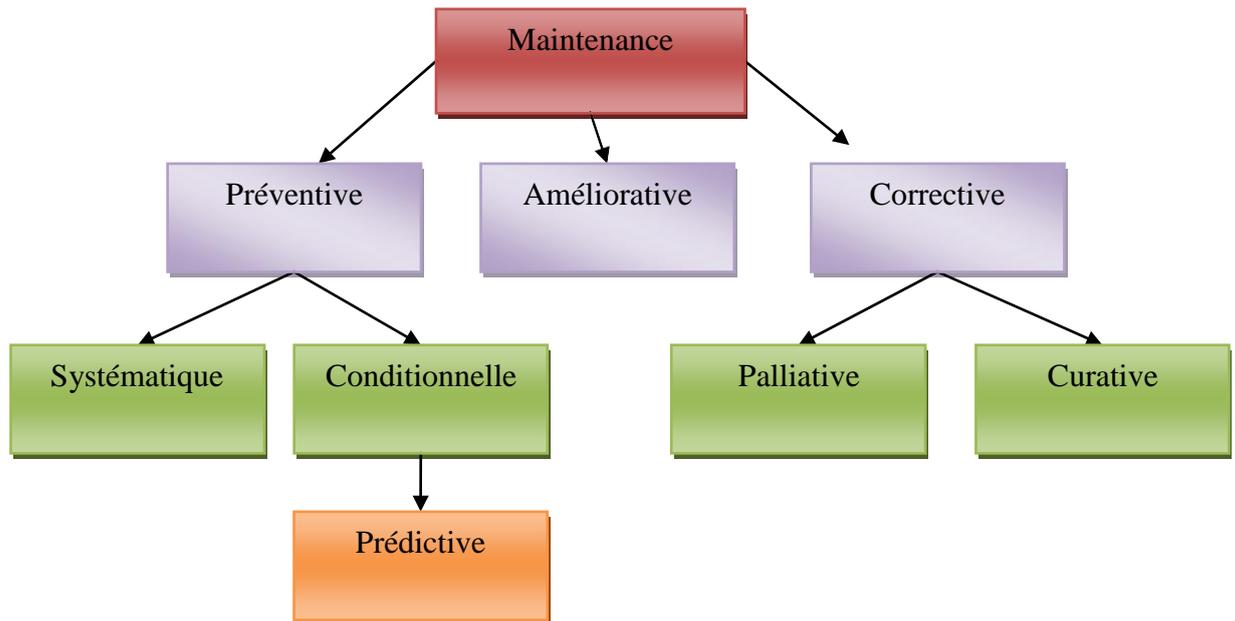


Figure. I. 2. Différentes stratégie de la maintenance

Après une brève définition des différentes stratégies de la maintenance, et dans la continuité du processus on procède à la classification des tâches de la maintenance (voir Figure I.2)

5. Les ressources du système de maintenance

Les ressources du service de maintenance sont principalement le personnel qualifié pour les différentes interventions. Cependant celui-ci a aussi besoin d'outillage et, pour les réparations, de pièces de rechanges ainsi que de consommables d'entretien.

5.1 Les pièces de rechange

La maintenabilité de l'équipement est liée à la présence de disponibilité sur le marché du fabricant des pièces de rechange, en effet le manque de diversité des points de distribution des pièces détachées peut rendre très difficile l'obtention des pièces de rechanges et donc la remise en service de l'équipement.

Pour des raisons d'optimisation et de maîtrise des coûts minimisation des coûts de stockage et des monopolisations de fond lors de l'achat des pièces de rechanges (surface, manutention, rangement,...) il serait judicieux pour l'entreprise de s'approvisionner chez des fournisseurs prêts des sites ou s'opèrent les interventions de maintenances cela faciliteras la réactivité des opérations de rechanges pour le service de maintenance.

5.2 L'outillage

Les différentes formes d'interventions de maintenance requièrent des ressources matérielles telles que l'outillage. La possibilité de l'intervention dépend donc de leur disponibilité et nécessite d'être planifiée. Certains outillages sont déplaçables, d'autres non. Parmi l'outillage déplaçable on peut déterminer deux types d'outillages : l'outillage courant, dont chaque opérateur de maintenance dispose (caisse à outils). Mais aussi l'outillage spécifique, ou coûteux (matériel électroportatif par exemple) qui est en quantité limitée et nécessite une réservation.

L'outillage lourd, qui n'est pas déplaçable, est en quantité limité. Il nécessite une intervention dans les locaux du service de maintenance et non sur site. L'utilisation de tels outils nécessite aussi d'être anticipée. On trouve très peu de publications sur la gestion de l'outillage en tant que ressource pour l'activité de maintenance. Les ressources les plus importantes du service de maintenance, mais aussi les plus compliquée à gérer, sont cependant les ressources humaines.

5.3 Les ressources humaines en maintenance

Les compétences sont le fer de lance de l'activité de maintenance. Chaque tâche de maintenance ayant ses particularités, il n'est pas possible d'automatiser la fonction de maintenance. C'est cela qui rend les techniciens de maintenance si importants aux yeux des autres services. L'AFNOR donne la définition suivante des compétences:

5.3.1 Compétence a

La mise en œuvre, en situation professionnelle, de capacités qui permettent d'exercer convenablement une fonction ou une activité.

Cependant, l'Association pour la Certification des Compétences Professionnelles (ACCP) en retient la définition élargie suivante :

5.3.2 Compétence b

L'ensemble des capacités démontrées par les preuves de la vie professionnelle et sociale courante.

Le terme de capacité ressort des deux définitions citées précédemment et doit lui aussi être défini. Il est bien entendu que les compétences détenues par un employé et ses capacités à mener :

5.3.3 Capacité

Une capacité représente la possibilité de réussite dans l'exécution d'une tâche, ou l'exercice d'une profession. Elle peut être l'objet d'une évaluation directe, sous réserve d'une volonté de mise en œuvre de la part de celui dont on veut apprécier la capacité [5].

À bien une tâche dépendent de sa formation et de ses qualifications. Nous complétons ces définitions par celle de la qualification.

5.3.4 Qualifications

La notion de qualification doit être entendue au sens large : loin de se réduire au savoir technique mis en œuvre dans le procès de travail, elle ne se sépare pas de la question du statut et des conditions sociales du travail. Il convient donc de distinguer les qualifications réelles et les qualifications conventionnelles, des écarts sensibles apparaissent entre ces deux réalités. Il convient de distinguer:

- la qualification acquise par la formation, attestée par la formation d'un diplôme ou d'un examen.
- la qualification du poste de travail, définie, d'une façon négociée ou non, dans la branche ou l'entreprise.
- la qualification de chaque personne comprise comme capacité individuelle opératoire pour occuper un poste de travail.

Éreintes ressources ne sont donc réunies que dans l'objectif d'améliorer la disponibilité des équipements dans l'entreprise. De par leur formation, ces ressources disposent d'un large champ de compétences. Des formations telles que celle proposée par le département de Maintenance Industrielle de l'Institut Universitaire de Valenciennes (IUT), ou encore les Sections de Techniciens Supérieurs en maintenance industrielle (STS) de certains lycée techniques, c'est la volonté de polyvalence qui a structuré les formations [1]. Les enseignements techniques sont très diversités : automatismes, électronique, mécanique, électrotechnique, thermique,... Ceux-ci sont bien entendu complétés par des stages dans l'industrie.

6. De la maintenance à l'e-maintenance

Les compétences, la polyvalence et le savoir-faire sont les aspects qui caractérisent le personnel de maintenance. Cependant, ce personnel est en nombre limité dans les entreprises. Dans le but de lui donner, le plus rapidement possible, accès à une expertise extérieure, les nouvelles formes de maintenance tendent à permettre au personnel l'accès aux informations, à distance. Toutefois, si ces informations ne se sent pas à résoudre

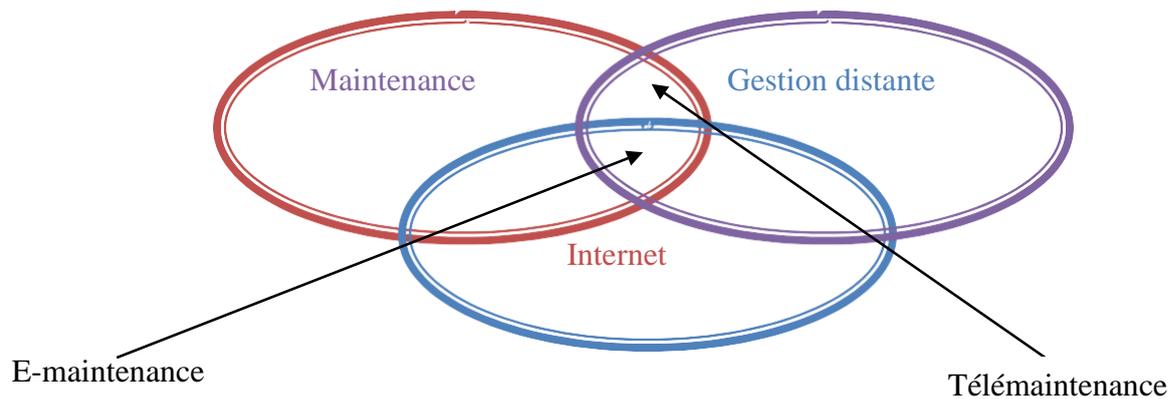


Figure. I. 3. Nouvelles formes de maintenance

Les problèmes, il devient possible de bénéficier directement de l'assistance d'experts à distance. L'utilisation des technologies de l'information a permis ces dernières années la mutation de l'activité de maintenance vers l'e-maintenance. (La Figure I.3) [6] présente le positionnement de la télémaintenance et de l'e-maintenance. L'e-maintenance est alors l'intersection de différentes composantes dans le but de permettre au personnel d'accéder à distance à des outils intelligents. Nous allons introduire ce positionnement dans les parties suivantes.

6.1 La maintenance à distance

6.1.1 La télémaintenance

La télémaintenance (appelée aussi téléassistance) consiste à effectuer la maintenance informatique à distance. Avec un logiciel spécialisé, un technicien peut contrôler à distance un ordinateur pour fournir une assistance technique, effectuer des actions de dépannage (matériel ou logiciel), vérifier l'état du système, et même diagnostiquer et intervenir. En d'autres termes, effectuer toutes les opérations nécessaires au bon fonctionnement d'un système informatique.

6.1.2 L'e-maintenance

L'e-maintenance est un concept émergent généralement défini comme « un concept de gestion de la maintenance dans lequel les actifs sont surveillés et gérés sur Internet ».

La littérature donne un panorama très hétérogène de définitions pour l'e-maintenance en indiquant si elle est caractérisée par des modèles spécifiques ou utilise des technologies ou des standards différents ou si elle est basée sur l'utilisation de l'internet. Ce problème de considération de l'e-maintenance est la principale cause de son utilisation académique. Récemment quelques chercheurs se sont intéressés à la question et ont proposé une formalisation globale de l'e-maintenance.



Figure.I. 4. Technologie de télé-maintenance.

6.1.3 La plate-forme e-maintenance

Une plate-forme d'e-maintenance a été présentée dans le projet européen PROTEUS! L'objectif de celui-ci était de concevoir une plate-forme générique d'e-maintenance. Celle-ci est composée de trois parties principales:

- La télésurveillance de l'équipement durant son cycle de vie.
- La gestion du processus de maintenance et de réparation (partie logistique d'accès aux bases de documents techniques et de connaissances, aux outils d'aide à la décision ainsi qu'aux ressources humaines).
- La présentation complète et synthétique des différentes données, comprenant le niveau de surveillance et de décision, les tableaux de bord, ainsi que les différents contrats de maintenance.

La mise en place d'une telle plate-forme peut permettre d'accroître considérablement l'efficacité des centres d'e-maintenance. Elle apporte en effet des solutions de maintenance notamment dans les organisations distribuées.

6.2 Organisation des services de maintenance

Dans les paragraphes précédents, nous avons présenté les différentes stratégies de maintenance. Puis nous avons étudié, à travers les ressources, la composition des services de maintenance. Nous nous intéressons maintenant aux différentes formes d'organisation des services de maintenance dans les entreprises.

Si la maintenance n'est pas prise en charge par l'entreprise elle-même, celle-ci est alors sous-traitée. La surveillance ainsi que la maintenance préventive et corrective peuvent donc être confiées

directement au fabricant de l'équipement (expert sur ce type d'équipement) ou à une entreprise spécialisée dans la maintenance industrielle (experte dans le domaine de la surveillance et de la maintenance à distance mais généraliste quant aux équipements surveillés). Les équipements peuvent être eux aussi en location, et si la maintenance n'est pas non plus prise en charge par l'entreprise utilisatrice, celle-ci peut aussi être sous-traitée de la même façon. On rencontre différentes organisations de la maintenance: organisation centralisée, décentralisée ou encore un mélange des deux. Mais elle peut être aussi sous-traitée ou encore distribuée. Dans les paragraphes suivants, nous décrivons ces différentes formes d'organisations.

6.2.1 La maintenance décentralisée

L'organisation décentralisée des services de maintenance se caractérise par le fait qu'une partie de la maintenance est réalisée par le service de production et que l'autre est réalisée par le service de maintenance. Dans une telle organisation, la maintenance et la production sont situées au même endroit. C'est donc le personnel appartenant au service de production qui effectue les diagnostics, passe les commandes, supervise les travaux de maintenance et gère les améliorations.

Ce type d'organisation permet principalement de maîtriser le processus de dégradation ainsi qu'une bonne prévention car le personnel de production est en contact régulier avec les équipements. Cependant la maîtrise technique étant répartie entre les services de production et de maintenance, des procédures de coordination doivent être répétées pour éviter une redondance des interventions.

6.2.2 La maintenance centralisée

La maintenance centralisée est la forme la plus commune d'organisation. Le service maintenance est distinct de la production. C'est lui qui regroupe les différents services techniques de l'entreprise mais il ne s'occupe pas des problèmes liés à la production. Le personnel de ce service est indispensable à la bonne conduite des événements, mais le cloisonnement de chaque service dans sa fonction nécessite une communication accrue. En effet, le personnel de production peut être trop occupé pour s'attarder sur des tâches de maintenance de bas niveau et rien ne le signale au service maintenance. Le personnel de maintenance peut aussi avoir reçu des formations spécifiques et très techniques sur des équipements particuliers, ou encore travailler sur des installations présentant des risques pour la sécurité, ce qui rend certaines activités irréalisables pour le personnel de production. Un système de maintenance centralisé peut, grâce à la mise en place d'atelier de maintenance mobile, gérer les activités de maintenance dans un contexte multi-sites. Alors que l'atelier de maintenance central gère les réparations des équipements sur les différents sites ainsi que la maintenance préventive, l'atelier mobile effectue les inspections et les remplacements.

