

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou

Faculté de Génie de la Construction
Département D'électromécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme master en :
Electromécanique
Spécialité : Maintenance Industrielle



Thème

CONCEPTION D'UNE APPLICATION DE
GESTION DE LA MAINTENANCE ASSISTEE
PAR ORDINATEUR

Réalisé par :

M. AZZOUG Yahia
M. HADJER Rayan

Dirigé par :

M. BELGAID Hocine

Membres du jury :

M. CHERABI BILAL	M C B, UMMTO, Président.
M. SI AHMED HAMID	M A A, UMMTO, Examineur.
M. BELGAID HOCINE	M C B, UMMTO, Encadreur.

Année universitaire : 2022-2023.

REMERCIEMENTS

ON REMERCIE DIEU LE TOUT PUISSANT DE NOUS AVOIR DONNÉ
LA SANTÉ ET LA VOLONTÉ DE MENER À BIEN CE MODESTE
TRAVAIL.

TOUT D'ABORD CE TRAVAIL NE SERAIT PAS AUSSI RICHE SANS
L'AIDE ET L'ENCADREMENT DE NOTRE PROFESSEUR

DR. BELGAÏD HOCINE, ON LE REMERCIE POUR LA QUALITÉ DE
SON ENCADREMENT EXCEPTIONNEL POUR SA PATIENCE, SA
RIGUEUR, SON ÉCOUTE ET SA DISPONIBILITÉ TOUT AU LONG DE
LA RÉALISATION DE CE MÉMOIRE, AINSI POUR L'INSPIRATION,
L'AIDE ET LE TEMPS QU'IL A BIEN VOULU NOUS CONSACRER
POUR QUE CE MÉMOIRE VOIT LE JOUR.

NOS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT AUX AIMABLES JURYS,
NOUS VOUS REMERCIONS POUR VOTRE PRÉSENCE ET D'AVOIR
ACCEPTÉ DE JUGER ET EXAMINER NOTRE TRAVAIL, NOUS VOUS
REMERCIONS POUR LE BON DÉROULEMENT DE LA SOUTENANCE
DE NOTRE MÉMOIRE.

NOS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT AUSSI À TOUS NOS
PROFESSEURS POUR LEURS GÉNÉROSITÉS ET LA GRANDE
PATIENCE DONT ILS ONT SU FAIRE PREUVÉ MALGRÉ LEURS
CHARGES PROFESSIONNELLES.

NOS REMERCIEMENTS VONT ÉGALEMENT À NOS PARENTS QUI
NOUS ONT SOUTENU SANS CESSER MORALEMENT ET
FINANCIÈREMENT TOUS AU LONG DE NOTRE CURSUS ET TOUT AU
LONG DE NOTRE TRAVAIL.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A mon cher Père,

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que t'as consenti pour mon instruction et mon bien être. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes. Que ce modeste travail soit l'exaucement de tes vœux tant formulés, le fruit de tes innombrables sacrifices, bien que je ne m'en acquitterai jamais assez.

A ma chère Maman,

Combattante, courageuse, honorable, aimable, sage et très patiente, tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, tu as tout fait pour que je sois ce que je suis aujourd'hui.

Je ne te remercierai jamais assez. Je vous aime à l'éternité

Que DIEU vous bénisse et vous gardes pour moi mes chers parents.

A mon cher frère Et ma chère sœur Merci pour vos encouragements, vos soutiens, votre amour et pour tout ce que vous faites pour moi.

A mon binôme et ami Yahia,

Réussite méritée, je te souhaite la meilleure des continuités

A tous mes amis (es) Abdou, Nazim, Oloulou, Amine, Sofiane, Yacine...

