

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahlab de Blida

N° D'ordre :



Faculté des sciences

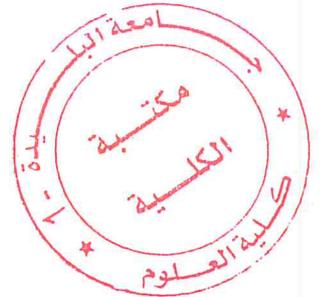
Département d'informatique

Mémoire Présenté par :

TAATALI Sofiane SAID Talha

En vue d'obtenir le diplôme de master

Domaine : Mathématique et informatique



Filière : Informatique
Spécialité : Informatique
Option : Ingénierie des logiciels (IL)

Thème : « Étude, conception et développement d'un moteur de planification des interventions pour la maintenance »

Soutenu le :

M. <i>Chemchem Adim</i>	Président
M. <i>Nehal Djilali</i>	Examineur
M.	Examineur
M. KAMECHE Abdallah Hicham	Promoteur
M. GUEZIL Mouhamed	Encadreur

Promotion
2016 / 2017

Remerciement

Avant tout, nous remercions **ALLAH** Le tout Puissant pour nous avoir donné la force, le courage et l'abnégation d'accomplir ce travail, qui a vu le jour grâce à Lui,
ALHAMDOLILAH...

Nos vifs et sincères remerciements s'adressent aussi à notre promoteur

Mr Kameche Abdallah Hicham

Qu'on a eu la chance de rencontrer et travailler avec, et qui a bien voulu nous confier ce travail riche en expériences et nous guider dans chaque étape de sa consécration.

Nous apprécions la spontanéité avec laquelle il a accepté de nous encadrer.

Nous désirons remercier nos encadrateurs

Mr. Boumaza Khaled ET Mr. Mohamed Guezil

Pour leurs disponibilités, et pour leurs précieux conseils tout au long de ce travail. Leurs sérieux, leurs compétences et leurs sens du devoir nous ont énormément marquées.

Leurs encouragements inlassables et patience méritent toute notre gratitude.

Veillez trouver ici l'expression de notre respect, notre estime et notre considération.

Ainsi que

Mme Oukfi Zahia

D'avoir accepté d'évaluer la partie théorique de notre travail malgré ses obligations professionnelles.

Veillez accepter Madame l'expression de notre admiration profonde.

Nos remerciements

Sont marqués à l'endroit des **Cadres D'ELIT**

Qui nous ont accompagnés, soutenus et orientés durant ce mémoire.

Et

Nos remerciements sont également adressés à

Mr. Djender Boussad ET Mr. Maamra Said

Qui m'ont soutenu pour l'un dans la formulation et pour l'autre pour ces appréciations de la solution présentée.

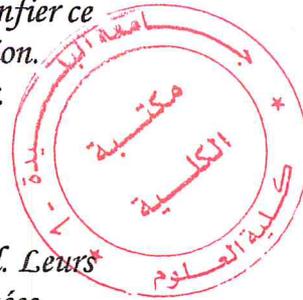
Nous remercions également

Les membres du jury, de nous avoir fait

L'honneur de juger ce mémoire. Veillez accepter l'expression de notre vive gratitude et notre parfaite déférence.

Enfin,

A toute personne qui a contribué de près ou de loin, d'une manière directe ou indirecte à l'élaboration de ce travail de fin d'étude



Dédicace

*Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire
et de réfléchir, la Force d'y croire, la patience d'aller
jusqu'au bout du rêve*

Je dédie cette thèse

A vous très cher Père et très chère Mère, en témoignage

De mon amour et de ma reconnaissance

A ma très chère sœur

("Hanane" et son fils "Younes")

*A mes adorables Sœurs que j'aime ET mes Frères que dieux les
garde pour moi*

Toutes mes Amies et Collègues d'études...

*A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis
involontairement de citer,*

Je vous dédie ce modeste travail

SOFIANE

Dédicaces

A mes Très Chers Parents...

Chère Mama, cher Papa, vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement, vous n'avez pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Vos prières et bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez, pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Que ce travail, que je vous dédie, en témoignage de mon profond amour, reflète ma profonde affection et ma grande reconnaissance.

Puisse Dieu, le tout Puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur pour que vous demeuriez le flambeau illuminant mon chemin.

Mes Très Chers Frères...

Hichem, Imad Edine et Wail

Vous êtes merveilleux, des étoiles brillantes, vous êtes la joie et le bonheur. Que Dieu vous garde et vous réalise tous vos rêves et souhaits.

A Tous mes Professeurs...

Melle Arkam, Mdm Abed et Mr Nehal

Saisis cette occasion pour vous exprimer ma profonde gratitude tout en vous témoignant mes respects et ma considération.

A mon cher binôme

Taatali Sofiane,

Je suis très content de t'avoir connu et travaillé avec toi durant cet année, tu étais plus qu'un frère pour moi, que dieu te réalise tes vœux et te protège ...

A Toutes mes Amies et Collègues de promotion et d'étude notamment

Melle Guenoun Naima, Chabli Mounir, Mensori Abdelsamed et Zegouba Ahmed

A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer, je vous dédie ce modeste travail...

Tous qui me connaissent et qui m'aiment de près ou de loin.

Talha

Résumé

Notre projet a porté sur l'étude, la conception et le développement d'un moteur de planification des interventions pour la maintenance au profit d'ELIT(Sonelgaz), moteur à l'évidence intégrable au système de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) dénommée SYANA existant au sein de l'Entreprise. Pour ce faire l'objectif arrêté se décline comme suit :

- Programmer les interventions préventives d'une manière optimale.
- Intégrer des interventions imprévues (Curatives ou conditionnelles) ou reprogrammer le plan d'intervention si nécessaire d'une manière optimale.
- Optimiser les ressources de la maintenance.
- Proposer les indicateurs pour mesurer les performances de la planification.

Pour atteindre ces objectifs nous avons utilisé l'algorithme (LPT_H) qui permet d'affecter les tâches aux intervenants en visant la minimisation de la durée d'ordonnancement tout en équilibrant la charge de travail entre les ressources humaines à travers une borne inférieure(BI).

Les résultats de l'algorithme précédent ont été couplé à l'algorithme (EDD) pour ordonnancer les tâches affectées en minimisant la somme pondérée des retards, et pour l'insertion des tâches correctives nous avons utilisé l'algorithme (Kangourou).

Mots-clés : GMAO, interventions curatives, interventions préventives, BI, Kangourou, LPT_H, EDD, UML.

Abstract

Our project is about the study, the design and the development of a maintenance interventions planning engine for ELIT (Sonelgaz), an engine compatible to integrate with the existing Computer Assisted Maintenance Management system named SAYANA in the company. In order to do so, our goals go as follows:

- Optimize the planning of preventive interventions.
- Integrate unexpected interventions (curative or conditional) or reprogram the plan of intervention if necessary in an optimal way.
- Optimize maintenance resources.
- Propose indicators to measure the performance of planning.

In order to attain these goals, we used the (LPT_H) algorithm that allows to assign the tasks to the contributors while focusing on minimizing the duration of scheduling all while balancing the workload among human resources by means of a lower bound.

The results of the previous algorithm were coupled with the (EDD) algorithm to schedule the assigned tasks while minimizing the weighed sum of delays, and to insert corrective tasks we use the (Kangaroo) algorithm.

Keywords: GMAO, curative interventions, preventive interventions, BI, Kangaroo, LPT_H, EDD.

ملخص

مشروعنا يتركز حول دراسة، وتصميم وتطوير محرك تخطيط التدخلات في مجال الصيانة لـ إلبيت (سونلغاز)، وهو محرك متوافق ليتمج مع نظام إدارة الصيانة عن طريق الكمبيوتر اسمه برنامج صيانة في الشركة حالياً. ولتحقيق ذلك، فإن أهدافنا هي كما يلي :

- تحسين تخطيط التدخلات الوقائية
 - دمج التدخلات غير المتوقعة (العلاجية أو المشروطة) أو إعادة برمجة خطة التدخل إذا لزم الأمر بطريقة مثلى
 - تحسين موارد الصيانة
 - اقتراح مؤشرات لقياس أداء التخطيط.
- من أجل تحقيق هذه الأهداف استعملنا الخوارزمية التي تسمح بتخصيص و تعيين المهام إلى الاعضاء المساهمين في الصيانة مع التركيز على التقليل من مدة الجدولة في حين يتم تحقيق التوازن بين حجم العمل بين الموارد البشرية عن طريق ملزمة أقل ا ب.
- وقد اقترنت نتائج الخوارزمية السابقة مع خوارزمية لجدولة المهام المعينة مع تقليل مجموع وزن التأخير، ولإدراج المهام التصحيحية والغير متوقعة استخدمنا خوارزمية كانغورو.

الكلمات المفتاحية : التدخلات الوقائية , المهام التصحيحية , اويامل , كانغورو , نظام إدارة الصيانة

Table des matières

<i>Dédicace</i>	<u>I</u>
Résumé	<u>II</u>
Abstract	<u>III</u>
ملخص	<u>V</u>
Table des matières	<u>VI</u>
Liste des acronymes	<u>VII</u>
Introduction générale	1
Chapitre 1 : ETUDE DE L'EXISTANT	1
1. Introduction :	4
2. Présentation du groupe SONELGAZ	4
2.1 Historique	4
2.2 Organisation du groupe	5
3. El Djazair Information Technology (ELIT)	6
3.1 Principales réalisations d'ELIT	7
3.2 Les progiciels développés par ELIT	7
3.3 Organigramme de la filiale «ELIT ».	7
3.3.1 DIRECTION PROGICIELS DE GESTION INTEGREE	8
4. La maintenance	9
4.1 Evolution de la maintenance	9
4.2 Définition de la maintenance	10
4.3 Typologie de la maintenance	10
4.3.1 Maintenance corrective	11
4.3.2 Maintenance préventive	11
4.4 Les niveaux de la maintenance	13
4.5 Informations internes utiles pour la maintenance	14
4.6 Les nouvelles approches de la maintenance	14

4.6.1 La Maintenance Productive Total (TP M)	14
4.6.2 La maintenance basée sur la fiabilité (MBF)	15
4.6.3 La Télémaintenance et l'E-maintenance	15
5. Le system de gestion de la maintenance	18
5.1 Système de la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)	19
5.1.1 Les modules de la GMAO	20
5.1.2 L'apport de la GMAO dans un service Maintenance	22
5.2 La GMAO au niveau d'ELIT	22
5.3 La planification au sein de la GMAO	23
5.3.1 la gestion de la disponibilité des personnels	23
5.3.2 Planification des travaux de maintenances	24
5.3.3 Gestion des prestations et des coûts	25
5.4 Objectifs d'un planning de GMAO [22]	25
5.5 Les avantages de la planification de GMAO	25
6. Conclusion	26
Chapitre 2 : PLANIFICATION ET ORDONNANCEMENT	4
1. Introduction	30
2. La planification	30
2.1 Qu'est-ce que la Planification ?	31
2.1.1 Définition de la planification	31
2.1.2 Qu'est-ce qu'un problème de planification?	32
2.2 Qu'est-ce qu'un bon Planning ?	33
2.3 Types de plannings	34
3. l'ordonnancement	34
3.1 La définition de l'ordonnancement	34
3.2 Concepts de base du problème d'ordonnancement	35
3.2.1 Diagramme de Gantt	35

3.2.2	Tâche	35
3.2.3	Ressource	36
3.2.4	Contrainte	36
3.2.5	Objectifs de l'ordonnancement (critères)	37
3.3	Typologie des problèmes	37
3.3.1	Les problèmes à une machine	38
3.3.2	Les problèmes à machines parallèles	38
3.3.3	Les problèmes d'atelier multi-machines	39
3.4	Méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement	40
3.4.1	Les approches exactes	41
3.4.2	Méthodes approchées	42
3.5	Ordonnancement de maintenance	43
3.5.1	L'ordonnancement et les ressources humaines et leur compétence	43
3.5.2	Ordonnancement statique et dynamique	44
3.5.4	Ordonnancement et affectation des activités de maintenance	45
3.5.5	La variété et l'incertitude des travaux de maintenance	45
3.5.6	La date de réalisation	46
4	La planification et l'ordonnancement	46
4.1	La différence entre la planification et l'ordonnancement	46
4.2	La relation entre la planification et l'ordonnancement	47
5.	Les objectifs de l'ordonnancement de la maintenance	47
6	Etat de l'art : approches et algorithmes dédiés à la planification en maintenance	49
6.1	Approche heuristique d'un ordonnancement des tâches de la maintenance	49
6.2	Approche Meta-heuristique Algorithm GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)	52
6.3	Approche Aide à la décision d'ordonnancement dans le cadre des travaux de la maintenance	53
7.	Moteur de planification	55

7.1 Définition	55
7.2 Les participants de moteurs de planification	55
7.3 Les qualités de moteurs de planifications	55
7.4 Méthode de fonctionnement	56
8 Logiciel de planification existant dans le marche	57
9. Conclusion	60
Chapitre 3 : ETUDE CONCEPTUELLE ET SOLUTION PROPOSEE	29
1. Introduction	59
2. Description de l'environnement	59
3. Méthode d'analyse et de conception	61
3.1 Langage de modélisation UML	62
3.1.1 Définition D'UML	62
3.1.2 Avantage du langage UML	62
3.1.3 Outil de conception (Edraw Max)	63
4. Modélisation	63
4.1. Spécification des besoins	63
4.1.1. Identification des acteurs	63
4.1.2. Diagramme de cas d'utilisation	64
4.1.3. Description des cas d'utilisations	65
4.2. Conception	69
4.2.1 Diagramme de classe	69
4.2.2 Identification des classes principale	70
4.2.3 Passage au modèle relationnel	73
5. Modélisation de l'ordonnancement de la maintenance	74
5.1. Les tâches	74
5.2 Les ressources humaines	75
5.3 Variables	76

5.4 Contraintes	76
5.5 Objectif	77
5.6 Critères d'évaluation	77
6. Approche pour l'ordonnancement et l'affectation des activités de maintenance	77
6.1 La fonction objectif	79
6.2 Ordonnancement et affectation statique	80
6.2.1 Affectation des tâches de maintenance	80
6.2.2 Ordonnancement des tâches	84
6.3 Ordonnancement et affectation dynamique	85
7. Conclusion	90
Chapitre 4 : IMPLEMENTATION ET REALISATION	58
1. Introduction	91
2. Réalisation	91
2.1 Développement du modèle de déploiement	91
3 Environnement de développement	91
3.1 Plate-forme de développement JAVA EE	92
3.2. Outils de développement (IDE)	92
3.3 Framework utilisée	93
3.3.1Présentation de JSF	93
3.3.2PrimeFaces	94
3.4 Serveur de base de données PostgreSQL 9.0	94
3.5 Serveur d'applications GlassFish	95
4. Présentation des interfaces du projet« SYANA »	96
4.1Authentification	96
4.2 Liste des tâches de maintenance	96
4.4 Ajouter une tache	97
4.5 Liste des intervenants	98

4.6 Ajouter un intervenant	98
4.7 ajouter une fiche de maintenance	99
4.8 Liste des ordres de travaux	99
4.9 ajouter un ordre de travail	100
5. Jeux d'essai	100
5.1 Générer un plan des occurrences	100
5.2 Génère le planning (ordonnancements)	102
6. Conclusion	104
Conclusion générale et perspectives	1055
Bibliographie	1077

Liste des figures

Chapitre I : Etude de l'existant

Figure 1.1 : Organigramme organisationnel de la SONELGAZ	6
Figure 1.2 : Organigramme de la filiale ELIT	8
Figure 1.3 : Organigramme de la direction Progiciels de Gestion Intégrée.....	9
Figure 1.4 : Types de maintenance	12
Figure 1.5 : Les niveaux de maintenance	14
Figure 1.6: Nouvelles formes de maintenance	16
Figure 1.7: Fonctionnement de la E-Maintenance	18
Figure 1.8 : Le système de gestion de la maintenance	19
Figure 1.9: le contenu de la fonction maintenance	20
Figure 1.10 : Exemple de gestion des horaires	24
Figure 1.11 : planning de maintenance.....	25

Chapitre II : Planification et ordonnancement

Figure 2.1 : Schéma illustrant le problème de la planification	31
Figure 2.2 : démonstration généralisée dans problème de planification	33
Figure 2.3 : caractéristique d'une tâche	36
Figure 2.4 : problème d'ordonnancement à une machine.....	38
Figure 2.5: problème d'ordonnancement à machines parallèles	39
Figure 2.6 : problème d'ordonnancement d'atelier multi-machines (Flow Shop)	40
Figure 2.7 : problème d'ordonnancement d'atelier multi-machines (Job Shop).....	40
Figure 2.8 : Les différentes approches de résolution de problèmes d'ordonnancement.....	41
Figure 2.9 : Structure hiérarchique des objectifs de l'ordonnancement de la maintenance	48
Figure 2.10: Illustration de l'approche proposée par MARMIER.....	49
Figure 2.11: fenêtre d'insertion.....	51
Figure 2.12 : Organigramme générale de GRASP	52
Figure 2.13 : méthode de fonctionnement.....	57

Chapitre III : Etude conceptuelle et solution proposée

Figure 3.1: Modules de SYANA.....	60
-----------------------------------	----

Figure 3.2 : 2TUP, cycle en forme de ‘Y’	62
Figure 3.3: diagramme de cas d’utilisation global	64
Figure 3.4 : diagramme de cas d’utilisation détail du cas « administrer un planning ».....	65
Figure 3.5: diagramme de classe.....	69
Figure 3.6 : ordonnancement des tâches	74
Figure 3.7 : Fonctionnement de service de maintenance	77
Figure 3.8 : Principe générale de la démarche de résolution proposée	78
Figure 3.9 : Méthode d’insertion dynamique	87
Chapitre IV : Implémentation et réalisation	
Figure 4.1 : Diagramme de déploiement.....	90
Figure 4.2 : L’interface de l’authentification	95
Figure 4.3: L’interface des tâches de maintenance	96
Figure 4.4 : L’interface d’ajouter une tâche de maintenance	96
Figure 4.5 L’interface des intervenants.	97
Figure 4.6 : L’interface d’ajouter un intervenant.....	97
Figure 4.7 : ajouter une fiche de maintenance	98
Figure 4.8 : L’interface des ordres de travail.....	98
Figure 4.9 : L’interface d’ajouter un ordre de travail	99
Figure 4.10 : Ajouter une intervention.....	100
Figure 4.11 : Sélectionner la plage	100
Figure 4.12 : Plan des occurrences.....	101
Figure 4.13 : Affectation des tâches	101
Figure 4.14 : Ordonnancement des tâches	10

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les modules existants dans la GMAO d'ELIT	23
Tableau 2 : Identification des acteurs.....	64
Tableau 3 : Générer un planning	66
Tableau 4 : Intégrer une tâche dans un planning	67
Tableau 5 : Consulter un planning	67
Tableau 6 : Consulter le plan des occurrences	68
Tableau 7 : Tableau comparatif d'évaluation	32

Liste des acronymes

Acronyme	Signification
BI	Borne Inferieure
BT	Bons de Travaux
CEEG	Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz
ECT	Earliest Complétion Time
EDD	Earliest Due Date
EGA	Electricité et Gaz d'Algérie
EJB	Enterprise JavaBeans
ELIT	EL Djazair Information Technology
GMAO	Gestion de maintenance Assistée par Ordinateur
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedures
GRTE	Gestionnaire Réseau Transport Electricité
INERGA	société de réalisation d'infrastructures
JNDI	Java Naming and Directory Interface
JPA	La Java Persistence API
JSF	Java Server Faces
JTA	Java Transaction API
KAHRAKIB	société de Travaux et Montage Electriques
LPT	Longuest Processing Time First
MBF	La maintenance basée sur la fiabilité
MP	Maintenance Préventive
MVC	Modèle-vue-contrôleur
NTIC	Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
OS	Opération Système
OT	Ordres de Travail

PLNE	Programmation Linéaire en Nombres Entiers
PRM	Maintenance Proactive
PSE	Procédures par Séparation et Evaluation
SDA	Sociétés de Distribution d'Alger
SDC	Sociétés de Distribution de Centre
SDE	Sociétés de Distribution d'Est
SDO	Sociétés de Distribution d'Ouest
SIAD	Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision
SOPIEG	La gestion du patrimoine foncier.
SPA	Société Par Actions
SPE	SONELGAZ Production Electricité
SPT	Shortest Processing Time
TIST	Techniciens and Interventions Scheduling Problème for Télécommunications
TPM	La Maintenance Productive Total
UML	Unified Modeling Language
WSPT	Weighted Shortest Processing Time
XHTML	Extensible HyperText Markup Language
ORM	Object Relational Mappin

Introduction générale

Ce présent mémoire rédigé en quelque sorte dans l'esprit de la relation Université/entreprise se doit de produire une plus-value d'autant que ce mémoire est encadré par différents partenaires

Aujourd'hui, en tenant compte, des exigences du marché et des règles sévères et rudes de la concurrence, des exigences clients, la question de la planification des tâches de maintenance prend une dimension majeure. En somme la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est apparue afin d'augmenter l'efficacité du service de maintenance et améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements.

Les services de maintenance interviennent pour maintenir ou remettre en état de bon fonctionnement les équipements. De ces deux politiques d'intervention, il découle deux types de tâches de maintenance: les tâches de maintenance préventive et les tâches de maintenance corrective. Le service de maintenance est composé entre autres, de ressources humaines. Ce sont elles qui réalisent les tâches de maintenance. En général, ces ressources ont toutes les compétences nécessaires pour leurs différentes interventions. En fonction des caractéristiques des tâches et de celles des ressources, l'un des problèmes du manager du service de maintenance sera de trouver, pour chaque tâche, quelle ressource doit la traiter et quand, et c'est là où réside notre problème.

L'optimisation de la planification et de l'ordonnancement des tâches de maintenance est en effet l'une de ces activités qui jouent un rôle primordial en matière de réduction des coûts et des délais. Elle peut être vue comme un problème énorme qui a attiré l'attention de différents chercheurs et fait part de diverses études dernièrement.

À l'initiative de la filiale informatique du groupe **Sonelgaz ELIT**, il nous a été confié la mission de réaliser un moteur de planification de qualité, qui gère la gestion de planification des tâches de maintenance et les ressources d'une façon optimale.

Avant d'aborder la phase conception puis la réalisation de ce projet, une phase d'étude et de réflexion a été menée afin de couvrir les différentes solutions existantes et les solutions les plus optimales, avec une étude standard sur la GMAO qui a laquelle notre moteur de planification doit être intégré dans le but d'atteindre un produit robuste ne nécessitant qu'un

minimum de modification et de réajustement pour son adaptation à ces dernières lors du déploiement.

Problématique

Afin de garder la haute disponibilité de ces équipements, la mise en place d'un système de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) est indispensable.

Ce qui a été noté précédemment est confirmé dans la charte ou cahier de charge **Sonelgaz** où il est écrit ce qui suit :

En vue de ce besoin, ELIT en sa qualité d'éditeur de solutions informatiques pour le groupe SONELGAZ, s'est engagée à développer une GMAO pour le profit du groupe. La GMAO visée couvre les volets suivants :

- La gestion des équipements ;
- La gestion de la maintenance préventive ;
- La gestion des travaux (interventions) ;
- La documentation technique ;
- La gestion de stock qui va être assurée par le système ATTAD.

L'amélioration de la disponibilité des équipements passe par une bonne maintenance préventive efficace ainsi qu'une bonne planification des interventions c'est-à-dire l'optimisation du temps de l'indisponibilité d'un équipement, en optimisant le planning d'intervention dans le cas d'une panne ou d'une intervention préventive.

Dans ce cadre, nous souhaitons que notre solution prenne en charge les préoccupations de l'entreprise Sonelgaz à savoir :

- Mettre en place un planning optimal pour les interventions préventives, en respectant la priorité des fiches de maintenance préventive et la criticité des équipements ainsi que la disponibilité des ressources nécessaires pour établir chaque intervention (Outillage, intervenant etc...).
- Intégrer des nouvelles interventions non prévues au planning déjà établi, tout en respectant la priorité de toutes les interventions, la criticité des équipements ainsi que la disponibilité des ressources nécessaires à l'exécution de ces interventions.
- Mettre à jour le planning des interventions si nécessaire.

- Mesurer la performance des planifications établies.

Objectifs :

De même que nous souhaitons que l'objectif de Sonelgaz soit pris en charge via notre moteur de planification des interventions de maintenance à savoir :

- Programmer les interventions préventives d'une manière optimale.
- Intégrer des interventions imprévues (Curatives ou conditionnelles) ou reprogrammer le plan d'intervention si nécessaire d'une manière optimale.
- Optimiser les ressources de la maintenance.
- Proposer des indicateurs pour mesurer la performance de la planification.

Nous décomposons ce travail en quatre (4) chapitres :

Chapitre 1 : Présentation de notre organisme d'accueil, la définition de quelques notions sur la maintenance formulée par la citation des différentes définitions, de leurs typologies avec le système de la Gestion de la Maintenance Assisté par Ordinateur (GMAO) et ses modules. Préciser au final le manque de la planification dans le système GMAO existant dans sein de l'organisme.

Chapitre 2 : Aborder les notions de base de la planification et présenter les différentes formes de problème de planification dédiée à la maintenance et la relation entre un ordonnancement et la planification. Puis présenter les différentes approches de résolution connues.

Chapitre 3 : Présenter la description d'environnement puis modéliser la conception par la création des diagrammes UML. Et au final nous présenterons notre solution à ce problème.

Chapitre 4 : la présentation des outils techniques choisis pour le développement, accompagné d'une présentation des interfaces des principaux volets de notre application.

Une conclusion synthétisera les contributions et les résultats obtenus et proposera des perspectives à nos travaux

Chapitre 1 : ETUDE DE L'EXISTANT

1. Introduction :

Les entreprises tirées par les marchés mondiaux sont entrainé dans une course effrénée dédiée à la recherche de gains de productivité. Pour ce faire elles doivent réduire leurs coûts d'opération, de maintenance sans négliger la nécessaire sécurité et fiabilité de leurs installations. À ce titre, la majorité d'entre elles ont déjà développé un programme de maintenance préventive. Cette dernière est dispendieuse car elle doit être exécutée à plusieurs reprises et sur plusieurs équipements. Il est par ailleurs clair que pour maximiser l'efficacité d'un programme de maintenance préventive et minimiser ces coûts, plusieurs facteurs doivent être prises en considération et incluses au programme existant. Telle est l'équation basique qu'il nous faut traiter tout en tenant compte de la nécessaire planification des tâches de maintenance dont l'objectif est d'améliorer la fiabilité intrinsèque, et d'assurer la disponibilité et la maintenabilité des équipements, et donc au final d'affecter les bonnes tâches de maintenance sur les bons équipements au bon moment.

Ce chapitre sera consacrée à la présentation de notre organisme d'accueil : la filiale hôte ELIT (EL Djazair Information Technologie) et son secteur d'activité et définir quelques notions sur la maintenance formulée par la citation des différentes définitions, de leurs typologies avec le système de la gestion de la maintenance Assisté par ordinateur (GMAO) et ses modules. Et préciser par la suite le manque de la planification dans le système GMAO existant dans notre organisme.

2. Présentation du groupe SONELGAZ

SONELGAZ ou Société nationale de l'électricité et du gaz est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électriques et gazières en Algérie. Ses missions principales sont la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz. Elle a initié d'importants programmes en matière d'électrification rurale et de distribution publique du gaz, qui ont permis de ramener le taux de couverture en électricité à 98% et celui de pénétration du gaz à 52%.

Son nouveau statut lui donne la possibilité d'intervenir dans d'autres segments d'activités tels que la commercialisation de l'électricité et du gaz à l'étranger.

2.1 Historique

Depuis sa création le Groupe est passé par différentes phases d'évolution dont nous reprenons les principales dates :

- **1947** : Création de l'Etablissement Public National « Electricité et Gaz d'Algérie, EGA » par le décret du 5 juin 1947
- **1969** : Le 28 juillet 1969 la dissolution de l'EGA et la création de la nouvelle Société Nationale de l'Electricité et du Gaz -SONELGAZ- fûts décrétées dans le cadre des mesures de nationalisation des secteurs clés de l'économie nationale
- **1983** : Création de six entreprises travaux autonomes : KAHRIF, KAHRAKIB INERGA, ETTERKIB, CEEG, KANAGHAZ.
- **1998** : Création de neuf filiales périphériques le 1er janvier 1998 et filialisation des activités dites secondaires de SONELGAZ en 1999.
- **2002** : En juin 2002, en vertu du décret présidentiel n°02-195 le statut de SONELGAZ passe d'EPIC à Société Par Actions -SPA- dont le capital est détenu par l'Etat.
- **2004** : Création de trois filiales métier de base : SONELGAZ Production Electricité **SPE**, Gestionnaire Réseau Transport Electricité **GRTE** et celui du Gaz **GRTG**.
- **2006** : Création de quatre sociétés de distribution : Alger **SDA**, Centre **SDC**, Est **SDE** et Ouest **SDO**, et filialisation de l'Opérateur Système **OS**.
- **2007** : Constitution d'un groupe de sociétés au sens fiscal du terme composé de la Maison mère et de 8 Filiales dites métiers de base.
- **2008** : Parachèvement du processus de restructuration avec la filialisation des activités Systèmes d'information **ELIT**, de l'Engineering de l'électricité et du gaz **CEEG** et la gestion du patrimoine foncier **SOPIEG**.

2.2 Organisation du groupe

SONELGAZ s'est érigée en Groupe Industriel composé de 43 sociétés dont 7 en participation. Le Groupe est constitué de la maison mère et des filiales. Ces dernières sont réparties par pôle de métiers, à savoir les filiales métiers de base, les filiales métiers périphériques et les filiales travaux.

L'organigramme suivant donne une vision claire de la structure et de l'organisation de la société :

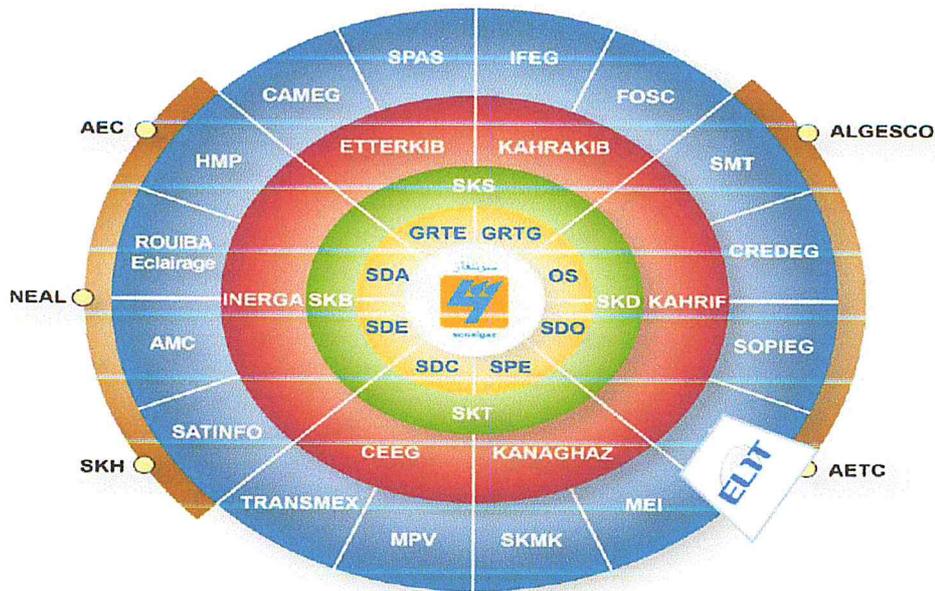


Figure 1.1 : Organigramme organisationnel de la SONELGAZ.

3. El Djazair Information Technology (ELIT)

ELIT est une filiale du Groupe SONELGAZ. Créée en janvier 2009, elle a pour mission le développement et la promotion d'une culture de gouvernance informatique au bénéfice des sociétés du Groupe SONELGAZ, par :

- L'élaboration des politiques et stratégies en matière de systèmes d'information.
- L'étude des besoins informatiques et la mise en œuvre des solutions (développement, intégration, maintenance, support, etc.).
- La prise en charge des besoins des sociétés du Groupe Sonelgaz en matière d'informatique et de télécommunications.

Quant au niveau opérationnel, ELIT s'emploie à :

- Elaborer et mettre en œuvre les Systèmes d'Information destinés au pilotage et à la gestion des différentes activités des sociétés du Groupe Sonelgaz ;
- Mettre à la disposition des sociétés du Groupe Sonelgaz les moyens informatiques et de télécommunications (logiciels, matériels, infrastructures, etc.) nécessaires pour assurer le niveau de service attendu ;
- Assurer la maintenance et l'administration des Systèmes d'Information, des plateformes et des équipements mis à la disposition des utilisateurs ;
- Proposer, à terme, tous les services IT construits pour les sociétés du L'entreprise, qui emploie actuellement 190 collaborateurs, est engagée sur un certain nombre de projets structurants.