6.2.3 Les organisations mixtes

L'organisation mixte impose à tout le personnel une bonne connaissance technique des équipements. Les opérateurs doivent être capables d'assurer des opérations techniques ou encore de trouver et de disposer des informations nécessaires à la réalisation de tâches de maintenance. Tandis que la production gère la partie logistique, le service de maintenance assure en outre les activités "courantes" de maintenance. Une organisation mixte permet en outre de bénéficier des avantages des deux systèmes mais nécessite un bon niveau technique des opérateurs de maintenance qui doivent être en mesure d'interpréter et de réaliser des diagnostics.

7. Les fonctions de maintenance

La maintenance doit parfois mettre en œuvre un certain nombre de « travaux lourds » caractérisés par le nombre et la durée des opérations constitutives. La maintenance est organisée en trois fonctions : fonction de décision (stratégique et tactique), fonction d'ordonnancement, et fonction opérationnelle

7.1 Fonctions de décisions

C'est l'unité de coordination et de décision de la maintenance elle assure les fonctions suivantes :

- Choix des stratégies de maintenance à appliquer -choix de type de surveillance à mettre en œuvre (visite, inspection, campagnes de mesures, surveillance prédictive, etc).
- Gestion et exploitation de l'historique technique.
- Déclenchement des tâches de maintenance ordonnancées par la fonction ordonnancement.

7.2 Fonctions d'ordonnancement

Elle gère et planifie les ressources matérielles et humaines nécessaires à la réalisation des opérations (tâches) de maintenance et fixe leurs dates de début et leurs dates de fin, avec des méthodes spécifiques déduites de la théorie des graphes, La fonction d'ordonnancement intervient dans la fonction de décision

7.3 Fonctions opérationnelles

Elle est chargée d'exécuter les interventions selon le plan établi par ordonnancement L'ordonnancement des opérations de maintenance aboutit à la délivrance d'un ordre de travail spécifiant à l'équipe technique le secteur d'intervention le type d'intervention les actions à effectuer en respectant les critères de sécurité et les délais spécifiques.

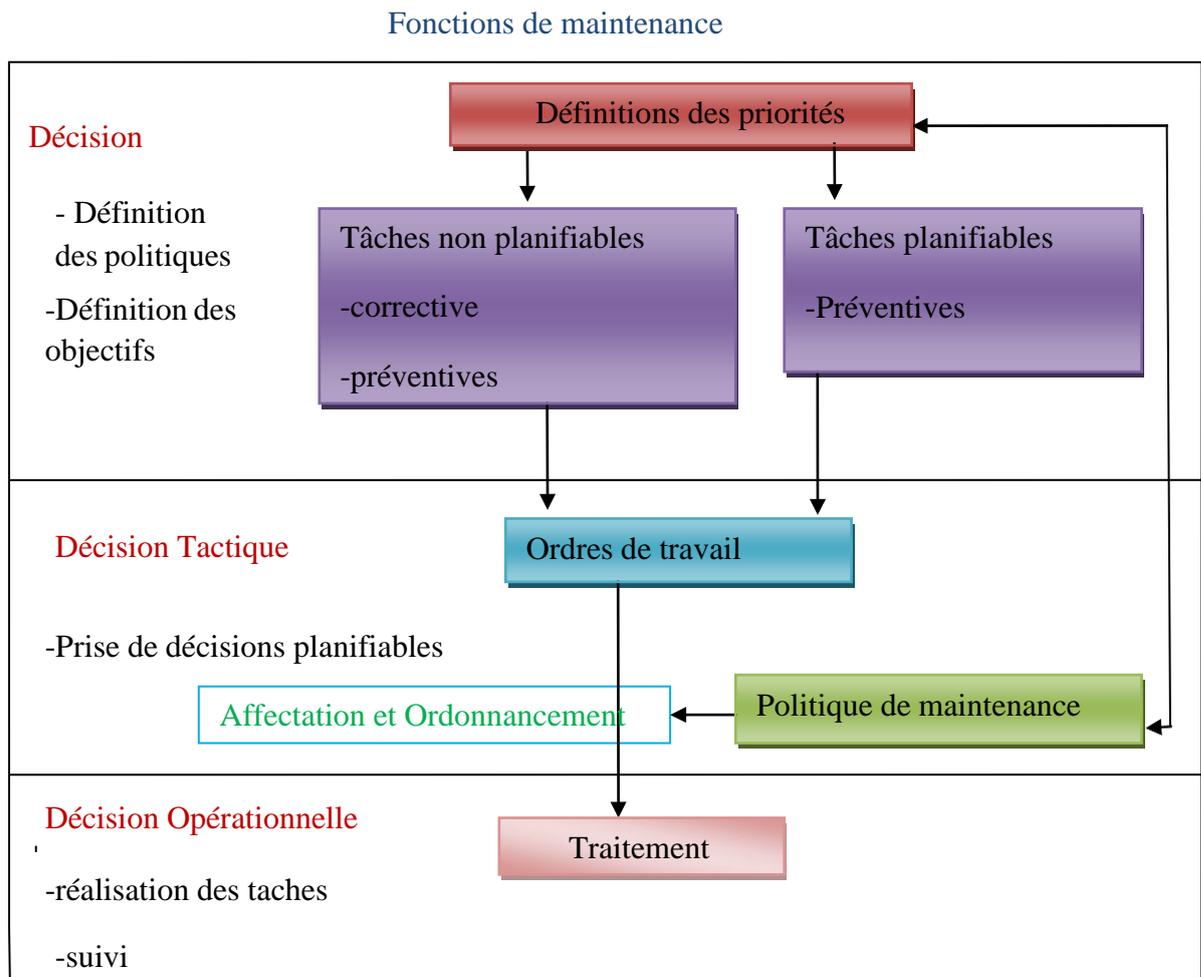


Figure.I. 5. Représentation de l'organisation du service de maintenance

8. Conclusion

La gestion de maintenance est l'une des composantes qui influe sur les performances de l'entreprise. De nos jours, elle permet non seulement l'identification réactive des éléments défaillants, mais aussi la prévision des pannes. Les services de maintenance réalisent principalement deux types de tâches : les tâches de maintenance corrective et de maintenance préventive [7]. Ces tâches ont pour principale différence que les tâches préventives sont connues pour un horizon déterminé alors que l'arrivée des tâches correctives n'est pas prévue. Elles ont cependant pour point commun de requérir l'intervention de ressources humaines compétentes [7]. Ces ressources sont organisées dans le service de maintenance. Celui-ci assure le maintien et la remise en état de bon fonctionnement d'équipements. Il prend des engagements auprès des exploitants de ces équipements [8]. Ces ressources humaines sont, en règle générale, polyvalentes [9] mais suivant leur parcours et leur expérience professionnelle leur efficacité peut varier. L'objectif de ce chapitre est de permettre de situer le service maintenance dans l'entreprise ainsi que d'en comprendre son importance pour

l'entreprise. Il ressort donc de cette étude que les ressources humaines sont plus que jamais acteur de l'efficacité du service et qu'une organisation performante de leurs activités de travail peut permettre d'accroître la compétitivité du service et donc de l'entreprise.

*Chapitre II : Modélisation
d'ordonnancement des tâches
maintenances sous contraintes
de compétence*

1. Introduction:

La notion d'ordonnancement de la production correspond aux concepts et stratégies qui traitent des enjeux prioritaires et de l'organisation des flux de production. Dans un environnement de fabrication compliqué, la commande peut être un problème difficile à résoudre [10].

L'administration de la production est une partie importante de la gestion de la production. Savoir utiliser les méthodes de l'ordonnancement peut vous aider à éviter des pertes de performances importantes. Cependant, d'un point de vue plus large, l'optimisation de l'environnement manufacturier ajoute plus de valeur à l'entreprise que la recherche du meilleur mode de gestion. En général, l'ordonnancement de la production fait référence à l'attribution d'un nombre spécifique de tâches à accomplir dans un ordre spécifique. Cette décision porte sur l'ordonnancement des ressources humaines et machines afin de mieux contrôler les coûts et de respecter les délais de production des produits spécifiés. Le terme "ordonnancement" fait référence à un ensemble de décisions que le chef d'atelier ou le planificateur doit prendre concernant les nombreuses opérations qui doivent être effectuées afin de mener à bien un projet (comme la fabrication d'un produit sur une période de temps déterminée). Notre rapport couvrira une variété de problèmes de l'ordonnancement liés aux systèmes de fabrication et passera en revue un certain nombre de méthodes de l'ordonnancement [11].

2. Introduction aux problèmes d'ordonnancement :

L'ordre d'exécution des opérations dans une description comportementale est déterminé par l'ordonnancement, qui est une tâche clé dans la synthèse de haut niveau. Après avoir présenté le problème de l'ordre, cet article décrit quatre algorithmes d'ordre couramment utilisés pour le résoudre [12].

2.1 Définitions d'ordonnancement:

Dictionnaire définition ordonnancement : organisation méthodique (d'une procédure, par exemple).

Le problème de l'ordonnancement consiste à ordonnancer les tâches en gardant à l'esprit les contraintes de temps (retards, contraintes d'enchevêtrement, etc.) qui affectent l'utilisation et la disponibilité des ressources. Un planning d'atelier (ordonnancement). Il décrit comment les tâches sont accomplies et les ressources sont allouées au fil du temps, dans le but d'atteindre un ou plusieurs objectifs. Plus précisément, lors de la détermination des dates de début et de fin des

tâches, le terme «problème d'ordonnance» est utilisé, mais le terme «problème de séquence» est utilisé uniquement pour essayer de déterminer un ordre relatif entre les tâches qui peuvent entrer en conflit pour l'allocation des ressources [13].

2.2 Les tâches de maintenance :

Une tâche est une activité, où bien entité élémentaire de travail localisée dans le temps par une date de début t_i ou de fin c_i dont la réalisation est caractérisée par une durée p_i (on a $C_i = t_i + p$) et par l'intensité a_i^k , avec laquelle elle consomme certains moyens k , ou ressources. Pour simplifier, on supposera que pour chaque ressource requise, cette intensité est constante durant l'exécution de la tâche [14].

2.3 Les ressources de maintenance:

L'exécution de diverses tâches nécessite une combinaison de ressources techniques, humaines et financières. Ces ressources sont nécessaires à l'exécution des tâches pendant les périodes de disponibilité limitée. Ils ne sont disponibles qu'en quantités limitées, sont sujets à des pannes et nécessitent des interventions de maintenance. La disponibilité est généralement exprimée comme une capacité propre à chaque ressource k notée. Gargouri distingue deux types de ressources : les ressources renouvelables et les ressources consommables.

2.3.1 Ressources renouvelables:

Les ressources sont dites renouvelables si, une fois utilisées, elles sont à nouveau mises à disposition avec la même capacité qu'auparavant, c'est-à-dire qu'elles sont toujours disponibles dans la même quantité (personnes, machines, espace, équipements généraux, etc.). On distingue également parmi ces ressources les ressources disjointes (ou non partageables) qui ne peuvent être utilisées que par une seule tâche à la fois (machines-outils, robot manipulateur, etc.) et les ressources cumulatives (ou partageables) qui peuvent être utilisées par plusieurs tâches. En même temps (équipe de salariés, poste de travail, etc.). Les problèmes de gestion des ressources disjointes sont appelés "problèmes d'atelier ou de machine".

2.3.2 Ressources consommables:

Si une ressource est considérée comme consommable après son utilisation, elle est disponible avec une capacité inférieure ou nulles (matières premières, budget, etc.) En pratique, la flexibilité de certaines ressources peut conduire à considérer des temps de reconfiguration supplémentaires, qui peuvent varier en fonction de la tâche à accomplir, ainsi que de l'état de la ressource elle-même, qui est souvent influencée par les tâches précédentes exécutées dessus. Cela signifie que, selon la

séquence choisie, le temps de régurgitation doit être pris en compte. En pratique, l'examen de ces temps de préparation est critique car ils peuvent avoir un impact significatif sur la planification. Il favorise le regroupement de produits identiques en lots sur chaque machine afin de réduire le temps total de reconfiguration de la machine. De plus, la durée des tâches n'est pas toujours connue, mais elle peut être affectée par le nombre de ressources utilisées dans leur exécution, qui à son tour peut être lié à la vitesse ou aux performances de la ressource [15].

2.4 Les contraintes:

Le concept de conflit est lié à un ensemble de variables de décision. Elle précise les domaines de ces variables de choix. Les contraintes sont divisées en deux groupes. Le premier doit faire face aux contraintes de temps. Ces derniers sont de deux sortes :

Liés aux jugements sur l'endroit où placer les tâches dans le temps (variables d'ordonnancement if et/ou ci), ou, alternativement, liés aux décisions sur la façon d'influencer les tâches sur les ressources (variables d'affectation). La seconde distingue les contraintes endogènes qui sont directement liées au système de production et à ses outputs et les contraintes exogènes qui ne sont pas liées au système. Les contraintes permettent une administration plus réaliste [16].

2.4.1 Les contraintes temporelles:

Les contraintes temporelles, souvent appelées contraintes de précédence, permettent d'exprimer des interdépendances temporelles entre tâches (exigences technologiques, logistiques, etc.). Ces contraintes sont généralement formalisées sous la forme d'une iniquité potentielle.

A. Les contraintes de temps alloué: sont généralement issues d'impératifs de gestion. Un ordonnancement réalisable doit donc satisfaire les contraintes suivantes :

$$\forall j \in \{1, \dots, n\} \quad r_j \leq t_j \cdot C_j \leq d_j$$

B. Les contraintes de cohérence technologique: ou contraintes de gammes, décrivent des relations d'ordre entre les différentes tâches. Une telle contrainte s'exprime donc ainsi :

$$C_j \leq T_{j+1}$$

2.4.2 Les contraintes de ressources:

Ces contraintes reflètent la nature de la disponibilité limitée des ressources en termes de quantité. Il existe deux sortes de contraintes : les contraintes disjonctives et les contraintes cumulatives [17].

3. Typologie des ateliers:

Le nombre de machines nécessaires pour accomplir chaque tâche, ainsi que l'enchevêtrement de ces tâches sur les machines, déterminent les nombreux problèmes qui doivent être résolus. En effet, les questions administratives peuvent être divisées en deux groupes. Le premier groupe contient des problèmes pour lesquels chaque tâche ne nécessite qu'une seule machine, tandis que le second groupe contient des problèmes nécessitant plusieurs machines pour être exécutés [13].