RAYAN

Dédicace

En ce moment solennel qui marque la conclusion de cette étape significative de ma vie, je souhaite dédier avec toute l'émotion qui m'habite ce mémoire :

À mes parents, pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant et votre encouragement indéfectible. Ce mémoire est dédié à vous, qui m'avez inspiré à poursuivre mes rêves et m'avez appris la valeur de la persévérance. Votre soutien a été ma lumière dans les moments sombres de cette aventure académique. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon frère Youcef et ma sœur Ryma, pour avoir partagé avec moi cette incroyable expérience de croissance et de découverte. Votre présence a rendu chaque étape de ce voyage plus mémorable.

À mes amis d'enfance Adel et Samir, qui ont été à mes côtés depuis le début de cette aventure. Votre amitié et votre soutien ont été des piliers essentiels de mon parcours académique.

À mes meilleurs amis Rafik, Riad, Yanis, Yahia, Samy, Djedjiga, Wassila, pour avoir été les compagnons de route les plus précieux. Vos encouragements, vos conseils et vos moments de détente ont équilibré les rigueurs académiques de cette période.

À mon binôme Rayan, pour notre travail d'équipe acharné, nos discussions stimulantes et notre persévérance conjointe. Nous avons relevé ensemble de nombreux défis et nous sommes sortis plus forts.

Enfin, à mon promoteur Mr. Belgaïd, pour votre expertise, votre mentorat et votre précieux soutien tout au long de ce mémoire. Vos conseils éclairés ont été la clé de la réussite de ce travail de recherche.

Ce mémoire est le fruit de l'amour, du soutien et de l'amitié qui m'entourent. Merci à vous tous pour avoir été une source d'inspiration et de motivation.

Avec toute ma gratitude,

Yahia

Sommaire

INTRODUCTION	2
CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance	
I.1. Définition de la maintenance	5
I.2. Différents types de maintenance.....	5
I.2.1. La maintenance corrective.....	5
I.2.2. La maintenance préventive.....	6
I.3. L'organigramme de la maintenance	7
I.4. Les niveaux de maintenance	8
I.5. Conclusion	8
CHAPITRE II : Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)	
II.1. Présentation de la GMAO.....	10
II.1.1. Introduction a la GMAO	10
II.1.2. Qu'est-ce qu'un progiciel de GMAO	10
II.2. Optimisation de la Gestion de Maintenance.....	11
II.3. Pourquoi une GMAO	11
II.4. L'apport de la GMAO.....	12
II.5. L'information pour la prise de décision.....	12
II.6. Les avantages et inconvénients de la GMAO	13
II.6.1. Avantages.....	13
II.6.2. Inconvénients (causes d'échecs).....	13
II.7. Conclusion	14
CHAPITRE III : Optimisation des Processus et des Ressources Industrielles	
III.1. Introduction	16
III.2. L'ordre de travail (OT).....	16
III.3. Conception et Architecture d'un Ordre de Travail.....	17
III.4. Analyse des temps de maintenance	18
III.4.1. Moyens de mesure.....	18
III.4.2. Nécessité de la connaissance des temps	18
III.4.3. Les temps de maintenance.....	21
III.4.4 Estimation des temps d'intervention.....	23
III.5. Analyse des coûts de maintenance	23
III.5.1. Les coûts indirects	23
III.5.2. Les coûts directs	24
III.5.3. Coût d'une défaillance.....	25

Sommaire

III.6. Optimisation des coûts de maintenance	26
III.6.1. Coût global de maintenance	26
III.6.2. Optimisation des coûts de défaillance.....	27
III.7. Préparation d'une intervention.....	28
III.8. Conclusion.....	29

Chapitre IV : Gestion de stock

IV. Gestion de stock.....	31
IV.1. Introduction.....	31
IV.2. Terminologies essentielles dans la gestion de stock	31
IV.2.1. Stock	31
IV.2.2. Gestion de stock	32
IV.2.3. Le fichier du stock de maintenance	32
IV.2.4. Stock des pièces de rechanges.....	33
IV.3. Les coûts de gestion des stocks	33
IV.3.1. Coût de passation de commande (ou coût d'acquisition).....	33
IV.3.2. Coût de possession (ou coût de stockage)	34
IV.3.3. Coût total de gestion de stock	34
IV.4. Formule Wilson	36
IV.5. Conclusion	36