3.1 Principales réalisations d'ELIT

Pour l'axe "développement d'un ERP par moyens propres", les réalisations portent sur la mise en œuvre des systèmes d'information de gestion pour les activités Finances et Comptabilité, Ressources Humaines et Commerciale au niveau des Sociétés du Groupe Sonelgaz.

Pour l'axe "construction d'un centre d'infogérance", les principales réalisations portent sur :

- La mise en place des infrastructures de traitement et de stockage de données par la mise en service des Data-Centers et la mise en œuvre d'une solution de virtualisation et d'une plateforme de traitement "BladeSystems".
- La sécurisation de l'ensemble des infrastructures et systèmes existants et futurs par la mise en place d'une solution de sécurisation des accès réseaux et d'une solution d'Annuaire d'entreprise et de gestion des authentifications.

3.2 Les progiciels développés par ELIT

- **ATTAD** : dédié pour la facturation, comptabilité et reporting.
- **HISSAB**: système de gestion et d'information « Hissab » pour l'activité Comptable et financière.
- **PGI-RH NOVA** : pour la gestion de la ressource humaine.

3.3 Organigramme de la filiale «ELIT ».

La figure suivante montre l'organigramme de la filiale ELIT :

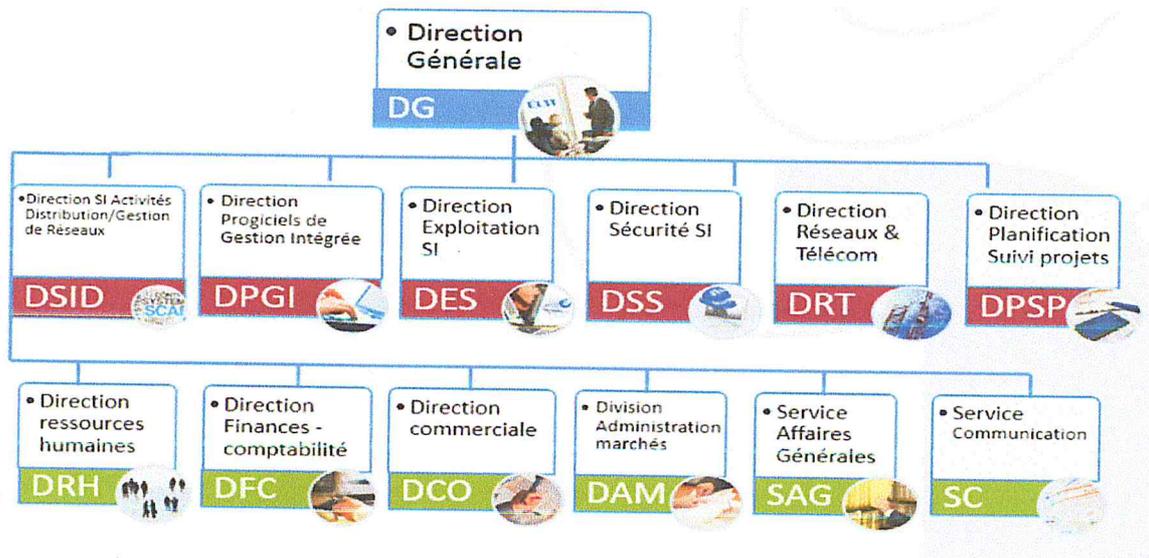


Figure 1.2 : Organigramme de la filiale ELIT.

3.3.1 DIRECTION PROGICIELS DE GESTION INTEGREE

La Direction Progiciels de Gestion Intégrée est chargée de la production, du déploiement et de la maintenance des systèmes d'information, capables de gérer l'ensemble des processus d'une organisation, en incluant de façon intégrée : la gestion comptable et financière, la gestion des ressources humaines, de la production, de la maintenance, de la logistique, des ventes, des achats, etc. En outre, elle offre l'assistance nécessaire et le suivi des solutions déployées.

Mission :

- Étudier les besoins en systèmes d'information de gestion et mettre en œuvre les solutions adaptées pour l'ensemble des Sociétés du Groupe SONELGAZ.
- Organiser et planifier la réalisation des projets, depuis leur conception jusqu'à leur achèvement, (Conception, développement, tests, intégration, migration de données, etc.), en s'appuyant sur des compétences internes ou externes.
- Préparer la Société à placer, à termes, ses produits sur le marché.
- Assurer la veille technologique.

Organigramme de la Direction progiciels de gestion intégrée :

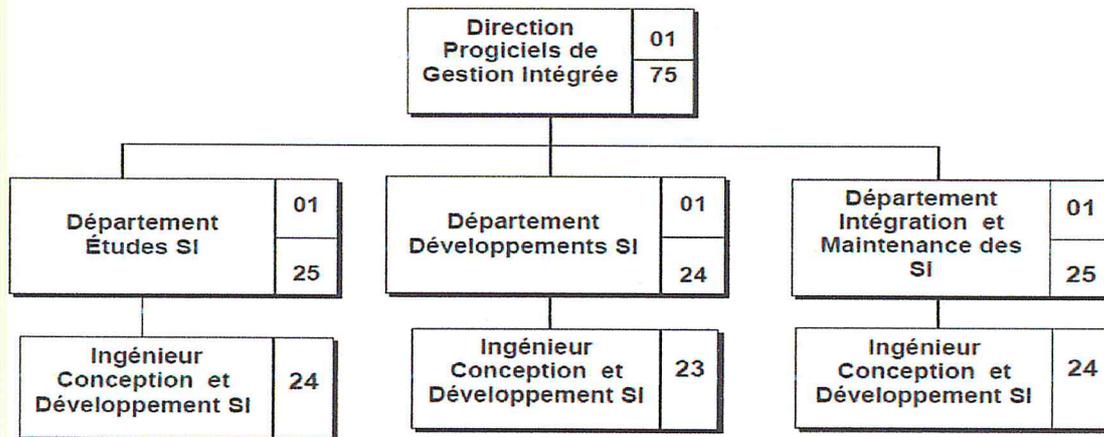


Figure 1.3 : Organigramme de la direction Progiciels de Gestion Intégrée.

4. La maintenance

Dans les pays industrialisés, le mot « maintenance » est devenu petit à petit une activité moderne et porteuse d'évolution dans la mouvance des besoins de la qualité totale de la production juste-à-temps. Elle consiste à remettre un bien en état de bon fonctionnement. Les activités de maintenance sont tournées vers l'optimisation de la disponibilité des moyens de production. A contrario, les dysfonctionnements des machines entravant la performance de l'équipement de fabrication relèvent de « l'insupportable » pour l'entreprise.

Pour mieux appréhender la problématique maintenance nous proposons quelques définitions.

4.1 Evolution de la maintenance

Le terme maintenance est apparu dans les années 1950 aux Etats-Unis. En France, on parlait encore à cette époque d'entretien. A cette époque, la maintenance a été préconisée comme un moyen permettant de réduire les défaillances et les accidents imprévus.

Progressivement, une attitude plus positive vis-à-vis de la défaillance voit le jour. Il faut tirer une leçon de l'apparition d'une panne pour mieux réagir face aux aléas de fonctionnement [1]. Dans la norme AFNOR-NF-X60-010, la maintenance industrielle peut se décliner sous différentes formes selon les situations. La figure montre les différentes formes de maintenance. En effectuant un bilan des différentes évolutions des politiques de maintenance dans le Temps, nous pouvons donner à titre indicatif les repères suivants [2]:

Années 60 : Maintenance réactive / corrective

Intervient après la détection et la localisation d'un défaut. Elle revient à corriger entièrement (curative) ou en partie (palliative) le défaut observé

Années 70 : Maintenance préventive (préventive systématique)

Elle représente une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage

Années 80: Maintenance prédictive (prévisionnelle, préventive conditionnelle)

La décision d'intervention préventive est prise lorsqu'il y a évidence expérimentale de défaut imminent, ou approche d'un seuil de dégradation prédéterminé.

Années 90 : Maintenance proactive (PRM)

Implique la surveillance et la vérification continues des causes primaires de défaillance du système surveillé

Années 2000 : E-maintenance

L'E-Maintenance est un concept lié au principe de web services, de coopération et de partage des connaissances.

4.2 Définition de la maintenance

Définition :

La définition de la maintenance la plus récurrente et la plus cohérente est celle qui a été extraite de la norme NF X 60-010 donnée par l'AFNOR « *l'ensemble des activités destinées à rétablir un bien [équipement] dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise.* » [3].

Pour une deuxième définition on s'intéresse à Richet et Gabriel qui a défini la maintenance comme étant « *l'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management* » [4].

4.3 Typologie de la maintenance [5]

Il existe plusieurs types de maintenance appelée aussi des stratégies, parmi ces stratégies nous distinguons la maintenance préventive et la maintenance corrective, constituons deux principales stratégies de maintenance, la différence entre les deux se limite dans le fait que la maintenance préventive est réalisée avant l'arrivée de défaillance par contre la maintenance corrective s'effectue après. Ces termes sont définis par la suite.

4.3.1 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 » [5].

La remise en état, peut-être temporaire ou définitive (Palliative ou Curative).

❖ Palliative

Selon l'AFNOR « Action de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Appelée couramment « dépannage », la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui doivent être suivies d'actions curatives. » [5].

❖ Curative

L'AFNOR définit cette stratégie comme suit « A pour objet de réparer l'équipement, autrement dit, de le remettre dans son état d'origine. Elle corrige ses défauts afin qu'il fonctionne correctement, et n'est pas provisoire. Contrairement à la maintenance palliative, elle instaure une certaine durabilité au niveau de la réparation » [5].

4.3.2 Maintenance préventive

La Maintenance Préventive (MP) est définie comme étant « maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu ». [5]

C'est une « Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu » [5]

Il existe deux types de maintenance préventive :

❖ Systématique [5]

Pour appliquer cette méthode on doit connaître : le comportement des équipements et les usures et les modes de dégradation. Elle intervient à intervalles fixés sur la base de la durée de vie des composants donnés par le constructeur ou à défaut par l'expérience acquise. Ce type de maintenance est aussi appelé maintenance préventive basée sur le taux d'usure de l'équipement.

La maintenance préventive systématique se décompose en deux segments:

- des interventions planifiées qui consistent à nettoyer, réparer ou remplacer certains matériels tels que des composants ou sous-ensembles d'équipements

- des inspections périodiques qui consistent à contrôler ces mêmes composants et sous-ensembles, d'effectuer des révisions d'équipements.

❖ Conditionnelle [5]

C'est une maintenance préventive rattachée à un type d'événements prédéterminée, sa pratique sollicite à ne changer l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement

« Maintenance préventive basés sur une surveillance du fonctionnement (surveillance selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue) du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent » [5]

Le schéma ci-après présente les diverses séquences:

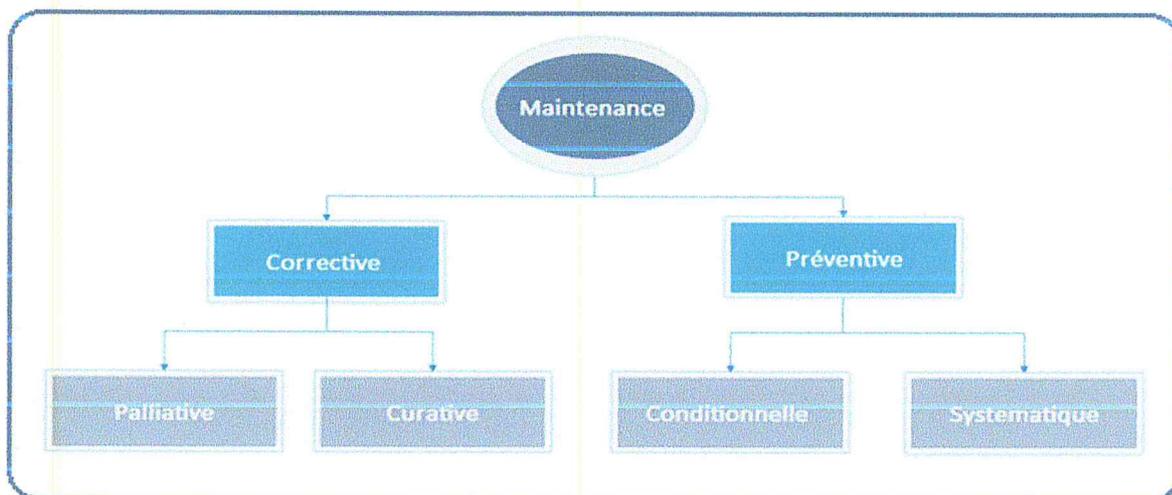


Figure 1.4 : Types de maintenance [5].

4.3.2.1 Les objectifs visés par la maintenance préventive [1]

a. Améliorer la fiabilité de matériel

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

b. Garantir la qualité des produits

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de fonctionnement et de réglage soient respectés, ce qui permet d'éviter les aléas de fonctionnement et d'assurer des produits de qualité avec l'absence des rebuts.

c. Améliorer l'ordonnancement des travaux

La collaboration entre le service de maintenance et de production permet de faciliter la tâche de la maintenance. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

d. Assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

e. Améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks.

f. Améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production et d'assurer une bonne entente entre le service de la maintenance et la production [1].

4.4 Les niveaux de la maintenance [6]

Monchy et Lyonnais présentent cinq niveaux de maintenance. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et, entre autres aux ressources matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches. Dans ce qui suit, nous présentons les tâches associées à chaque niveau.

- **Niveau I** : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou d'échange d'éléments accessibles en toute sécurité.
- **Niveau II** : Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.
- **Niveau III** : Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.
- **Niveau IV** : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.
- **Niveau V** : Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparations importantes confiées à un atelier central.

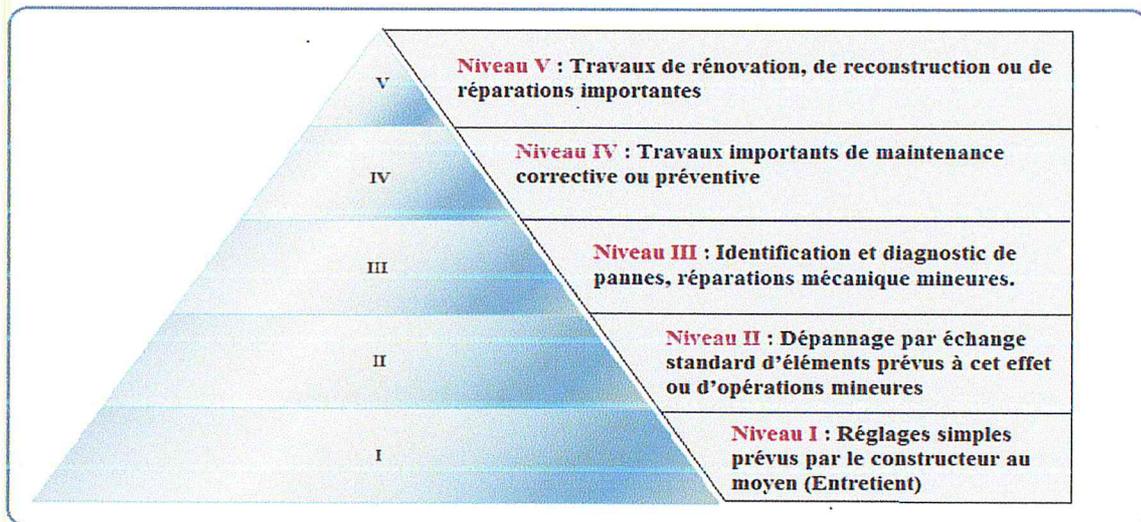


Figure 1.5 : Les niveaux de maintenance [6]

4.5. Informations internes utiles pour la maintenance [7]

Ces informations sont relatives à la documentation liée aux équipements et aux différents historiques.

1. documentation relative aux équipements : il s'agit de complément éventuel documents fournis par le constructeur pour faciliter les opérations de maintenance, établis par l'utilisateur.
2. historiques des incidents, pannes et interventions : la constitution d'une banque de données relevant en particulier les incidents, interventions effectuées, causes, difficultés rencontrées s'avère particulièrement utile pour effectuer des études d'amélioration de la disponibilité d'équipements.

4.6 Les nouvelles approches de la maintenance [7]

4.6.1 La Maintenance Productive Total (TPM)

La maintenance Productive Total (TPM) est une méthode japonaise spécifiée à la maintenance qui vise à réduire les coûts de fabrication .Ses débuts datent des 70, mais elle n'a commencé vraiment à se développer qu'au début des années 80 sous l'égide du groupe JMA (Japan Management Association).

la TPM a pour objectif que les équipements soient tels qu'ils ne tombent pas en panne et qu'ils soient faciles à inspecter, à réparer, à utiliser et qu'ils fonctionnent en toute sécurité. La TPM peut se résumer par sa volonté d'aboutir à la création d'une structure d'entreprise qui permette la recherche du rendement maximum du système de production, en évitant donc

toutes pertes, afin d'obtenir zéro accident, zéro défaut, zéro panne sur la durée de vie du système de production[8] .

4.6.2 La maintenance basée sur la fiabilité (MBF)

Elle correspond à une politique de maintenance, qui identifie d'abord les matériels critiques dont les conséquences des défaillances fonctionnelles sont importantes pour les objectifs de l'entreprise (sécurité, disponibilité, coûts, maintenabilité, etc.)[9]. La MBF était définie comme un processus qui détermine les besoins en maintenance du composant dans son contexte opérationnel [10] [11]. La définition d'un programme MBF se résume en deux étapes principales :

- **L'identification des matériels critiques [9]**

Elle se repose sur la détermination du cheminement des matériels et des conséquences de leurs modes de défaillances fonctionnelles sur les fonctions principales assurées par l'équipement.

- **La sélection des tâches de maintenance [9]**

Le contenu du programme de maintenance d'un matériel critique se compose de deux groupes de tâches :

- ❖ Un groupe de tâches de maintenance préventive prévue pour être exécuté à des intervalles spécifiques. Leurs objectifs sont d'identifier et de prévenir la dégradation des niveaux intrinsèques de sécurité et de fiabilité.
- ❖ Un groupe de tâches de maintenance non programmées qui ont dans les rapports traitant des défauts et l'analyse des données. Leur objectif est de remettre le matériel dans un état acceptable [9].

4.6.3 La Télémaintenance et l'E-maintenance

Les compétences, la polyvalence et le savoir-faire sont les aspects qui caractérisent le personnel de maintenance, la télémaintenance et l'e-maintenance induisent par ailleurs une réduction des effectifs. Au final elles donnent un accès à une expertise extérieure. Ces nouvelles formes de maintenance permettent au personnel un accès aux informations à distance.

L'utilisation des technologies de l'information a permis ces dernières années la mutation de l'activité de maintenance vers e-maintenance. (La figure 1.6) 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.

La e-maintenance et télémaintenance se déclinent comme suit :

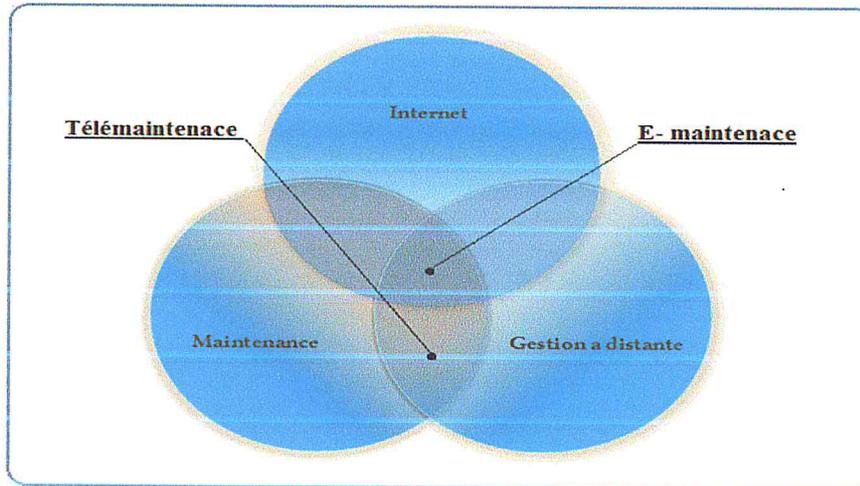


Figure 1.6: Nouvelles formes de maintenance [12].

4.6.3.1 La Télémaintenance

La télémaintenance (en anglais : remote maintenance) représente la maintenance d'une unité fonctionnelle, assurée par télécommunication directe entre cette unité et un centre spécialisé [2].

Elle est basée sur le principe suivant : les capteurs, mesurant des grandeurs intimement liées à l'état de la machine, sont reliés à une centrale de surveillance qui enregistre toutes les alarmes et les mesures [10].

La télémaintenance s'impose progressivement pour toutes les machines ou les chaînes de production pilotées par un microprocesseur : celui-ci concentre en effet toutes les informations provenant des multiples capteurs nécessaires au contrôle du processus et il peut être facilement interrogé à distance. Il est également possible depuis le point de contrôle de modifier les paramètres de réglage ainsi que les programmes qui le pilotent [2].

❖ Processus de la télémaintenance

La télémaintenance permet d'une part, le suivi et l'enregistrement des données sur chaque machine pour des fins de comparaison et d'autre part, la détection d'aléas de fonctionnement. L'agent de surveillance qui constate une évolution d'une dégradation ou l'apparition d'un défaut, a la responsabilité de mettre hors service, de consigner la partie lésée de l'installation et d'alerter les agents d'intervention [10] [13].

Cependant le processus de Télémaintenance, peut-être divisé en trois processus complémentaires dont nous citons le dépannage en local, le dépannage à distance et l'intervention physique nécessaire.

4.6.3.2 La E-maintenance

Depuis l'émergence des nouvelles technologies et de la communication (NTIC), les concepts de la Télémaintenance ont évolué pour aboutir à la E-maintenance.

La E-maintenance est un concept lié au principe de web services, de coopération et de partage des connaissances. Elle intègre le principe de base de la Télémaintenance en lui associant une dimension forte, constituée par la coopération au niveau des informations mais aussi des hommes, des services (ingénierie, exploitation, maintenance, sûreté, achats, comptabilité, ...) et des sociétés (client / fournisseur, inter fournisseurs, inter clients, ...) [2], [15]

❖ Processus de la E-Maintenance

En situation de panne, une intervention de télémaintenance comme indique la figure (Figure1.7) s'effectue en deux étapes, à savoir [14] [16]:

Première étape : recherche automatique de personnes

Un outil de E-maintenance coopératif qui permet à des personnels de maintenance extérieurs au lieu de la panne de participer à la résolution du problème. Les clients peuvent solliciter le personnel de maintenance ou l'expert (local ou distant) par une liaison établie par le serveur (envoi d'une alarme) avec le personnel préenregistré et la mieux habileté à intervenir (en fonction de ses compétences, de ses droits, des outils dont il dispose, ...)

Deuxième étape : processus de dépannage

Un outil de dépannage proposé est un système expert de diagnostic des pannes des dispositifs appartenant aux installations industrielles des clients. Ce dépannage peut se faire en local, ou à distance à partir d'un poste fixe sur Internet en établissant une connexion initiée par le personnel de maintenance qui a reçu l'alerte et qui permettra la transmission de données informatiques et l'échange de données dans un contexte client-serveur. Le système expert va poser une série de questions à l'utilisateur afin d'essayer de détecter la cause de la panne et proposer une solution possible [15], [16].

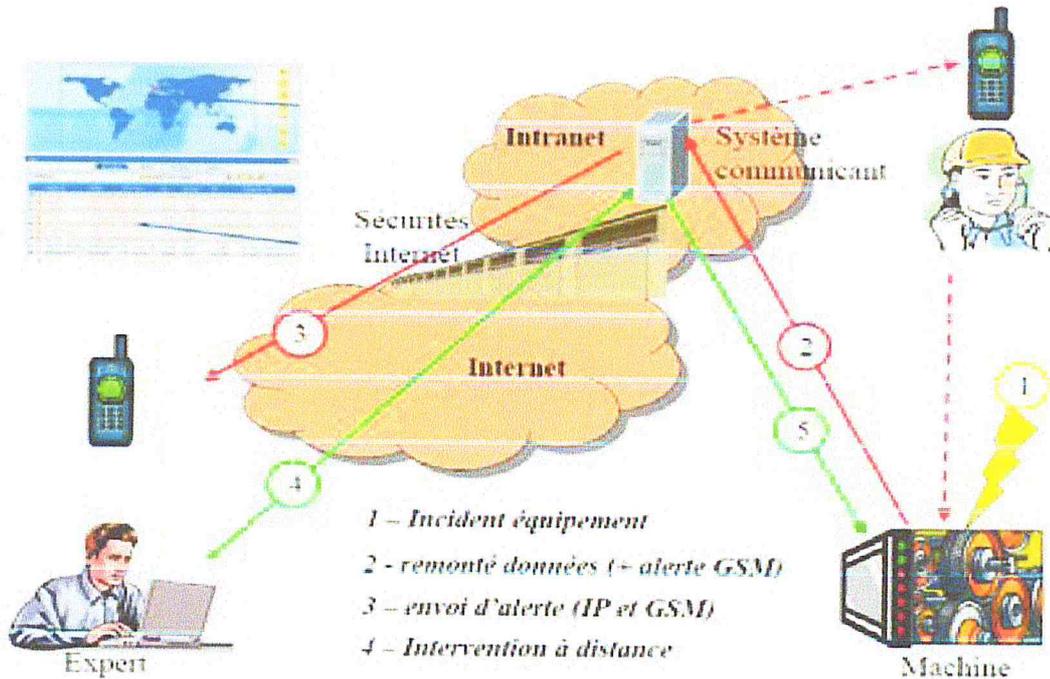


Figure 1.7: Fonctionnement de la E-Maintenance

5. Le system de gestion de la maintenance [10]

Le système de gestion de la maintenance est caractérisé par quatre étapes importantes

➤ Première étape

Concerne la réception du matériel et la documentation.

➤ Deuxième étape

Elle est relative au choix du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis

➤ Troisième étape

Elle représente les étapes du processus de maintenance telles que la planification des interventions, les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention.

➤ Quatrième étape

Concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance.

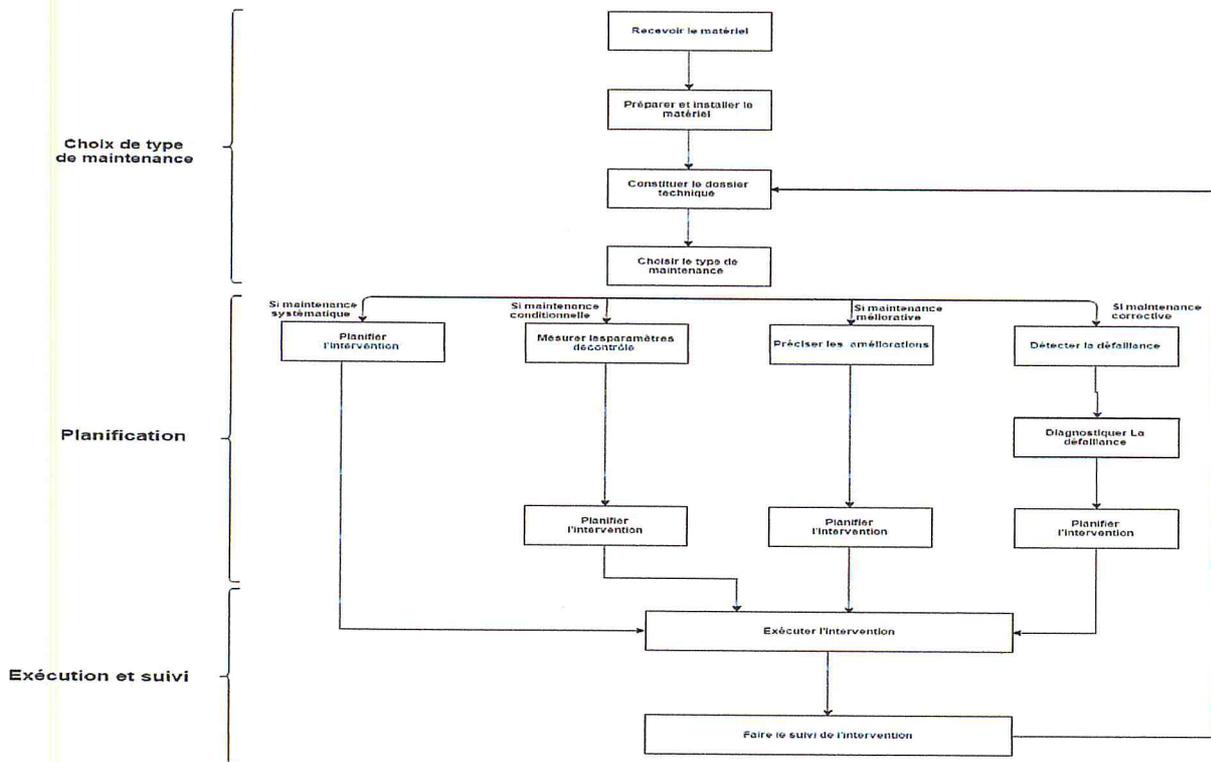


Figure 1.8 : Le système de gestion de la maintenance [10]

5.1 Système de la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)

Suite à la présentation de l'entreprise et du constat établi notamment sur la fonction maintenance, nous proposons une étude préliminaire de la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) assortie de définitions et notamment de ses modules, le tout comparé au système GMAO existant au sein de l'entreprise. À ce niveau d'études apparaît un écart ou nécessaire production d'un moteur de planification dont les objectifs seront définis ultérieurement.

Définitions

« Un outil d'aide à la maintenance très utilisé dans le monde industriel, il est utilisé pour planifier des tâches de maintenance, gérer les fichiers de suivi machine, les modes opératoires, les fiches d'intervention, indiquer aux opérateurs les actions à effectuer, gérer les stocks de pièces de rechange, suivre l'historique des opérations.» [17].

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est une étape que les entreprises doivent suivre pour progresser vers plus d'efficacité, de rentabilité et de productivité. Une G.M.A.O. se doit de prendre en charge, d'une part, l'ensemble des données et les différentes méthodes liées à une organisation de maintenance, puis de sélectionner les indicateurs stratégiques nécessaires à la prise des bonnes décisions. Au final elle doit répondre aux

besoins du service maintenance, et donc permettre la réalisation des interventions sur des équipements d'une manière efficace [18].

La G.M.A.O est une représentation de la mémoire et du savoir-faire du service de maintenance. Ces deux derniers représentent une base de travail commune entre les techniciens et les ingénieurs, sous réserve que leurs instructions soient prises en charge par les personnels en aval dont la disponibilité est clairement établie [18].

La G.M.A.O., avec l'avantage de l'informatique, a permis de gérer une grande masse d'informations, et faciliter la recherche des informations, elle permet aussi de calculer des coûts et des ratios, et de proposer aux utilisateurs un planning de maintenance[18].

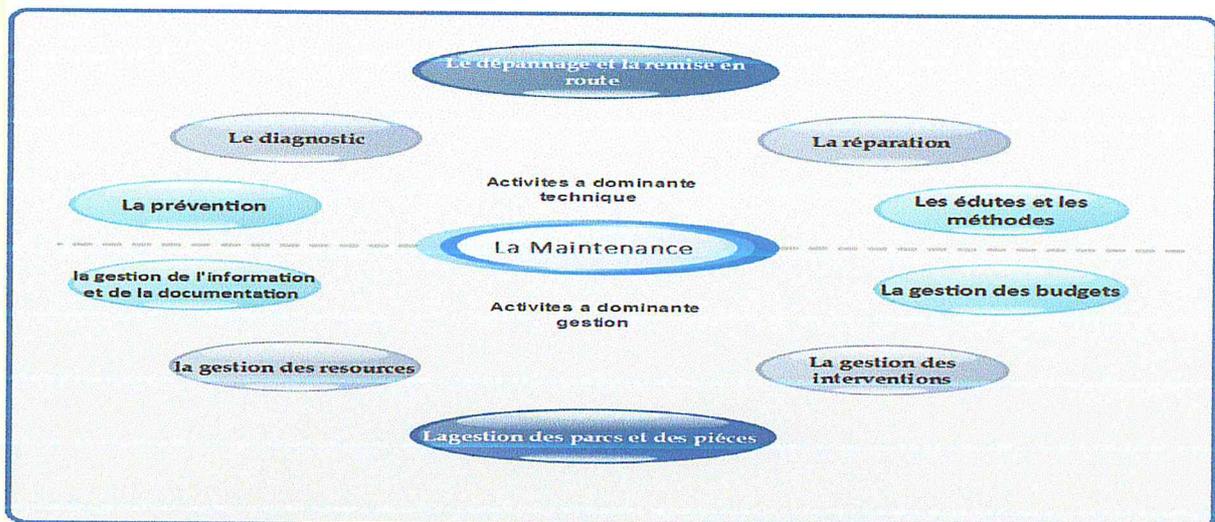


Figure 1.9: le contenu de la fonction maintenance [18].