3.1 Les ateliers à une ressource:

Dans certains ateliers, tout ce qui est disponible pour traiter un groupe de tâches est une seule ressource. Une seule tâche peut être traitée à la fois par cet appareil. Ce type de défi consiste à déterminer le meilleur ordre pour que les tâches circulent dans une ressource afin d'optimiser un ou plusieurs critères donnés. On peut citer par exemple les problèmes de minimisation du retard maximum, du nombre de tâches en retard ou du nombre total de retards. L'un des scénarios les plus intéressants dans lesquels ce type d'agencement peut être rencontré est lorsqu'il est confronté à un système de fabrication qui comprend une machine à goulot qui a un impact important sur l'ensemble du processus [18].

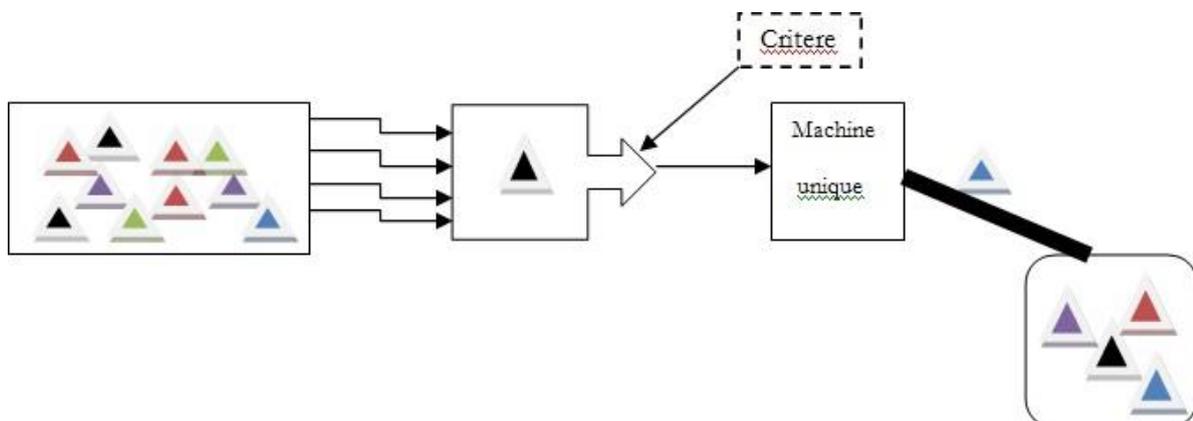


Figure .II. 1. Modèle machine unique

3.2 Les problèmes à machines parallèles:

Les exigences du marché, et le développement des systèmes de production ont fait l'apparition des ateliers composés de machines organisées en parallèle ou non dédiées. Ce type d'atelier se caractérise par le fait que plusieurs machines sont disponibles pour l'exécution d'un travail qui n'en nécessite qu'une machine (Figure .II. 2). Il s'agit donc, d'une généralisation du problème a une seule machine. Il est possible de distinguer trois types d'ateliers selon la vitesse d'exécution des machines :

- **Ateliers à machines identiques** : toute tâche peut s'exécuter sur n'importe quelle machine avec une même durée opératoire (à condition que la machine soit libre).
- **Ateliers à machine uniformes** : chaque machine possède sa propre vitesse et ceci Indépendamment de la tâche a exécuté.
- **Ateliers a machine indépendantes (Ou non reliées)** : la vitesse des machines dépend de la tâche à effectuer [19].

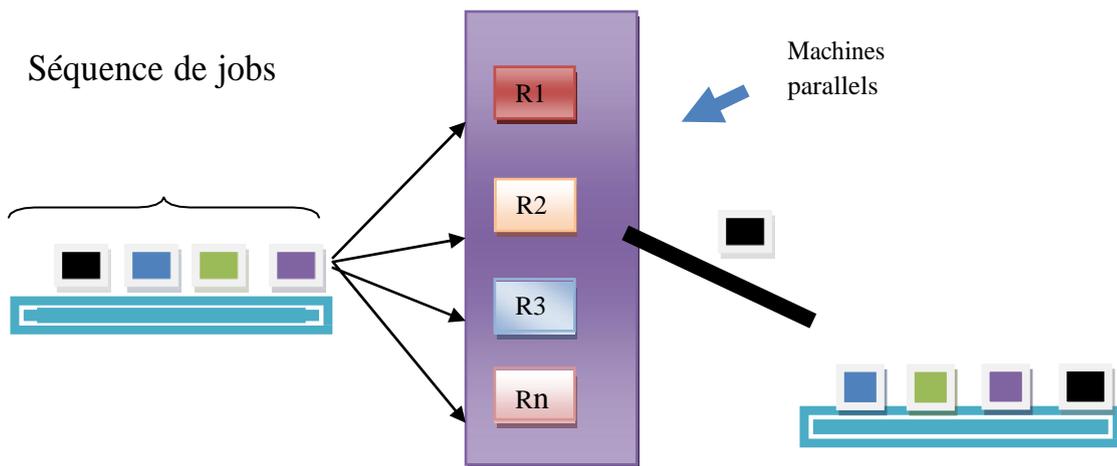


Figure .II. 3. Ordonnancement d'une séquence de jobs sur Machines parallèle.

3.3 Les ateliers à plusieurs ressources:

3.3.1 Flow Shop (F)

Appelés également ateliers à cheminement unique, qui sont des ateliers dans lesquels une chaîne de fabrication est constituée de plusieurs machines en série, toutes les opérations étant effectuées dans le même ordre par les machines. Dans les ateliers hybrides flow-shop, une machine peut être composée de plusieurs exemplaires identiques travaillant en tandem [20].

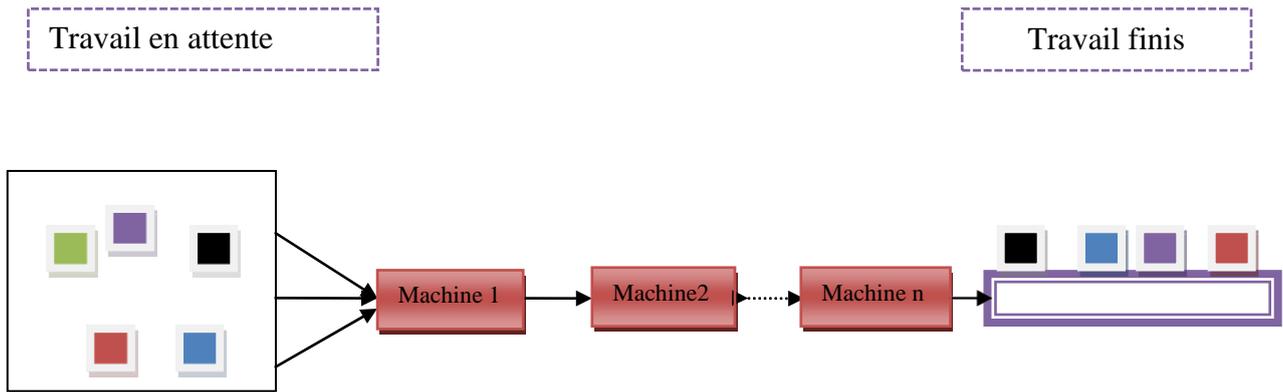


Figure .II. 4. Ateliers à cheminement unique (Flow-shop).

3.3.2 Job Shop (J)

Les appelés, également appelées ateliers à parcours multiples, sont des installations où les activités se déroulent dans un ordre précis déterminé par une gamme de fabrication prédéterminée, qui varie en fonction du projet à réaliser [10].

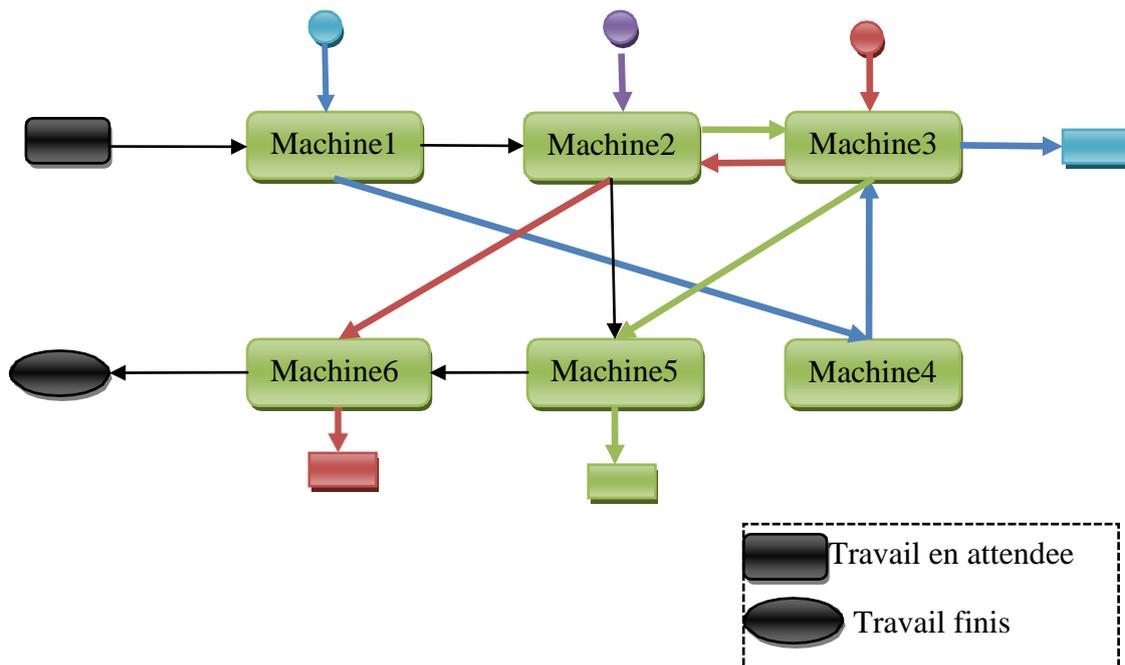


Figure .II. 5. Ateliers à cheminement multiple (Job-hop).

3.3.3 Open Shop (O)

Ce type d'atelier est moins contraint qu'un flow-shop ou un job-shop. De ce fait, l'ordre des opérations n'est pas figé a priori ; le problème de la commande consiste, d'une part, à déterminer le parcours de chaque produit et, d'autre part, à commander les produits en fonction des gammes

disponibles ; ces deux problèmes peuvent être résolus simultanément. Figure .II. 6 ci-dessous Typologie par les ressources des problèmes d'ordonnancements [10].

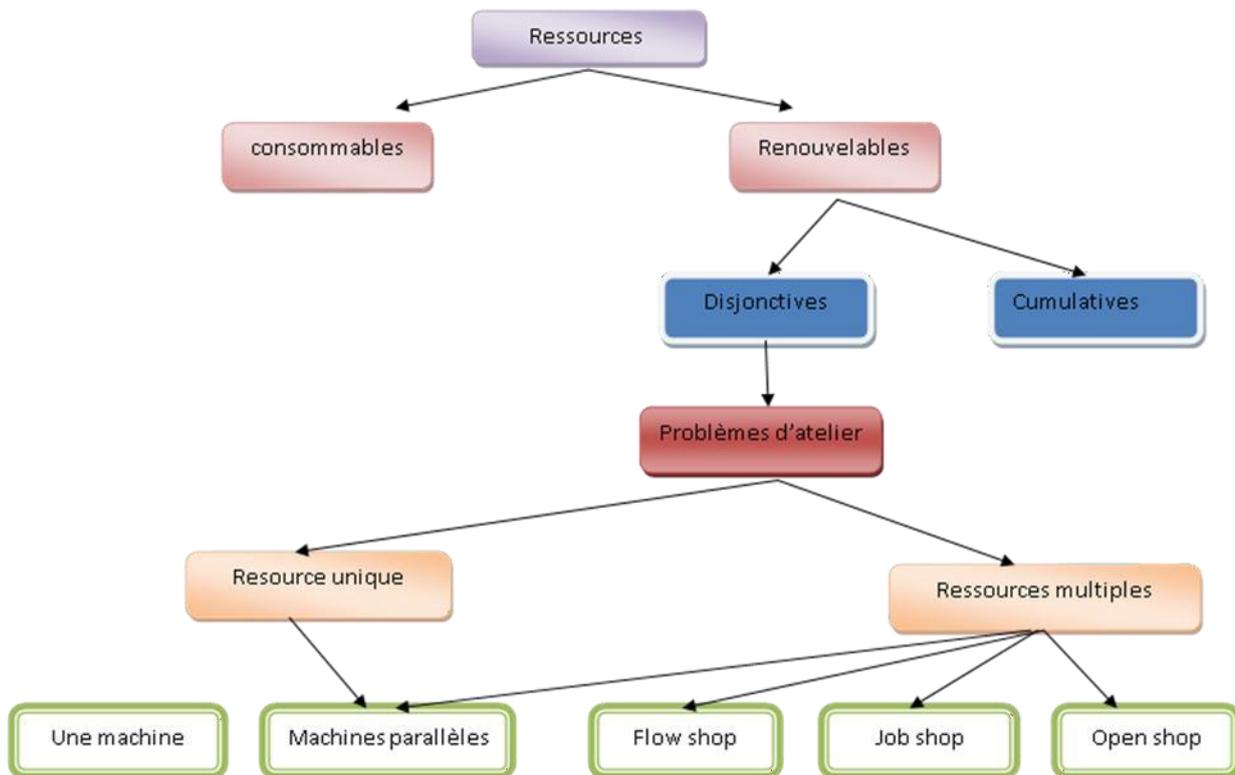


Figure .II. 7. Typologie par les ressources des problèmes d'ordonnancements.

4. Les spécificités de l'ordonnancement en maintenance:

La première caractéristique de la maintenance est la capacité à affecter des tâches avec des ressources humaines. Ils sont distincts, leurs différences découlant de leurs capacités. Nous allons donc parler de la façon dont ils sont pris en compte et pourquoi ils doivent être pris en compte en premier lieu. Enfin, lorsqu'il s'agit de tâches de maintenance, elles n'ont pas toutes besoin d'être connues tout au long de l'exécution d'une commande. En conséquence, nous étudierons le concept d'horizon et son impact sur la gestion des tâches [23].

4.1 L'ordonnancement et les ressources humaines:

Malgré le fait qu'un grand nombre d'études portent sur l'ordonnancement des ressources humaines, peu d'études prennent en compte les compétences de ceux qui les gèrent. En première partie, nous ferons un rapide état de l'art sur la manière de comptabiliser les ressources humaines.