CHAPITRE V : Ordonnancement

V. Ordonnancement	38
V.1.Introduction	38
V.2. Terminologies de l'ordonnancement.....	38
V.3. Ordonnancement par la méthode de GANTT	39
V.4. Ordonnancement par la méthode PERT	40
V.5.Conclusion.....	44

Chapitre VI : Environnement de Développement

VI. Environnement de Développement	46
VI.1. MATLAB.....	46
VI.1.1. Définition.....	46
VI.1.2 App Designer.....	46
VI.2. Microsoft Excel	48
VI.3. Conclusion	49

CHAPITRE VII : Interface et fonctionnalités de l'application

VII. Interface et fonctionnalités de l'application	51
VII.1. Introduction	51
VII.2. Page D'accueil.....	51
VII.3. Gestion des Equipements.....	52
VII.3.1. Liste des Equipement	52
VII.3.2. Information.....	54
VII.4. Gestion D'interventions	55
VII.4.1. Intervention préventive	55
VII.4.2. Intervention corrective	56
VII.5. Gestion de stock	56
VII.5.1. Gestion des pièces	56
VII.5.2. Entrée et sortie	57
VII.6. Gestion du personnel.....	58
VII.6.1. Pointage et heures Supplémentaires.....	58
VII.6.2. Liste du personnel	59
VII.7. Aide	60
VII.7.1. Aide stock	60
VII.7.2. Aide Maintenance	61
VII.8. Conclusion	61
CONCLUSION GENERALE	63
BIBLIOGRAPHIE	65

Liste des figures

Liste des figures

Figure N° I.1 : Les différentes politiques de maintenance.....	07
Figure N° II.1: Rôle d'une GMAO dans l'entreprise.....	11
Figure N° III.1 : Cycle de détermination du temps alloué pour une activité.....	19
Figure N° III.2 : Les temps caractéristiques lors d'une intervention.....	21
Figure N° III.3 : Découpage d'une intervention préventive.....	22
Figure N° III.4 : Les phases d'une opération de maintenance corrective.....	22
Figure N° III.5 : Répartition des TTR mesurés.....	23
Figure N° III.6 : Optimisation du coût global de maintenance.....	27
Figure N° III.7 : Optimisation du coût de défaillance.....	28
Figure N° IV.1 : Politique d'approvisionnement de type point de commande.....	35
Figure N° V.1 : représentation d'une étape.....	42
Figure N° V.2: représentation d'une tâche.....	43
Figure N° V.3: chemin critique.....	43
Figure N° VI.1 : Interface de programmation de « APP designer ».....	47
Figure N° VI.2 : Bibliothèque des composants de "App designer".....	48
Figure N° VII.1: Page d'accueil.....	51
Figure N° VII.2 : Liste des équipements.....	53
Figure N° VII.3 : Information.....	54
Figure N° VII.4 : Gestion D'interventions Préventive.....	55
Figure N° VII.5 : Gestion d'intervention corrective.....	56
Figure N° VII.6 : Gestion des pièces.....	57
Figure N° VII.7 : Gestion des entrée et sortie.....	57
Figure N° VII.8 : Gestion du Pointage et des Heures Supplémentaires.....	58
Figure N° VII.9 : Gestion de la Liste du Personnel.....	59
Figure N° VII.10 : Optimisation de stock.....	60
Figure N° VII.11 : Évaluation des Coûts de Maintenance.....	61

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau N° I.1 : tableau représentant les différents niveaux de maintenance.....	08
Tableau N° III.1 : Liste des niveaux d'intervention en fonction du temps	20
Tableau N° V.1 : Diagramme de Gantt du projet	40