5.1.1 Les modules de la GMAO

Une G.M.A.O. est composée de différents modules dont les plus importants sont [19]:

- Le module « **Gestion des équipements** » qui permet de la codification et la description des équipements, machines et installations. Ces derniers seront décomposés en plusieurs niveaux d'ensembles et de sous-ensembles. Un dossier technique doit être établi pour chaque équipement. Ces dossiers techniques doivent comprendre les plans de l'équipement, l'historique des réparations ainsi que les procédures et gammes de maintenance de ce dernier;
- Le module « **Demande d'intervention** » qui permet de saisir et de référencer les demandes d'intervention provenant des utilisateurs de matériel extérieurs à la maintenance ou bien provoquées par un événement planifié dans un module de maintenance préventive.

- Le module « **Gestion des travaux** » qui permet de traiter les demandes d'intervention qui arrivent dans un portefeuille de travaux à préparer. Il s'agit de réservation des pièces de rechange ainsi les divers matériels et l'outillage et aussi de coordonner et de planifier, d'affecter les personnels selon les compétences requises et d'adapter les plannings aux charges. Ce module permet de lancer des Ordres de Travail (OT) ou de Bons de Travaux (BT). Ces modules ont la possibilité d'accéder à des outils de gestion de projet pour aider la planification des gros travaux.
- Le module « **Gestion de la maintenance préventive** » permet d'établir un planning de maintenance préventive par ligne de production et par équipement, dont le déclenchement se fera sur la base d'un mode de déclenchement particulier.
- Le module « **Retour d'expérience** » permet d'absorber les historiques par la liste des causes et des modes de défaillances.
- Le module « **Gestion des stocks et achats** » permet de gérer les entrées/sorties du magasin. Le module doit être capable de faire le lien entre un OT, les pièces de rechange nécessaire et leur disponibilité. Il permet également le réapprovisionnement et les commandes de matériel ainsi que les commandes de service (sous-traitance).
- Le module « **Contrôle des budgets et des coûts** » permet d'établir des presciences à partir des dépenses prévues pour les équipements ainsi que de connaître les coûts et suivre leur évolution par rapport au budget prévu.

En général, les raisons suivantes reviennent le plus souvent pour justifier la mise en place d'une G.M.A.O. :

- Mise en place de l'informatisation d'une gestion de maintenance permettant de stocker, d'administrer toutes les informations et d'être accessible par de multiples clés d'accès.
- Le volume d'informations est très important, mais il est généralement dispersé physiquement dans l'entreprise et n'est pas toujours abordable au bon moment. Or l'informatique permet de faciliter la disposition de toutes les informations souhaitées d'un ou plusieurs postes de travail fixes ou mobiles ;
- la masse d'informations est brute pour cette raison il est nécessaire d'en dégager quelques indicateurs pour qu'on l'utilise à la prise de décision sous forme de compromis entre les pôles humain, économique et technique.

- Le module de « **planification** » donne aux responsables une vision claire et instantanée de la charge de travail de leur service car il affiche en un seul écran les travaux hebdomadaires planifiés et alloués aux différents techniciens ou sous-traitants et il est conçu de manière à utiliser les données émises par la production ou la maintenance, et en automatisant un maximum de tâches.

5.1.2 L'apport de la GMAO dans un service Maintenance [20]

La GMAO se caractérise par une meilleure gestion de l'ensemble de ses données.

- Impose une rigueur dans la procédure de rapport journalier
- L'information saisie est immédiatement consultable sur le réseau
- Centralisation du stockage de l'information
- Décentralisation de la consultation de l'information
- Des documents clairs, précis et non discutés
- Conserver toutes les informations techniques définissant le matériel de production
- Conserver et accéder rapidement à tout l'historique des interventions
- Organiser et faciliter le suivi des travaux préventifs
- Suivre le niveau des pièces en stock, connaître leurs caractéristiques savoir sur quels équipements elles sont installées
- Faciliter la gestion des achats de pièces et leur connaissance (caractéristiques techniques)
- Suivre les dépenses du service
- Archiver et accéder immédiatement à toute la documentation technique maintenance.

5.2 La GMAO au niveau d'ELIT

Pour des besoins de séparations des métiers, ELIT a scindé la GMAO en deux parties :

- Stock assuré par une solution « ATTAD »
- Maintenance assuré par la solution « SYANA »

SYANA est composée des modules suivants :

Nom	Description
Gestion des travaux	Gestion des travaux (interventions), corrective et préventive
Gestion de la maintenance préventive	Gestion de la maintenance préventive systématique et conditionnelle

Gestion des équipements	Gestion des équipements
Gestion des ressources	Gestion des ressources
Rapport et analyse	Etablissement des rapports, analyses et indicateurs de performance de la maintenance.
Fonctionnalités communes	Des fonctionnalités ayant des différents processus de la maintenance

Tableau 1 : les modules existants dans la GMAO D'ELIT

Comme SYANA ne contient pas le module planification et ordonnancement des interventions de maintenance, ELIT nous a confié la mission d'étudier et réaliser ce module.

5.3 La planification au sein de la GMAO

La planification est l'action de planifier, c'est-à-dire d'organiser dans le temps une succession d'actions ou d'évènements afin de réaliser un objectif particulier ou un projet. La GMAO offre pour le chef d'atelier le droit de planifier ces interventions et affecter ces derniers aux intervenants existants. Cela permet d'atteindre plusieurs objectifs mais le planificateur doit respecter certaines contraintes.

5.3.1 la gestion de la disponibilité des personnels [21]

En amont de toute opération de planification de travaux de maintenance il est nécessaire de gérer les horaires des différents personnels. L'outil de planification des prestations et des congés permet d'abord de construire et ensuite de consulter ou d'adapter les temps de présence et d'absence. Une fois définis, les horaires et congés seront automatiquement reportés dans le planning de maintenance proprement dite.

Ce module comprend les éléments suivants :

- Création des cycles de travail.
- Création d'horaires par groupes ou individuels.
- Planification des congés d'entreprise.
- Planification des congés individuels.
- Notification des absences.

La (Figure 1.10) représente un exemple de gestion des horaires :

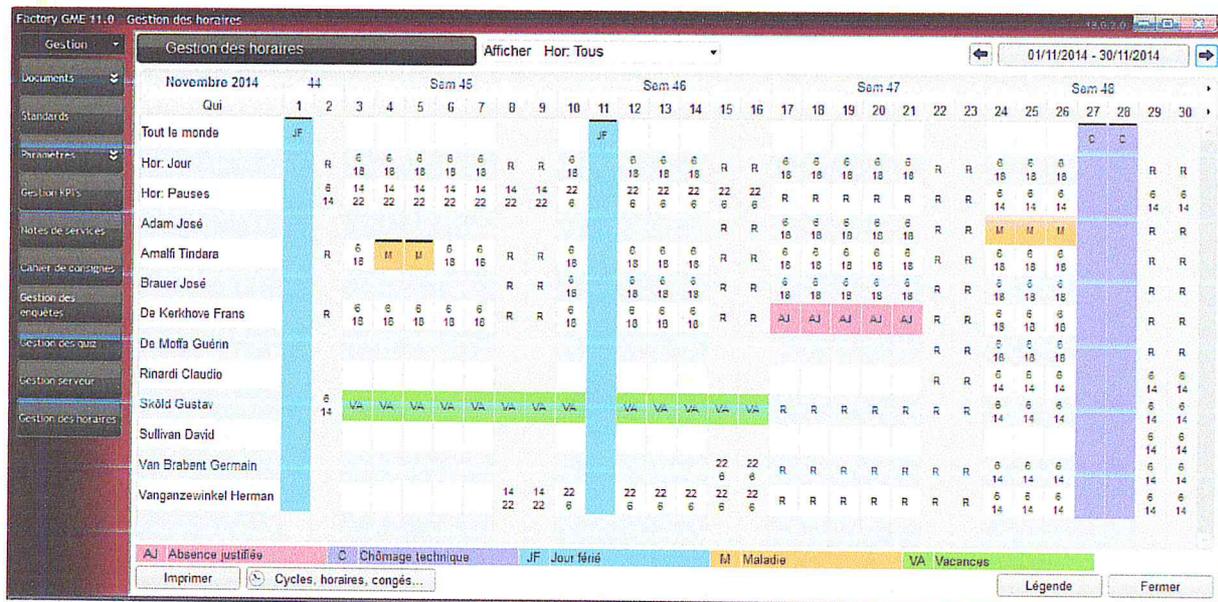


Figure 1.10 : Exemple de gestion des horaires [21]

5.3.2 Planification des travaux de maintenances [21]

Le module de planification des travaux de maintenance, qu'ils soient curatifs, préventifs, neufs, d'amélioration ou d'investissement permettent de se simplifier le travail de responsable. Son interface graphique permet de déposer et déplacer toutes les tâches en regard des personnes qui y seront dédiées. Les modifications quotidiennes pour absences, changements de programme, arrêts imprévus,... se font rapidement et simplement

Ce module comprend les éléments suivants :

- Validation d'un pré-planning et affectation des travaux par le responsable (ordre de travail).
- Visualisation des travaux par période (jour, semaine).
- Glissement des travaux en regard des personnes de son (ses) groupe(s) et en fonction de la date de début et du temps estimé.
- Modifications et corrections à souhait en fonction des impératifs.
- Visualisation de l'avancement des travaux.

La (figure 1.11) ci-dessous représente un modèle de planning des interventions :

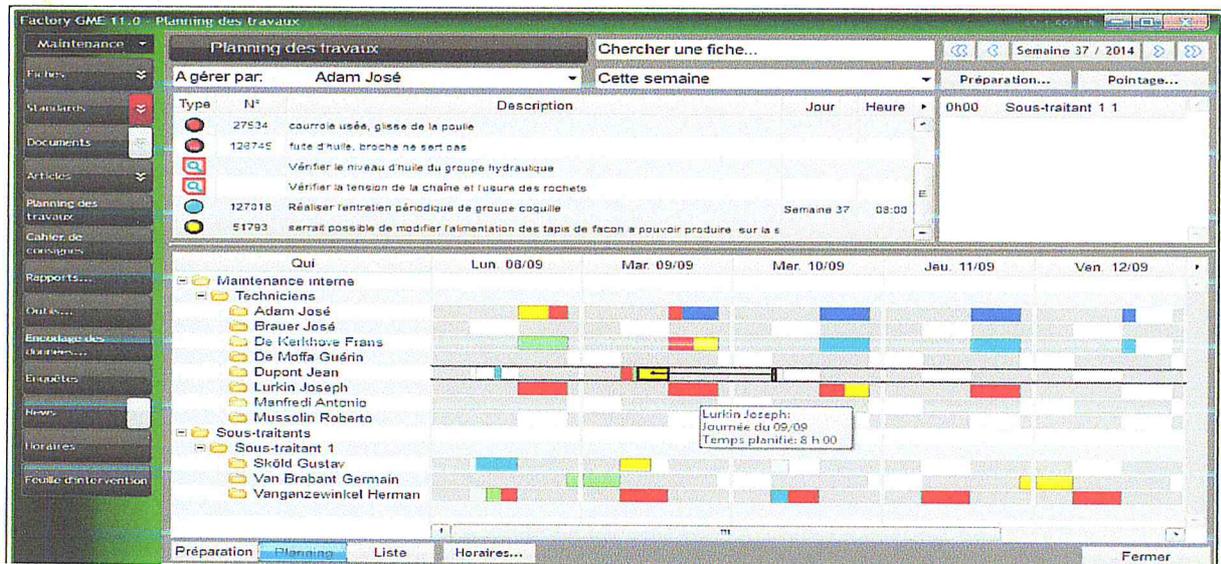


Figure 1.11 : planning de maintenance.

5.3.3 Gestion des prestations et des coûts [21]

Pour mesurer les performances de ses ateliers, le responsable de maintenance aura à sa disposition plusieurs outils de gestion.

Ce module a titre illustratif contient les outils suivants :

- Le rapport des prestations des différents intervenants.
- Le rapport des coûts de main d'œuvre.
- Le rapport des consommations de pièces de rechange.

5.4 Objectifs d'un planning de GMAO [22]

La GMAO propose un planning très convivial, puissant et adapté à l'organisation et couple à la planification de la maintenance permet de :

- Assurer le suivi des interventions.
- Offre aussi le contrôle de la charge de travail des intervenants par rapport à leur temps de présence et d'absence
- Détecte les conflits des ressources disponibles ou non.
- Gérer les ressources à affecter à des différents travaux
- La création d'un bon de travail depuis le planning.

5.5 Les avantages de la planification de GMAO [21]

- ❖ Le planning de GMAO donne aux responsables une vision claire et instantanée de la charge de travail de leur service.

- ❖ Il affiche les travaux hebdomadaires planifiés et alloués aux différents techniciens ou sous-traitants.
- ❖ Il est conçu de manière à utiliser les données émises par la maintenance, en évitant tout recopiage et en automatisant un maximum de tâches.
- ❖ Traiter automatiquement les tâches préventives pour une période donnée.
- ❖ Insérer les tâches curatives de maintenance.
- ❖ Le planning offre pour chaque technicien le droit de consultations de ses tâches personnelles.
- ❖ En cas d'indisponibilité le planning ne permet pas l'affectation de tâche

6. Conclusion

Après avoir présenté le groupe SONELGAZ dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à sa filiale ELIT, lieu de notre stage de fin d'étude. Cela nous a permis de bien comprendre la problématique, de cerner nos objectifs et d'adopter une méthode de travail.

L'étude de l'existant nous a permis d'évaluer la performance du processus actuel, de comprendre les problèmes du système d'information à l'étude, de déterminer les véritables causes de ces problèmes, de pointer les exigences imposées au système et au processus.

Dans le chapitre suivant nous allons citer des études documentaires sur la planification et l'ordonnancement dédiée à la maintenance et indiquée les différents algorithmes utilisés pour la résolution des problèmes de planification de la maintenance ainsi leurs avantages et inconvénients puis les différents logiciels de la planification sur le marché.

**Chapitre 2 : PLANIFICATION ET
ORDONNANCEMENT**

1. Introduction

Dans de nombreux domaines de la vie professionnelle, on se trouve confronter au problème de la planification d'horaire de travail. Alors que les usines et les entreprises nécessitent une gestion doit être réponde à certaines espérances, tel que la maximisation de la production ou l'exploitation maximale des machines de production. Dans les services de maintenance, un certain nombre de personnels constitués d'intervenants doivent être attribués aux interventions prévues de la maintenance. Donc cela nécessite souvent une élaboration périodique et stratégique de planning de travail de personnel et les raisons de cette élaboration sont multiples. La planification du temps consiste à allouer des ressources données à des objets dans un intervalle de temps, de façon à satisfaire au mieux un ensemble d'objectifs tels que l'amélioration de la qualité de service de maintenance et l'amélioration des conditions de travail.

Les services de maintenance réalisent principalement deux types de tâches : les tâches de maintenance corrective et de maintenance préventive, L'affectation des tâches ainsi que l'organisation dans le temps de l'activité des ressources humaines du service de maintenance permet au service de maintenance de gagner en efficacité. Cette problématique, rencontrée par les services de maintenance, concerne l'affectation et l'ordonnement des tâches de maintenance aux ressources humaines.

Ce chapitre met en scène la planification dans un contexte de maintenance et sa complexité ainsi que l'ordonnement. Nous commençons ce chapitre par aborder les notions de base de la planification et nous présenterons les différentes formes des problèmes de planification plus particulièrement dans le domaine de maintenance, après en parle de la relation entre un ordonnancement et la planification. Puis cerner ce qu'est l'ordonnement ainsi que la complexité inhérente la spécificité de l'ordonnement en maintenance et des différentes approches de résolution connues.

2. La planification

La planification est une branche d'intelligence artificielle, elle est appliquée dans de nombreux problèmes tels que la maintenance, grâce à sa robustesse et efficacité de résoudre des problèmes complexes.

Dans cette partie on va présenter la notion de planification et pour mieux cerner ce qu'est la planification ainsi que les étapes de sa réalisation, nous commençons par donner les différentes définitions sous plusieurs formes.

2.1 Qu'est-ce que la Planification ?

Afin de rester pérenne dans l'économie globale moderne, toute entreprise doit organiser et planifier le travail de ses salariés. Cela passe par la détermination des capacités de tout un chacun, par le recensement des activités futures et des besoins en personnel. L'entreprise doit satisfaire ces derniers en affectant la bonne personne, à la bonne place au bon moment. Cela sous-entend la satisfaction simultanée des aspects [23].

- **Juridique** : la durée de travail et de repos sur différents horizons de temps (journalier, hebdomadaire, mensuel et annuel)
- **Social** : répartition équitable des tâches entre salariés, avec respect des indisponibilités
- **Technique** : les règlements des différents métiers de l'entreprise (prise en compte des compétences et des niveaux requis)
- **Economique** : Respect des besoins de l'entreprise à chaque moment de l'horizon de planification.

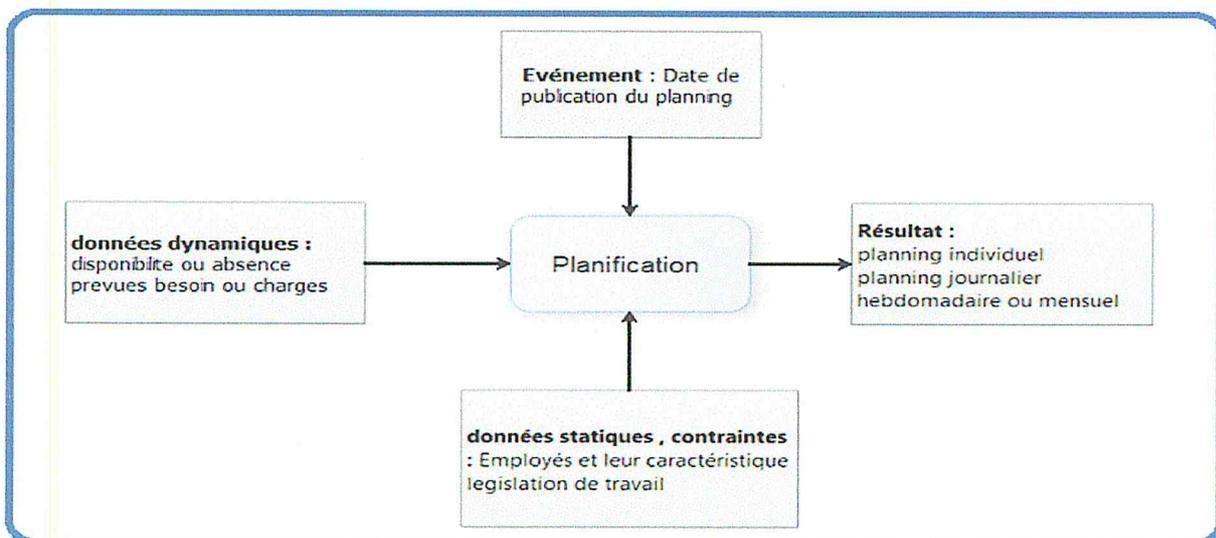


Figure 2.1 : Schéma illustrant le problème de la planification - [23].

2.1.1 Définition de la planification

Il existe plusieurs définitions de la planification qui nous permet de mieux comprendre le terme vrai de la planification parmi ces définitions.

Définition 1

«La **planification** est l'action de planifier, c'est-à-dire d'organiser dans le temps une succession d'actions ou d'évènements afin de réaliser un objectif particulier ou un projet.»

[24].

Définition 2

«La planification vise à affecter les ressources humaines pour chaque intervalle de temps sur un horizon donné, de telle sorte que les besoins par intervalle soient couverts et que les différentes contraintes soient satisfaites.» [25].

2.1.2 Qu'est-ce qu'un problème de planification?

Selon les développeurs de *'OptaPlanner'*¹ Un problème de planification a un objectif optimal, basé sur des ressources limitées sous des contraintes spécifiques. Les objectifs peuvent être un certain nombre de choses[26], telles que:

- Gains maximisés - l'objectif optimal résulte du profit le plus élevé possible.
- Minimisation de l'empreinte écologique - l'objectif optimal à le moins d'impact sur l'environnement.
- Satisfaction optimisée pour les employés ou les clients - l'objectif optimal priorise les Besoins d'Employés ou clients.

La capacité à atteindre ces objectifs repose sur le nombre de ressources disponibles, telles que:

- Le nombre de personnes.
- Quantité de temps.
- Budget.
- Les biens physiques, par exemple, les machines, les véhicules, les ordinateurs.

Les contraintes spécifiques liées à ces ressources doivent également être prises en compte, comme le nombre Des heures qu'une personne travaille, sa capacité à utiliser certaines machines, ou la compatibilité entre les morceaux d'équipement, Comme il est présenté dans la (figure 2.2) par la suite.

¹ **OptaPlanner** : OptaPlanner est un solveur de satisfaction de contraintes. Il optimise la planification des ressources de l'entreprise <https://www.optaplanner.org/localized/fr/>



Figure 2.2 : démonstration généralisée dans problème de planification [26].

❖ Un problème de planification est NP-Complete ou NP-Hard [26]

Tous les cas d'utilisation de planification sont probablement NP-complète ou plus difficiles. En termes simples, NP-complète veut dire:

- Il est facile de vérifier une solution donnée à un problème dans un délai raisonnable.
- Il n'y a pas de balle d'argent pour trouver la solution optimale d'un problème dans un délai raisonnable (*).

L'implication de cela est assez grave: résoudre votre problème est probablement plus difficile que prévu, Parce que les deux techniques communs ne suffiront pas:

- Un algorithme Brute Force (même une variante plus intelligente) prendra trop longtemps.
- Un algorithme rapide, par exemple dans l'emballage du bac, mettant les premiers éléments en premier, renverra une solution qui est loin d'être optimale.

2.2 Qu'est-ce qu'un bon Planning ?

Si un planning est facile à obtenir, un *bon* planning l'est beaucoup moins. S'agissant des personnes, le coût d'un planning n'est pas la somme des coûts horaires des employés. En effet, la planification est rendue beaucoup plus complexe avec les contraintes et souhaits individuels[25].

Compte tenu des différents points de vue au sein d'une même entreprise, des contraintes complexes et parfois contradictoires, créer un bon planning implique à la fois une négociation entre le planificateur et les différents employés concernés.

Et pour le *chef d'entreprise*, le bon planning permet de dimensionner la force de travail au plus juste et d'utiliser ses ressources au bon moment pour fournir le meilleur service au

meilleur coût. Et à la fin on peut dire qu'un bon planning résulte souvent des compromis des différents acteurs.

2.3 Types de plannings

Il y a deux types de plannings acyclique ou cyclique [23]:

Un planning est acyclique s'il est différent chaque semaine. Pour construire un planning mensuel automatiquement, on dispose de règles qui permettent d'enchaîner les vacances pour une même personne.

Le planning acyclique correspond à une pratique de gestion nécessitée par la demande de service rendu. Il est typiquement utilisé dans le cas d'un besoin non satisfait, ce serait une perte, le client pourrait se diriger vers un autre fournisseur.

On peut conclure de ça que la planification des horaires peut être cyclique, car on ne distingue que les heures effectuées et on confond les tâches spécifiques devant avoir lieu. Par contre, la planification des tâches ne peut être qu'acyclique, sauf cas exceptionnel où les tâches sont répétitives d'une semaine sur l'autre.

3. l'ordonnancement

L'ordonnancement est une activité que tout le monde pratique est bien souvent sans s'en rendre compte. Faire couler le café le matin pendant que l'on prend une douche est un exemple très simple mais qui met en évidence que l'organisation dans le temps des tâches permet de gagner du temps. Ce temps gagné peut, en revanche, s'avérer très précieux puisque pour une entreprise il peut représenter de la productivité et donc de l'argent. Nous présentons, dans ce chapitre, les notions d'ordonnancement et l'utilité de telles méthodes dans des problématiques de gestion d'activités de maintenance.

3.1 La définition de l'ordonnancement

L'ordonnancement a pour but d'aider au pilotage des systèmes et donc d'aider à prendre des décisions permettant d'atteindre un ou plusieurs objectifs.

De nombreuses définitions de l'ordonnancement sont proposées dans la littérature. Nous avons choisi de retenir la suivante :

« Le problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement,...) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité de ressources requises » [29].

La solution d'un problème d'ordonnancement présente pour chaque tâche du problème les dates du début de leur exécution et les ressources auxquelles elles seront affectées. Un problème d'ordonnancement peut être traité en fonction d'un ou plusieurs objectifs ou critères de performance [28].

3.2 Concepts de base du problème d'ordonnancement

Classiquement pour énoncer un problème d'ordonnancement il faut fixer a priori les caractéristiques des tâches, les liens entre elles qui représentent les contraintes, les caractéristiques des ressources et les critères d'optimisation.

3.2.1 Diagramme de Gantt

La façon la plus courante et la plus simple de représenter un ordonnancement est d'utiliser un diagramme de Gantt, c'est ce que nous allons décrire dans la partie suivante [28].

Le diagramme de Gantt est un outil qui a été proposé en 1917 et qui permet de représenter la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'ordonnancement. Pour un atelier, celui-ci sera composé de plusieurs lignes horizontales, représentant chacune un équipement ou une machine. L'axe horizontal représente le temps. Les tâches seront quant à elles représentées par des barres d'une longueur proportionnelle à leur durée et seront positionnées sur la ligne correspondant à l'équipement sur lequel elles se dérouleront. On observera donc sur le diagramme l'occupation des machines, l'enchaînement des tâches sur celles-ci ainsi que les dates de début et de fin de chaque opération.

3.2.2 Tâche

Une tâche (**Figure 2.3**) appelée aussi un job et qui représente une tâche de maintenance (ou une intervention), est une entité élémentaire localisée dans le temps, Une tâche i est une 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 $C_i = t_i + P_i$) 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 [30] [31].

La présentation de celles-ci est nécessaire pour la compréhension de la suite:

- p_i : durée opératoire de la tâche i (*processing time*)
- r_i : date de disponibilité de la tâche i (*release date*). Elle correspond à la date avant laquelle la tâche ne peut pas commencer,
- d_i : date d'achèvement souhaitée de la tâche i (*due date*),

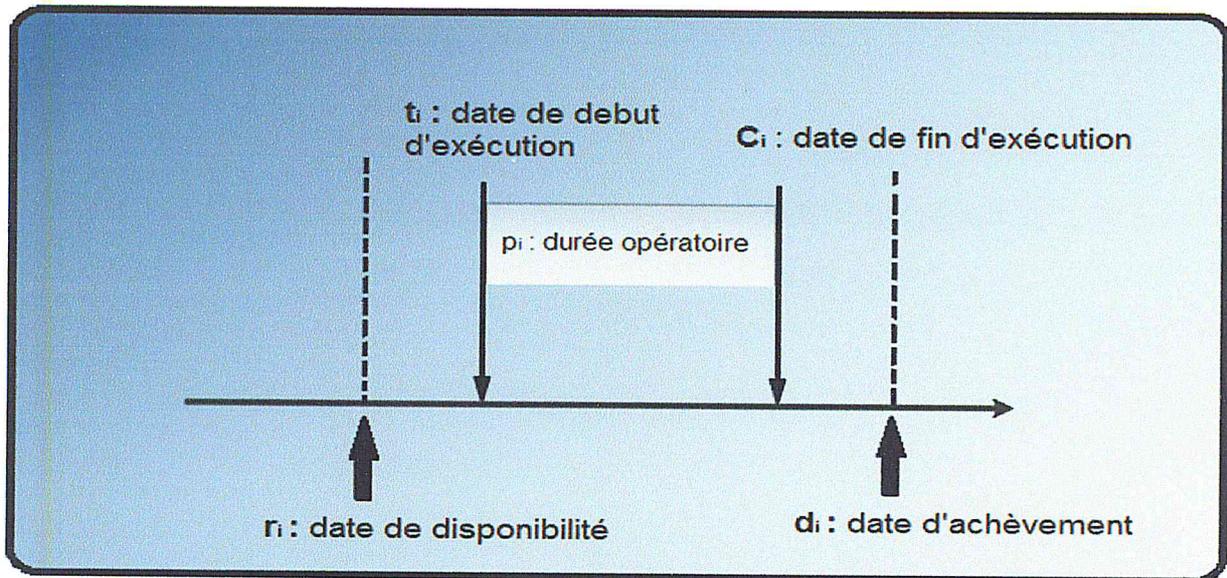


Figure 2.3 : caractéristique d'une tâche.

3.2.3 Ressource

Une ressource est un moyen technique ou humain utilisé pour réaliser une tâche. Lorsque la ressource n'est plus disponible après son affectation à une tâche, on parle alors de ressource consommable (argent, matières premières, etc.). Si au contraire, la ressource est encore disponible après chaque allocation à une tâche, on parle donc de ressource renouvelable (machines, personnel, etc.), cette dernière peut être disjonctive² ou cumulative³.

Qu'elle soit renouvelable ou consommable, la disponibilité d'une ressource peut varier au cours du temps. [32].

3.2.4 Contrainte

Une contrainte exprime des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre conjointement des variables représentant des relations reliant les tâches et les ressources.

Suivant la disponibilité des ressources et suivant l'évolution temporelle, plusieurs types de contraintes peuvent être distingués [33] :

⊗ Les contraintes de ressources :

Une contrainte de ressource représente le fait que les activités utilisent une certaine quantité de ressource, tout au long de leur exécution, ces contraintes sont essentiellement soit :

² Les ressources disjonctives : qui ne peuvent exécuter qu'une seule tâche à la fois.

³ Les ressources cumulatives : qui peuvent être utilisées par plusieurs tâches simultanément mais en nombre limité.

- Des contraintes d'utilisation des ressources qui expriment la nature, la quantité et les caractéristiques d'utilisation de ces ressources.
- Des contraintes de disponibilité des ressources qui déterminent les quantités des ressources disponibles au cours du temps.
- ⊗ **Les contraintes temporelles :** elles intègrent :
 - Les contraintes de temps allouées issues généralement d'impératifs de gestion. Elles sont relatives aux dates limitées des tâches (délais de livraison, disponibilités des approvisionnements) ou à la durée totale d'un projet ;
 - Les contraintes d'antériorité et plus généralement les contraintes de cohérence technologique qui décrivent le positionnement relatif de certaines tâches par rapport à d'autres ;
 - Les contraintes de calendrier liées au respect d'horaire de travail, etc.

3.2.5 Objectifs de l'ordonnancement (critères)

Le traitement de l'ordonnancement dans la littérature s'est tout d'abord orienté vers une optimisation monocritère. L'environnement manufacturier évoluant rapidement et la concurrence devenant de plus en plus acharnée, les objectifs des entreprises se sont diversifiés et le processus d'ordonnancement est devenu de plus en plus multicritère. Les critères que doit satisfaire un ordonnancement sont variés. D'une manière générale, on distingue plusieurs classes d'objectifs concernant un ordonnancement [29], [30]:

- les objectifs liés au temps : on trouve par exemple la minimisation du temps total d'exécution, du temps moyen d'achèvement, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison,
- les objectifs liés aux ressources : maximiser la charge d'une ressource ou minimiser le nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches sont des objectifs de ce type,
- les objectifs liés au coût : ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts de lancement, de production, de stockage, de transport, etc.
- les objectifs liés à une énergie ou un débit

3.3 Typologie des problèmes [34]

Les différents problèmes que l'on rencontre en ordonnancement dépendent principalement des machines et de l'enchaînement des opérations. Implicitement, le premier

type de problème rencontré est alors le problème à une machine. Pinedo illustre ces différents problèmes.

3.3.1 Les problèmes à une machine

Ce type de problème se caractérise par le fait que l'on ne dispose que d'une ressource pour traiter un ensemble de tâches (Figure 2.5). Cette ressource ne peut effectuer le traitement que d'une tâche à un instant donné. Chaque tâche n'est, quant à elle, composée que d'une opération. Ce type de problème consiste à déterminer la séquence optimale de passage de n tâches sur une machine afin d'obtenir des résultats au regard d'un critère donné.

Parmi les problèmes rencontrés dans un environnement à une machine, on peut citer les problèmes de minimisation du retard maximum, du nombre de tâches en retard, de la somme des retards,... Dans la pratique, les problèmes sont souvent plus compliqués et peuvent suivant le cas être simplifiés par une décomposition en problèmes à une machine. Dans ce cas, on essaiera de résoudre les problèmes par rapport à la machine la plus critique (présentant un goulet d'étranglement par exemple). Les résultats alors obtenus pourront servir de base à la construction d'ordonnements complets faisant intervenir toutes les machines.

Dans le cas où l'on souhaite rester dans un cadre multi-machine, il est possible de développer des heuristiques. En effet, dans de nombreux ateliers, on retrouve des problématiques faisant intervenir plusieurs machines. Celles-ci peuvent alors être agencées en parallèle.

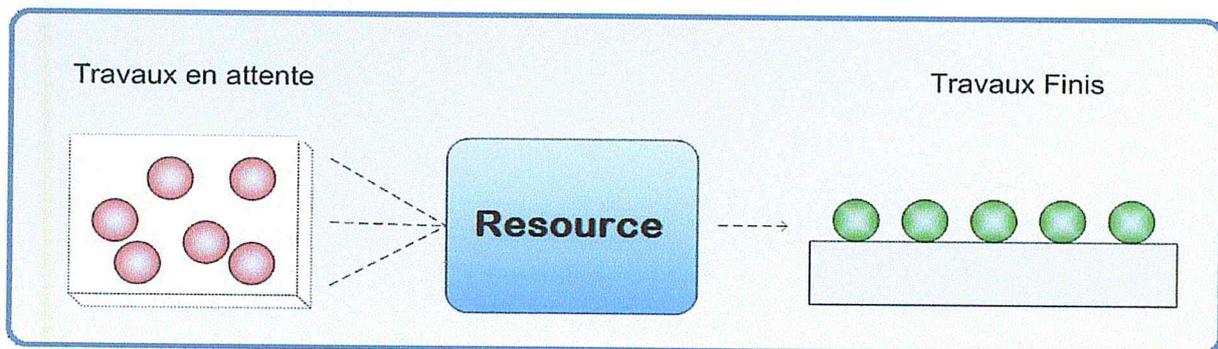


Figure 2.4 : problème d'ordonnement à une machine.