Dans une seconde partie, nous aborderons les approches qui traitent de la prise en compte des compétences de ces ressources [18].

4.2 La prise en compte des ressources humaines:

Tchommo et ses collègues ont compilé une revue bibliographique sur l'ordonnancement simultanée de la production et des ressources humaines. Selon les conclusions de cette étude, il existe une carence dans l'ordonnancement des ressources humaines.

En ce qui concerne les contraintes imposées par les ressources, il existe une classification qui se concentre uniquement sur celles qui lui sont propres (congés, horaires légaux, etc.).

Théoriquement, il existe trois types de problèmes d'ordonnancement [13]. (Figure .II. 8):

- Le « Shift scheduling », qui prend en compte les quarts de travail et les pauses d'affectation des ouvriers.
- Le « Tour scheduling », qui comprend les congés.
- Le « Day-off scheduling », qui tente d'organiser les congés en respectant les contraintes légales [23].

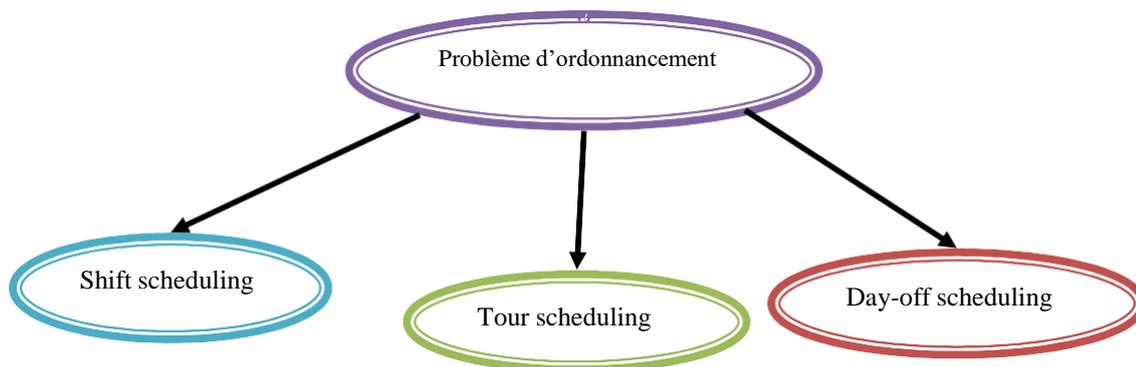


Figure .II. 9. Typologie des problèmes d'ordonnancement des Ressources Humaines.

4.3 La prise en compte des compétences:

La clé pour lancer une activité de maintenance est d'avoir les bonnes compétences. Il n'est pas possible d'automatiser la fonction de maintenance car chaque tâche a ses propres caractéristiques uniques. C'est pour cette raison que les techniciens de maintenance sont si précieux aux yeux des autres prestataires. [24] fournit la définition de compétence suivante :

Le développement de compétences permettant à une personne d'exercer une fonction ou une activité dans un cadre professionnel.

Pour de nombreuses entreprises, la gestion des compétences est un enjeu stratégique. Il ne suffit pas de connaître les compétences disponibles au sein de l'entreprise ; il faut aussi être en mesure de déterminer quels sont les besoins de l'entreprise (recrutement, formation, etc.) . Une méthodologie d'élaboration d'un référentiel de compétences a été développée afin de gérer les individus de manière plus flexible en fonction de leurs compétences. Cette stratégie divise les compétences en deux catégories :

- **Les compétences génériques** : Ils peuvent être utilisés dans des contextes professionnels variés.
- **Les compétences spécifiques** : Ceux-ci sont associés à un domaine d'activité ou à une industrie particulière. Les ressources humaines doivent être valorisées pour leurs capacités, car c'est ce qui leur donne de la valeur pour l'entreprise. Ils symbolisent aussi en quelque sorte le métier de l'entreprise [25].

5. Affectation tâches/ressources:

Compétences, connaissances et certifications sont les outils de chaque opérateur dans le domaine de la maintenance industrielle. Même s'il existe une certaine polyvalence en général, les affectations sont avant tout déterminées par leurs capacités. Dans certains cas, une bonne gestion de l'activité de chaque membre du service de maintenance permet de réaliser plus de tâches dans le même laps de temps que les affectations hasardeuses [26].

6. Ordonnancement statique et dynamique:

Lorsque des décisions d'ordonnancement sont prises avant l'exécution de l'application et ne sont pas négligées pendant cette exécution, un problème d'ordonnancement se pose. En d'autres termes, la méthode d'allocation a une connaissance complète et préalable de toutes les tâches et de leurs caractéristiques telles que les échecs, les temps d'exécution, les contraintes de précédence et les temps de décrochage. L'analyse statistique conduit à la création d'un planning qui inclut les dates de lancement et de réalisation de l'ensemble des tâches. La technique d'optimisation statistique travaille sur l'ensemble des tâches et produit un schéma d'optimisation fixe et invariable. Cette approche n'est applicable qu'aux systèmes pour lesquels on sait qu'aucune modification ou évolution ne sera apportée [27].

6.1 Ordonnancement statique:

L'analyse statistique conduit à la création d'un planning qui inclut les dates de début et de fin de toutes les tâches. L'algorithme d'ordonnancement statistique opère sur l'ensemble des tâches et produit un schéma d'ordonnancement fixe et invariable. Cette approche n'est applicable qu'aux

systèmes pour lesquels on sait qu'aucune modification ou évolution ne sera apportée. Les procédures statistiques, en revanche, sont inefficaces car incapables de renverser les décisions initiales et de les adapter à la réalité actuelle du système [15].

6.2 Ordonnancement dynamique :

Les approches dynamiques ou adaptatives vous permettent de gérer différents types d'incertitude, tels que des temps d'exécution ou des périodes d'activation inconnus, et de nouvelles tâches qui peuvent être activées de manière inattendue tout au long de l'exécution. De ce fait, l'ordonnancement évolue avec le temps.

Dans ce cas, rien ne garantit que les contraintes de temps soient respectées.

Lorsqu'une nouvelle tâche se présente, l'ordonnanceur fait une analyse de faisabilité pour déterminer s'il peut assurer une bonne ordonnance globale. Si c'est le cas, il crée un plan de planification et insère la tâche dans la liste globale des tâches garanties. En cas d'échec, une variété d'options est disponible en fonction du temps disponible [28].

6.3 La différence entre Ordonnancement dynamique et statique:

Lorsqu'un algorithme l'ordonnancement est créé à la volée lorsque des événements arrivent que personne ne puisse prédire à l'avance, on parle d'algorithme l'ordonnancement "dynamique".

De ce fait, un ordonnancement statique est plus fiable et moins adaptable qu'un ordonnancement dynamique [13]. La détection d'une panne entraîne une nouvelle tâche. En fonction de sa pertinence, une nouvelle ordonnance englobant cette nouvelle tâche pourra être complétée immédiatement. Cela correspond à l'insertion d'une tâche de maintenance corrective, dont les caractéristiques ne sont connues qu'après son apparition, dans un ordonnancement existant et bien connu.

L'insertion peut alors être réalisée à l'aide d'un ordonnancement statistique. L'ensemble des tâches sera "affecté" et une nouvelle administration, distincte de la précédente et englobant la nouvelle tâche, sera mise en place [18].

7. Complexité du l'ordonnancement:

La complexité des problèmes administratifs est déterminée par la complexité des méthodes de résolution et des algorithmes associés. Certains problèmes de l'ordonnancement à grande échelle peuvent être si complexes qu'il devient impossible de les résoudre. Il existe deux types de complexité : la complexité algorithmique et problématique [29].

7.1 Complexité algorithmique:

L'objectif de la théorie de la complexité est d'examiner les coûts de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire, notamment en termes de temps de calcul.

Il permet la classification des problèmes en plusieurs niveaux de difficulté et fait la distinction entre un problème d'optimisation et un problème de décision. La majorité des problèmes administratifs se sont avérés difficiles. La complexité algorithmique est mesurée en termes de temps alloué à l'exécution de l'algorithme ou de quantité de mémoire requise. Le temps de calcul est déterminé par le nombre d'instructions et la taille des données traitées [30].

7.2 Complexité problématique:

La complexité problématique est déterminée par le problème à résoudre ainsi que la méthode de résolution choisie pour construire la meilleure solution selon l'ensemble de critères. Dans la littérature, les problèmes organisationnels sont fréquemment divisés en deux catégories selon leur degré de complexité :

- Les problèmes insolubles, qui sont les problèmes administratifs les plus difficiles pour lesquels aucune solution connue n'existe.
- problèmes P ou NP décidables.

S'il existe un algorithme polynomial pour résoudre un problème de décision dans un délai raisonnable, il est classé comme un problème de classe P.

- Un problème de décision est classé comme NP ou NP-difficile s'il ne peut pas être résolu en un temps polynomial en utilisant des algorithmes non déterministes [15], mais il peut être résolu en un temps polynomial en utilisant des méthodes accessibles.
- Un problème de décision est dit NP-complété s'il appartient à la classe NP et peut être résolu en un temps exponentiel.
- Un problème NP-difficile est un problème dans lequel le problème de décision est NP-complet [31].

8. Modélisation de l'ordonnancement:

En général, la modélisation est une étape clé dans la résolution d'un problème d'ordonnancement. Il s'agit d'une version simplifiée de toutes les données du problème qui vous permet de traduire tous les détails pour mieux représenter la situation. Il existe deux types de méthodes de modélisation : graphique et mathématique [32].

8.1 Les méthodes de modélisation graphiques:

8.1.1 Le diagramme de Gantt:

Le diagramme de Gantt est un outil qui permet de représenter les séquences de traitement des travaux sur chaque machine requise tout en précisant les dates de début et de fin pour chacune. C'est un outil créé par Henry L. Gantt en 1917 [33].

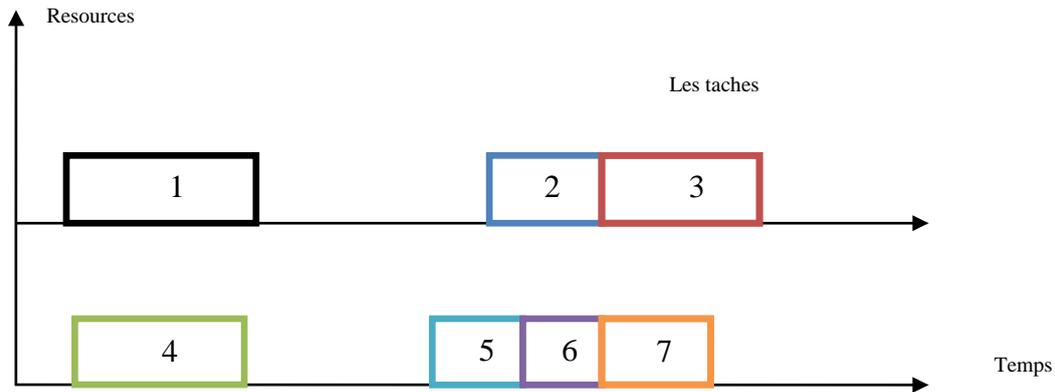


Figure .II. 10. Graphe de Gantt.

8.1.2 Graphe de potentiel:

Un problème d'organisation peut être représenté par un graphe, appelé graphe potentiel - tâches (Figure. II.8), constitué de :

- nœuds représentant les tâches.
- Arcs conjoints illustrant les contraintes de temps (en indiquant les durées des tâches) ; arcs disjoints indiquant des contraintes de ressources.

Les méthodes graphiques ont beaucoup évolué, notamment depuis l'introduction des réseaux de Pétri (RdP), - Graphe de potentiel [20].

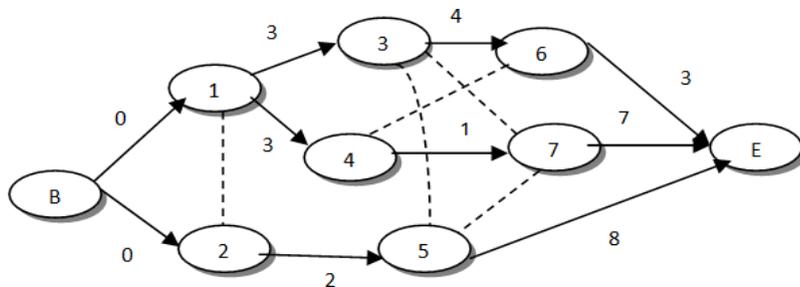


Figure .II. 11. Graphe potentiel – tâches.

8.1.3 Graphe disjonctif:

L’utilisation des graphes disjonctifs pour la modélisation des problèmes d’ordonnements d’ateliers est sans doute parmi les techniques les plus exploitées. Introduite initialement par Roy et Sussman en 1964, elle fut reprise par la suite par plusieurs chercheurs où elle est à l’origine des premières contributions pour le traitement des problèmes d’ordonnement:

Les nœuds : Ces nœuds représentent débuts des opérations.

Les arcs : Les arcs conjonctifs sont associés aux contraintes de précédence entre deux opérations consécutives et valués par la durée opératoire de la première opération. Les arcs disjonctifs exprimant les conflits d’utilisation de ressources où deux opérations ne peuvent pas s’exécuter en même temps si elles sont reliées par un tel arc [34].

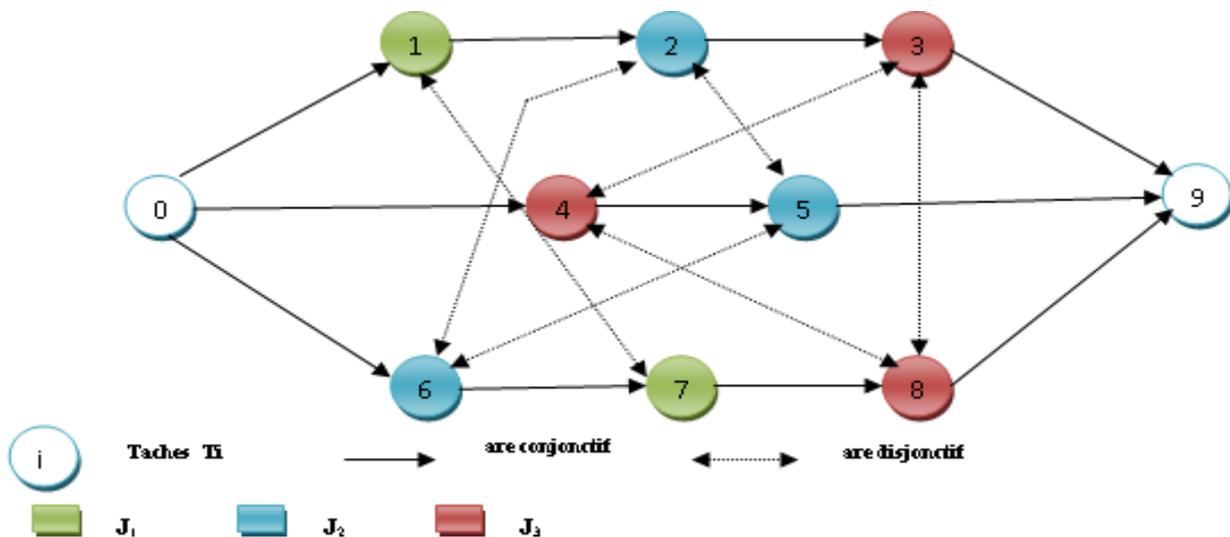


Figure .II. 12. Graphe disjonctif d’un problème d’ordonnement de type job-shop.

8.2 Les méthodes mathématiques:

Les méthodes mathématiques consistent à écrire des données, des contraintes et une fonction d’évaluation de critères sous la forme d’équations mathématiques. Ces méthodes sont inspirantes et largement utilisées ; ils permettent aux programmeurs de créer un langage de codage simple, puissant et facilement exploitable. Les données suivantes, par exemple, sont liées à l’exemple de la (Figure II. 9) [1,2,3,4,5,6,7,] $j \in n$ désigne le nombre total de tâches, dans le but de calculer t_j (la date de début de la tâche j) et en minimisant la date de fin de la dernière tâche [35].

Contraintes des données	Contraintes des précédences	Contraintes des ressources
P1=5		$(t_{1+p_1} \leq t_2)$ ou, $(t_{2+p_2} \leq t_1)$
P2=8		
P3=9	$t_1 + P_1 \leq t_3$	$(t_{3+p_3} \leq t_5)$ ou, $(t_{5+p_5} \leq t_3)$
P4=4	$t_1 + P_1 \leq t_4$	$(t_{4+p_4} \leq t_6)$ ou, $(t_{6+p_6} \leq t_4)$
P5=1	$t_2 + P_2 \leq t_5$	$(t_{5+p_5} \leq t_7)$ ou, $(t_{7+p_7} \leq t_5)$
P6=6	$t_3 + P_3 \leq t_6$	
P7=3	$t_4 + P_4 \leq t_7$	$(t_{3+p_3} \leq t_7)$ ou, $(t_{7+p_7} \leq t_3)$

Tableau .II. 1. Données et contraintes relatives à l'exemple de la Figure. I.9

9. Flexibilité et robustesse d'un ordonnancement

9.1 Incertitude

L'aspect le plus difficile de l'utilisation d'une ordonnance dans la pratique est la gestion de l'incertitude. Nous utiliserons la définition suivante proposée par Ghota dans Les incertitudes sont utilisées pour décrire les changements potentiels dans les données d'un problème de planification qui peuvent survenir entre le moment où une commande est calculée et le moment où elle est réellement mise en œuvre dans le magasin. L'incertitude provient de l'écart entre les prédictions faites lors de la phase prédictive et les données réelles obtenues après la phase réactive.

Dans le cas de la planification d'atelier, les incertitudes suivantes sont généralement étudiées :

- Une modification de la durée d'une opération. Cela est vrai pour les opérations en attente et en avance sur le calendrier.
- L'ajout ou la suppression d'une opération (tâche). Cela se produit fréquemment, généralement sous la forme d'une tâche urgente à accomplir.

Ces incertitudes pourraient avoir un impact significatif sur l'organisation de l'atelier. Par conséquent, il est important de les rappeler. Les objectifs de flexibilité et de robustesse sont de mesurer l'impact des incertitudes et d'essayer de les atténuer [36].

9.2 La robustesse:

Un ordre robuste est un ordre dont les performances ne sont pas affectées par l'incertitude des données et des alphas.

Nous utilisons le terme de robustesse pour décrire la performance d'un algorithme ou, plus précisément, d'un processus complet de construction d'ordonnancement en présence d'aléas.

la robustesse d'une solution est mesurée par la valeur de la fonction objective. La robustesse d'une solution peut être définie comme la robustesse d'un espace de solutions [37].

9.3 La Flexibilité:

Le terme « flexibilité » a été largement utilisé dans la gestion de la production. Représenter les degrés de liberté dans l'élaboration d'une ordonnance une définition le groupe Gotha a proposé le concept de flexibilité :

L'adaptabilité d'une solution à un problème de gestion peut être définie. Car l'existence de diverses modifications de la solution entraîne, potentiellement, une Perte de performance acceptable La facilité avec laquelle un système peut s'adapter à de nouvelles contraintes imposé par l'environnement

Flexibilité sur le temps : les dates effectives de début et de fin des tâches peuvent Varier.

Flexibilité sur les activités : les ordres relatifs d'exécution d'un ensemble de tâches Peuvent être modifiés durant l'exécution

Flexibilité sur les ressources : la possibilité de changer l'affectation des ressources aux tâches

Flexibilité sur les modes d'exécutions : changer le mode d'exécution d'une tâche [38].

10. Modelisation du probleme :

10.1 Les tâches :

Pour chaque tâche j nous utilisons les notations suivantes :

• $(P_j)_{s_j}$: durée de base de la tâche j située dans S_j (la durée réelle sera différente en fonction de la ressource à laquelle elle sera affectée),

• $(r_j)_{s_j}$: date de disponibilité (release date) de la tâche j. Elle dépend de données relatives à l'équipement sur laquelle elle aura lieu,

• $(d_j)_{s_j}$: due date de la tâche j. Cette valeur est calculée à partir des engagements.

• $(Cr_j)_{s_j}$: Compétence requise pour la tâche j. Il est obligatoire que la ressource qui devra traiter la tâche j dispose de cette compétence.

- $(w_j)_{s_j}$: pondération de la tâche j. Elle est prévue pour différencier les tâches en fonction de leur importance.
- S_j : Numéro de site de la tâche j [39].

10.2 Les ressources :

Le centre de compétences est composé de m ressources humaines présentes et disponibles en permanence.

Chacune de ces ressources est caractérisée par un profil de compétence et son locale sur les sites à maintenir. Leur rapidité de traitement ne dépend pas seulement de la tâche mais dépend aussi de leur niveau de compétence requis par les tâches et leur position sur les sites

$$P_{ij} = (p_j, comp_{i,crj}) \forall i \in \{1, \dots, m\}$$

La durée réelle de la tâche j par la ressource humaine i est alors notée P_{ij} .

$$\begin{matrix}
 & \mathbf{Comp}_{cr1,1F1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \mathbf{Comp}_{crj,1F1} \\
 & \mathbf{Comp}_{cr1,1F1} & & \dots & & \dots & \mathbf{Comp}_{crj,1F1} \\
 \mathbf{1} & \left(\begin{matrix} \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \end{matrix} \right) & & & & \\
 & \mathbf{Comp}_{cr1,mFm} & \dots & \dots & \dots & \dots & \mathbf{Comp}_{crj,mFm}
 \end{matrix}$$

Avec :

$$(P_{ij})_{s_j} = (P_j)_j \times comp_{iF_i,crj} + Tem(d_{iF_i})_{s_j} \tag{II.1}$$

Où :

$comp_{i,crj}$: Le taux de compétence de la ressource i, pour la compétence requise, pour

La tâche j

F_i : Numéro de site de la ressource i.

10.3 Variables :

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

- $(t_j)_{s_j} \forall j \in \{1, 2, \dots, n\}$: date de début planifiée de la tâche j,
- $(C_j)_{s_j} (j = 1 \dots n)$: date d’achèvement de la tâche j,

- $[(x_{ij})_{sj}]_{Fi}$: booléen indiquant l'affectation de la tâche. $[(x_{ij})_{sj}]_{Fi} = 1$ si la tâche j est affectée à la ressource i, autrement $[(x_{ij})_{sj}]_{Fi} = 0$,
- $[(a_{ij})_{sj}]_{Fi}$ ($j = 1 \dots n$ et $i = 1 \dots m$) : booléen indiquant la consommation de la ressource i par la tâche j à l'instant t. $[(a_{ij})_{sj}]_{Fi}(t) = 1$ si la tâche j est traité par la ressource i à l'instant t, autrement $[(a_{ij})_{sj}]_{Fi}(t) = 0$, [18].

10.4 Contraintes :

Chaque tâche doit être affectée à une seule ressource:

$$\sum_{j=1}^n [(x_{ij})_j] = 1, \forall i \in \{1, \dots, m\} \quad (\text{II.2})$$

La tâche j ne peut pas être planifiée sur l'équipement i avant que celui-ci ne soit disponible.

$$\forall j, (t_j)_j \geq (r_j)_{sj} \quad (\text{II.3})$$

Les ressources sont disjonctives [18].

$$\forall t, \forall i, \sum_{j=1}^n [(a_{ij})_{Fi}]_{sj} \leq 1 \quad (\text{II.4})$$

Dans un ordonnancement courant comprenant les tâches 1 à n, nous insérons dynamiquement une nouvelle tâche n+1. Le problème peut donc être synthétisé de la façon suivante :

$$\sum_{j=1}^n w_j * T_j, \sum_{j=1}^n U_j, \sum_{j=1}^n mod_j \quad (\text{II.5})$$

De sorte que :

$$T_j = \max(0, t_j - d_j) \text{ et } C_j = t_j + P_{ij}$$

Avec : $U_j = 1$ si $C_j - d_j > 0$ sinon $U_j = 0$

$Mod_j = 1$, Si

$$x_{ij}^{s(t)} \neq x_{ij}^{s(t-1)}$$

11.Applications

Nous allons insérer dynamiquement une tâche lors de ces tests pour démontrer l'efficacité des algorithmes de réduction du retard cumulé total. Ensuite, dans une étape ultérieure, nous pourrons voir comment les solutions évoluent dans le temps et évaluer leur efficacité.

Nous présenterons les données à partir d'un exemple simple qui nous permettra d'illustrer les méthodes discutées après avoir étudié l'insertion de nouvelles tâches dans une structure organisationnelle. Dans un premier temps, nous décrirons les ressources du service de maintenance

qui ont été prises en considération pour l'exemple. Lorsque nous insérons la nouvelle tâche, nous présenterons les différentes fenêtres d'insertion en une seconde [33].

11.1 Génération des données

La durée de base P_j des tâches est obtenue dans l’intervalle [1 10] (entre une heure et dix heures). Le taux de compétence de chaque ressource est obtenu dans l’intervalle [1.2 1.9]

Les dates de disponibilités (r_j) sont générées suivant une distribution uniforme l’intervalle [0 24].

Les pondérations (w_j) sont déterminées par un entier obtenu suivant une distribution uniforme dans l’intervalle [1 10].

Nous avons utilisés cet algorithme pour un système à 1 site (S), et 2 ressources (R1, R2)

La matrice I.A présente les niveaux de compétence de chacune des ressources dans les deux compétences utilisées pour l'exemple.

$$\begin{bmatrix} R1 & : & 1.4 & 1.8 \\ R2 & : & 1.9 & 1.2 \end{bmatrix}$$

Les niveaux de compétence de chaque ressource dans les deux exemples de compétences utilisées sont présentés dans le tableau A. Les tâches d'entretien préventif sont bien connues. Toutes ces tâches sont organisées à l'horizon en début de période. La liste complète des tâches de maintenance préventive qui seront planifiées dès le premier jour de Tableau est affichée dans Tableau II.2. Informations relatives aux tâches d'entretien pour l'exemple de commande. Les unités de temps sont utilisées pour exprimer des durées et des dates [33].

N	Pj	Rj	Dj	Wj	Compétences Requis	Dure min Pij	Duré max Pij	Fj
1	4	1	12	7	2	11.4	12.8	1
2	7	7	17	9	1	18.6	21.8	1
3	6	1	8	4	1	19.8	21.4	1

Tableau .II. 2. Données concernant les tâches de maintenance de l’ordonnancement.

11.2 Les fenêtres d'insertion

La tâche est insérée dans les différentes fenêtres de l'ordonnancement courant. La tâche B correspond à la tâche fictive de Début et la tâche M correspond à la tâche fictive de Fin. Le tableau 3 présente les résultats obtenus, concernant le critère, lors des différentes Insertions [18].