3.3.2 Les problèmes à machines parallèles

Ce type de problème consiste à ordonner un ensemble de tâches, sur un ensemble de ressources en parallèle (Figure 2.6). On distingue cependant trois sous-classes de problèmes.

- **Machines identiques (P)** : il y a m machines identiques en parallèle. Une tâche j requiert une opération unique qui peut être réalisée sur n'importe laquelle des m machines. Le temps d'exécution est, dans ce cas, le même quel que soit la machine.
- **Machines uniformes (Q)** : ce type de problème est toujours basé sur m machines en parallèle. Une tâche j requiert toujours une opération unique qui peut être réalisée sur

n'importe laquelle des m machines. Cependant, la durée p_{ij} de la tâche j sur la machine i sera différente suivant la machine employée. Les machines sont cependant identiques d'une tâche à une autre et ne dépendent pas de la tâche traitée.

- **Machines indépendantes (R)** : cet environnement est une généralisation du précédent. Il y a m machines différentes en parallèle. La durée p_{ij} de la tâche j sur la machine i sera différente suivant la machine employée. Les machines sont, de plus, différentes d'une tâche à une autre. Une machine pourra donc être la plus efficace pour le traitement d'une tâche donnée, cependant pour le traitement d'une autre tâche elle ne sera pas forcément la plus rapide.

Dans cette partie, les tâches ne sont composées que d'une opération. Or, dans la réalité, les tâches peuvent requérir une succession d'étapes de traitement sur différentes machines. On parle alors de problèmes d'atelier multi-machines.

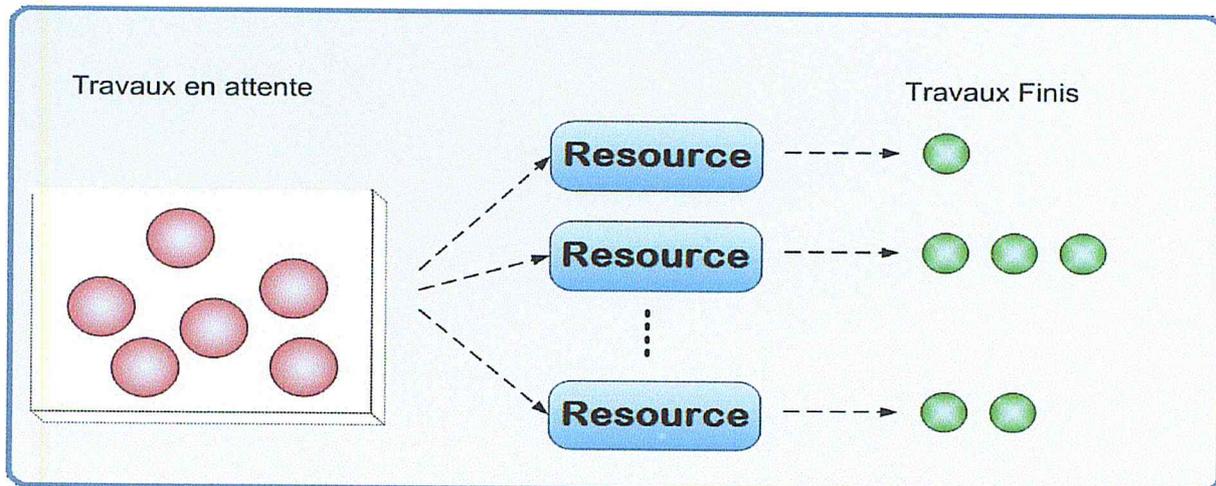


Figure 2.5 : problème d'ordonnancement à machines parallèles.

3.3.3 Les problèmes d'atelier multi-machines

Les ateliers considérés ici sont composés d'un ensemble de m machines. Dans ces ateliers doivent être réalisés des travaux (aussi appelé job). Chacun de ces travaux peut être décomposé en tâches. Ce sont les opérations réalisées successivement sur les différentes machines. Chaque machine a une spécialité, et ne peut donc, à elle seule, réaliser l'ensemble des opérations. En fonction des modes de passage sur les différentes machines, il sera possible d'identifier trois types d'ateliers :

- **Flow Shop (F)** : dans ce problème d'ordonnancement d'atelier qui correspond à un atelier à cheminement unique (Figure 2.7), n tâches utilisent les m machines qui le composent.

Chaque tâche passe tour à tour sur chaque machine dans le même ordre.

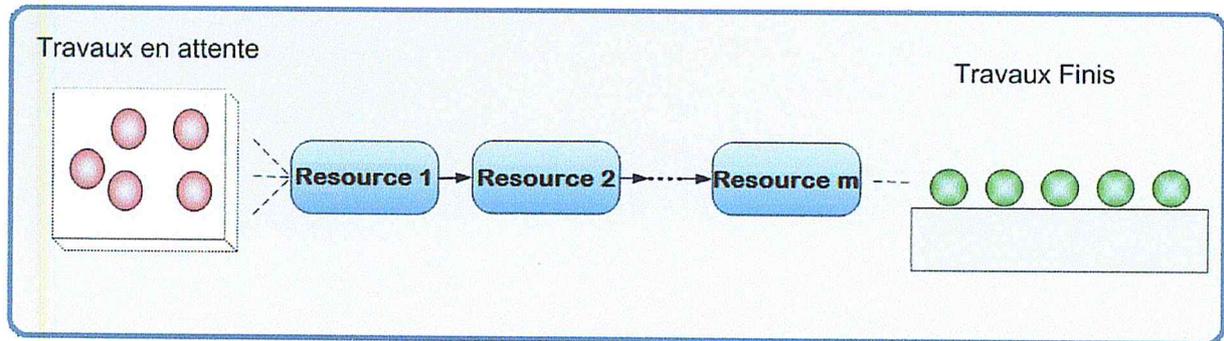


Figure 2.6 : problème d’ordonnancement d’atelier multi-machines (Flow Shop).

- **Job Shop (J)** : les n tâches utilisent les m machines qui composent l’atelier. Cependant, dans cet atelier, le cheminement est multiple et il est donc propre à chaque type de job (Figure 2.8).

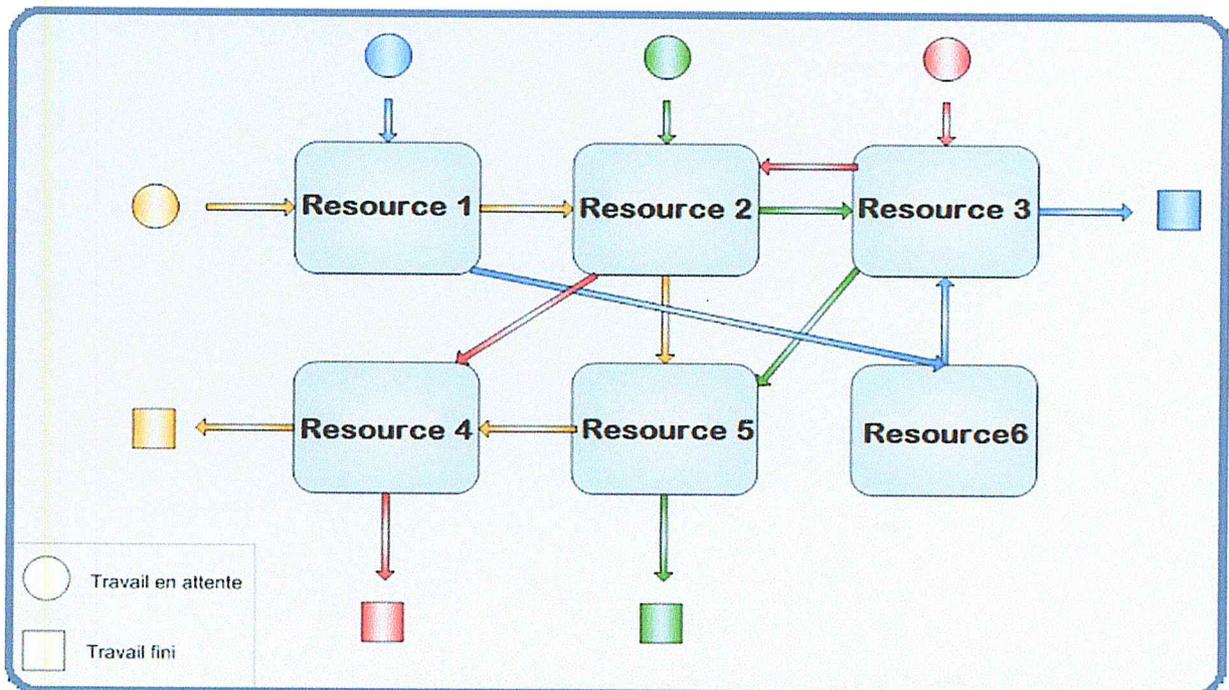


Figure 2.7 : problème d’ordonnancement d’atelier multi-machines (Job Shop).

- **Open Shop (O)** : ce type d’atelier est à cheminement libre. L’ordre des opérations n’est pas fixé, à priori.

3.4 Méthodes de résolution des problèmes d’ordonnancement

Le choix d’une méthode de résolution dépend toujours à une certaine problématique que l’on peut tenter de caractériser à travers quatre questions-clés : l’existence d’un modèle d’optimisation, l’exactitude des solutions, le mode de résolution (automatique /interactive) et le coût de la méthode [29].

Une méthode optimisant un critère donné est exacte si elle garantit que la solution obtenue est optimale. Sinon, si l'on cherche à obtenir une bonne solution, la méthode est dite heuristique (par abus de langage une méthode heuristique est dite heuristique). Si l'objectif consiste simplement à respecter un ensemble de contraintes, la méthode sera dite exacte ou "saine" dans le cas où effectivement toutes les contraintes sont respectées. En fin, une méthode est dite complète si, quel que soit le problème abordé, on peut prouver en un temps raisonnable que le problème admet ou non des solutions [30]. On peut distinguer deux grandes familles parmi les approches de résolution d'ordonnancement comme indique la (Figure 2.9) [28].

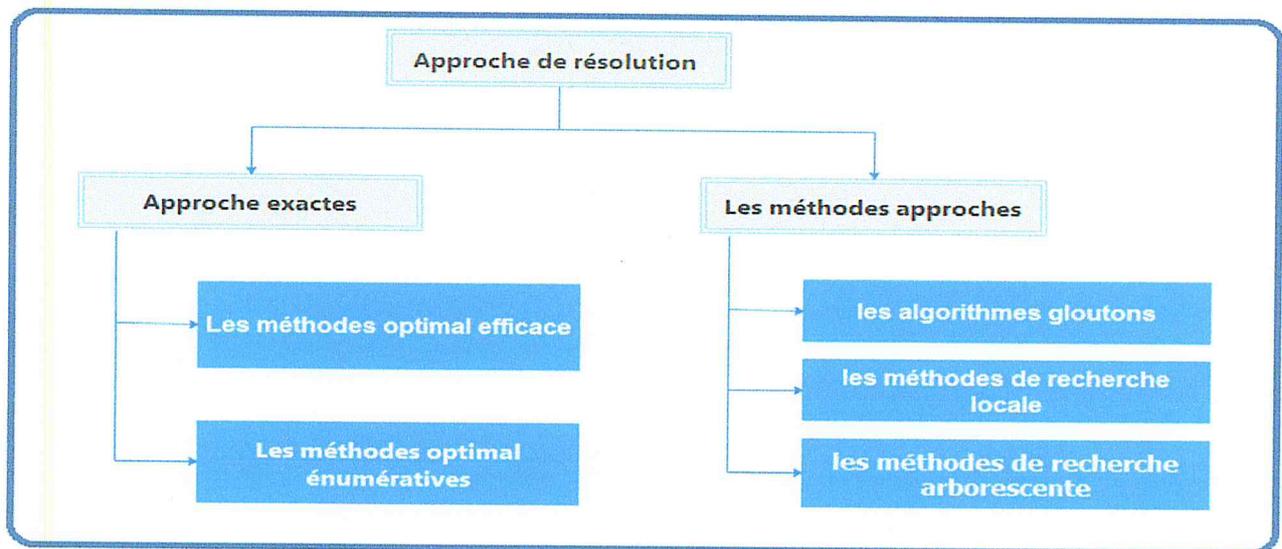


Figure 2.8 : Les différentes approches de résolution de problèmes d'ordonnancement [28].

3.4.1 Les approches exactes

Parmi les approches exactes, on peut distinguer les méthodes optimales efficaces et les méthodes énumératives.

⊙ les méthodes optimales efficaces :

Ces méthodes garantissent, pour un problème et un critère donné, la détermination d'une solution optimale en un temps polynomial (fonction du nombre de tâches et de ressources). Ces méthodes n'existent cependant que pour des classes réduites de problèmes d'ordonnancement. Parmi les plus connues, nous pouvons citer les règles suivantes :

- **SPT** (*Shortest Processing Time*) pour le problème (Minimising total complétion time)
 $1 || \sum C_j$ La règle SPT consiste à trier les tâches suivant leur durée de base de la tâche croissant.

- **WSPT** (*Weighted Shortest Processing Time*) qui est optimale pour le problème (Minimising total weighted completion time) $\| \sum w_j C_j$. Cette règle consiste à trier les tâches par rapport à leur (durée de base de la tâche pondération de la tâche) p_j/w_j croissant.
- Ainsi que la règle **EDD** (*Earliest Due Date*) pour le problème $1|d_j|L_{max}$. Dans cette règle, les tâches sont triées par leur d_j croissant.

⚙️ Les méthodes optimales énumératives

Parmi les méthodes de résolution énumérative, il est possible de distinguer les procédures par séparation et évaluation et les techniques de programmation mathématique telle que la programmation linéaire ou la programmation dynamique.

Les procédures par séparation et évaluation (*PSE ou branch and bound*) explorent par énumération l'ensemble des solutions [31]. Cependant, l'analyse des propriétés du problème permet d'éviter l'énumération des classes de mauvaises solutions. Un bon algorithme par séparation et évaluation, énumère donc seulement les solutions potentiellement intéressantes.

La programmation linéaire permet de modéliser les problèmes d'optimisation dans lesquels critères et contraintes sont des fonctions linéaires des variables. Les deux types d'algorithmes les plus importants pour traiter un programme linéaire à variables continues sont la méthode du simplexe et la méthode des points intérieurs. S'il est nécessaire d'utiliser des variables discrètes dans la modélisation du problème, on parle alors de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE). L'inconvénient majeur réside dans le nombre important de variables et de contraintes nécessaires. Par ailleurs, il n'existe pas d'algorithmes polynomiaux pour la résolution de tel problème [28].

La programmation dynamique, inventée par Bellmann [35], selon [31] permet de déduire la solution optimale d'un problème à partir d'une solution optimale d'un sous problème. Il est cependant nécessaire que le critère présente des propriétés particulières telles qu'une forme additive. Bien que la taille des problèmes que l'on peut aborder avec cette méthode soit limitée il est possible d'appliquer des résultats de dominance et de construire des algorithmes pseudo polynomiaux.

3.4.2 Méthodes approchées

Ces approches, aussi appelées heuristiques, permettent de fournir des solutions d'excellente qualité en un temps raisonnable. Elles sont généralement utilisées quand les méthodes optimales ne permettent pas de résoudre le problème en un temps acceptable. Ces méthodes sont généralement classées en trois types.

- ⊗ Les algorithmes gloutons permettent de construire progressivement une solution. Dans la construction de solutions, les décisions sont prises grâce à des règles de priorité simples (SPT, EDD, ...). Elles ne sont alors jamais remises en cause.
- ⊗ Les méthodes de recherche locale qui partent d'une solution initiale et explorent un voisinage pour améliorer la solution. Lors du déroulement de ces méthodes, il est parfois possible que des solutions de moins bonne qualité soient acceptées afin d'en obtenir de meilleures par la suite. Parmi ces méthodes, on peut citer la méthode taboue, le recuit simulé ou encore les algorithmes génétiques. La méthode taboue est une méthode itérative générale d'optimisation combinatoire qui se montre très performante sur un grand nombre de problèmes et particulièrement sur des problèmes d'ordonnancement, [28]. La méthode de recuit simulé, quant à elle, a été appliquée à des problèmes d'optimisation combinatoire pour la première fois par [36]. Partant d'une configuration aléatoire, elle simule numériquement une opération de recuit thermique. Les algorithmes génétiques quant à eux, sont des méthodes évolutives basées sur les principes de sélection et d'évolution naturelle [31].
- ⊗ Et les méthodes de recherche arborescente tronquée qui sont proches des PSE (présentées précédemment) à la différence que l'arbre de recherche est volontairement réduit, même si cela peut faire passer à côté de solutions optimales, dans le but de gagner du temps de calcul.

3.5 Ordonnancement de maintenance

Il est évident que l'ordonnancement des tâches de maintenance possède un caractère spécifique par rapport à l'ordonnancement des travaux de production. En effet, le problème majeur à prendre en compte est sa dépendance à la production. Une bonne synchronisation est indispensable entre les services production et maintenance afin de profiter des arrêts (formatage, chômage technique, vacances, etc.) pour réaliser des opérations de maintenance, ainsi que les compétences des ressources qui elle a une influence directe sur la durée des tâches et même le type des tâches de maintenance joue un rôle important

La spécificité de l'ordonnancement de la maintenance vient de :

3.5.1 L'ordonnancement et les ressources humaines et leur compétence

Si un grand nombre de travaux fait référence à l'ordonnancement des ressources humaines, peu d'études prennent en compte les compétences de celles-ci. Dans une première partie nous réaliserons un court état de l'art sur la prise en compte des ressources humaines. Dans un

second temps nous nous intéresserons aux approches ayant traité de la prise en compte des compétences de ces ressources. Au sein du service de maintenance, le personnel dispose de compétences différentes et de niveaux de compétence différents. La rapidité de traitement dépendra du choix du personnel qui sera affecté. Selon [37], l'intégration de l'ordonnancement.

Des tâches et des ressources humaines n'est pas un sujet très présent dans la littérature et, en ordonnancement classique, le personnel est peu pris en compte. Les quelques articles proposent principalement deux courants d'idées :

- **Les ordonnancements séquentiels** : Les ordonnancements séquentiels sont les ordonnancements réalisés en plusieurs étapes [38]. Par exemple dans la gestion des équipages des avions, il est fréquent que les tâches prioritaires soient affectées aux personnels les plus qualifiés puis les tâches courantes soient affectées aux employés au jour le jour.
- **Les ordonnancements conjoints** : Ces ordonnancements sont réalisés en une seule phase et prennent en compte les informations disponibles sur les employés lors de la réalisation du planning. Prennent en compte l'ordonnancement des tâches de production et comme information sur les travailleurs, la productivité relative des opérateurs [39].

Cependant, même si l'ordonnancement tient compte des compétences des travailleurs, les différents logiciels d'ordonnancement de la production ont posé comme hypothèse que les durées des tâches sont connues [37]. Ces approches sont généralement liées à la production et non à la gestion des activités de maintenance. L'application à la maintenance de méthode d'ordonnancement et d'affectation de tâche doit, pour être réaliste, tenir compte des compétences et niveaux de compétence des ressources (et donc de durées variables) qui vont les exécuter.

3.5.2 Ordonnancement statique et dynamique

En fonction de l'horizon sur lequel l'ordonnancement des tâches sera réalisé, les méthodologies employées seront différentes. L'ordonnancement pourra être réalisé de manière statique ou dynamique. Nous présenterons donc ici ces notions d'ordonnancement statique et dynamique [28].

Un algorithme d'ordonnancement est dit statique lorsque l'ordonnancement est prévisible avant la mise en fonctionnement du système, il faut pour cela connaître les tâches a priori. Étant donné que pour une approche statique, il faut connaître à priori l'ensemble des tâches et

leurs caractéristiques, cette approche ne peut s'appliquer que pour l'ordonnement de tâches connues pour une période ainsi que des tâches périodiques telles que les tâches de maintenance préventive. Cette approche est hautement prédictible mais n'est pas flexible : un changement sur une des tâches ou une de ses caractéristiques entraîne la reconstruction complète de l'ordonnement [28], [40].

Un algorithme d'ordonnement est dit dynamique lorsque l'ordonnement est créé au fur et à mesure de l'arrivée d'événements dont on peut ne rien connaître a priori. Un ordonnement statique est donc plus fiable et moins flexible qu'un ordonnement dynamique. La détection d'une panne entraîne une nouvelle tâche. En fonction de son importance, un nouvel ordonnement comprenant cette nouvelle tâche peut être réalisé directement. Cela correspond à l'insertion d'une tâche de maintenance corrective, dont on ne connaît les caractéristiques qu'après l'apparition, dans un ordonnement existant et connu.

L'insertion peut alors se faire par le biais d'un ordonnement statique. L'ensemble des tâches seront alors "désaffectées" et un nouvel ordonnement indépendant du précédent, et comprenant la nouvelle tâche, sera réalisé. Mais les remises en cause potentielles des affectations ainsi que le temps mis pour le calcul du nouvel ordonnement peuvent conduire à préférer une insertion dynamique [40].

3.5.4 Ordonnement et affectation des activités de maintenance

Le service de maintenance gère les interventions de maintenance pour lesquels des objectifs de productivité ont été préalablement définis ce service est composé de ressources humaines qui vont devoir traiter différents types de tâches de maintenance. Pour un horizon considéré, l'ensemble des tâches de maintenance préventive est connu, alors que les tâches de maintenance corrective ne sont connues que lorsque leur diagnostic est terminé. Chacune d'entre elles doit être prise en compte, affectée à une ressource et ordonnée pour être traitée à une date déterminée.

3.5.5 La variété et l'incertitude des travaux de maintenance [28]

La durée d'une intervention ne peut pas être connue tant que l'on n'a pas examiné l'équipement (diagnostic pour les interventions de maintenance corrective). L'évaluation théorique du temps d'intervention peut différer de la durée réelle de cette dernière. En effet, lors du déroulement de l'intervention, des imprévus (telle une défaillance identifiée durant l'intervention et qu'il faut réparer) peuvent allonger, de manière significative, la durée initiale de cette dernière.

3.5.6 La date de réalisation [31]

Un ordre de travail de maintenance préventive peut être différée mais également être avancée par rapport à la date optimale ou à l'intervalle de tolérance de ce dernier. Si à l'arrivée d'une intervention de maintenance corrective, toutes les ressources de maintenance sont engagées pour l'intervention de maintenance préventive, un calcul de priorité intervient pour décider de la place d'insertion de l'ordre du travail dans le planning de maintenance. Ce calcul tient compte de la marge permise par l'intervalle de tolérance, des coûts de maintenance générés, des risques encourus sur le plan de la sécurité, de la possibilité de regroupement des interventions par familles ou encore de la volonté de perturber le moins possible le plan de maintenance.

4 La planification et l'ordonnancement

Dans cette partie, nous allons approfondir les notions d'ordonnancement et de planification. Alors que ces termes sont souvent assimilés ou confondus, il existe des différences bien réelles. Celles-ci découlent principalement de l'horizon sur lequel nous travaillons. Nous avons mis donc en avant, dans une première partie, les points de différence, et dans cette partie nous allons cerner les différences existant entre l'ordonnancement et la planification. Puis nous montrons la relation entre les deux, et les points communs.

4.1 La différence entre la planification et l'ordonnancement

L'ordonnancement et la planification sont deux termes indispensables et très proches dans le sens, la différence entre planification et ordonnancement est l'utilisation des ressources nécessaires. L'ordonnancement prend donc en compte les contraintes du projet, cela induit la notion d'optimisation, la planification consiste à établir une organisation selon un plan général. Alors que l'ordonnancement s'attache à disposer et à agencer les informations [27].

Tandis que la planification consiste à affecter des ressources (finies ou infinies) à des intervalles de temps donné, l'ordonnancement, quant à lui, consiste à affecter des tâches identifiées à des ressources déterminées, sur des périodes de temps réservées [28].

La planification est une approche pour identifier comment procéder dans l'exécution des tâches ou du projet ou un événement, en fonction de nos connaissances ou de notre expérience. Alors que L'ordonnancement est une approche pour évaluer ou vérifier si notre

approche planifiée est dans le chemin correct ou pas à travers des outils de l'ordonnancement [27].

4.2 La relation entre la planification et l'ordonnancement

La planification est la première et première étape dans le processus de gestion et identifie les stratégies de l'organisation, soit ses plans stratégiques, techniques ou opérationnels. Il identifie les objectifs organisationnels et les étapes doivent être prises pour atteindre ces objectifs. Dans d'autres domaines, la planification est la ligne directrice de l'organisation.

L'ordonnancement est lié à la planification car elle prend les étapes des plans et affecte les échelles de temps à ces étapes devraient être effectuées selon les plans adoptés La planification est la procédure consistant à identifier toutes les activités nécessaires pour compléter le projet tandis que l'ordonnancement consiste à déterminer l'ordre séquentiel des activités, à affecter la durée prévue et à déterminer les dates de début et de fin de chaque activité. La planification est une condition préalable à l'ordonnancement car il n'y a aucun moyen de déterminer la séquence jusqu'à ce qu'elles soient définies. Mais elles deviennent synonymes car elles sont interprétées de manière interactive [27]

Selon [28] l'ordonnancement et une phase de planification, la seule différence se repose sur la notion de l'horizon qu'il convient alors de préciser.

Et on peut déduire de tout ce qui est cité ci-dessus que l'ordonnancement nous permet d'avoir un planning. En respectant des critères et des contraintes d'affectation des ressources à des tâches on va bien préciser les spécificités d'ordonnancement en maintenance par la suite

5. Les objectifs de l'ordonnancement de la maintenance

Les objectifs de l'ordonnancement de la maintenance peuvent être décomposés de manière hiérarchique en distinguant les objectifs internes à la maintenance et des objectifs externes comme indique la (Figure 2.10). Les objectifs internes concernent le fonctionnement propre du service de maintenance et les objectifs externes sont imposés par d'autres services (principalement la production). Ils peuvent se retrouver en conflit de par leur nature. Leur satisfaction impose généralement aux ressources de maintenance d'intervenir sur les machines à des dates bien précises qui ne correspondent pas nécessairement à une optimisation de leur utilisation. [18].

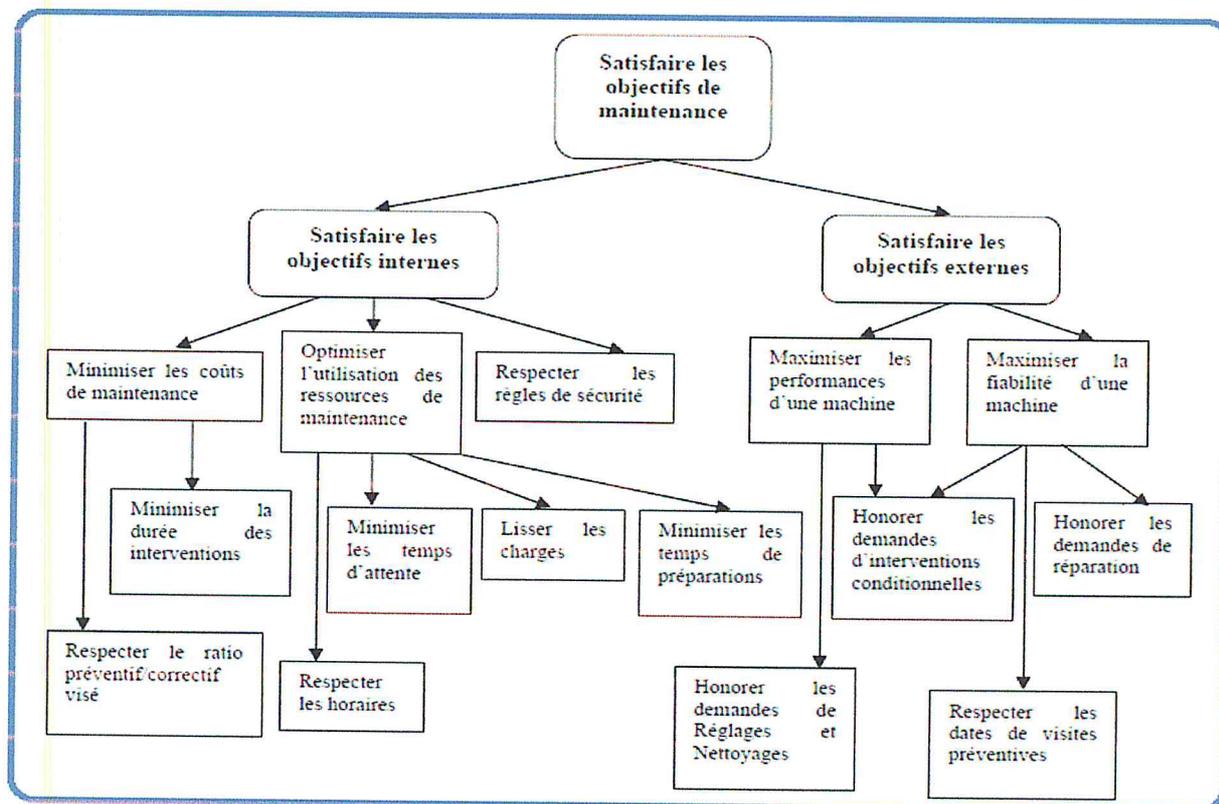


Figure 2.9 : Structure hiérarchique des objectifs de l'ordonnancement de la maintenance [18]

Les objectifs internes sont relatifs

- ⊗ aux coûts de maintenance (respect du ratio préventif/correctif déterminé lors de la définition de la stratégie de maintenance ou encore la minimisation de la durée des interventions),
- ⊗ à l'optimisation de l'utilisation des ressources de maintenance (tels que le respect des horaires des équipes, la minimisation des temps d'attente, le lissage des charges ou le regroupement des tâches de préparation afin d'en optimiser la durée),
- ⊗ aux règles de sécurité (protection des intervenants pour les travaux dangereux).

Quant aux objectifs externes, ils sont relatifs

- ⊗ aux performances des machines (honorer les demandes de réglages et de nettoyage et respecter les demandes d'interventions conditionnelles),
- ⊗ à la fiabilité d'une machine (honorer les demandes de réparation et d'interventions conditionnelles, respecter les dates d'interventions préventives).

6 Etat de l'art : approches et algorithmes dédiés à la planification en maintenance

6.1 Approche heuristique d'un ordonnancement des tâches de la maintenance [28]

Les services de maintenance interviennent pour remettre les équipements en état de bon fonctionnement. La réduction de l'indisponibilité des équipements a un poids très important pour l'amélioration de la compétitivité des entreprises. FRANCOIS MARMIER est intéressé par un problème d'affectation et d'ordonnancement qui a pris en compte les compétences des ressources humaines. Cette problématique se retrouve dans d'autres contextes que celui de la maintenance et touche plus généralement l'affectation et l'ordonnancement de l'activité d'un service.

L'approche proposée par MARMIER est une approche de résolution dynamique pour un problème monocritère d'affectation et d'ordonnancement des activités de maintenance. Il a pris une démarche d'une extension de l'approche dynamique monocritère au multicritère. Ces approches font appel à une méthode d'amélioration par modification partielle de l'ordonnancement, inspirée de la méthode du kangourou.

Principes de fonctionnement de l'approche proposée par MARMIER :

L'algorithme développé est schématisé par la (figure 2.11) ci-dessous :

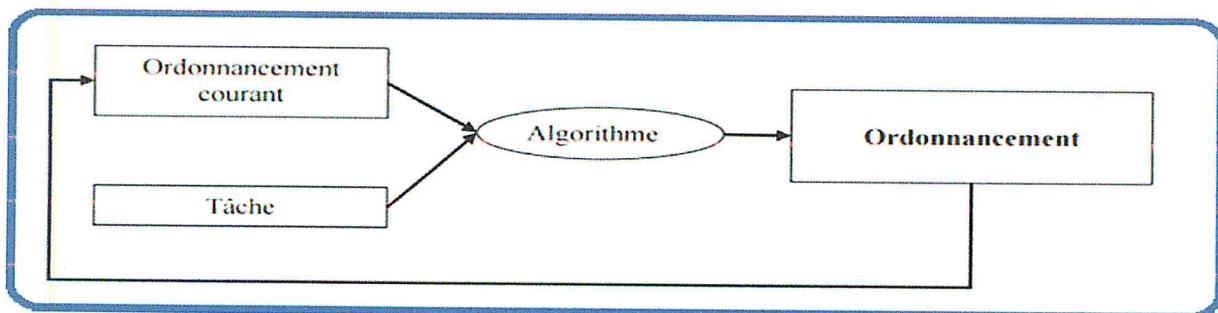


Figure 2.10: Illustration de l'approche proposée par MARMIER

❖ Description de l'approche proposée par MARMIER

Le problème abordé par MARMIER est un problème d'ordonnancement d'activités de maintenance. Les ressources du service de maintenance réalisent des tâches de maintenance préventives et correctives. Les ressources ont des niveaux de compétence différents. Le choix de la ressource pour le traitement d'une tâche influence sa durée. C'est à dire chaque ressource dispose d'un niveau de qualification pour chacune des compétences requises par les tâches. La

compétence de la ressource humaine doit être supérieure ou égale à la compétence requise par la tâche cela offre une rapidité de traitement de la tâche. Du retard dans le traitement des tâches impliquant des pénalités proportionnelles à celui-ci, MARMIER est pris la somme pondérée des retards comme un critère principal.