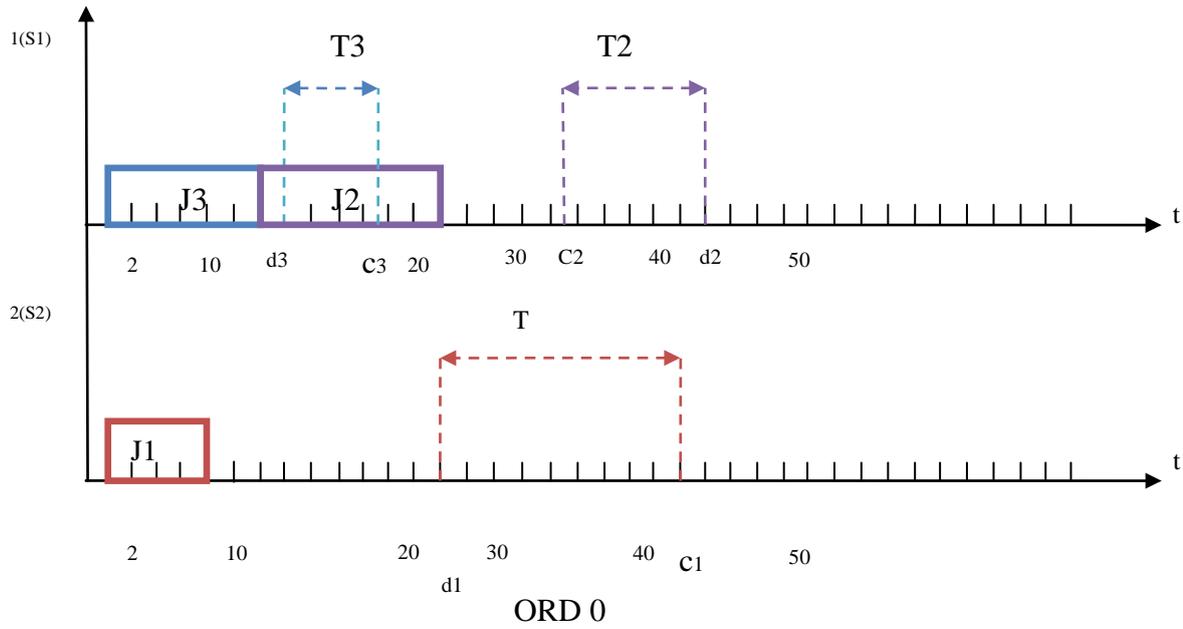
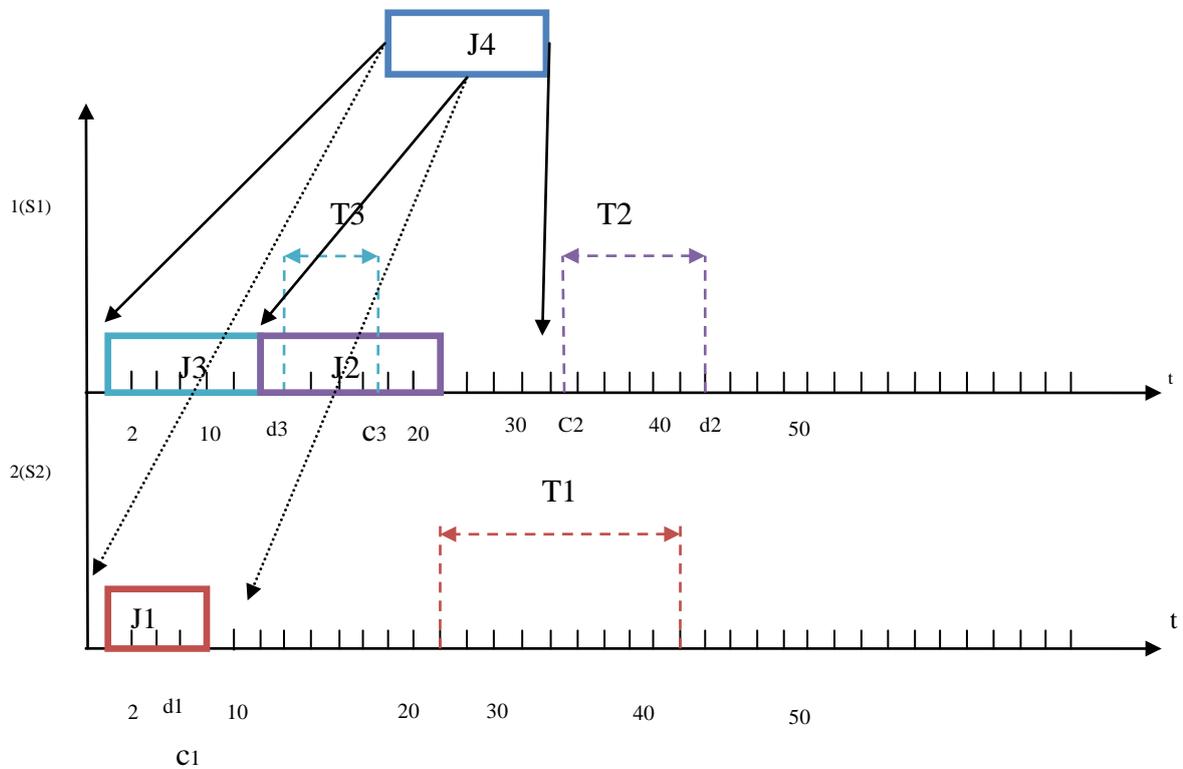


Figure .II. 13. Ordonnement courant avec les contraintes temporelles.

Nous allons donc maintenant présenter la réalisation de l'ensemble de solutions initiales appliqué à l'insertion de cette tâche dans l'ordonnement de (Figure II.11)



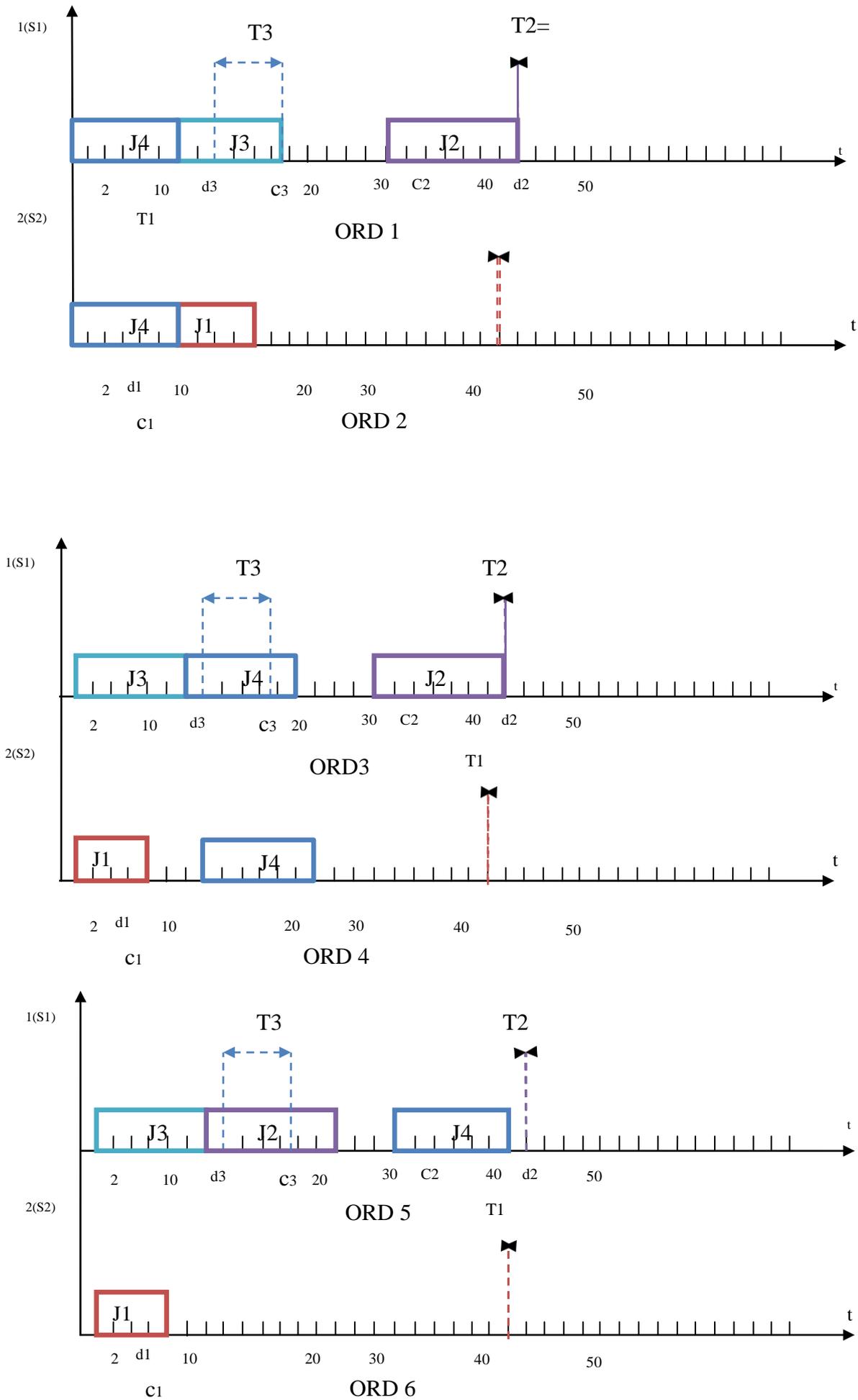


Figure .II. 14. Les fenêtres d'insertion de la nouvelle tâche.

Les données de la nouvelle tâche à insérer se présentent dans le tableau II.3

N°	Pj	Rj	Dj	wj	Compétence requisse	Duré min Pij	Duré max Pij
4	6	0	20	8	1	11.4	12.8
4	6	0	20	8	2	8.3	11.6

Tableau .II. 3. les caractéristiques concernant la tâche à insérer

12. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté quelques notions de base concernant les problèmes d'ordonnancement. Nous avons ensuite donné une brève description des méthodes de résolution exactes et approchées les plus utilisées dans la littérature.

Et aussi nous avons évoqué la façon dont les ressources humaines sont prises en compte et le besoin de cette prise en compte et la complexité de l'ordonnancement, modélisation de l'ordonnancement, et finalement notion sur la flexibilité et la robustesse de l'ordonnancement.

De tout cela, il est devenu clair pour nous problème d'ordonnancement c'est un problème d'optimisation en plus Dans ce chapitre suivant nous étudierons un problème d'ordonnancement dynamique dans un système distribué où les tâches sont les tâches de maintenance préventive, et les ressources sont des ressources humaines compétentes et toujours présentes [40].

*Chapitre III : Approches de
résolution des problèmes
d'ordonnancements*

1. Introduction

L'analyse de la Complexité de Calcul du Problème de Décision Associé est nécessaire avant de résoudre un problème de l'ordonnement dynamique. Ensuite des données numériques liées à une instance de test sont générées afin de valider les performances. Une méthode de résolution de problèmes Il n'y a pas d'approche systématique pour créer des instances de test, bien qu'il soit possible d'utiliser quelques règles générales d'ordonnement pour obtenir des données fiables .La procédure de résolution varie en fonction de la classe de complexité sélectionnée ; par exemple, si le problème de l'ordonnement dynamique des commandes est de classe P, un algorithme efficace pour obtenir une solution locale peut être développé .D'autres options sont également utilisées pour construire une réponse réalisable. Dans ce qui suit, nous décrivons les approches de résolution les plus connues dans le domaine de la l'ordonnement dynamique, tout en développant le partitionnement proposé par marccarthy et liu. Nous commençons par les méthodes descente locale, puis passons à l'algorithme de Kangourou [41].

2. Ordonnement et affectation dynamique

L'arrivée d'une nouvelle tâche à insérer est la plus gênante des nombreuses perturbations auxquelles une ordonnance régulière peut être confrontée. En général les tâches à insérer dans un ordre de maintenance sont de type conditionnel correctif ou préventif (modélisé et traité de manière similaire dans cette étude).Les données des interventions de routine, telles que les soins préventifs, sont théoriquement connues à l'avance et, dans la plupart des cas, déjà ordonnées dans ce que l'on appelle l'ordonnement courant. L'arrivée de quelques tâches au fil du temps est illustrée à la figure III.1. Nous pensons que l'intervalle de temps entre leurs arrivées est suffisamment long pour utiliser une approche d'ordonnement dynamique des affects et des commandes [18].



Figure .III. 1. Arrivées stochastiques des tâches.

3. Méthodes de résolution

Les problèmes d'optimisation sont notoirement difficiles à résoudre. Pour trouver une solution satisfaisante à ces problèmes, diverses méthodes sont utilisées. Il existe une distinction entre les méthodes exactes et approchées [30].

3.1 Méthodes exactes

Les méthodes d'optimisation sont utilisées pour résoudre des problèmes d'organisation, en prenant en compte les données du problème comme des contraintes à respecter et en proposant la solution la meilleure et la plus acceptable. L'optimalité des données est mesurée par rapport aux critères et objectifs établis par la hiérarchie décisionnelle supérieure [19]. • La méthode Progressive Séparation and Evaluation, souvent appelée « branch and bound » (PSE), qui génère un ensemble de solutions en éliminant les branches non optimales de l'arbre de recherche (en utilisant les bornes inférieure et supérieure du critère) [42].

La programmation linéaire (PL) : qui modélise les critères et les contraintes comme des fonctions linéaires de variables mixtes (réelles et entières).

La programmation dynamique (PD) : qui procèdent à une décomposition en sous problèmes que l'on résout optimalisent à rebours, en tenant compte à chaque étape des informations issues de la résolution du sous-problème précédent .Le choix de la méthode de résolution est conditionné par la taille des problèmes combinatoires. Le fait que la résolution par une méthode exacte ait souvent un coût très élevé en temps de calcul ou en taille de mémoire, justifie l'utilisation de méthodes approchées [42].

3.2 Méthodes approchées

Ces méthodes sont appropriées pour des problèmes de planification dans lesquels aucune solution optimale ne peut être trouvée dans un temps raisonnable ou avec des tailles de mémoire raisonnables. A la différence : Les méthodes basées sur l'heuristique, dont le nom vient du grec « heuriskien » : « qui sert à découvrir des faits », sont des ensembles de connaissances tirées de l'expérience qui se présentent comme un ensemble de règles simples .Les heuristiques sont bien mieux adaptées au contexte industriel :

- **EDD (Earliest Due Date)** : pour le problème de minimisation du délai maximum algébrique sur une machine $1/d_j / L_{max}$, les tâches sont priorisées par leur d_j croissant ;
- **SPT (Shorter Processing Time)** : pour le problème de réduction du temps moyen de fin de journée sur une machine ($1/C_j$), cette règle consiste à prioriser les tâches en fonction de leur P_j croissant. Les méthodes basées sur les méta-heuristiques sont des méthodes de recherche générales dédiées aux problèmes d'optimisation difficiles. qui partant d'une solution de base, définissent une frontière qui est ensuite explorée afin de trouver de meilleures réponses ; (permettant parfois de dégrader la solution actuelle afin d'augmenter les chances de trouver une meilleure solution) Elles

sont généralement présentées sous forme de notions. génétiques algorithmes de colonies de fourmis, algorithme de descente locale, l'algorithme de kangourou, le recuit simulé, etc [43].

4. Contexte du problème et approche de résolution

Nous étudions la question de l'allocation dynamique des tâches entre des pools de ressources avec une gamme de niveaux de compétence, Nous nous concentrons en particulier sur la question de la gestion des tâches de maintenance dans un système qui est distribué sur un seul site.

Le problème d'optimisation multicritère dont nous parlerons ici est un problème d'ordonnement sur différentes machines parallèles ($P//\gamma$). Il est possible qu'un facteur soit évalué plus haut qu'un autre selon les circonstances. Cela pourrait aussi être assez difficile. choisir un critère plutôt qu'un autre. Parce qu'un changement de contexte entraînerait une modification de ces choix ou préférences, ils sont donc difficilement modélisables, préférences. Au lieu de faire une simulation ou d'utiliser une méthode qui conduirait à sélectionner une réponse comme étant supérieure aux autres,, il devient logique de laisser un tel choix à un acteur qui soit capable de ressentir ces changements de contexte [18].

5. Les critères d'optimisation étudiés

Le choix d'un ordonnancement parmi les ordonnancements réalisables se fait en fonction d'un ou plusieurs critère (s) que l'on cherche à optimiser. On cherchera alors, soit à minimiser, soit à maximiser un critère correspondant à une amélioration suivant au moins l'une des branches du triptyque coût, qualité et délais. Ceux-ci peuvent alors être liés au temps, par exemple le temps total d'exécution telle que la minimisation de la durée de l'ordonnancement ($\min U_{\max}$) ou encore la minimisation de la somme des durées des retards ($\min \sum T_j$) $\min \text{Mod}$ [14].