Différents critères tels que, le nombre de tâches en retard, l'équilibrage de la charge entre les ressources humaines et le nombre de modifications effectuées pour insérer une tâche dans un ordonnancement permettent d'évaluer une solution.

❖ Ordonnement Statique (Courant)

Le service de maintenance est le plus souvent composé d'un ensemble de ressources. Le problème est composé de deux sous problèmes consistant à affecter et ordonner les tâches préventives, d'une part, et les tâches correctives, d'autre part. Les ressources sur lesquelles les tâches sont affectées et ordonnées sont différentes.

Pour résoudre ce problème d'ordonnement et d'affectation. MARMIER a proposé dans un premier temps, une approche d'ordonnement statique. Celle-ci affecte et ordonne un ensemble de tâches connues sur un ensemble de ressources. Il a utilisé un algorithme ECT (Earliest Completion Time) et qu'il s'agit d'un algorithme de liste (Tâches rangées par ordre décroissant de leur durée maximale $P_{i,j}$)

Et pour répartir la charge de travail entre les ressources humaines, MARMIER est définie une borne inférieure, afin de pouvoir affecter le maximum de tâches à la meilleure ressource correspondante.

Il a proposé deux heuristiques pour la résolution du problème d'ordonnement statique : l'heuristique LPT-H-EDD et l'heuristique WSPT-H-EDD. Ces approches sont décomposées en deux phases. La première consiste à affecter les tâches aux ressources en faisant abstraction de leurs contraintes de disponibilité. Puis, dans une deuxième phase, les tâches sont organisées dans le temps en prenant en compte cette fois, les différentes contraintes.

❖ L'insertion dynamique

La notion de dynamique signifie que l'ordonnement peut être modifié. Pour chaque tâche j l'algorithme aura donc la possibilité de faire varier sa date de début entre les dates de début au plus tôt et au plus tard.

Les dates de début au plus tôt et au plus tard correspondent aux extrémités d'une période dans laquelle le début du traitement de la tâche peut être planifié afin qu'elle ne se termine pas



en retard, qu'elle ne viole pas la contrainte de sa date de disponibilité mais aussi qu'elle ne provoque pas de retard sur un successeur.

L'insertion dynamique de tâches s'effectue, dans l'ordonnancement d'une ressource i dans une fenêtre d'insertion de l'ordonnancement courant comme suit :

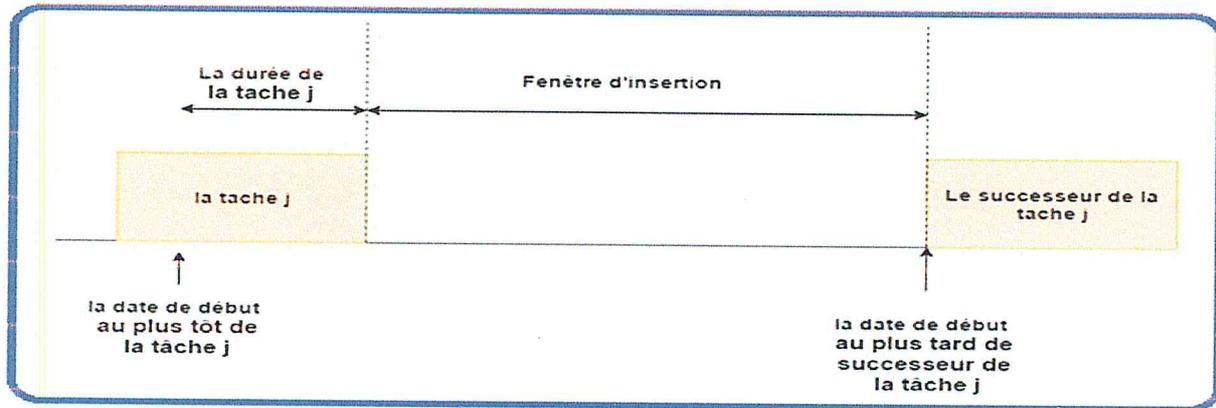


Figure 2.11: fenêtre d'insertion

MARMIER a proposé donc une approche permettant d'insérer dynamiquement les nouvelles tâches dans un ordonnancement courant. Il a proposé aussi une approche d'amélioration par modification partielle de l'ordonnancement, inspirée de la méthode du kangourou.

Cette approche permet de proposer des solutions à des problèmes de grande taille telle que 8 ressources et 150 tâches.

❖ **Avantage de l'approche proposée par MARMIER**

Elle présente plusieurs avantages citent quelqu'un :

- ⊗ Elle offre la possibilité d'atteindre plusieurs objectifs donc elle est adaptée aux problèmes monocritères et multicritères.
- ⊗ Les critères étudiés dans l'approche sont très importants et spécifiques à la maintenance.
- ⊗ l'auteur a étudié plusieurs problèmes accordent à l'ordonnancement des tâches de maintenance et il a proposé pour chaque problème donné une solution efficace pour le résoudre.
- ⊗ MARMIER a proposé une solution généralisé puisque elle traite les problèmes de l'ordonnancement des tâches de maintenance d'une manière générale et non pas un domaine spécifique.

❖ **Les inconvénients :**

Il présente plusieurs inconvénients comme :

- ⚙️ L'approche propose des algorithmes difficiles à implémenter.
- ⚙️ Les méthodes utilisées sont classiques.

6.2 Approche Meta-heuristique Algorithm GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures) [21]

❖ Principe de GRASP

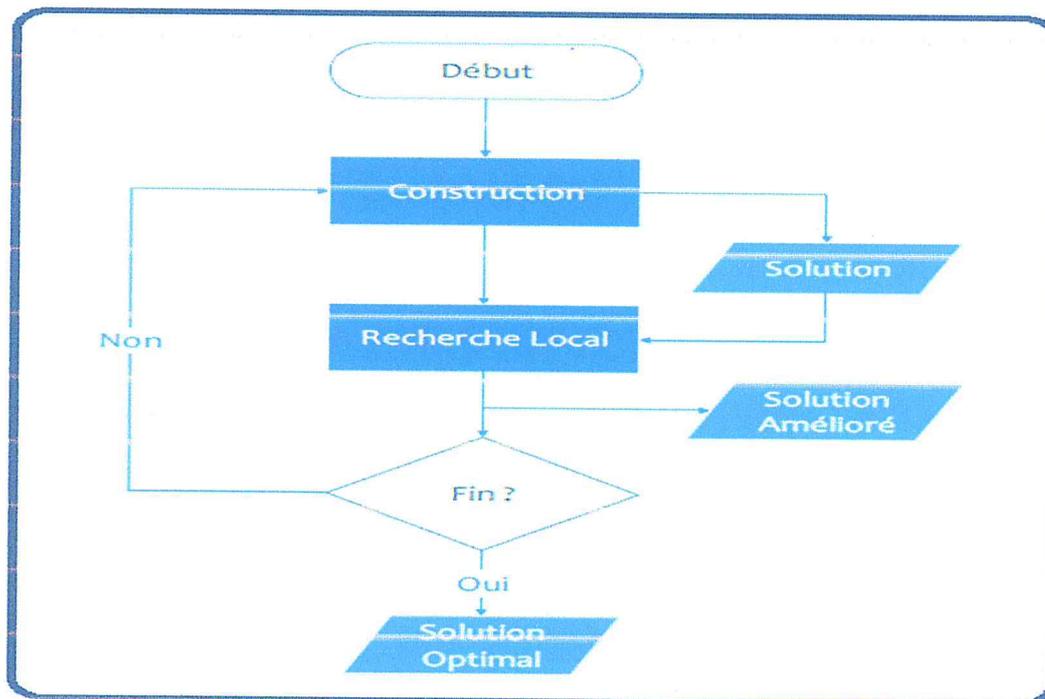


Figure 2.12 : Organigramme générale de GRASP

Proposer la première fois dans [41], le méta-heuristique **GRASP** se déroule en deux étapes à chaque itération :

- La construction d'une solution initiale avec une fonction gloutonne aléatoire *adaptive*. La fonction gloutonne prend en compte les choix font précédemment pour déterminer la prochaine solution.
- L'utilisation d'une procédure de recherche locale pour l'améliorer.

La meilleure solution sur toutes les itérations sera retenue comme solution finale. Bien évidemment, on peut tomber dans un optimum local dans une itération, mais le, redémarrage aléatoire permet d'explorer l'espace de solutions pour en trouver une qui soit proche de l'optimum global.

❖ Adaptation à la planification de maintenance

L'algorithme GRASP appartient à la famille des méthodes méta-heuristiques, il permet d'obtenir une solution à un problème d'optimisation combinatoire, et cela par l'application

d'opérations de construction et de la recherche locale pour plusieurs itérations .Il est adopté aussi au problème de planification, prenant par exemple le problème des techniciens et d'interventions pour les télécommunications (TIST pour Techniciens and Interventions Scheduling Problème for Télécommunications) comprend la planification d'interventions et l'affectation d'équipes de techniciens à ces interventions. Alors que chaque intervention est caractérisée, entre autres, par une priorité. L'objectif de ce problème est de séquencer les interventions en tenant compte de leur priorité tout en satisfaisant un ensemble de contraintes comme l'ordre d'exécution de certaines interventions et le nombre minimum de techniciens d'un niveau de compétence donné à affecter à chaque intervention. La résolution de ce problème est centrée sur un algorithme GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) caractérisé par une mise à jour dynamique des critères de choix des interventions. Et pour évaluer la qualité des résultats obtenus par cette approche heuristique, nous présentons également un calcul de bornes inférieures.

❖ **Avantage de cette approche**

Elle présente plusieurs avantages citent quelqu'un :

- ⊗ Couvre ET satisfait tous les contraintes et le critère plus important de la planification de la maintenance
- ⊗ approche moderne.
- ⊗ Les critères étudiés dans l'approche sont très importants et spécifiques à la maintenance.

❖ **Les inconvénients :**

Il présente plusieurs inconvénients comme :

- ⊗ utilise plus qu'un algorithme GRASP plus des heuristiques pour construire la population initiale.
- ⊗ ne traite pas insertion dynamique des tâches de maintenance
- ⊗ difficile à implémenter.

6.3 Approche Aide à la décision d'ordonnement dans le cadre des travaux de la maintenance [42]

Les systèmes d'aide à la décision sont apparus au cours des années soixante. Ce travail consacré aux concepts des systèmes Interactifs d'Aide à la décision (SIAD).

Les SIAD sont des systèmes d'information interactive, flexible et adaptable, développés spécialement pour aider à la solution de problèmes de management peu ou non structurés. Ils

utilisent des données, fournissent une interface simple et autorisent le manipulateur à exprimer ses propres opinions.

❖ Pour quoi le SIAD

- ⊗ les facteurs de préférence, le jugement, l'intuition, l'expérience du décideur sont essentiels,
- ⊗ la recherche de la solution implique un mélange de :
 - recherche d'informations,
 - manipulation de données,
 - calculs,
 - formalisation ou structuration du problème (modélisation).
- ⊗ la séquence des opérations précédentes n'est pas connue à l'avance car :
 - elle peut dépendre des données,
 - elle est infléchiée par l'obtention des résultats intermédiaires.
- ⊗ les critères de décision sont nombreux, conflictuels en général et dépendent des utilisateurs.
- ⊗ les données ne sont pas toujours connues à l'avance.
- ⊗ l'obtention d'une solution satisfaisante doit être réalisée en temps limité.

❖ Principe de l'approche

Dans ce travail, ils sont intéressés au développement d'un outil pour ordonnancer et affecter les tâches de la maintenance aux différentes équipes, d'équilibrer la charge et de minimiser les conflits entre les différentes équipes (équipe sur site et équipe volante pour la maintenance préventive systématique et les deux équipes de la maintenance conditionnelle). La démarche de résolution du problème d'ordonnancement proposée, comporte deux phases :

- Résolution du problème statique pour l'ordonnancement prévisionnel des tâches connues à priori au début de l'ordonnancement pour construire une séquence admissible des tâches qui servira de base pour l'ordonnancement en temps réel,
- Résolution du problème dynamique pour l'ordonnancement en temps réel des tâches aléatoire, l'approche proposée permet de définir une position d'insertion dès l'arrivée de la tâche aléatoire, dans le cas où elle est acceptée pour l'exécution par la ressource disponible.

Les résultats obtenus pour les tâches de la maintenance préventives systématiques sont acceptables, par contre, pour les tâches de la maintenance conditionnelle, on remarque que le nombre de tâches rejetées est important.

❖ **Avantage**

- ⚙ Elle offre la possibilité d'atteindre plusieurs objectifs donc elle est adaptée aux problèmes monocritères et multicritères.
- ⚙ Les critères étudiés dans l'approche sont très importants et spécifiques à la maintenance.
- ⚙ traite insertion dynamique des tâches de maintenance.

❖ **Inconvénient**

- ⚙ L'outil développement et un peu difficile à gérer.
- ⚙ le nombre des tâches de la maintenance conditionnelle rejetée est important.

7. Moteur de planification

7.1 Définition

Un moteur de planification est un outil qui permet d'affecter des ressources à un ensemble des tâches, ordonnancer et planifier ces derniers d'une manière automatique afin de créer un planning optimal qui satisfait les objectifs en respectant les différentes contraintes.

7.2 Les participants de moteurs de planification

➤ **Niveaux utilisation**

- **User** : il est intéressé par les résultats de moteur de planification (chef d'atelier par exemple).

➤ **Niveaux conceptuels**

- **Ordinateur** : c'est la machine sur laquelle le logiciel fonctionne (exécuter).
- **Concepteur** : qui anticipe le fonctionnement de moteur de planification et le coder dans un programme

7.3 Les qualités de moteurs de planifications

- **Visibilité** : Elle permet à l'utilisateur de voir ce qu'il peut faire avec l'interface et de voir son propre travail.
- **Intuitive** : Le fonctionnement de moteur doit être logique et répond à l'ensemble des besoins d'une manière intelligente.

- **Cohérence (consistance)** : Prévisible quel que soit le contexte.
- **Contrôle** : assurer les résultats et affiche leurs performances.
- **Intégrité** : préserve des données et des résultats acquis par l'utilisateur.
- **Réflexion** : lors de l'insertion des tâches correctives non imprévues.
- **Optimisation** : contrôle optimal et une bonne gestion de ressources.
- **Automaticité** : la décision doit se prendre de manière automatique dans la plupart des cas.

7.4 Méthode de fonctionnement

Cet outil aide le client dans le cas de problématiques complexes qui demandent en permanence des réajustements dus à un environnement fluctuant aux multiples contraintes. Les mathématiciens parlent d' « optimisation combinatoire pour des problèmes NP complets ». Le moteur de planification prend en compte de toutes vos contraintes légales ou opérationnelles. Votre planning est optimisé en fonction des objectifs multiples que vous aurez assignés à l'optimiseur, généralement le moteur de planification s'appuie sur des algorithmes de type méta heuristique ou heuristique intelligent ces algorithmes ont la particularité d'être efficaces en quelques secondes, pour permettre aux utilisateurs, qui font face à des contraintes opérationnelles fortes, d'obtenir très rapidement le meilleur planning possible.

On peut réduire les étapes de la planification dans les trois grands titres :

Donne d'entrer

- Le planificateur sélectionne les interventions à planifier,
- Il identifie la liste des techniciens ainsi que la plage de dates de planification souhaitée,
- Il donne ses contraintes au moteur (autorisation des déplacer des interventions déjà planifiées, de réattribuer une intervention, de dépasser l'amplitude horaire de la journée du techniciens,...)

Traitement

- Le moteur minimise les temps de trajets et équilibre la charge des plannings,
- Réactivité dans la prise de décision, anticipation des besoins

Donnée de sortie

En fonction du résultat :

Rondie un planning Optimisation des ressources et Amélioration de la qualité de service le planificateur valide la solution de manière globale ou technicien par technicien ou modifie les contraintes et relance un nouveau calcul.

La (figure 2.13) représente un résumé des différentes étapes de méthode de fonctionnement d'un moteur de planification.

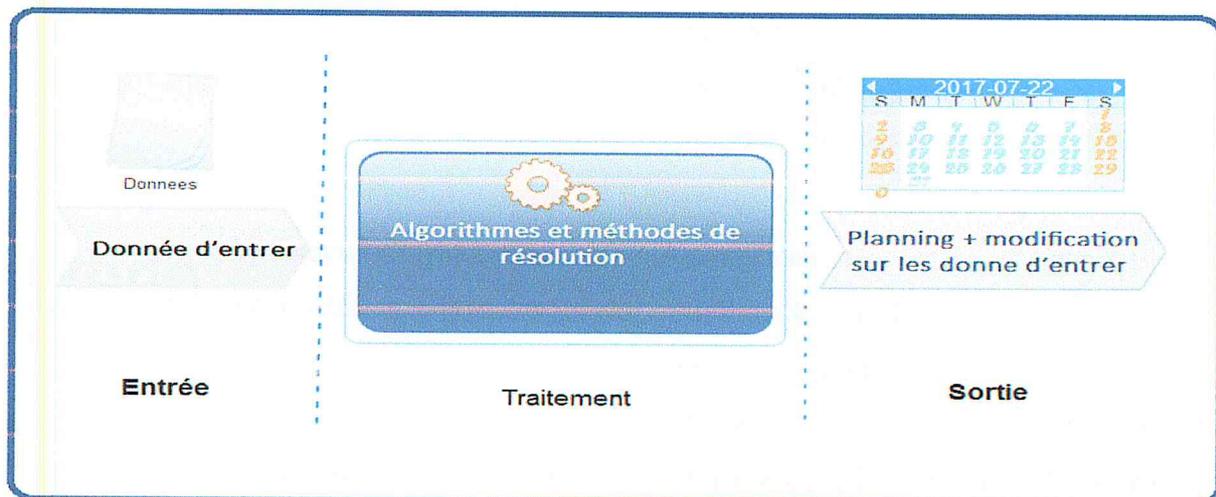


Figure 2.13 : méthode de fonctionnement

8 Logiciel de planification existent dans le marche

Pour tous les différents corps de métier, il est essentiel de garder une bonne **gestion des plannings** de ses équipes. Une bonne gestion est synonyme d'optimisation et de maîtrise du temps de travail.

Nous partons du principe que si une entreprise veut améliorer ses résultats, elle doit parvenir à faciliter la planification de ses équipes. Et pour cela et dans ce qui suit, sera présentée une liste comparative non exhaustive des logicielles planifications.

	<p>PlanningPME peut être utilisé pour répondre à différents types de besoin: planning des heures, gestion de projets, planning des formations, occupation des salles, planning des techniciens</p>	<p>environnement</p> <p>- Pilotez votre planning à tout instant</p>	
	<p>PlannerOne logiciel de planification, proposant des fonctionnalités graphiques et collaboratives avancées, grâce à deux modules : Production Scheduler pour améliorer votre performance industrielle et l'agilité de votre production, et Resource Planner pour booster l'efficacité de vos ressources avec la planification interactive.</p>	<p>- un ordonnancement à capacité finie sous contraintes</p> <p>- une analyse détaillée du planning</p> <p>- une optimisation des temps de réglages</p> <p>- une affectation multi-projets et réservation des ressources</p> <p>- une simulation dans un planning de travail</p>	<p>Payant :</p> <p>A partir de 500€par mois</p>
	<p>est un logiciel libre de gestion et de suivi de maintenance ou gestion de SAV et de services, multi professions, développé en PHP/MySQL, placé sous la licence GPL</p>	<p>- Il est proche d'une GMAO</p> <p>- Gratuit</p> <p>- Simple à intégrer</p>	<p>Gratuit</p>
	<p>OptaPlanner est un solveur de satisfaction de contraintes. Il optimise les cas d'utilisation de la planification des ressources</p>	<p>- est un logiciel open source.</p> <p>- OptaPlanner se combine facilement avec</p>	<p>Gratuit</p>

d'affaires, OptaPlanner est un moteur de planification léger, intégrable. Il permet aux programmeurs Java TM normaux pour résoudre des problèmes d'optimisation efficace	d'autres technologies java et JEE
OptaPlanner est un logiciel open source, sous licence Apache Software.	- OptaPlanner contient plusieurs algorithmes soit heuristique ou méta heuristique
	- facile à intégrer dans votre application grâce à ces jars fichier

9. Conclusion

Nous avons présenté dans la première partie de ce chapitre, les notions de base de la planification et l'ordonnancement et les problèmes d'ordonnancement. Notre problème est composé de deux sous problèmes consistant à affecter et ordonnancer les tâches préventives, d'une part, et les tâches correctives, d'autre part. Les ressources sur lesquelles les tâches sont affectées et ordonnancées ont des compétences différentes.

Dans la seconde partie, nous avons présenté un état de l'art sur les différents travaux réalisés dans ce domaine, dont le but d'identifier des problèmes d'ordonnancement de référence desquels dérive notre cas.

L'objectif de ce chapitre était de bien cerner notre problème, ordonnancer des tâches prévisionnelles et d'insérer une ou plusieurs tâches aléatoires dans un ordonnancement existant, sous la contrainte

**Chapitre 3 : ETUDE CONCEPTUELLE ET SOLUTION
PROPOSEE**

1. Introduction

Le service de maintenance gère les interventions de maintenance sur des équipements pour lesquels des objectifs de productivité ont été préalablement définis. Ceux-ci se traduisent le plus souvent par des engagements sur des niveaux de disponibilité pour ces équipements. Ce service est composé de ressources humaines qui vont traiter les différents types de tâches de maintenance et pour un horizon considéré, l'ensemble des tâches de maintenance préventive est connu, alors que les tâches de maintenance corrective ne sont connues que lorsque leur diagnostic est terminé. Pour cela chacune d'entre elles doit être prise en compte puis affectée à une ressource et ordonnancée pour être traitée à une date déterminée.

Le problème que nous allons traiter consiste à affecter et à ordonnancer des tâches de maintenance préventives et correctives à un ensemble de ressources humaines différentes. Notre résolution doit tenir compte des dates de disponibilité des équipements et des personnels sur lesquels auront lieu les tâches. Dans ce contexte, nous allons nous intéresser tout d'abord à l'ordonnancement des activités de maintenance préventive. Pour cela nous allons développer une approche d'ordonnancement statique pour affecter un ensemble de tâches à un ensemble de ressources et les ordonnancer. Les tâches correctives doivent alors être affectées et ordonnancées dynamiquement c'est-à-dire qu'on doit insérer une nouvelle tâche dans un ordonnancement existant.

Suite aux notions de base présentées dans les chapitres précédents, ce chapitre s'intéresse à la présentation de la solution de notre problème. La conception proposée utilise le modèle orienté objet et le langage de modélisation UML (Unified Modeling Language). Nous allons présenter dans un premier lieu la description de l'environnement. En deuxième lieu, le chapitre propose une modélisation du système développé. Enfin, en dernier lieu le chapitre se termine par la description d'ordonnancement en maintenance.

2. Description de l'environnement

SYANA est le système de gestion assisté par ordinateur principal de notre organisme, nous avons présenté précédemment les modules existants dans SIYANA.

Pour des besoins de séparations des métiers, ELIT a scindé la GMAO en deux parties :

- Stock assuré par une solution « ATTAD »,
- Maintenance assurée par la solution « SYANA ».

SYANA est composée des modules suivants :

Gestion des travaux : Gestion des travaux (interventions), corrective et préventive.

Gestion de la maintenance préventive : Gestion de la maintenance préventive systématique et conditionnelle.

Gestion des équipements : Gestion des équipements.

Gestion des ressources : Gestion des ressources.

Rapport et analyse : Etablissement des rapports, analyses et indicateurs de performance de la maintenance.

Fonctionnalités communes : Des fonctionnalités ayant des différents processus de la maintenance

Comme SYANA ne contient pas le module planification et ordonnancement des interventions de maintenance, ELIT nous a confié la mission d'étudier et réaliser ce module détaillé dans la figure en dessous « Figure 3.1 ».

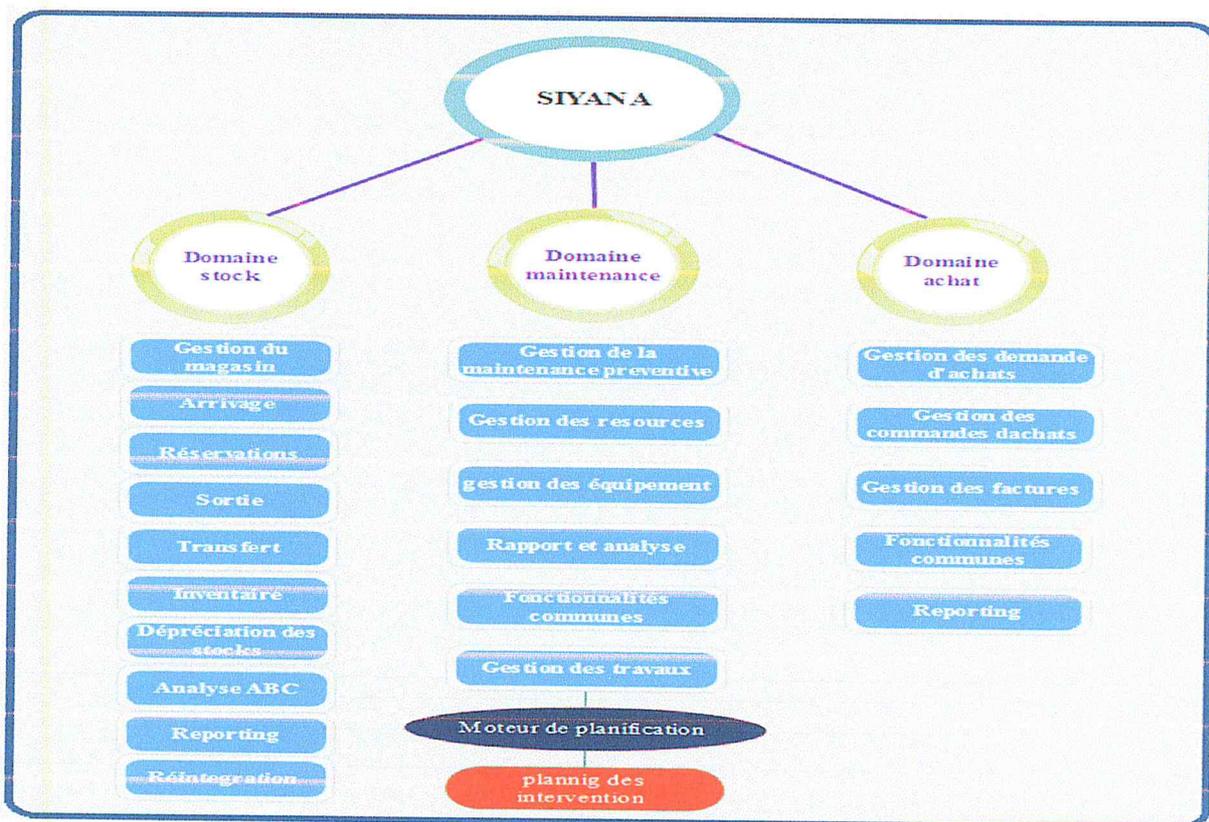


Figure 3.1 : module de SYANA.

3. Méthode d'analyse et de conception

Une méthode d'analyse et de conception est un procédé qui a pour objectif de permettre de formaliser les étapes préliminaires du développement d'un système afin de rendre ce développement plus fidèle aux besoins du client. Pour ce faire, on part d'un énoncé informel (le besoin tel qu'il est exprimé par le client, complété par des recherches d'informations auprès des experts du domaine fonctionnel), ainsi que de l'analyse de l'existant éventuel (c'est-à-dire la manière dont les processus à traiter par le système). La phase d'analyse permet de lister les résultats attendus, en matière de fonctionnalités, de performance, de robustesse, de maintenance, de sécurité, d'extensibilité, etc. La phase de conception permet de décrire de manière non ambiguë, le plus souvent en utilisant un langage de modélisation, le fonctionnement futur du système, afin d'en faciliter la réalisation.

Afin de répondre aux objectifs fixés, et dans cette partie concerneront l'analyse et la conception de la solution. Le formalisme adopté est UML. 2TUP⁴ est la démarche choisie afin de suivre le cycle de vie du logiciel, de l'analyse des besoins à la réalisation en passant par la conception.

De plus que l'organisme d'accueil (ELIT) a exprimé le souhait que ces deux approches soient utilisées, voici d'autres raisons qui semblent que ce choix soit judicieux :

- UML est un langage de modélisation utilisant des diagrammes faciles à la compréhension. Il est aussi universellement utilisé par les concepteurs.
- 2TUP est un processus d'élaboration de système de logiciels basé sur l'UP⁵, et est notamment :
 - ✓ Compatible avec UML.
 - ✓ Itératif : suivi constant, possibilité de consulter le client et modifier la solution et ce depuis la première phase jusqu'à la réalisation.
 - ✓ Incrémental : possibilité d'apporter des améliorations à la solution, d'une version à une autre.

⁴ 2TUP = « 2 Tracks Unified Process »

⁵ UP = « Unified Process »

2TUP se décompose en quatre parties principales, dans un premier temps, une étude préliminaire (Partie supérieure), ensuite la capture des besoins fonctionnels (Branche gauche), en parallèle la capture des besoins techniques (Branche droite). Les deux branches se rejoignent pour la conception et la réalisation (Branche du milieu).

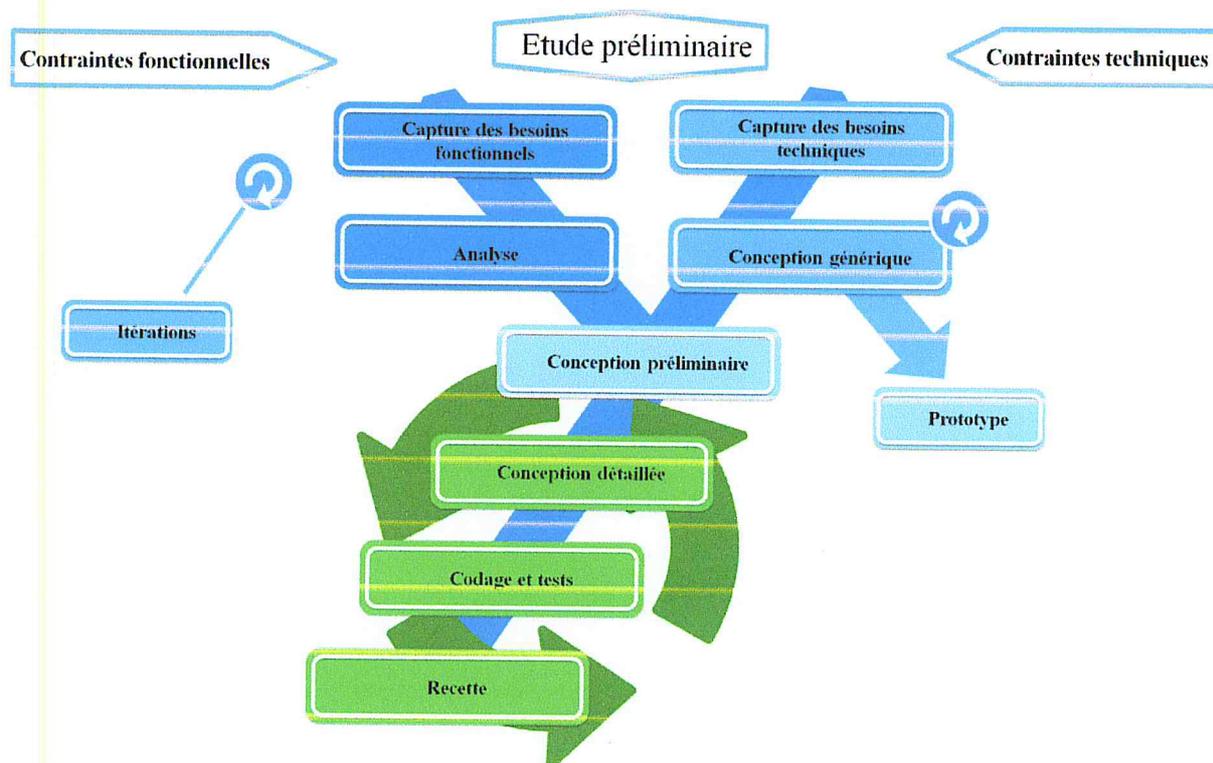


Figure 3.2 : 2TUP, cycle en forme de 'Y'

3.1 Langage de modélisation UML

3.1.1 Définition D'UML

UML⁶ est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes. Il est apparu dans le monde du génie logiciel, dans le cadre de la « conception orientée objet ». Couramment utilisé dans les projets logiciels, il peut être appliqué à toutes sortes de systèmes ne se limitant pas au domaine informatique.

3.1.2 Avantage du langage UML

UML est un langage formel et normalisé. Il permet ainsi : un gain de précision, un gage de stabilité et l'utilisation d'outils. UML est un support de communication performant : Il cadre

⁶ UML : (en anglais Unified Modeling Language ou « langage de modélisation unifié »)

l'analyse et facilite-la compréhension de représentations abstraites complexes. Son caractère polyvalent et sa souplesse lui font un langage universel.

Objectifs :

- Construire des modèles de systèmes,
- Organiser le travail,
- Gérer le cycle de vie d'A à Z,
- Gérer le risque,
- Obtenir de manière répétitive des produits de qualité constante.

3.1.3 Outil de conception (Edraw Max)

Edraw Max est un logiciel de diagramme technique 2D qui aide à créer des organigrammes, des cartes mentales, des diagrammes de réseau, des plans d'étage, des diagrammes de flux de travail, des graphiques commerciaux et des diagrammes d'ingénierie. La version actuelle, Edraw Max 8 a été diffusée le 9 avril 2016 pour Microsoft Windows, MacOS et Linux.

4. Modélisation

En général, le développement d'une application peut être abordé à travers différentes étapes qui vont permettre sa définition complète. Nous devons donc suivre un certain ordre dans la modélisation de la solution pour arriver à des résultats satisfaisant les besoins réels.

Les différentes étapes suivies dans la modélisation de notre IHR peuvent être listées comme suit :

1. Spécification des besoins.
2. Conception.

4.1. Spécification des besoins

Avant de développer un système, il faut savoir précisément à quoi il devra servir. C'est-à-dire à quel besoin il devra répondre. Donc, la spécification des besoins permet de définir les besoins des utilisateurs du système.

Nous avons spécifié les besoins via le diagramme de cas d'utilisation.

4.1.1. Identification des acteurs

Les acteurs sont toute entité externe (utilisateur, autre système...) ayant une interaction directe avec le système étudié.

Les acteurs du nouveau système sont :

Acteur	Rôle	Commentaire
Chef d'atelier	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Enregistrer un équipement (Actif) ➤ Générer les occurrences automatiquement à partir des interventions ➤ Etablir et ordonnancer les OT automatiquement ou manuellement (planning) ➤ Consulter le planning des interventions et le plan des occurrences ➤ Etablir un contrat de sous-traitance 	<p>Il définit le classement des équipements, génère les occurrences à partir des fiche de maintenance et établit le planning des interventions</p> <p>Il consulte les statistiques, les indicateurs de gestion et le dossier historique et les plannings</p>
Intervenant	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consulter le planning des interventions 	Il exécute les tâches qui lui sont assignées après consultation du planning

Tableau 2 : Identification des acteurs

4.1.2. Diagramme de cas d'utilisation

Un diagramme de cas d'utilisation permet de représenter graphiquement les cas d'utilisation et d'identifier les fonctionnalités fournies par le système (cas d'utilisation), les utilisateurs qui interagissent avec le système (acteurs), et les interactions entre ces derniers.

Les diagrammes suivants illustrent quelques cas d'utilisation du système :

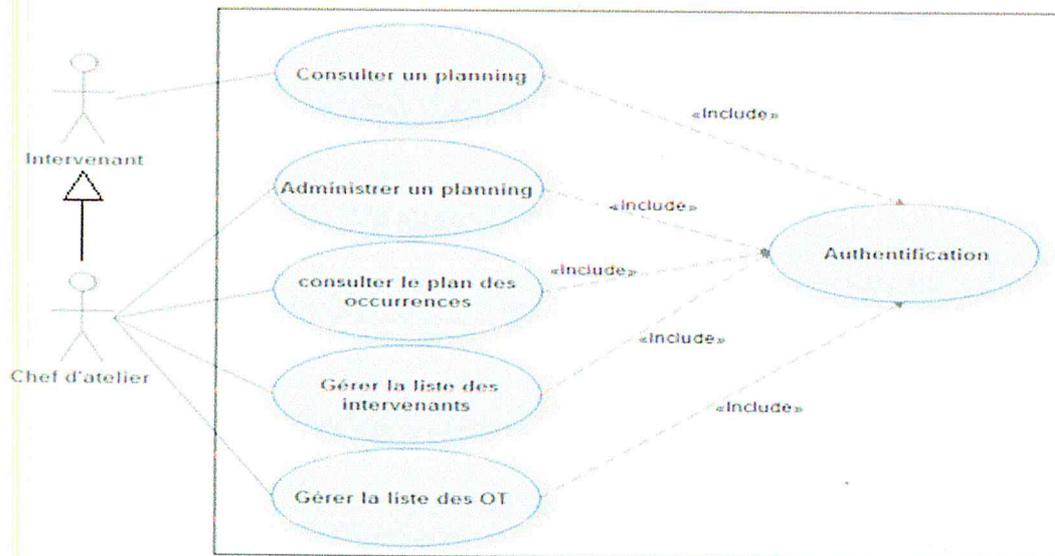


Figure 3.3 : Diagramme de cas d'utilisation global

Maintenant, nous allons détailler ce diagramme global en décrivant le cas d'utilisation général du système : Créer et modifier planning.

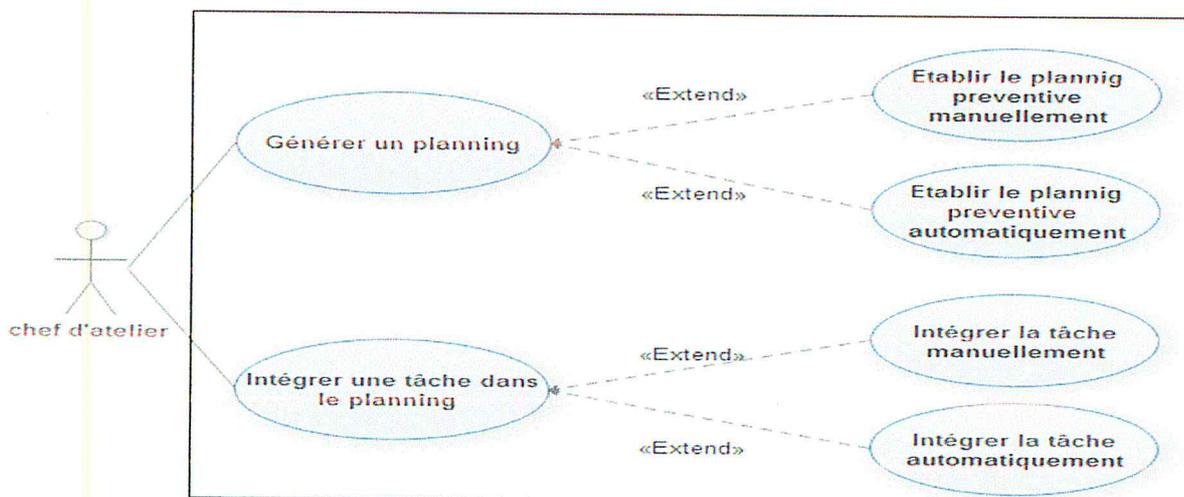


Figure 3.4 : Diagramme du cas d'utilisation «Administrer un planning »

4.1.3. Description des cas d'utilisations

- Générer un planning : La description de ce cas d'utilisation est dans le tableau en dessous (Tableau N°02)

SOMMAIRE D'IDENTIFICATION	
Titre	Générer un planning
Acteur	Chef d'atelier

But	Création des plannings préventifs et manipuler ces plannings.
Résumé	Le chef d'atelier organise un planning préventif à partir d'une période de temps définie auparavant. Lorsque la période est définie s'affiche alors sur l'écran une liste des tâches et une liste des intervenants disponibles sur la période. Cette combinaison permet au chef d'atelier de créer un planning des occurrences impliquant la création des ordres de travail.
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré condition	Post condition
Authentification ; définir une date de planning	Etablir un planning
ENCHAÎNEMENT NOMINAL	
<ul style="list-style-type: none"> - Le chef d'atelier doit s'authentifier pour accéder au système. - Le chef d'atelier doit définir la date début et la date de fin du planning. - Le chef d'atelier, ayant la liste des tâches affaissant à cette période, peut au besoin la modifier : l'administrateur peut ajouter ou annuler des tâches. - Idem pour ce qui est la liste des intervenants disponibles sur cette période. - Etablissement du planning : cette opération peut se réaliser : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Manuellement : l'administrateur affecte la tâche de son choix à l'intervenant choisis et ordonnancer à la date voulue. ➤ Automatiquement : L'opération précédente sera réalisée automatiquement avec les algorithmes définis en aval pour l'affectation et l'ordonnancement des tâches de maintenance - Effectuer les différents changements si nécessaire : l'administrateur peut soustraire ou rajouter des tâches. 	

Tableau 03 : « Générer un planning »

- Intégrer une tâche dans le planning : Le tableau N°04 nous montre comment l'utilisateur intègre une tâche dans le planning.

SOMMAIRE D'IDENTIFICATION	
Titre	Intégrer une tâche dans le planning
Acteur	Chef d'atelier
But	Intégration des tâches correctives dans le planning courant.

Résumé	Si une tâche corrective est arrivée. Le chef d'atelier va créer un ordre de travail pour la tâche et insérer cette dernière automatiquement ou manuellement dans un planning courant.
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré condition	Post condition
Arriver de la tâche corrective ; Création de l'ordre du travail	Insertion de la tâche dans le planning
ENCHAINEMENT NOMINAL	
<ul style="list-style-type: none"> - Arriver d'une tâche corrective. - Création d'ordres du travail pour effectuer la tâche à insérer. - Insérer la tâche dans le planning courant : <ul style="list-style-type: none"> ➤ automatiquement : l'administrateur peut effectuer cette opération à l'aide de l'algorithme qui permettant de l'insertion des tâches. ➤ manuellement : l'administrateur après consultation du planning peut insérer la tâche dans un période creuse ou à défaut créer une période creuse en distançant deux tâches pour y intégrer une tâche corrective - Effectuer les différents changements si nécessaire : à défaut de ne pouvoir distancer deux tâches ou de ne point trouver de période creuse, alors le chef d'atelier a la capacité d'annuler une tâche et la remplacer par la tâche corrective 	

Tableau 04 : « Intégrer une tâche dans le planning »

- Consulter un planning : Le tableau suivant résume la consultation du planning (Tableau 04)

SOMMAIRE D'IDENTIFICATION	
Titre	Consulter un planning
Acteur	Intervenant
But	La consultation des plannings
Résumé	Un intervenant doit s'authentifier pour pouvoir y accéder au système, il doit choisir le planning à partir de sa date de début. Cela permet le maintenancier de consulter la liste des tâches qui ont été affectées dans la date qui a été choisie.
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENTS	
Pré condition	Post condition
Authentification	Consulter le planning

ENCHAINEMENT NOMINAL
<ul style="list-style-type: none"> - L'intervenant doit s'authentifier - Accédé au système. - Choisir la date du planning qu'il veut consulter. - Consulter le planning associe à la date choisie.

Tableau 05 : « Consulter un planning »

- Consulter le plan des occurrences: Le tableau suivant résume la consultation du plan des occurrences (Tableau 05)

SOMMAIRE D'IDENTIFICATION	
Titre	Consulter le plan des occurrences
Acteur	Chef d'atelier
But	La consultation de plan des occurrences
Résumé	Le chef d'atelier doit s'authentifier pour pouvoir accéder au système, il a la possibilité de consulter le plan des occurrences, ces dernières sont les évènements qui permet à chaque fois de déclencher les ordres de travail pour chaque intervention sur chaque équipement. L'utilisateur peut afficher le plan des occurrences filtrées par les interventions voulues.
DESCRIPTION DES ENCHAINEMENT	
Pré condition	Post condition
Authentification, création d'une fiche de maintenance	Consulter le plan des occurrences
ENCHAINEMENT NOMINAL	
<p>L'utilisateur doit s'authentifier</p> <p>Accéder au système.</p> <p>Dès que la fiche de maintenance est créé (ce cas est pris en charge déjà dans SYANA), les occurrences sont créés automatiquement selon la planification voulue (chaque semaine, chaque 3 mois ... etc.).</p> <p>Choisir la ou les interventions qu'il veut afficher leurs occurrences.</p> <p>Afficher le plan des occurrences dédié pour les interventions choisies.</p>	

Tableau 06 : « Consulter le plan des occurrences »

4.2. Conception

La phase de conception permet de décrire le fonctionnement du système et de formaliser les étapes préparatoires de son développement, en vue d'en faciliter la réalisation et d'assurer la conformité aux besoins de l'utilisateur. La conception permet la mise au point d'une solution.

La conception est exprimée dans notre cas par le diagramme de classes.

4.2.1 Diagramme de classe

Le diagramme de classes est considéré comme l'élément le plus important dans la modélisation orienté objet ; donc, ce diagramme est considéré comme le point central en UML. Le diagramme de classes décrit la structure interne du système et de ces composants. Il décrit aussi les tâches définissant le comportement de ces derniers.

La figure 04 décrit les classes qui composent notre système ainsi que les relations, les attributs et les méthodes de ces derniers.

Classe	Attribut	Type	Description
EquipRessource	Id_Resource	N	ID de la ressource
	CODE_Resource	A/N	Le code de la ressource
	DESCRIPTION	A/N	Description de la ressource

- **Tech_équipement:** c'est la classe qui contient l'ensemble des équipements sur lesquels les tâches de maintenance seront traitées.

Classe	Attribut	Type	Description
Tech_équipement	Criticité	N	La criticité de l'équipement
	ETAT_ACTIF	A/N	Etat de l'équipement
	ANNEE_CONSTRUC TION	N	Année de construction l'équipement
	DATE_ACHAT	DATE	Date d'achat de l'équipement
	DESCRIPTION	A/N	Description de l'équipement

- **Outillage :** c'est la classe qui représente l'ensemble de ressources matérielles utilisées pour effectuer les différentes tâches de maintenance.

Classe	Attribut	Type	Description
Outillage	Libellé	A/N	Libellé de l'Outillage
	DESCRIPTION	A/N	Description de l'Outillage

- **Inter_intervenant:** c'est la classe qui représente l'ensemble de ressources humaines qui effectue les tâches de maintenance.

Classe	Attribut	Type	Description
Inter_intervenant	CODE_INTER	N	Code de l'intervenant
	NOM_INTERVENANT	A/N	Nom de l'intervenant
	PRENOM_INTERVENANT	A/N	Prénom de l'intervenant
	STATU_INTERVENANT	A/N	Statut de l'intervenant
	num_suc_soc	A/N	Numéro_de_sécurité_sociale de l'intervenant

- **Inter_qualification:** c'est la classe des qualifications, elle concerne un ou plusieurs intervenants pour effectuer une ou plusieurs tâches.

Classe	Attribut	Type	Description
Inter_qualification	id_Qualif	N	ID de la Qualification
	Libellé	A/N	Libellé de la qualification
	Description	A/N	Description de la qualification

- **Tech_tache :** c'est la classe qui représente l'ensemble des tâches de maintenance.

Classe	Attribut	Type	Description
Tech_tache	id_tach	N	ID de la tâche
	Dure_base	A/N	Dure de base de la tâche
	GradeReq	A/N	Grade requis par la tâche
	Libellé	A/N	Libellé de la tâche
	Description	A/N	Description de la tâche

- **Tech_intervention:** c'est la classe qui contient les interventions de maintenance. Ce sont les différentes opérations effectuées aux équipements

Classe	Attribut	Type	Description
Tech_intervention	id_inter	N	ID de l'intervention
	Poid_inter	A/N	Poids de l'intervention
	Libellé	A/N	Libellé de l'intervention
	Description	A/N	Description de l'intervention

- **Prev_fiche_maintenance:** c'est la classe qui contient l'ensemble des fiches techniques pour chaque équipement et aussi la liste des interventions effectuées aux équipements ainsi que la fréquence d'application de l'intervention.

Classe	Attribut	Type	Description
Prev_fiche_maintenance	id_FichM	N	ID de la fiche de maintenance
	Code_FichM	A/N	Code de la fiche de maintenance
	Compteur	A/N	Plage qui sépare entre les occurrences
	Description	A/N	Description de la fiche de maintenance

- **Prev_occur:** c'est la classe qui représente les demandes de travail qui permet à chaque fois de déclencher les ordres de travail pour chaque intervention.

Classe	Attribut	Type	Description
Prev_occur	id_Occurrence	N	ID de l'occurrence
	date_decl	Date	Date de déclenchement de l'occurrence

- **Trav_Ordre_travail:** c'est la classe qui contient les ordres de travail. Ce sont les permis de travail des différentes interventions.

Classe	Attribut	Type	Description
Trav_Ordre_travail	id_OT	N	ID de l'ordre des travaux
	DATE_DEBUT_PREVU E_OT	DAT E	Date prévue début d'intervention
	DATE_DEBUT_RELEL E_OT	DAT E	Date réelle début intervention
	DUREE_PREVUE_OT	N	Durée prévue de l'OT
	DUREE_REELLE	N	Durée réelle de l'OT
	Priorité_OT	N	PRIORITE DE L'OT
	etat_OT	A/N	Etat de l'OT
	Type_OT	A/N	Type de l'OT

4.2.3 Passage au modèle relationnel

Inter_intervenant (id_intervenant, code_intervenant, nom_intervenant, prenom_intervenant, numero_securite_social)

Inter_qualification (id_qualification, description_qualification, libelle_qualification)

Inter_intervenant_qualification (#id_qualification, #id_intervenant grade_qualification)

Tech_équipement (id, code, criticite, date_achat, description_equipement, etat_equipement, statut_equipement)

Tech_intervention (id, code_intervention, libelle_intervention, poids)

Prev_fiche_maintenance (id, code_fiche, nbr_jour, #tech_intervention, #tech_equipement)

Tech_tache (id, code_tache, discription_tache, duree_prevue, grade_requis, #id_qualification)

Trav_Ordre_travail (id, date_creation, date_debut_reelle, date_debut_souhaitee, date_cloture, type_maintenance, etat, priorite, #id_equipement, #id_occur)

Prev_occur (id_occur, date_decl, id_fiche, id_ordre_travail)

Ordre_travail_tache_intervenat (#id_intervenant, #id_tache, #id_ordre, date_debut, duree_tache_estime, duree_reelle)

Intervention_tache (#id_intervention, #id_tache, ordre integer).

5. Modélisation de l'ordonnancement de la maintenance

Nous décrivons ici les notations nécessaires pour l'explication du modèle. Nous commençons donc par modéliser les tâches traitées dans le problème et quelques définitions préliminaires.

5.1. Les tâches

Chaque tâche de maintenance est caractérisée par sa durée, sa date de début au plus tôt et sa date de fin au plus tard. Pour chaque tâche j nous utilisons les notations suivantes :

- p_j : C'est une durée de base de la tâche j elle sera différente en fonction de la ressource à laquelle elle sera affectée.
- r_j : C'est la date de disponibilité (release date) de la tâche j , elle est aussi dépend à l'équipement sur laquelle elle aura lieu.
- d_j : Date d'échéance de la tâche j , elle est calculée à partir de son inscription, Le coût d'une tâche de maintenance est représenté sur la figure (**Figure 3.6**).
- Cr_j : C'est une compétence requise pour la tâche j , la ressource qui devra traiter la tâche j , dispose de cette compétence.

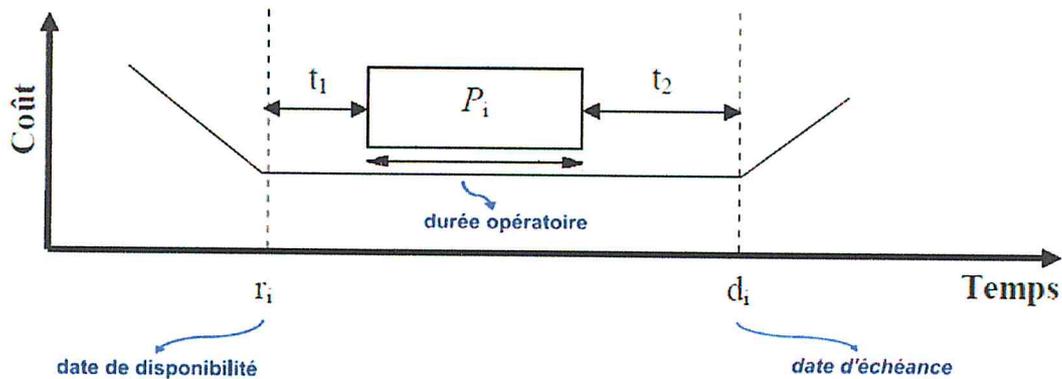


Figure 3.6 : Ordonnancement des tâches.

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

5.2 Les ressources humaines

Le service de maintenance est composé de m ressources humaines (équipes), chaque ressource est caractérisée par un profil de compétence et il dispose d'un niveau de qualification pour chacune des compétences requises par les tâches. La durée réelle de la tâche j par la ressource humaine i est alors notée p_{ij} Avec :

$$p_{ij} = f(p_j, \text{comp}_{i,cr_j}), \forall i \in \{1 \dots m\}$$

Telle que :

$$p_{ij} = p_j, f(p_j, \text{comp}_{i,cr_j}), \forall i \in \{1 \dots m\}$$

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

$$\begin{array}{c}
 \text{Comp}_{Cr_1} \quad \dots \quad \text{Comp}_{Cr_n} \\
 \begin{array}{l}
 op_1 \\
 \vdots \\
 op_m
 \end{array}
 \left[\begin{array}{ccc}
 \text{Comp}_{1,1} & \dots & \text{Comp}_{1,Cr_n} \\
 \vdots & \ddots & \vdots \\
 \text{Comp}_{m,1} & \dots & \text{Comp}_{m,Cr_n}
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

5.3 Variables

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

- t_j ($j = 1 \dots n$) : date de début planifiée de la tâche j ,
- C_j ($j = 1 \dots n$) : date d'achèvement de la tâche j ,
- x_{ij} ($j = 1 \dots n$ et $i = 1 \dots m$) : booléen indiquant l'affectation de la tâche. $x_{ij} = 1$ si la tâche j est affectée à la ressource i , autrement $x_{ij} = 0$,

5.4 Contraintes

Chaque tâche doit être affectée à une seule ressource :

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

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

$$t_j > r_j, \forall j \in \{1 \dots n\}$$

Les ressources sont disjonctives. Cela signifie que les ressources ne peuvent être utilisées que par une tâche à la fois :

$$\forall t, \forall i, \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \leq 1,$$

Les ressources sont disjonctives. Cela signifie que les ressources ne peuvent être utilisées que par une tâche à la fois. Tout couple de tâches (j_1, j_2) utilisant la même ressource est associé la paire de disjonction ($j_1 < j_2$) ou ($j_2 < j_1$). Cela se traduit par un séquençement total des tâches utilisant la même ressource et par une disjonction entre deux inégalités de potentiel.

$$(t_{j_1} - t_{j_2} \geq p_{j_2}) \text{ ou } (t_{j_2} - t_{j_1} \geq p_{j_1})$$

5.5 Objectif

L'objectif de cette étude est de déterminer une règle d'ordonnancement, qui permet d'optimiser le nombre d'exécution des tâches aléatoires tout en maintenant, les tâches déjà ordonnancées dans leurs intervalles temporels et minimiser la durée d'exécution des tâches qui revient naturellement d'affecter de tâches aux ressources qui sont les plus efficaces et prendre en considération que la charge doit être équilibrée entre les ressources et le maximum de minimiser les tâches en retard. Le principe de la démarche de résolution consiste en un traitement du problème en deux étapes :

- Résolution du problème statique pour l'ordonnancement prévisionnel des tâches connues à priori au début de l'ordonnancement.
- Résolution du problème dynamique pour l'ordonnancement des tâches aléatoires.

5.6 Critères d'évaluation

La résolution de problèmes d'ordonnancement se fait, soit en cherchant à atteindre un optimal par rapport à un ou plusieurs critères, soit en recherchant l'admissibilité vis à vis de contraintes. L'approche par optimisation suppose que la solution puisse être évaluée suivant les critères retenus. 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 ($\min(C_{\max})$), la minimisation de la somme des durées des retards ou encore la minimisation de nombre de tâches en retard.

Ils peuvent aussi être liés aux ressources, on pourra alors s'intéresser au nombre de — ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâche, ou encore s'intéresser à leur charge.

6. Approche pour l'ordonnancement et l'affectation des activités de maintenance

Dans notre cas, nous considérons que chaque unité de production, doit subir plusieurs interventions de maintenances préventives dont les périodes sont données d'avance (déterminé par les fiches de maintenance). Ces tâches de maintenance sont des interventions périodiques prévues toutes les périodes (cet intervalle dénote la périodicité optimale de la tâche de maintenance). Chaque tâche de maintenance préventive est caractérisée par une intervention de maintenance préétablie par le service maintenance ou par le constructeur de

l'équipement considéré. Par contre les interventions curatives sont des interventions imprévues qui s'arrivent d'une manière aléatoire.

La figure (figure 3.7) suivante présente le fonctionnement du service de maintenance

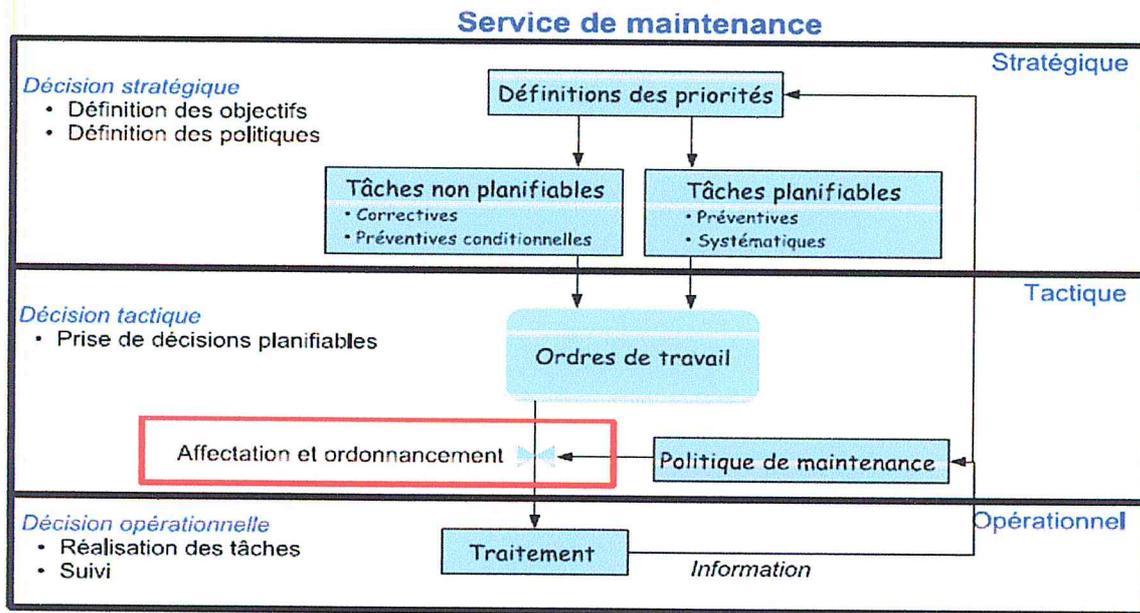


Figure 3.7 : fonctionnement du service de maintenance.

Le problème que nous traitons consiste à affecter et à ordonnancer des tâches de maintenance préventive à un ensemble de ressources humaines. L'approche de résolution doit tenir compte des dates de disponibilité des équipements sur lesquels auront lieu les tâches, et les dates de disponibilités des ressources humaines qui résolvent ces tâches-là, et prendre en considération la contrainte de qualification requise par la tâche et affecter la meilleure ressource à la tâche d'une manière optimale pour réduire le temps de traitement de cette dernière. L'idée de notre approche consiste à résoudre en premier le problème d'ordonnancement statique des tâches connues à l'instant initial, puis à construire un ordonnancement réactif permettant l'insertion des tâches aléatoires dès l'instant d'arrivée.

Le principe de la démarche de résolution proposée, consiste en un traitement du problème en deux étapes :

- Résolution du problème statique pour l'ordonnancement prévisionnel des tâches connues a priori au début de l'ordonnancement pour construire une séquence admissible des tâches qui servira de base pour l'ordonnancement en temps réel.

- Résolution du problème dynamique pour l'ordonnancement en temps réel des tâches aléatoire, l'approche proposée permet de définir une position d'insertion dès l'arrivée de la tâche aléatoire, dans le cas où elle est acceptée pour l'exécution par la ressource.

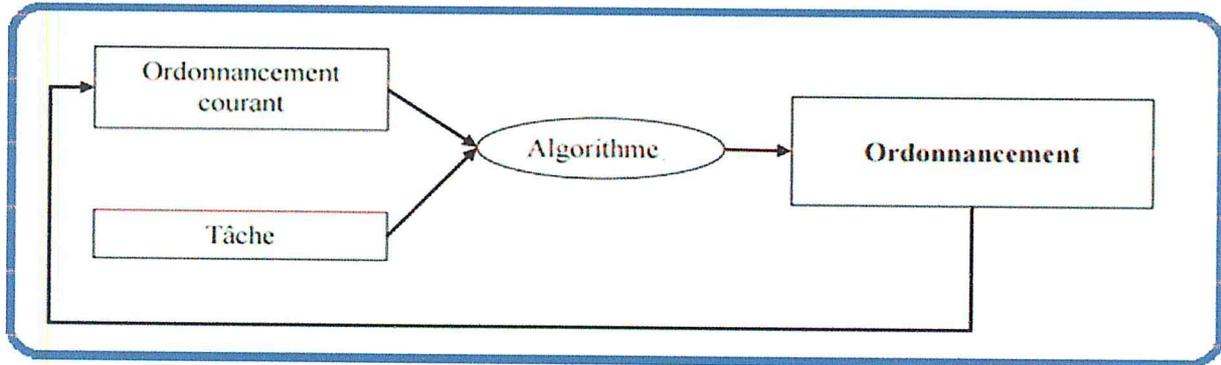


Figure 3.8 : principe générale de la démarche de résolution proposée

6.1 La fonction objectif

Nous proposons une approche statique du problème qui consiste à affecter et à ordonnancer un ensemble de tâches (non sécables) à un ensemble de ressources humaines. Les tâches de maintenance préventive sont connues pour un horizon déterminé. Les tâches sont prioritairement affectées aux ressources les plus efficaces.

Notre problème est composé de deux phases où deux problèmes monocritères successifs. La première phase correspond à l'affectation des tâches aux ressources en équilibrant la charge de travail entre les ressources humaines mais aussi en cherchant à la minimiser. Dans cette première phase, nous relaxons les contraintes de disponibilité.

La deuxième répond à l'objectif de notre travail, elle correspond à l'ordonnancement des tâches affectées dans la première partie. L'objectif dans cette dernière est de minimiser la somme pondérée des retards en prenant en compte les contraintes intrinsèques des tâches telles que la contrainte de disponibilité et la priorité w_j des tâches.

- La première phase de notre problème est alors comparable au problème de minimisation de la durée de l'ordonnancement (C_{max})

Pour résoudre ce problème nous avons utilisé la fonction suivante [28] :

$$\text{Min } C_{max} = \max_{i=1 \dots m} \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} p_{ij} \right)$$

Sachant que [28]:

$$\text{Avec } p_{ij} = \sum_{j=1}^n x_{ij} * (p_j, comp_{i,cr_j}),$$

- Et pour minimiser la somme pondérée des retards nous avons utilisé la fonction suivante [28]:

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n w_j T_j$$

Avec T_j est le retard de la tâche j .

De sorte que [28]:

$$t_j \geq r_j, \forall j \in \{1 \dots n\}$$

$$\forall t, \forall i, \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) \leq 1,$$

$$\text{Avec } T_j = \text{Max}(O, C_j - d_j) \text{ et } C_j = t_j + p_{ij}$$

$$\text{Avec } p_{ij} = \sum_{j=1}^n x_{ij} * (p_j, \text{comp}_{i,cr_j})$$

6.2 Ordonnement et affectation statique

Le problème initial que nous abordons est composé d'un ensemble de tâches, caractérisées par des compétences requises pour leur traitement, et d'un ensemble de ressources, caractérisées par un profil de compétences. Ce sont donc les ressources qui traiteront ses différentes tâches. Le service de maintenance s'est engagé sur des niveaux de disponibilité. Le retard dans le traitement des tâches provoque une diminution imprévue de ce niveau de disponibilité. Des pénalités sont alors attribuées lorsque des tâches sont terminées en retard. Celles-ci sont fonction de la durée du retard et d'une pondération reflétant l'importance de l'engagement. Le total de ces pénalités est appelé : somme pondérée des retards. Notre objectif, dans ce chapitre, sera de minimiser la somme pondérée des retards.