5.1 Minimiser la somme pondérée des retards

Le responsable de maintenance devra organiser les activités de son service afin de minimiser la somme de ces retards pondérés. En effet ceux-ci peuvent représenter des

5.2 Répartir la charge de travail entre les ressources humanité

Les tâches représentent du travail à répartir parmi un ensemble de ressources au sein du service de maintenance. Ces ressources représentent une charge fixe pour le service .Elles doivent donc être toutes exploitées et la personne en charge des affectations doit essayer de tirer parti des compétences de chacune. La charge de travail doit donc être équilibrée entre elles.

5.3 Limiter les modifications des ordonnancements existants

Les ressources devant s'organiser pour rejoindre les lieux d'intervention, réserver et rassembler le matériel nécessaire au traitement des tâches, les plannings ne doivent pas être constamment modifiés. L'arrivée d'une nouvelle tâche ne doit donc pas conduire à une remise en cause complète de l'ordonnement existant. Le nombre de modifications apportées devra être alors minimisé. Les critères à prendre en compte seront alors la somme pondérée des retards, le nombre de tâches en retard, l'équilibrage de la charge des ressources du service de Maintenance et les modifications apportées à l'ordonnement existant. Avant de détailler les différentes fonctions objectives qui en découlent, nous allons présenter dans le paragraphe suivant, la modélisation adoptée [44].

6. Présentation de l'algorithme

6.1 Algorithme de descente locale

Initialisation [ES];

Tant que $((NR \leq NR_{max}))$ faire

$NR = NR + 1;$

$S \leftarrow \text{choix_aléatoire}(ES);$

$Eval \leftarrow \text{Evaluation}(S);$

Tant que $((NRL \leq (NRL_{max})))$ faire

$NRL = NRL + 1$

$SR \leftarrow \text{Voisin}(S);$

Si $(SR < S)$ Alors

$S \leftarrow SR;$

 Sinon

$S \leftarrow \min(S);$

 Suppression des solutions domines (ES)

Fin Si

Fait

6.2 Algorithme de kangourou

Tant que ((NS ≤ NS max)) faire

NS = NS + 1

SR ← Saut(S);

Si (SR < S) Alors

S ← SR;

Sinon

SR ← min(S);

Suppression des solutions dominons dans (ES);

Fin Si

Fin

Fin

L'algorithme est composé :

6.3 Les variables :

- **S** : une option non dominante que l'on essaie d'améliorer,
- **SR** : recours auquel la recherche est actuellement en cours,
- **ES** : ensemble de solutions non dominées,
- **NR** : le nombre de chemins algorithmiques,
- **NRL** : nombre de recherche locale,
- **NS** : Le nombre de sauts que nous avons fait,
- **NR max** : L'objectif est de réduire au minimum le nombre de chemins de l'algorithme.
- **NRL max** : L'objectif est de réduire le nombre de recherches locales.
- **NS max** : Conçu pour réduire au minimum le nombre de sauts.

6.4 Les Etapes de l'algorithme :

- **Initialisation (ES)** : réalise l'ensemble initial des solutions. Ceci est réalisé en essayant toutes les méthodes possibles d'incorporation d'une nouvelle tâche dans l'administration actuelle. Ensuite, les

solutions (ou ordonnancements) sont comparées, seules les solutions non dominantes étant conservées.

- **Choix aléatoire (ES)** : Dans ES, choisissez une solution aléatoire.
- **Evaluation(S)** : Renvoie les résultats de l'évaluation de la solution S en fonction des critères.
- **Voisin(S)** : Renvoie un visiteur de S en échange de deux tâches choisies au hasard dans ES.
- **Suppression solutions dominées (ES)** : éliminé les solutions dominées de ES.
- **Saut(S)** : Renvoie une solution après avoir terminé trois tâches consécutives sélectionnées au hasard dans ES [11].

7. Application

Nous présentons l'exemple que nous étudions dans le chapitre 2, l'insertion de nouvelle tâche arrivée pour montrer les performances des algorithmes étudiés afin de minimiser la somme pondérée de retard et répartir la charge de travail entre les ressources, minimiser nombre de modification, puis dans deuxième temps nous ainsi étudions l'évolution, l'ensembles des solutions et leurs évaluation au fur et à mesure des insertions, Nous avons étudié l'insertion de nouvelle tâche dans un ordonnancement nous allons présenter les données d'un exemple simple qui nous permettra d'illustrer les méthodes présentées [13].

7.1 Les fenêtres d'insertion

La tâche est insérée dans les différentes fenêtres de l'ordonnement courant. La tâche B correspond à la tâche fictive de Début et la tâche M correspond à la tâche fictive de Fin. Le tableau III.1 présente les résultats obtenus, concernant le critère, lors des différentes insertions [13].

N	Ressource	saut	$\sum w_j$	$\sum W_j \times T_j$	$\sum \text{mod}_j$
Ord 1	1	B-1	255	1	0
Ord2	2	1-2	300	2	0
Ord3	1	2-M	420	1	0
Ord4	2	B-3	312	1	0
Ord5	1	3-4	360	2	0

Tableau .III. 1. Ensemble des solutions initiales

La nouvelle tâche sera ajoutée une par une à l'ensemble des tâches métier en cours. Chaque commande réalisée est enregistrée et évaluée selon les différentes normes retenues pour cette étude. Ensuite, seules les solutions non dominées sont conservées, créant les solutions initiales dans leur

ensemble. Les résultats obtenus suite au placement de la tâche n°4 dans différentes fenêtres de l'ordre d'exécution en cours sont présentés dans le tableau 3. Etant donné qu'elles sont toutes moins efficaces, il est clair que les solutions 2, 3 et 4 n'apportent rien à la solution globale. Par exemple,, , la seconde solution est dépassée par la première solution, et elles donnent toutes les deux les mêmes résultats lorsque l'on tient compte de la nature de la différence et du nombre de modifications. On les éliminera donc pour obtenir l'ensemble des solutions initialement affichées dans le tableau 1. Sur le tableau 2, les trois solutions choisies sont affichées.

Maintenant que toute la solution initiale est terminée, nous allons essayer de l'améliorer en utilisant l'heuristique développée puisque le solde de charge et le nombre de tâches en retard pour les ordres 1 et 4 restent les mêmes. [45].

Numero	Ressource	Fenetre	$\sum W_J \times T_J$	$\sum U_J$	$\sum \text{mod}_J$
ORD1	1	B-1	277.2	1	0
ORD4	2	B-3	352	1	0
ORD5	1	3-4	397	2	0

Tableau .III. 2. Ensemble des solutions initial après suppressions.

7.2 Amélioration de l'ensemble de solutions initiales [algorithme de kangourou]

Aléatoirement deux tâches seront sélectionnées et permutées. Nous prendrons : la tâche 1, et 3 pour ce premier exemple :

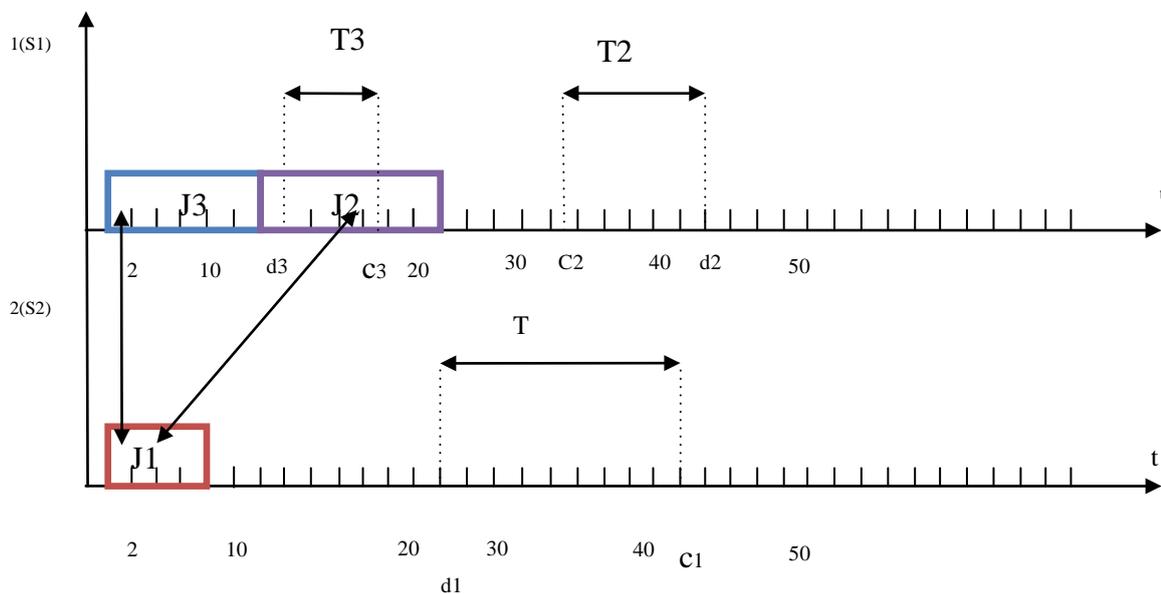


Figure .III. 2. Déroulement d'un saut (permutation entre les tâches).

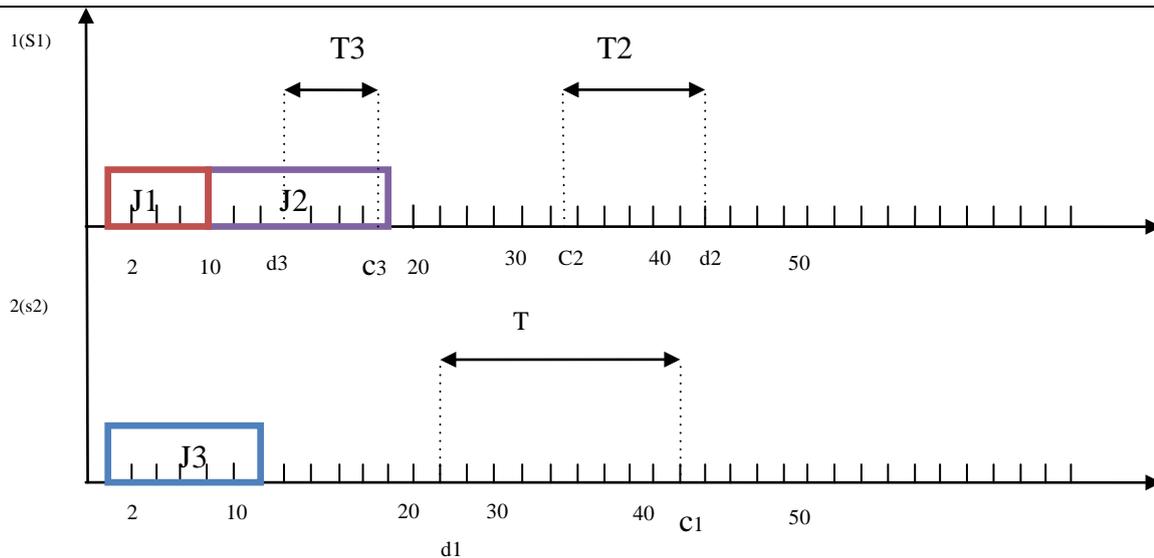


Figure .III. 3. Permutation entre la tâche 1et 3.

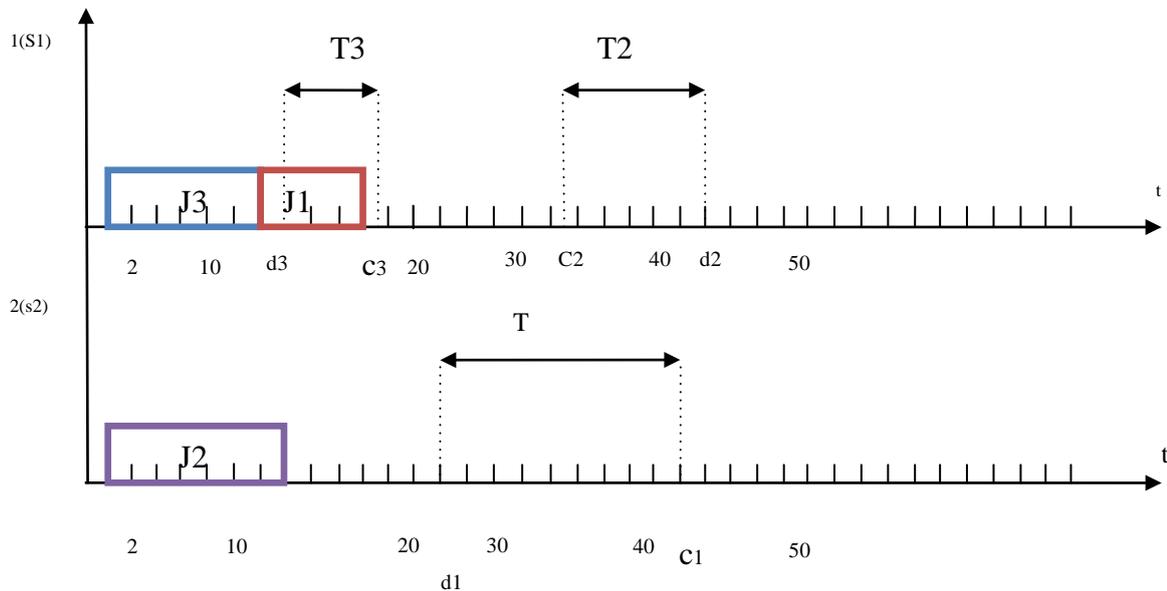


Figure .III. 4. Permutation entre la tâche 1et 2.

Permutations	$\sum W_j \times T_j$	$\sum U_j$	$\sum \text{mod}_j$	Retenue
1-3	224.6	2	1	Oui
1-2	313.5	2	2	Non

Tableau .III. 3. Application de la méthode du kangourou.

Les douces permutations du saut réalisé sont présentées dans le tableau III.3. On peut observer la somme pondérée des retards des solutions intermédiaires du saut, On peut observer que la solution est encore améliorée puisque la somme pondérée des retards est de 224.6.