Les tâches ne sont pas sécables et de plus nous posons comme hypothèse que toutes les données concernant ces activités de maintenance sont connues. Ce problème déterministe consiste alors à affecter et à ordonner un ensemble de tâches à un ensemble de ressources humaines. En maintenance industrielle il est possible de comparer la résolution de ce type de problème, qui est une résolution statique, à l'ordonnement des tâches de maintenance préventive, qui est réalisée périodiquement sur des horizons définis.

6.2.1 Affectation des tâches de maintenance

Dans cette partie nous présenterons dans un premier temps un algorithme, issue de la littérature, auquel nous comparerons notre approche. Ensuite nous présenterons la première phase de l'approche que nous avons développée. Cette phase consiste à équilibrer la charge et à la répartir entre les ressources en fonction de leurs compétences. Elle correspond à la résolution du problème de minimisation de la durée de l'ordonnement (C_{max}) réalisé sur

des machines parallèles différentes (R) et noté : $R||C_{max}$. Ce problème est NP difficile [resf], nous orientons donc notre approche vers une heuristique pour résoudre ce problème, les contraintes correspondants, dans un premier temps, relaxées pour traiter ce problème d'affectation seul.

Dans cette partie nous allons chercher à affecter les tâches aux ressources les plus efficaces pour leur traitement. Le choix de l'affectation d'une ressource à une tâche s'effectue en fonction du niveau de compétence de celle-ci, dans la compétence requise pour effectuer le traitement de la tâche. Le niveau de compétence de la ressource influe directement sur la durée réelle de la tâche. Si l'on veut minimiser la durée totale de travail, il convient alors d'affecter chaque tâche à la ressource la plus performante.

Cependant, la charge de travail doit être répartie entre les ressources humaines. Chacune des tâches ne peut donc pas, dans la majorité des cas, être systématiquement affectée à la ressource la plus performante pour son traitement. C'est pourquoi une borne inférieure a été définie, afin de pouvoir à la fois affecter le maximum de tâches à la meilleure ressource correspondante sans compromettre la possibilité d'équilibrer la charge entre les ressources.

❖ Borne inférieure

Définition

« Dans un ensemble ordonné E, la borne inférieure d'une partie minorée F de E est, s'il existe, le plus grand minorant de F » [43].

Nous présentons ici la borne inférieure que nous avons utilisée dans notre heuristique. La définition d'une borne inférieure est la suivante :

$$BI(C_{max}) = \text{Max} \left\{ \left[\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n p_j^{min} \right]; \max_{j \in \{1 \dots n\}} p_j^{min} \right\}$$

Avec $p_j^{min} = \text{Min } p_{ij}, j \in \{1 \dots n\}$

Ou p_j^{min} correspond autant que mettrait la ressource la plus performante pour effectuer le traitement de la tâche j. Étant donné que nous cherchons à équilibrer la charge entre les ressources, il ne sera réellement possible d'affecter chaque tâche à la ressource la plus efficace que dans des cas rares et particuliers. Le rapport obtenu dans le calcul de $LB(C_{max})$ correspond donc à une valeur rarement atteignable et toujours inférieure ou égale au résultat que l'on obtiendra. Cette borne inférieure est ensuite tout naturellement utilisée dans l'algorithme d'affectation des tâches pour orienter l'affectation des tâches vers les ressources les plus efficaces.

❖ **Heuristique d'affectation des tâches**

L'algorithme d'affectation des tâches est composé d'une partie principale et d'une partie de prise en compte des cas dans lesquels la ressource proposée au traitement d'une tâche est la moins efficace (pires cas).

Dans un premier temps, les tâches sont triées dans une liste par ordre décroissant de leur durée maximale (LPT).

Pour tendre vers la Borne Inférieure (BI), il convient naturellement d'affecter le maximum de tâches aux ressources qui sont les plus efficaces. Cependant nous devons minimiser C_{max} , donc cette affectation se déroule jusqu'à ce que la somme des durées des tâches affectée à une ressource atteigne la borne inférieure.

Début

$L = \{\text{Est une liste des taches rangées dans un ordre décroissante de leur durée maximale } p_{ij}\}$

$\bar{L} = \{\text{liste vide } \emptyset\}$

Tant que ($L \neq \emptyset$)

Faire $K \leftarrow$ première tâche de L ;

$i \leftarrow$ ressource la plus efficace pour le traitement de k ;

Si ($\sum_{j \in \bar{L}} x_{ij} p_{ij} + p_{ik} \leq BI$)

Alors $x_{ik} \leftarrow 1$;

$x_{ak} \leftarrow 0$, pour $a = 1 \dots n$ et $a \neq i$;

$\bar{L} \leftarrow \bar{L} + K$;

$L \leftarrow L - K$;

Sinon

Essaie d'affecter la tache K à la ressource la plus efficace l ;

Avec $l = 1 \dots n$ and $l \neq$ pire des cas

Qui respecte $\sum_{j \in \bar{L}} x_{ij} p_{ij} + p_{lk} \leq BI$;

Si (l pas trouvé)

Alors trouve la ressource l telle que : $\min_{l=1 \dots n} \sum_{j \in \bar{L}} x_{ij} p_{ij} + p_{lk}$

Si ($l =$ pire des cas)

Alors aller à l'algorithme d'exception ;

Fin Si

Fin Si

$x_{ak} \leftarrow 0$, pour $a = 1 \dots n$ et $a \neq i$;

$\bar{L} \leftarrow \bar{L} + K$;

$L \leftarrow L - K$;

Fin Si

Fin Tant que

FIN.

Algorithme principal

Pour équilibrer la charge, nous allons donc chercher à repousser le plus tard possible le dépassement de BI. Le dépassement de la Borne Inférieure et l'affectation de tâches à des ressources peu efficaces induisent un éloignement du Cmax idéal : $C_{\max} = BI(C_{\max})$. Cependant, la BI est calculée à partir des temps mis par les ressources les plus efficaces pour chaque type de tâche, l'imprévisibilité des compétences requises ajoutée à la non-sécabilité des tâches rendent le plus souvent cet objectif non-atteignable. En effet, si lors de l'insertion d'une tâche, alors que toutes les tâches préalablement affectées, le sont leurs ressources les plus efficaces, une tâche ne peut être affectée à sa ressource la plus efficace sans entraîner un dépassement de la Borne Inférieure, cela signifie que par définition cette borne inférieure n'était pas atteignable pour ce problème.

Lorsque la seule ressource qui ne dépasse pas BI est la moins efficace des ressources pour ce type de tâche, cela représente le pire des cas pour minimiser l'augmentation du ratio P_{ij} / m , $i \in \{1 \dots m\}$. La tâche est alors reculée dans la liste des tâches restant à affecter. Si BI est dépassée quel que soit le choix de la ressource, cela signifie que BI ne permet plus de minimiser Cmax et d'atteindre BI. En effet, en affectant une tâche à sa ressource la moins performante, l'espace-temps occupé par la tâche sera très important par rapport à celui qu'elle aurait occupé si elle avait été affectée à une ressource plus efficace. Ce surplus d'occupation est de l'espace-temps perdu pour l'affectation d'autres tâches. On affectera alors la tâche à la ressource qui minimisera le Cmax sans se préoccuper de BI. Si cette ressource est à nouveau le pire cas, on applique l'algorithme d'exception.

Début

Insère en tête de liste la première tâche qui ne serait pas traitée par la ressource la moins performante.

Si (toutes les tâches $\in L$ vérifient $p_j^{min} = \max p_{ij}$)

Alors

Affecte la première tâche sans se préoccuper du fait que ce soit à la moins performante des ressources

Fin Si**FIN.**

Algorithme d'exception

Les solutions sont performantes si un maximum de tâches est affecté aux ressources qui sont efficaces. Nous avons expliqué précédemment qu'il était rarement possible d'affecter toutes les tâches à la plus efficace ressource correspondante. Cet aspect est aggravé par le fait que l'algorithme de liste développé, propose les tâches pour affectation, dans un certain ordre. Cet ordre déterministe proposé peut conduire à une solution peu performante (affectation à la pire des ressources). Nous avons donc développé un algorithme qui modifie cet ordre (Algorithme d'exception). Celui-ci avance en tête de la liste la première des tâches qui ne serait pas traité par la moins performante des ressources. Cela peut permettre d'éviter l'affectation de tâche à la ressource la moins compétente. S'il est impossible de faire autrement, l'affectation de la première tâche de la liste à la moins performante des ressources est tout de même réalisée.

L'objectif de la phase suivante est de minimiser la somme pondérée des retards. À partir de ces affectations, les tâches seront ordonnancées afin de respecter cet objectif.

6.2.2 Ordonnancement des tâches

Dans l'algorithme présenté précédemment, nous avons cherché à réduire le plus possible la date de fin de l'ordonnancement (C_{max}) et de trouver la ressource qui assumera le traitement de chaque tâche.

Les dates de début au plus tôt et au plus tard correspondent aux extrémités d'une période dans laquelle le début du traitement de la tâche peut être planifié afin qu'elle ne se termine pas en retard, qu'elle ne viole pas la contrainte de sa date de disponibilité mais aussi qu'elle ne provoque pas de retard sur un successeur. Cela nous permet de définir la notion de fenêtre d'insertion. Cette dernière est représentée le temps disponible entre une tâche j et leur successeur ($Succ_j$) nous obtenons [28] :

$$F_{j, succ(j)} = LS_{succ(j)} - (ES_j + p_{ij}).$$

Et pour connaître les fenêtres d'insertions dans l'ordonnancement courant il est nécessaire de pouvoir calculer toutes les dates de début au plus tôt (ES_j) et au plus tard (LS_j) pour toutes les tâches j de l'ordonnancement.

Pour calculer la date début au plus tôt (ES_j) nous avons utilisé l'algorithme de Bellman qui est défini comme ceci [28] :

Pour x de 1 à N

Faire

$\lambda_x \leftarrow +\infty;$

$\pi_x \leftarrow +\infty;$

Fin Pour

$\lambda_1 \leftarrow 0;$

Tant que ($\exists x \in X / x$ est non Fixe)

Faire

Choisir $y \in X / \forall z \in \Gamma(y) \text{ Fixe}(z) == \text{Vrai} ;$

$\text{Fixe}(y) \leftarrow \text{Vrai} ;$

Pour (tous $z \in \Gamma^+(y)$)

Faire

Si ($\lambda_z < \lambda_y + I_{yz}$ OU $\lambda_{ij} = +\infty$)

Alors

$\lambda_z \leftarrow \lambda_y + I_{yz} ;$

$\pi_z \leftarrow y;$

Fin Si

Fin Pour

Fait

Pour calculer la date début au plus tard (LS_j) nous avons utilisé l'algorithme de Bellman inverse qui est défini comme ceci [28]:

Pour x de 1 à N

Faire

$\lambda_x \leftarrow -\infty;$

$\pi_x \leftarrow -\infty;$

Fin Pour

$\lambda_1 \leftarrow 0;$

Tant que ($\exists x \in X / x$ est non Fixe)

Faire

Choisir $y \in X / \forall z \in \Gamma(y) \text{ Fixe}(z) = \text{Vrai};$

$\text{Fixe}(y) \leftarrow \text{Vrai};$

Pour (tous $z \in \Gamma^+(y)$)

Faire

Si ($\lambda_z > \lambda_y - I_{yz}$ OU $\lambda_{ij} = -\infty$)

Alors

$\lambda_z \leftarrow \lambda_y - I_{yz};$

$\pi_z \leftarrow y;$

Fin Si

Fin Pour

Fait

Après avoir déterminé la fenêtre d'insertion dans l'ordonnement courant et connaître les dates de début au plus tôt et au plus tard de chaque tâche. Nous arrivons maintenant à définir l'heuristique d'insertion dynamique. Pour cela lors de l'insertion d'une tâche (K) dans un ordonnancement (S), elle doit vérifier l'équation suivante [28] :

$$\sum_{j=1}^n w_j T_j + w_K T_K = \sum w_j T_j$$

L'égalité présentée dans l'équation doit vérifier que la fenêtre d'insertion entre une tâche j et leur successeur ($Succ_j$) ceci [28]:

$$F_{j, succ(j)} > p_{iK}$$

Et :

$$L_{Ssucc(j)} - p_{iK} \geq r_K$$

Et pour ne pas générer de retard sur la nouvelle tâche [28] :

$$ES_j + p_{ij} + p_{iK} \leq dk$$

Après une insertion d'une tâche dans un ordonnancement préventif, Ce dernier devient alors l'ordonnancement courant. Parfois des nouvelles tâches viendront pour les insérer dans l'ordonnancement courant(S). Cependant, s'il n'existe pas de fenêtre $F \in S$ satisfaisant les équations défini précédemment, deux solutions sont alors possibles : soit générer de manière statique un nouvel ordonnancement, soit insérer la tâche dans l'ordonnancement courant et celui-ci est alors légèrement modifié afin de donner de meilleurs résultats concernant notre critère de travail.

Et pour l'amélioration de notre travail, nous avons utilisé une méthode de recherche de solutions par voisinage basée sur la méthode kangourou. Elle se base principalement sur des opérateurs de voisinage qui vont nous permettre d'explorer, stochastiquement, de nouvelles solutions.

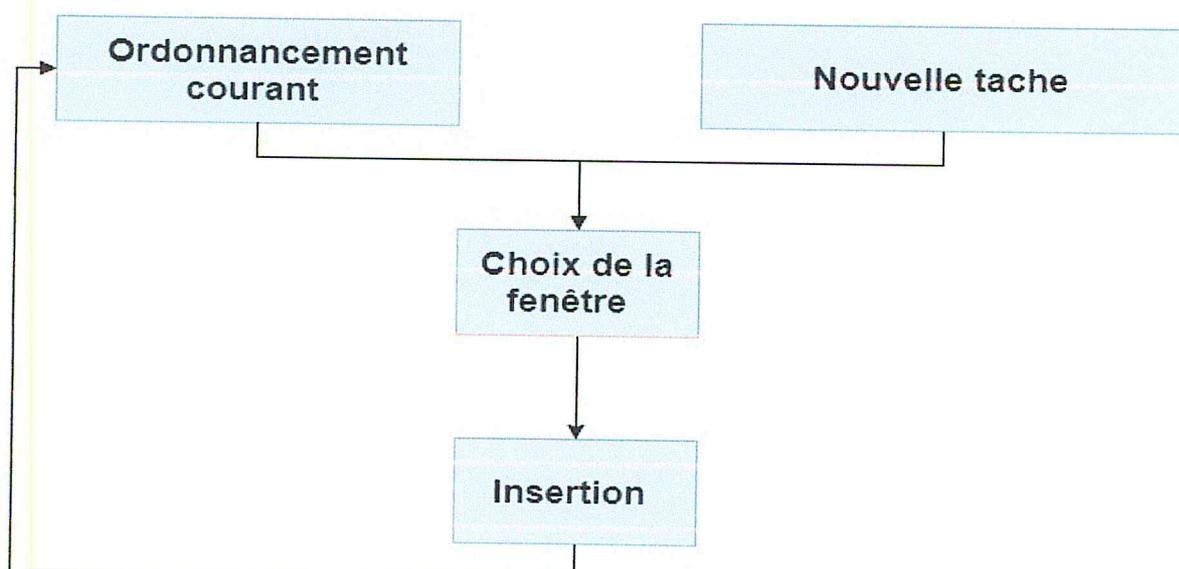


Figure 3.9 : Méthode d'insertion dynamique de tâche.

Cette méthode est présentée par l'algorithme qui utilise les notations suivantes [28] :

- S : solution courante,
- S_0 : solution sur laquelle la recherche d'amélioration est faite,
- Initialisation (S) : réalise la solution initiale. Celle-ci est créée en essayant toutes les possibilités d'insertion de la nouvelle tâche dans l'ordonnement courant. La solution qui domine est ensuite conservée.
- Voisin (S) : retourne un voisin de S en échangeant deux tâches choisies aléatoirement dans S ,
- Saut (S) : retourne une solution après avoir réalisé trois échanges consécutifs de tâches choisies aléatoirement dans S ,

Les paramètres de la méthode sont les suivants :

- nb_recherche_max : le nombre de recherche de l'algorithme,
- nb_descente_max : le nombre maximum de recherches locales sans amélioration,
- nb_saut_max : le nombre de sauts.

Et voici la description de l'algorithme de notre méthode [28] :

Début

Initialisation (S) ;

Tant que ((nb_recherche \leq nb_recherche_max))

Faire

nb_recherche ++;

nb_descente \leftarrow 0 ;

Tant que ((nb_descente \leq nb_descente_max))

Faire

nb_descente ++;

$S' \leftarrow$ Voisin (S) ;

Si ($S' < S$)

Alors

nb_descente \leftarrow 0 ;

$S \leftarrow S'$;

Fin Si

Fait

Tant que ((nb_saut \leq nb_saut_max) OU (trouve == faux)) faire

```
Nb_saut ++;  
S' ← Saut (S) ;  
Si (S' < S)  
  Alors  
    S ← S' ;  
    nb_Saut ← 0 ;  
    trouve ← vrai ;  
  Fin Si
```

Fait

Fait

Fin.

Cette méthode offre la recherche d'une solution de meilleure qualité par rapport à notre critère. L'algorithme proposé effectue un nombre de recherche maximum pour limiter la recherche de solution dans le temps. Celui-ci est principalement composé de deux blocs, le premier correspond à une recherche de solutions la plus performante dans un voisinage local. Cette recherche consiste à permuter deux tâches choisies de manière stochastique. Lorsqu'au bout d'un certain nombre de tentatives de permutations on se rend compte que la solution ne s'améliore pas, on élargit le voisinage de recherche à l'aide d'un saut. Le deuxième bloc correspond à rechercher une solution dans un voisinage plus large afin de sortir d'un minima local dans lequel la recherche locale a pu s'enfermer.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté toute la conception et l'analyse de notre système avec les différents diagrammes ainsi que le modèle choisi pour la réalisation de notre moteur de planification et définit par la suite les algorithmes associés pour chaque sous-segment de la problématique générale de notre travail.

Dans le prochain chapitre nous aborderons la partie réalisation ainsi que la description de quelques choix techniques effectués pendant le développement.

Chapitre 4 : IMPLEMENTATION ET REALISATION

1. Introduction

Après avoir exprimé les objectifs de notre travail ainsi que les solutions proposées en utilisant le modèle orienté objet et le langage de modélisation UML (Unified Modeling Language), nous allons passer maintenant à l'implémentation de notre « moteur de planification des interventions de maintenance ».

Il est suivi par la présentation des outils techniques choisis pour le développement, accompagné d'une présentation des interfaces des principaux volets de notre application. Pour finir, nous allons présenter quelques tests concernant l'efficacité de notre moteur.

2. Réalisation

Dans cette partie il sera question de présenter la phase réalisation de la solution « SIYANA », elle comporte :

- Le développement du modèle de déploiement
- Environnement de développement
- Présentation des interfaces de « SYANA »

2.1 Développement du modèle de déploiement

D'après Roques le modèle de déploiement consiste à définir la répartition des différentes machines du système logiciel. [44]

Voici un schéma représentant l'architecture matérielle de notre solution :

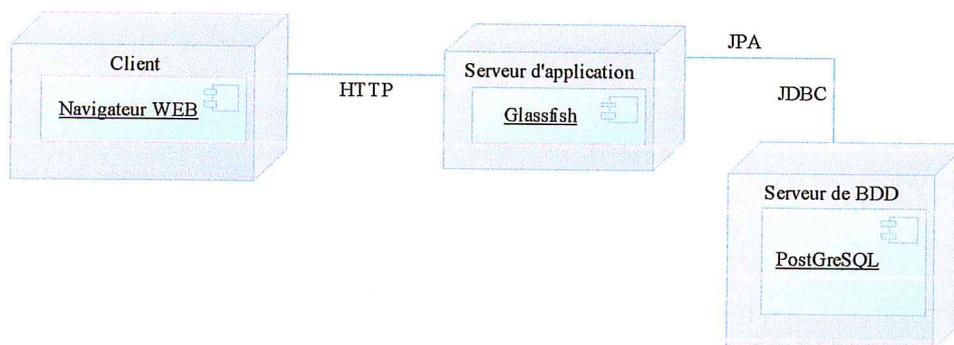


Figure 4.1 : Diagramme de déploiement

3 Environnement de développement

La mise en place et le développement d'applications nécessitent l'installation et la configuration de plusieurs outils.

Le choix de ces outils se fait selon la spécificité de chaque projet informatique. Notre projet étant réalisé dans l'optique d'aboutir à un moteur de planification des tâches de

maintenance, nous avons respecté l'environnement de développement préalablement imposé par ELIT.

3.1 Plate-forme de développement JAVA EE

La plateforme Java Enterprise Edition (Java EE) est la plate-forme standard de l'industrie pour développer des applications d'entreprise codées dans le langage de programmation Java. Basé sur le fondement solide de la plateforme Java Standard Edition (Java SE), Java EE ajoute les bibliothèques et les services système qui prennent en charge l'évolutivité, l'accessibilité, la sécurité, l'intégrité et les autres exigences des applications d'entreprise.

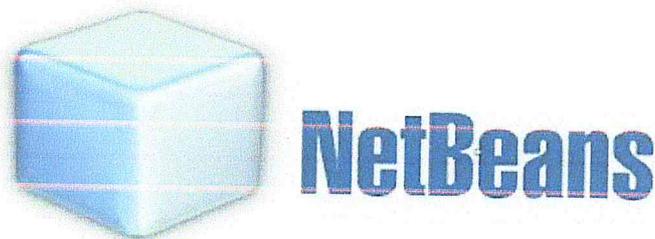
Depuis son lancement initial en 1999, Java EE a muri en une plateforme riche en fonctionnalités et de haute performance. Les parutions récentes de la plate-forme ont également souligné la simplicité et la facilité d'utilisation. En fait, avec la version actuelle de la plate-forme Java EE 8, le développement d'applications d'entreprise Java n'a jamais été plus facile et plus rapide.

Pour le développement de notre application nous avons utilisé la version 6 de Java EE.

3.2. Outils de développement (IDE)

Afin de réaliser ce projet, le choix a été arrêté sur l'utilisation d'une solution Java. Ce choix a été motivé par les raisons suivantes :

- Technologie éprouvée où l'on peut rajouter de nombreux composants suivant les besoins.
- La documentation Java est complète et bien fournie.
- Vu sa portabilité, Java permet de produire des logiciels indépendants de toute architecture matérielle.



Durant le développement, l'IDE Netbeans a été utilisé dans sa version 8.2, sur la plateforme Windows. En effet, cet IDE permet l'édition du code, dispose d'une auto-complétion, d'un débogueur, d'une coloration syntaxique... etc.

L'intégration d'un serveur SVN a permis de gérer les versions des fichiers de l'application, et de partager le code entre tous les membres du groupe. Ces fichiers sont stockés dans un

référentiel central, ce référentiel se trouve dans un répertoire bien spécifique sur une machine serveur d'une plateforme Windows Server Entreprise.

Ainsi, tout développeur peut travailler sur des fichiers déjà modifiés par un autre. En validant ses modifications, il n'a qu'à mettre à jour le code sur le serveur Subversion avec la commande COMMIT. Pour avoir l'ensemble du code actuel, il suffit de mettre à jour le projet grâce à la commande UPDATE.

3.3 Framework utilisée

3.3.1 Présentation de JSF

Java Server Faces (JSF) est un Framework du modèle MVC, destiné aux applications web respectant l'architecture Java EE. C'est une technologie utilisée côté serveur dont le but est de faciliter le développement de l'interface utilisateur en séparant clairement la partie « interface » de la partie « métier ».

L'objectif de JSF est de fournir un environnement de développement permettant de construire une interface de type web, sans devoir toucher au code HTML ou XHTML et JavaScript. Ceci est réalisé par la mise en place d'un mapping entre l'XHTML et les objets concernés. JSF est donc basé sur la notion de composants, comparable à celle de Swing, ou l'état de ces composants est sauvegardé puis restauré au retour de la requête.

Il existe deux implémentations de JSF :

- 1.1 associée à J2EE 1.4 : Sun
- 1.2 associée à Java EE 5 ou plus : Apache

JSF prend en compte les différentes expériences acquises avec les technologies standards (JSP) et celles avec les technologies de type Framework. Elle propose un Framework qui est mis en œuvre par des outils facilitant le développement d'applications web.

JSF permet :

- une séparation nette entre la couche de présentation et les autres couches.
- un modèle riche de composants graphiques réutilisables.
- une gestion de l'état de l'interface entre les différentes requêtes.
- une liaison simple entre les actions côté client de l'utilisateur et le code Java correspondant côté serveur.
- la création de composants personnalisés grâce à une API.

Il existe plusieurs Framework web Java dédiés au développement d'interfaces utilisateur mais aucun n'est un standard et va aussi loin que JSF.

3.3.2 PrimeFaces

D'après l'auteur de PrimeFaces : « PrimeFaces est un Framework open source, qui peut être assimilé à une suite de composants d'interfaces riches pour JSF. Ce dernier apporte des éléments très basiques d'interfaces utilisateur. PrimeFaces va plus loin et propose plus de 100 composants, plus de 35 thèmes, des composants mobiles et bien plus encore. C'est actuellement de loin la suite pour JSF la plus populaire, ainsi qu'un outil graphique très populaire partout pour le développement de Java Web » .



3.4 Serveur de base de données PostgreSQL 9.0

D'après le site officiel de PostgreSQL : PostgreSQL est un système de gestion de bases de données relationnelles objet (ORDBMS) basé sur POSTGRES, Version 4.2, développé à l'université de Californie au département des sciences informatiques de Berkeley. POSTGRES a lancé de nombreux concepts rendus ensuite disponibles dans plusieurs systèmes de bases de données commerciales.

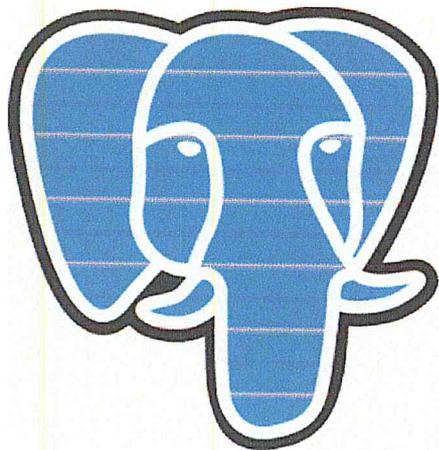
PostgreSQL est un descendant open-source du code original de Berkeley. Il supporte SQL92 et SQL99 tout en offrant de nombreuses fonctionnalités modernes :

- requêtes complexes ;
- clés étrangères ;
- triggers ;
- vues ;
- intégrité des transactions ;
- contrôle des accès concurrents (MVCC ou multi-version concurrency control).

De plus, PostgreSQL peut être étendu de plusieurs façons par l'utilisateur, par exemple en ajoutant de nouveaux

- types de données ;
- fonctions ;
- opérateurs ;
- fonctions d'agrégat ;
- méthodes d'indexation.

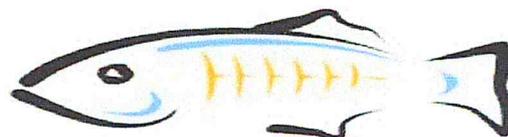
Et grâce à sa licence libérale, PostgreSQL peut être utilisé, modifié et distribué par tout le monde gratuitement quel que soit le but visé, qu'il soit privé, commercial ou académique.



PostgreSQL
the world's most advanced open source database

3.5 Serveur d'applications GlassFish

Le serveur d'applications que nous avons utilisé est GlassFish 3.1. Sun GlassFish Enterprise Server est un serveur compatible avec la plate-forme Java Enterprise Edition (Java EE) permettant de développer et de déployer des applications Java EE et des services Web Java. L'utilisation de ce serveur à des fins de production est gratuite. Sun GlassFish Enterprise Server est sans frais dans le cadre d'activités de développement, de déploiement et de redistribution.



GlassFish

4. Présentation des interfaces du projet « SYANA »

Dans cette section, nous allons présenter le fonctionnement de notre système en montrant ses différentes interfaces et quelques captures d'écrans qui sont conçues de manière à être simples, naturelles pour aboutir à une utilisation conviviale.

4.1 Authentification

En se connectant via cette interface, l'utilisateur aura accès à des modules et fonctionnalités associées à ces droits, lesquels sont gérés par le module administration.

Ci-dessous une interface de l'authentification :



Figure 4.2 : L'interface de l'authentification.

4.2 Liste des tâches de maintenance

La figure ci-dessous représente l'interface des différentes tâches de maintenance, cette interface offre à l'utilisateur la possibilité d'ajouter, supprimer ou modifier les tâches de maintenance.

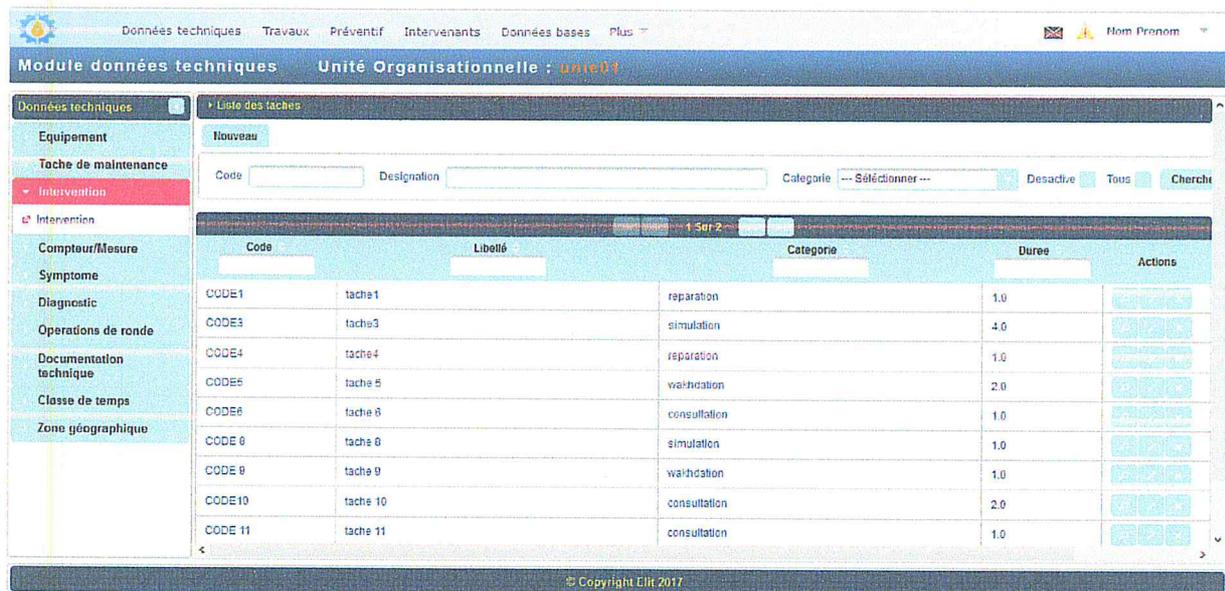


Figure 4.3 : L'interface des tâches de maintenance.

4.4 Ajouter une tâche

Après avoir cliquer sur le bouton « Nouveau » dans l'interface précédant, l'utilisateur aura la possibilité de créer une nouvelle tâche à travers cette interface.

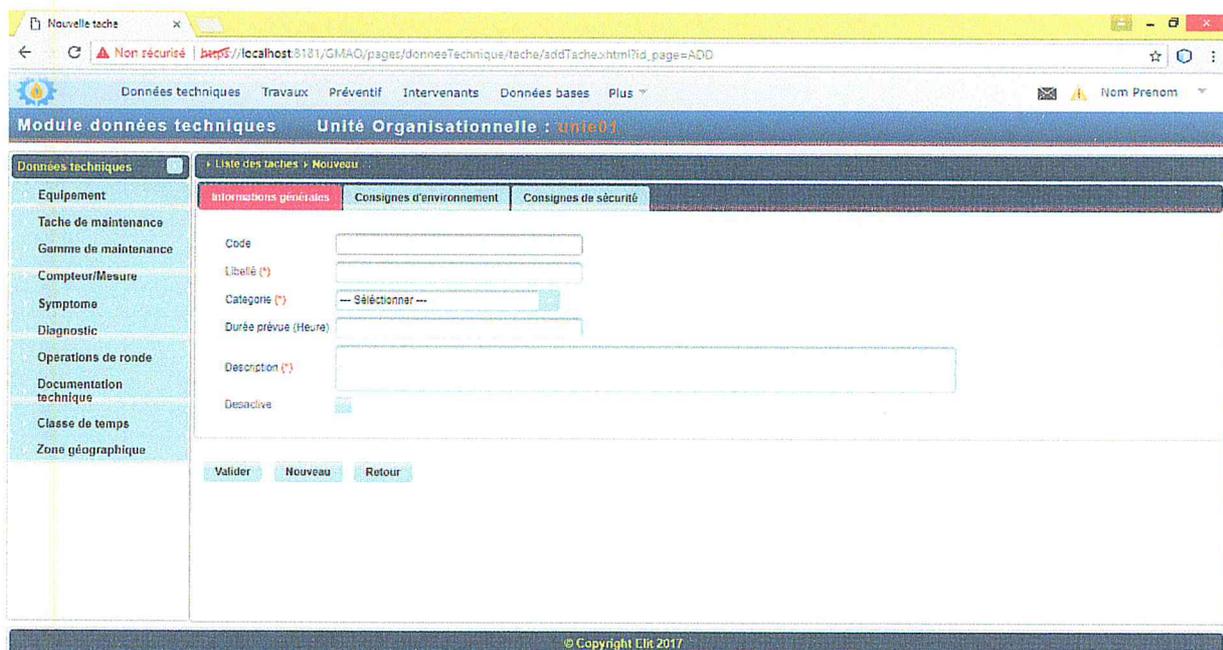


Figure 4.4 : L'interface d'ajouter une tâche de maintenance.