Selon le tableau, il est possible de voir que le nombre de modification reste à zéro dans l'ensemble de solutions il y a toujours des solutions proposant une simple insertion .l'intérêt de ces

solution est bien de permettre au décideur de pouvoir intégrer la nouvelle tâche et que le charge augmente, il est possible de trouver encore des solutions réduisant la somme pondérée des retards

8. Conclusion

Problème abordé au cours de ce chapitre est un problème d'ordonnement dynamique multicritère des tâches de maintenance sur les machines parallèles indépendantes par la méthode de descente locale couplée avec l'algorithme de kangourou le première il conduit à un résultat global quant au second il conduit à un résultat local en comparant les deux méthodes nous avons conclu que la méthode le plus efficace si la méthode local et l'approche proposée fournit au décideur un ensemble de solutions au problème d'ordonnement ainsi que l'évaluation de chacune de ces solution suivant chacun des critères évoqués [46].

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but principal de ce mémoire est modélisation d'ordonnancement dynamique est développement d'une approche décision multi critères dynamique, l'approche d'entrée dynamique. c'est l'approche utilise le concept de fenêtre d'insertion, ainsi que des algorithmes de parcours graphiques pour évaluer les retards potentiels. Pour améliorer la solution obtenue suivante pour introduire une tâche, nous avons proposé une approche d'optimisation en modifications partielles de l'horaire. Cette heuristique est basée sur méthode de descendance locale. Par conséquent, nous suggérons d'adapter la méthode kangourou à un multimètre lormes. L'ensemble final de solutions présenté au cours est l'ensemble de solutions plus efficace.

Dans la première partie nous avons couvert les principes fondamentaux de la maintenance. après cela, nous avons passé en revue les stratégies de maintenance, l'organisation et les ressources en détail. Sa tâche était de définir la fonction "ordonnancement".

Après avoir présenté les notions de base des problèmes d'ordonnancement, nous avons présenté une méthode de représentation des ordonnancements, la complexité de ces problèmes et les méthodes de résolution et la modélisation du ses problème

La troisième partie de notre travail a été consacrée au développement d'une approche décision multi critères dynamique .dans ce contexte, nous avons utilisé trois critères

Bibliographies

- [1] Monchy F., « Maintenance : Méthodes et Organisations ». Edition DUNOD. 2000.
- [2] Benbouzid S. F., « Contribution à l'étude de la performance et de la robustesse des ordonnancements conjoints Production/Maintenance » : Cas du Flow shop. Thèse de doctorat, en Automatique et Informatique. UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté, France. 2005.
- [3] Moubray J., « Reliability-Centered Maintenance». industrial press, Second Edition, ISBN-13: 978- 0831131463. New York. 2000
- [4] Vrignat P., Manuel A., Florent D., Sébastien A., Mohamed S., et Frédéric K., Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne. Revue Sciences et Maintenance, Association française des ingénieurs et responsables de maintenance (AFIM). pp : 1-28. 2012
- [5] Pieron H Lexique de la formation continue, Technical report, [http ://www.hommes-et-savoirs.fr](http://www.hommes-et-savoirs.fr). 2005.
- [6] Tararykyne Viatcheslav Modélisation des un d'information dans un système de E-maintenance, , UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté. . 2005.
- [7] Marmier F, Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multicritère, thèse de Doctorat, Université de Franche(Comté) 2007
- [8] Kaffel H, « La Maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en œuvre », Thèse de doctorat, Faculté des sciences et de Génie, Université Laval, (Québec). 2001
- [9] Hassan T, Baboli A, Guinet A, Leboucher G. et Brandon M. T. Etude des méthodes de réorganisation et de gestion de stock des services de Soins d'un établissement hospitalier», Congrès International de Génie Industriel, Besançon. 2005
- [10] Xiaojun YE, Modélisation et Simulation des Systèmes de Production: une Approche Orientée Objets, Thèse de doctorat ingénierie informatique, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 1994, France.
- [11] Damien L, Méthodes et outils pour l'ordonnancement d'ateliers avec prise en compte des contraintes additionnelles : énergétiques et environnementales, Thèse de doctorat en informatique, Université Clermont Auvergne, France. 2014
- [12] Amokrane S, Algorithme Génétique pour le Problème d'Ordonnancement dans la Synthèse de Haut Niveau pour Contrôleurs Dédiés, Thèse de Magister en informatique industrielle, Université de Batna Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département d'Informatique, Algérie.
- [13] Ahmed G, Ordonnancement de tâches et de périodes d'indisponibilité de durée variable, Thèse en génie industriel, Université Grenoble Alpes, France 2006,

- [14] Catherine Mancel, Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoire issus d'applications spatiales, Thèse de doctorat en systèmes industriels, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France. 2004.
- [15] Younes Bahmani, Optimisation multicritère de l'ordonnancement des activités de la production et de la maintenance intégrées dans un atelier Job Shop, Thèse de doctorat en génie industriel, Université Batna-II Faculté de Technologie Département de Génie Industriel, Algérie.2017
- [16] Wassim Jaziri, Modélisation et gestion des contraintes pour un problème d'optimisation sur-contrainte : Application à l'aide à la décision pour la gestion du risque du ruissellement, Thèse de doctorat en informatique, Institut national des sciences appliquées de Rouen, France.2004
- [17] Faiza Hamdi, Optimisation et planification de l'approvisionnement en présence du risque de rupture des fournisseurs, Thèse de doctorat en génie industriel, Université de Toulouse, France.2017
- [18] François Marmier, Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multi-critère, Thèse de doctorat en génie mécanique, Université de Franche-Comté, France.2007
- [19] Ismail Ktata, Réalisation d'un système d'exploitation pour l'architecture reconfigurable dynamiquement OLLAF, Thèse de doctorat en génie électrique, Université de Cergy-Pontoise Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie, France.2013
- [20] Imen Mhedhbi Brinis, Ordonnancement d'ateliers de traitements de surfaces pour une production mono-robot/multi-produits. Résolution et étude de la robustesse, Thèse de doctorat en génie informatique, Université de Tunis El Manar, Tunisie.2011
- [21] Hela Boukef Ben Othman, Sur l'ordonnancement d'ateliers job-shop flexibles et flow-shop en industries pharmaceutiques Optimisation par algorithmes génétiques et essais particuliers, Thèse de doctorat en Automatique et Informatique Industrielle, Université de Tunis El Manar, Tunisie.2009
- [22] Nadège Gunia, La fonction ressources humaines face aux transformations organisationnelles des entreprises Impacts des nouvelles technologies d'information et de communication, Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université Toulouse, 2002, France.
- [23] Basma Glaa, Contribution à la conception et l'optimisation d'un système d'aide à la gestion des urgences, Thèse de doctorat en Automatique et Informatique Industrielle, Ecole Centrale de Lille, 2008, France.
- [24] <https://mobility-work.com/fr/blog/gmao-maintenance-ferroviaire>
- [25] <https://recrutee.com/fr-articles/gestion-des-competences>

- [26] Sabrina Loufrani-Fedida, Management des competences et organisation par projets : une mise en valeur de leur articulation analyse qualitative de quatre cas multi-sectoriels, Thèse de doctorat en science de gestion de, Université de nice-sophia antipolis, 2006, France.
- [27] De Edmond Maurel, Daniel Roux, Daniel Dupont, Techniques opérationnelles d'ordonnement, Edition. EYROLLES, 1977 – 342.2009
- [28] Olivier Babeau, Les pratiques transgressives des consultants au service de la fabrique de la stratégie, Revue française de gestion, 174 43-59.2007
- [29] Mohammed El Amine Meziane, Proposition d'une approche d'ordonnement pour les ateliers de type Job Shop Flexible, Thèse de doctorat en informatique, Université Ahmed Ben Bella, , Algérie.2018
- [30] Lyes Belhoul, Résolution de problèmes d'optimisation combinatoire mono et multi objectifs par énumération ordonnée, Thèse de doctorat en informatique, Université Paris-Dauphine, , France.2014
- [31] <https://www.frwiki.net/wiki/NP-complet>
- [32] Jean-Michel Hoc, N. Mebarki, Julien Cegarra, L'assistance à l'opérateur humain pour l'ordonnement dans les ateliers manufacturiers, Le travail humain, 67181-208.2014
- [33] <https://www.gantt.com/fr/>
- [34] Rahnebi Asma, Etude comparative sur l'application des métas heuristiques à un problème d'ordonnement d'atelier de type job shop, Mémoire de Master en informatique, Université Mohamed Boudiaf M'Sila , Algérie.2014
- [35] Arezki Rafik, La programmation mathématique Avec les méthodes des points intérieurs, Mémoire de Master en Mathématiques, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, Algérie.2013
- [36] Mariem Trojet, Planification d'une chaîne logistique : Approche par satisfaction d'une contrainte dynamique, Thèse de doctorat en Génie industriel, Université de Toulouse, France.2014
- [37] Morgane Laur, Anticipation des changements de notes des obligations du portefeuille d'un assureur par méthode de machine learning, Mémoire de Master Actuariat et l'admission à l'Institut des Actuaire, Université Paris Dauphine, France.2015
- [38] ANIS M'halla, Contribution à la Gestion des Perturbations dans les Systèmes Manufacturiers à Contraintes de Temps, Thèse de doctorat en Automatique et Informatique Industrielle, Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis, Tunisie.2010
- [39] Freddy Deppner, Ordonnement d'atelier avec contraintes temporelles entre opérations, Thèse de doctorat en Informatique, École doctorale IAEM Lorraine, France.2004
- [40] Jihène Kaabi-Harrath, Contribution A L'ordonnement Des Activités De Maintenance Dans Les Systèmes De Production, Université de Franche-Comté, France.2004

- [41] Toufik Bentrchia, Ordonnancement des systèmes de production sous contraintes technologiques ou contextuelles: Modélisation, étude de complexité et approches intégrées de résolution, Thèse de doctorat en génie industriel, Université de Batna II, Algérie.2017
- [42] Estèle Glize, Méthodes exactes pour les problèmes combinatoires bi-objectifs : Application aux problèmes de tournées de véhicules, Thèse de doctorat e informatique, Université de Toulouse, France.2019
- [43] Vincent Gardeux, Conception d'heuristiques d'optimisation pour les problèmes de grande dimension. Application à l'analyse de données de puces à ADN, Thèse de doctorat en informatique, Université De Paris-Est Créteil, France.2011
- [44] Véronique Lacombe, Analyse De L'organisation Et De La Gestion Du Temps Des Gestionnaires À Travers Les Tâches Et Les Activités: Une Étude Terrain D'un Centre Hospitalier, Mémoire Présenté Comme Exigence Partielle De La Maîtrise En Administration Des Affaires, Université Du Québec À Montréal, France.2011
- [45] Nicolas Jozefowicz, Optimisation combinatoire multi-objectif : des méthodes aux problèmes, de la Terre à (presque) la Lune, Maître de conférences en informatique, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.2013
- [46] Marouf Meriem F.Z, Les tâches indépendantes dans les problèmes d'ordonnancement à machines parallèles, Mémoire de Master en informatique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, Algérie.2020

ملخص

تندخل خدمات الصيانة لصيانة المعدات أو إعدادها إلى حالة عمل جيدة. من خلال تقليل عدم توفر المعدات ، نازها نراهم ني تحسبن القدرة التنافسية للشركات. يتكون قسم الصيانة، من بين أمور كثيرة منها الموارد البشرية التي تقوم بمهام الصيانة. نتمثل إحدى مشكلات مدير هذه الخدمة في العثور، لكل مهمة على المورد الذي سيعالجها ومتى. نؤنرح نهج قرار ديناميكي لمشكلة معيار واحد لتخصيص وجدولة أنشطة الصيانة. ني سياق الصيانة نعتبر المعايير المختلفة المتعلقة بالموارد والمهام مهمة. لذلك نؤنرح امبداً نهجاً للزهد الديناميكي أحادي المعايير ليشمل معايير متعددة. بعض البيانات المستخدمة ني لتخصيص وجدولة نشاط الصيانة تحت قيود الكفاءة. لنؤنرح وجود هذه التراكوك ، نؤنرح نهجاً ديناميكياً وأسبانياً لمشكلة متعددة المعايير لتخصيص وجدولة نشاط الصيانة تحت قيود الكفاءة. نطلب جميع مناهجها طريقة التحسين عن طريق التعديل الجزئي للجدولة ، مستوحاة من طريقة الكونغر. الكلمات الدالة: مهام الصيانة ، الجدولة الديناميكية ، المعايير ، خوارزمية الكونغر

Résumé

Les services de maintenance interviennent pour maintenir ou remettre en état de bon fonctionnement les équipements. A travers la réduction de l'indisponibilité des équipements, ils participent à l'amélioration de la compétitivité des entreprises. Le service de maintenance est composé entre autre, de ressources humaines qui réalisent les tâches de maintenance. L'un des problèmes du manager de ce service est alors de trouver, pour chaque tâche, quelle ressource la traitera et quand.

Dans ce mémoire nous nous intéressons à un problème d'affectation et d'ordonnancement dynamique en prenant en compte les compétences des ressources humaines

Nous proposons une approche de résolution dynamique pour un problème monocritère d'affectation et d'ordonnancement des activités de maintenance. Dans le contexte de la maintenance, différents critères concernant les ressources et les tâches sont importants. Nous proposons donc une extension de l'approche dynamique monocritère au multicritère. Certaines données utilisées dans l'affectation et l'ordonnancement sont incertaines. Pour anticiper la présence de ces incertitudes nous proposons une approche dynamique, proactive à un problème multicritère d'affectation et d'ordonnancement d'activité de maintenance sous contrainte compétence Toutes ses approches font appel à une méthode d'amélioration par modification partielle de l'ordonnancement, inspirée de la méthode du kangourou.

Mots clé : Les taches de maintenance, ordonnancement dynamique, critères, algorithme de Kangourou.

Abstract

The maintenance services intervene to maintain or restore equipment to good working order. By reducing the unavailability of equipment, they contribute to improving the competitiveness of companies. The maintenance department is composed, among other things, of human resources who carry out the maintenance tasks. One of the problems of the manager of this service is then to find, for each task, which resource will process it and when.

In this work we are interested in a problem of assignment and dynamic scheduling taking into account the skills of human resources

We propose a dynamic resolution approach for a single-criterion problem of allocation and scheduling of maintenance activities. In the context of maintenance, different criteria regarding resources and tasks are important. We therefore propose an extension of the single-criteria dynamic approach to multi-criteria. Some data used in allocation and scheduling is uncertain. To anticipate the presence of these uncertainties, we propose a dynamic, proactive approach to a multi-criteria problem of allocation and scheduling of maintenance activity under competence constraint. All its approaches call upon a method of improvement by partial modification of the scheduling, inspired by the kangaroo method.

Keywords : Maintenance tasks, dynamic scheduling, criteria, Kangaroo algorithm