4.5 Liste des intervenants

La figure ci-après représente l'interface contenant la liste des intervenants :

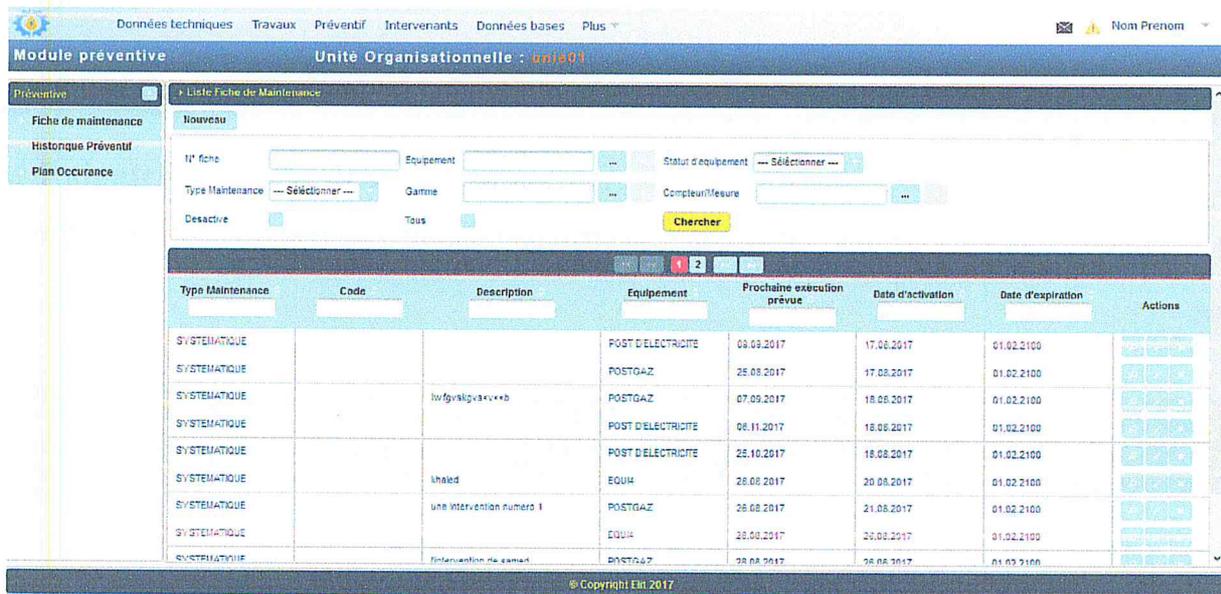


Figure 4.5 : L'interface des intervenants.

4.6 Ajouter un intervenant

Comme pour les précédentes interfaces cette dernière permet a l'utilisateur de faire un rajout.

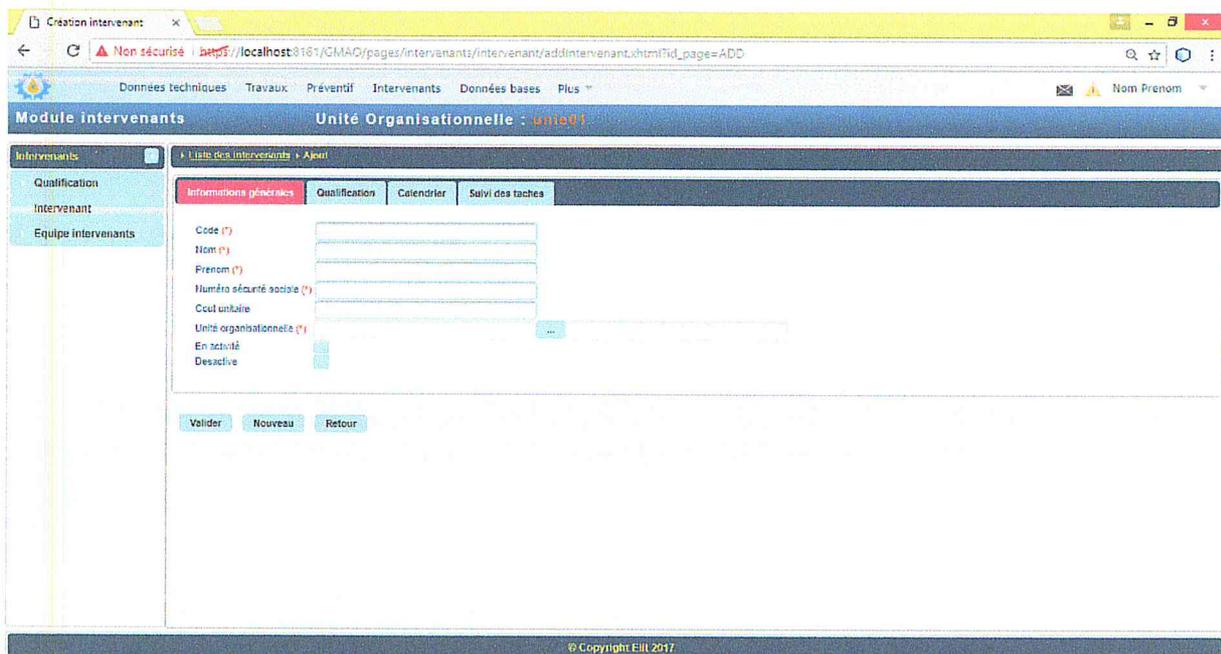


Figure 4.6 : L'interface d'ajouter un intervenant.

4.9 ajouter un ordre de travail

Idem cette séquence permet l'ajout d'une fiche de maintenance a travers la figure ci-après :

Figure 4.9 : ajouter un ordre de travaille

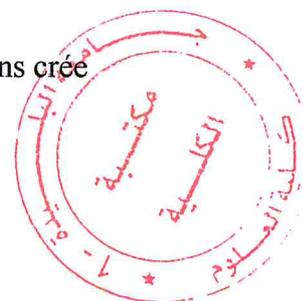
5. Jeux d'essai

Pour la validation de notre approche il est important de la mise en marche et présenter le fonctionnement de notre système.

5.1 Générer un plan des occurrences

Tout d'abord en commence par remplir les champs de l'intervention, Pour cela nous avons rajouté (20 interventions préventives), et nous avons associe un nombre des tâches différent pour chaque intervention.

Nous avons défini un 12 intervenants pour le traitement des tâches des interventions crée auparavant.



4.7 ajouter une fiche de maintenance

Idem cette séquence permet l'ajout d'une fiche de maintenance a travers la figure ci-après :

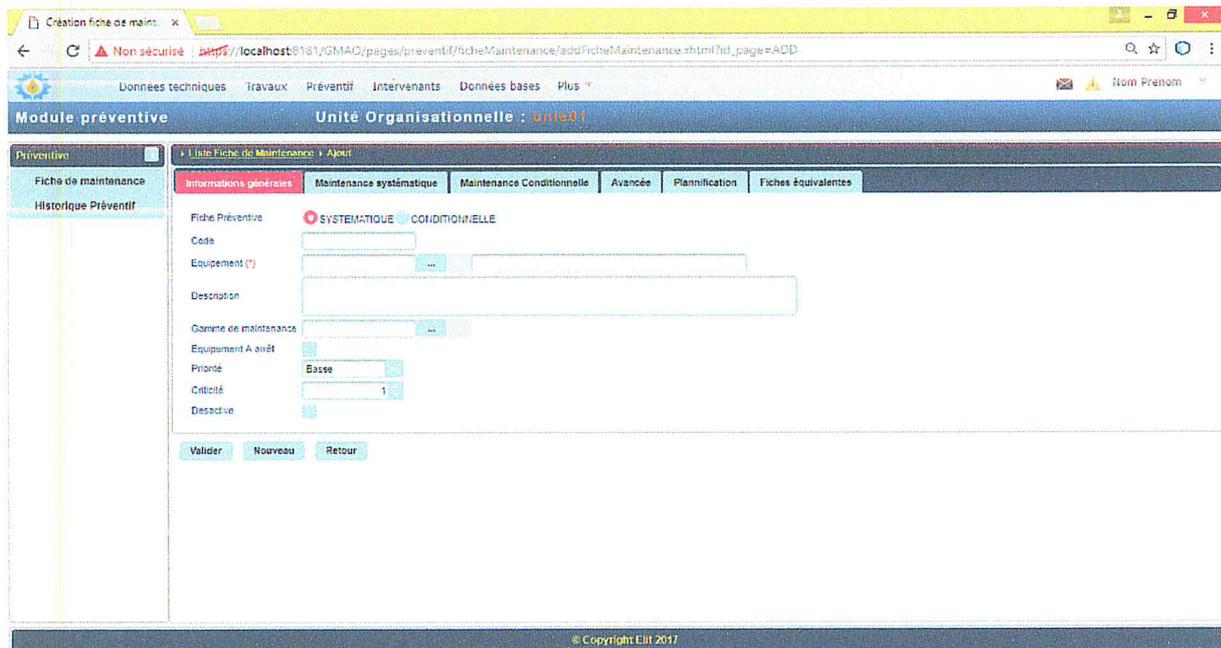
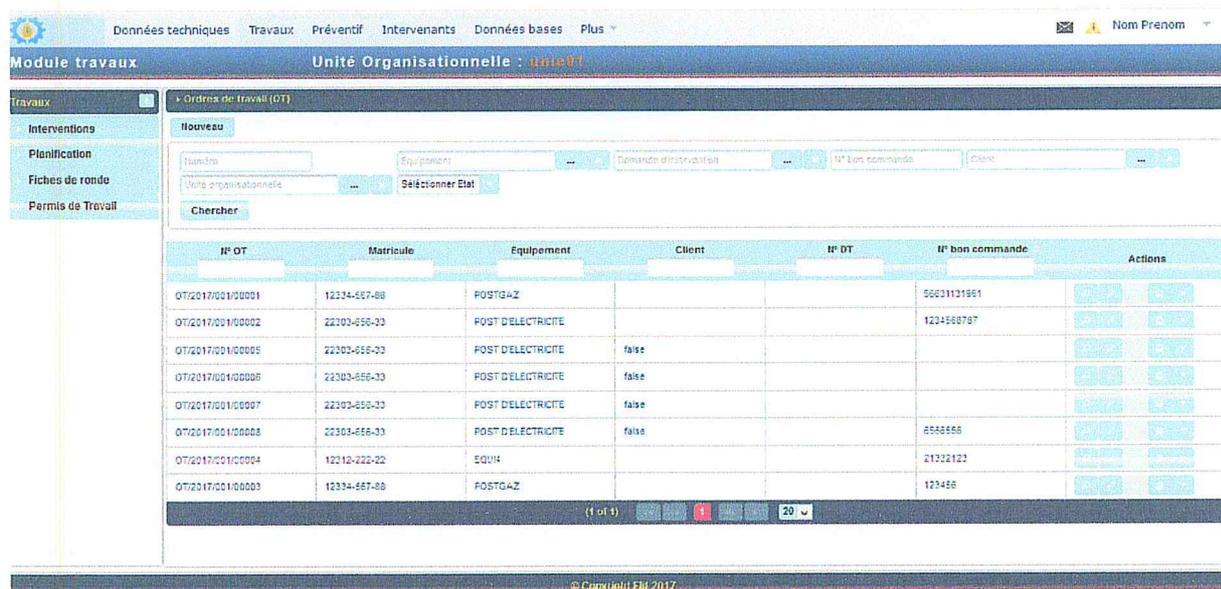


Figure 4.7 : ajouter une fiche de maintenance

4.8 Liste des ordres de travaux



La figure ci-après représente l'interface contenant la liste des ordres de travaux :

Figure 4.8 : L'interface des ordres de travail

Et voilà les résultats de génération des occurrences

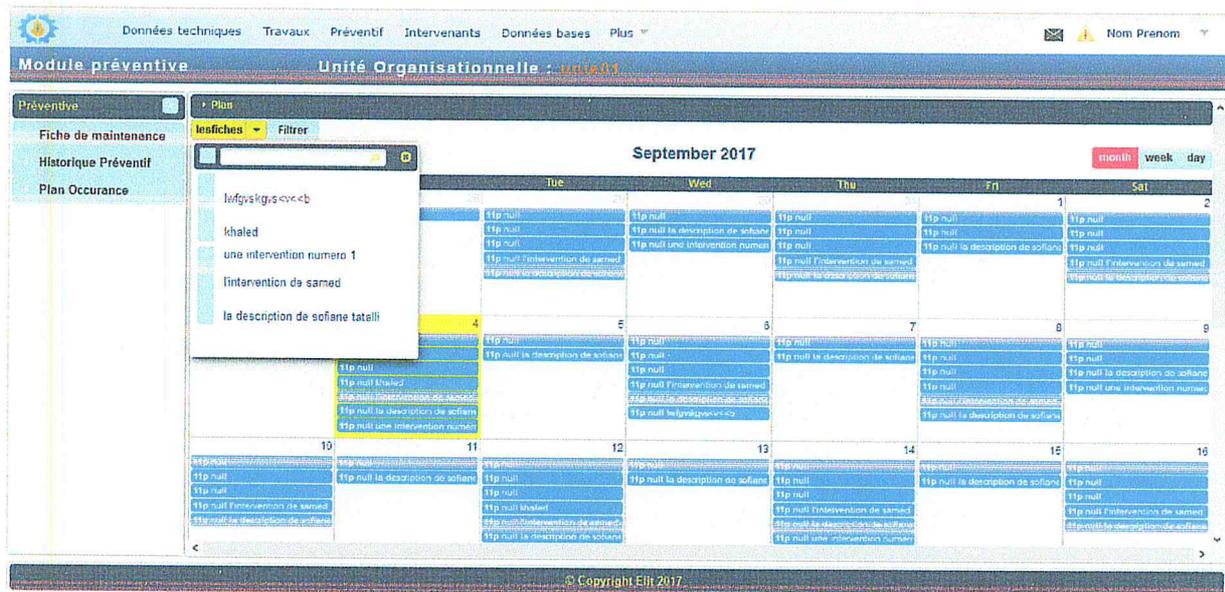


Figure 4.12 : plan des occurrences

5.2 Génère le planning (ordonnancements)

En commence par remplir la date de début et de la fin de planning puis affecter les tâches aux intervenants à travers le clique sur le buttons « affectation des tâches » cela permet d’identifier pour chaque tâche l’intervenant efficace pour leur traitement.

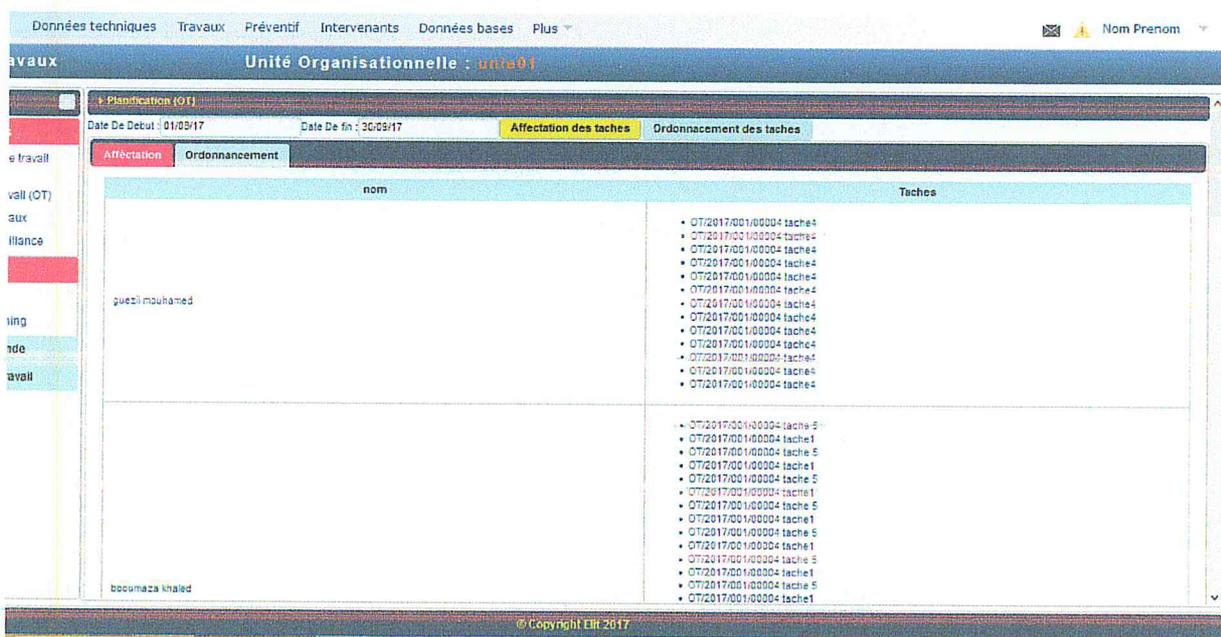


Figure 4.13 : affectation des tâches

The screenshot shows the 'Module préventive' interface with the 'Unité Organisationnelle : 0001' header. The main content area is titled 'Liste Fiche de Maintenance / Ajout'. The 'Informations générales' tab is active, showing a form for adding a maintenance intervention. The form includes fields for 'Fiche Préventive' (SYSTEMATIQUE and CONDITIONNELLE), 'Code', 'Equipement (*)' (11111-111-11), 'Description' (fiche de maintenance 1), 'Gamme de maintenance' (002), 'Equipement A arrêt', 'Priorité' (Normale), 'Criticité' (1), and 'Desactive'. At the bottom of the form are buttons for 'Valider', 'Nouveau', and 'Retour'.

Figure 4.10 : ajouter une intervention

Puis fixe la valeur de la plage qui sépare ente les occurrences,

Et clique sur le bouton valide

The screenshot shows the 'Module préventive' interface with the 'Unité Organisationnelle : 0001' header. A dialog box titled 'Planification selon Calendrier' is open over the main form. The dialog has two tabs: 'Planification selon Calendrier' (selected) and 'Planification selon Compteur'. Under the 'Planification selon Calendrier' tab, there are radio buttons for 'Répétitif' (selected) and 'Fixe'. Below these, there are radio buttons for 'Heure', 'Jour' (selected), 'Semaine', 'Mois', and 'Année'. A text input field contains 'Tous les 30' followed by 'Jours'. At the bottom of the dialog are buttons for 'Valider' and 'Nouveau'.

Figure 4.11 : sélectionne la plage

Et en suite ordonnancer les taches selon les politiques définis préalablement par le clique sur le buttons « ordonnancement des tâches ». Le résultat s’affiche comme suit :

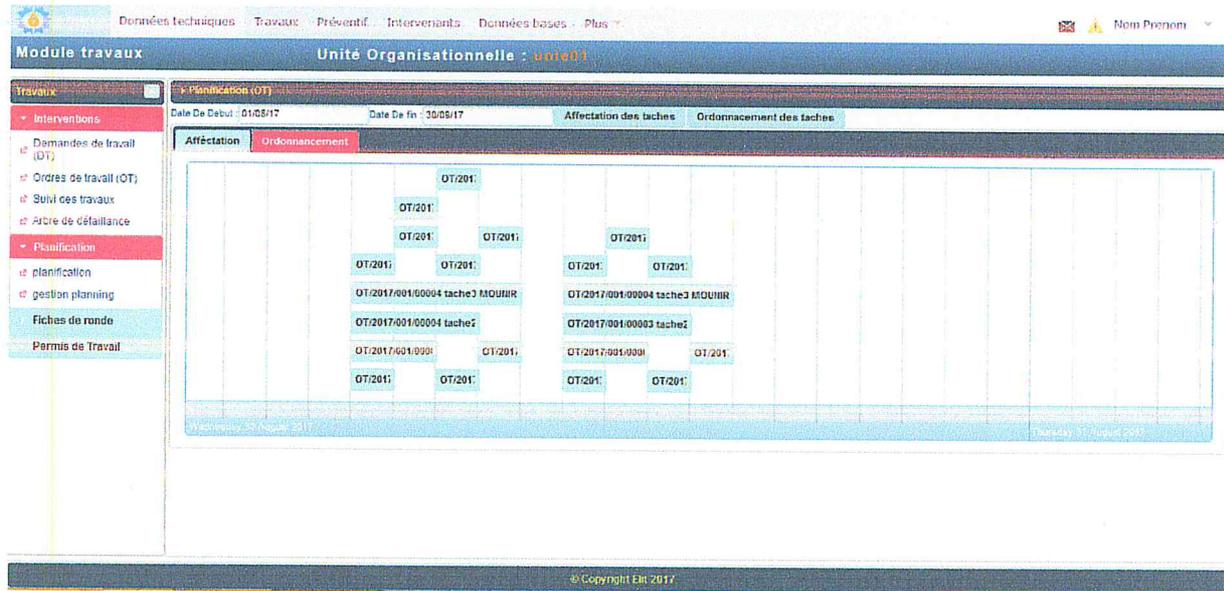


Figure 4.14 : ordonnancement des tâches

Et pour l’évaluation de notre travail nous avons comparé nos résultats préliminaires par les résultats de François Marmier à travers le tableau suivant :

Solution Proposée	Le nombre des qualifications pour chaque intervenant	Le nombre des qualifications pour chaque tache	Le nombre des tâches	Le nombre des intervenants	Le temps de retard en (Min)	Le temps (ms)
François Marmier	/	/	30	2	63	54
			50	5	45	256
			70	8	45	96
Notre Approche	5	20	30	2	20	22
	10	20	50	5	8	209
	15	20	70	8	0	91
	20	20	100	25	0	23

Tableau 07 : tableau comparatif d’évaluation

6. Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question de dérouler les différentes séquences de la maintenance qui nous permet au final une simplification des interfaces et nous donne une application conviviale tendant à un ordonnancement optimal pour les tâches de maintenance à travers un moteur de planification.

Conclusion générale et perspectives

Comme énoncé en introduction ce travail s'inscrit dans le cadre de la relation Université/Entreprise, travail encadré par nos Professeurs et Cadres de l'entreprise d'ELIT (Sonelgaz).

À ce titre il doit se solder par une plus-value. Plus-value dont la nécessité est à coupler à l'obligation de l'entreprise tenue de se doter d'une solution informatique a même de concrétiser les objectifs fixés.

Cet axe d'effort principal ou problématique a été déjà exposé en introduction générale et pour rappel notre projet a été réalisé dans le cadre d'un projet de master au sein de l'Université de Blida. Il a pour objectif de développer un moteur de planification des interventions pour la maintenance. Dans ce contexte, nous avons cherché à développer une application flexible et conviviale permettant son amélioration afin d'anticiper les changements continus des besoins des utilisateurs. Cette solution s'intègre au Système de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur « SYANA ».

Pour notre travail nous avons bénéficié de l'étude de plusieurs thèses traitant des thèmes de planification et ordonnancement rapporté à la maintenance.

Pour la conception de notre application, nous avons eu recours au langage UML. Cette approche nous a permis de comprendre la problématique et de modéliser les objectifs à atteindre. Ce qui nous a permis de réaliser un système stable et évolutif.

Notre premier souci à portée sur la planification : ce problème a été résolu à travers un planning des interventions accompagné avec des occurrences pour chaque intervention.

Secondairement par l'ordonnancement séquencé en trois phases :

- La première phase consiste en l'affectation des tâches aux intervenants en visant la minimisation de la durée de l'ordonnancement. Pour ce faire nous avons utilisé l'algorithme (LPT_H).
- La deuxième phase consiste à ordonnancer les tâches de maintenance en minimisant la somme pondérée des retards, l'algorithme (EDD) a été utilisé conséquemment aux résultats de l'algorithme précédent.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

- Au final, avec l'algorithme Kangourou et sur la base des résultats obtenus précédemment (planning courant), nous avons pu insérer les tâches correctives de maintenance.

Le projet s'est déroulé selon quatre axes principaux nécessaires à la réalisation de tout projet: L'étude, l'analyse, la conception et la réalisation. Pour sa réalisation, nous avons utilisé la Plateforme JavaEE comme langage de programmation et PostgreSQL comme système de gestion de base de données.

En outre, ce projet était une opportunité pour bien maîtriser le développement web et apprendre le langage JAVA.

En bilan, nous avons pu traiter les questions d'affectation et d'ordonnancement, dans la séquence d'insertion dynamique nous avons réussi à insérer les tâches dans les creux de l'ordonnancement courant, en guise de perspective, nous souhaitons compléter ce travail en développant la méthode de kangourou qui permet de résoudre le problème d'insertion des tâches en absence des creux. Le défaut de temps et la difficulté de développement de cette méthode explique le niveau de résultat atteint.

Notre souhait est de proposer une solution permettant de produire un planning de façon automatique ou l'administrateur sera déchargé des tâches traditionnelles et le système lui fournira le planning de manière automatique.

En perspective finale, elle sera améliorée par une fonction de géolocalisation qui permettra via le planning la détection des équipements à maintenir et créer automatiquement l'ordre de travail y afférent.

Au final permettez-nous d'espérer en l'utilité de nos travaux et de reconnaître l'apport et le soutien de nos professeurs et Cadres de l'Entreprise d'ELIT (Sonelgaz).

Bibliographie

- [1] Jean HENG, « Pratique de la maintenance Préventive : Mécanique, pneumatique, Hydraulique, Electricité, Froid, Editions DUNOD, 2002.
- [2] Daniel RACOCEANU « contribution à la surveillance des systèmes de production en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle ».Thèse d'habilitation Université de France Comité de Besançon, France, 2006.
- [3] AFNOR (1995). Indicateur de maintenance - X 60-020, AFNOR.
- [4] Richet D. & Gabriel M., Maintenance basée sur la fiabilité. Edition Masson, 1996.
- [5] AFNOR, 2002 « Maintenance industrielle » indice de classement **FD X 60-000**, lien:http://deliberations.agglo-lehavre.fr/docs/pv/2014-10-02/DELB_20140310-04.pdf
Dernière consultation : Mars 2017.
- [6] Monchy François (2000). Maintenance, méthodes et organisation.
- [7] François BOUCLY « Le management de la maintenance Evolution et mutation .AFNOR 1998.
- [8] Matthieu DUPUY « Contributions à l'analyse des systèmes industriels et aux problèmes d'ordonnancement à machines parallèles flexibles : application aux laboratoires de contrôle qualité en industrie pharmaceutique» Thèse Institut National Polytechnique de Toulouse, France ,2005.
- [9] ZWIN GELSTEIN.Gille, « La maintenance basée sur la fiabilité », guide pratique d'application de la RCM, Edition HERMES, Paris, France, 1996.
- [10] HÉDI KAFFEL, « la maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en oeuvre » Thèse université Lavel Québec, Canada, 2001.
- [11] Moubray J Reliability Centred Maintenance, International Press, 1997.
- [12] Tararykyne Viatcheslav (2005). Modélisation des flux d'information dans un système d'E-maintenance, PhDthesis, UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté.
- [13] IVANOV Alexei, VARNIER Christophe, ZERHOUNI Nouredine « Ordonnancement des activités de maintenance dans un contexte distribué », Article, 4eme Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, 7 pages Besançon, France, 2003
- [14] David SAINT VOIRIN «Modélisation des approches de coopération en télémaintenance : étude et contribution » Mémoire DEA, Besançon, France, 2003.

- [15] L. Mahiddine, A. Hafed, A. Achour, S. Khouri, B. Boudiba «Plate-forme logicielle de E-maintenance et télédiagnostic», Article, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, Setif, Alger, 2007.
- [16] Anis CHELBI, Mohamed Radhouane BENNOUR, Noureddine ZERHOUNI « Contribution à la modélisation des approches de coopération en E-maintenance», Article, 6e Conférence Francophone de Modélisation et Simulation - MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat- Maroc , 2006.
- [17] D.OPHELIE, 2008, Gestion de la maintenance assistée par ordinateur, disponible sur : <http://www.oboulo.com/matieres-scientifiques-et-technologiques/informatique/guide-pratique/gestion-maintenance-assistee-ordinateur-51942.html>.
- [18] Ben Bouzid Sitayeb, F.(2008) Contribution a l'étude de la performance et de la robustesse des ordonnancements conjoints Production/Maintenance - Cas du Flow shop.pdf, Université de Franche Comté,France.
- [19] Girard B., Guide pratique du responsable de maintenance, T1. Edition WEKA,2000.
- [20] CORIM. Factory Systems pourquoi une GMAO.consulté le 05 Mai 2017 de (www.jmr-mao.com/FTPJMR/Pourquoi%20une%20GMAO.doc).
- [21] CRIG.(2011). Factory Systems Global Manufacturing Excellence .consulté le 28 Mars 2017 de (<https://www.factorysystems.eu/?id=gmao-planning>).
- [22] Dimo software.(2017). *DIMO MAINT OPTIMISER LA PLANIFICATION DE VOS INTERVENTIONS DE MAINTENANCE* .Consulté le 13 avril 2017 de (<http://www.gmao.com/dimomaint/fonctionnalites-gmao/planification-maintenance>)
- [23] Weil G., Heus K., **Chan P.** et François P. : *The Nurse Scheduling Problem: a combinatorial problem, solved by the combination of constraint programming and real user's heuristics*. In Medinfo'98. B. Cesnik et al. (Eds.) IOS Press ; Amsterdam. pp 508-512, 1998.
- [24] Tourev, Pierre (2006), la toupie lien: <http://www.toupie.org> Dernière consultation : février 2017.
- [25] Yew-Cheong, Peter Chan (2004), La planification du personnel : acteurs, actions et termes multiples pour une planification opérationnelle des personnes, Pour obtenir

titre de DOCTEUR de l'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – Grenoble 1,
Spécialité : Informatique Formation doctorale : Recherche Opérationnelle.

- [26] <https://docs.optaplanner.org/6.5.0.Final/optaplanner-docs/pdf/optaplanner-docs.pdf>
Dernière consultation : Mars 2017.
- [27] <http://ordonnancement.org/> Dernière consultation : janvier 2017.
- [28] François MARMIER,(2007), THÈSE « Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence : une approche dynamique, proactive et multicritère », pour obtenir le Grade de Docteur d'Université en Automatique, à L'UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ.
- [29] Patrick ESQUIROL et Pierre LOPEZ « L'ordonnancement » Collection Gestion. Edition ECONOMICA Paris 1999.
- [30] Patrick ESQUIROL et Pierre LOPEZ « L'ordonnancement » Collection Gestion. Edition ECONOMICA Paris 1999.
- [31] Pierre LOPEZ et François ROUBELLAT « Ordonnancement de la production »Edition HERMES, France 2001.
- [32] ADDAD Nora, SAIDANI Monira « Approche méta-heuristique basée sur la méthode de recherche d'harmonique pour la résolution des problèmes d'ordonnancement industriels», mémoire pour l'obtention d'un diplôme Master en informatique. Université Saad Dahlab promotion (2011).
- [33] LEKHAL Meriem, HAMAIIDI Naima «Implémentation Parallèle Multi-Agent de méta-heuristique pour la résolution des problèmes d'ordonnancement industriels», mémoire pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en informatique, Université Saad Dahlab promotion (2011).
- [34] Pinedo Mickael (1995). Scheduling, Theory, Algorithms and Systems, Prentice.
- [35] BELLMANN R. et DREYFUS S.E “Applied dynamic programming .Princeton. University Press” 1974.
- [36] KIRKPATRICK S, GELATT C.D. et VECCHI M.P. (1983). Optimization by mulated annealing, Science
- [37] Tchommo Janvier-Laurent, Batiste Pierre et Soumis François (2003). « Etude bibliographique de l'ordonnancement simultané des moyens de production et des ressources Humaines », Congrès International de Génie Industriel (GI).
- [38] Ernst A.T., Jiang H., Krishnamoorthy M., Owens B. et Sier D. (2004). « Sta_ scheduling and rostering : A review of applications, methods and models » , European Journal of Operational Research, 153(3) : 3_27.
- [39] Grabot B. et Letouzey A. (2000). _ Short-term manpower management in manufacturing systems : new requirement and DSS prototyping _, Computers in Industry, 43 : 11_29.

BIBLIOGRAPHIE

- [40] HALA Sabah « Modélisation et dimensionnement d'une plateforme hétérogène de services » Thèse, Université de Franche-Comté France 2009.
- [41] Boussier,S. Hashimoto,H. Vasquez,M. Wilbaut,CH.(2009). un algorithme grasp pour le problème de planification de techniciens et d'interventions pour les télécommunications, 387–407
- [42] J.M.Moore, «A n jobs, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of late job». Management science 1968.
- [43] Bourbaki Nicolas (2007). Eléments de mathématiques, théorie des ensembles.
- [44] P.ROQUES et F.VALEE « UML2 en action » un guide, de l'analyse des besoins à la conception, disponible sur :
http://www.editionsorganisation.com/Chapitres/9782212114621/chap5_roques.pdf