Liste des abréviations

GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

OT : L'ordre de travail

MTBF : la moyenne des temps de bon fonctionnement

TBF : Un temps de bon fonctionnement

MTTR : la moyenne des temps de réparation

MTTA : la moyenne des temps d'arrêt

Cat : Coût annuel de passation de commande

Ca : Coût de passation d'une commande

Introduction

INTRODUCTION

Dans le cadre de ce projet de Master, nous avons élaboré une application de gestion de maintenance assistée par ordinateur qui met en œuvre les concepts analytiques, statistiques et organisationnels étudiés au cours de notre formation. Cette application propose des interfaces conviviales et un environnement de travail intuitif, adaptés à une large audience. Étant donné que nous ne sommes pas spécialistes en développement d'applications, nous avons choisi d'utiliser Matlab pour la programmation, Matlab AppDesigner pour les interfaces et des tableurs Excel pour la gestion des bases de données. Il est à noter que Matlab permet de créer et de partager des programmes sous forme d'applications autonomes ou en ligne grâce à son module appelé MATLAB Compiler.

Après avoir optimisé leur production et organisation, les entreprises cherchent constamment à améliorer la disponibilité de leurs équipements. La maintenance ne doit pas être sous-estimée, elle constitue un élément vital et son impact sur d'autres fonctions telles que la production, la comptabilité, les stocks, la sécurité, etc., est incontestable. De nombreux dysfonctionnements constatés dans d'autres domaines trouvent leur origine dans ce processus. Ainsi, la citation suivante prend tout son sens : « Quand la maintenance tousse, c'est toute l'entreprise qui s'enrhume ».

Pour agir, planifier, préparer, analyser et mettre en place les outils et les méthodes nécessaires à la fabrication des moyens de production, l'adoption d'une solution GMAO s'avère incontournable pour permettre à l'entreprise d'optimiser économiquement la disponibilité de ses équipements productifs.

La conception d'un progiciel de GMAO implique en premier lieu une préparation minutieuse (codification des équipements, des articles, etc.) propre à l'entreprise utilisatrice du progiciel. En effet, la définition des bases de données à utiliser dépend principalement de ces codifications. Cette étape revêt une importance capitale pour les programmeurs car chaque structure de base de données est utilisée dans les programmes. Une structuration adéquate permet d'éviter la redondance d'informations. Il est impératif d'établir des liens précis entre les tables de la base de données pour garantir le bon fonctionnement de l'application.

INTRODUCTION

Nous avons divisé notre travail en deux (02) parties :

- Partie 1 : En cinq (05) chapitres :
 - Généralités sur la maintenance.
 - Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO).
 - Optimisation des Processus et des Ressources Industrielles.
 - Gestion de stock.
 - Ordonnancement.

Cette documentation aspire à être un guide exhaustif pour mettre en œuvre une gestion efficace de la maintenance.

- Partie 2 : En deux (02) chapitres :
 - Environnement de Développement.
 - Interface et fonctionnalités de l'application.

Le premier volet aborde les outils informatiques mis en œuvre pour accomplir les tâches. Le second constitue une présentation détaillée et peut être assimilé à un guide d'utilisation pour la plateforme développée.

CHAPITRE I

Généralité sur la maintenance

Définition de la maintenance

Rappelons la norme NF X 60-010 qui définit la maintenance comme étant « l'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sureté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management.» [1]

Par bien, il faut entendre un équipement de production, un bâtiment, un logiciel, un véhicule ou bien le regroupement ordonné de tout cela en vue d'assurer une fonction donnée, le plus souvent productrice de valeur. La position du management de ce ou de ces biens doit être de les tenir dans un état tel qu'ils puissent, de façon optimale, effectuer les tâches et remplir les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus.

I.2. Différents types de maintenance

On distingue deux types de maintenances [1] :

I.2.1. La maintenance corrective

Dont Selon la définition de l'AFNOR, la maintenance corrective est décrite comme une intervention réalisée après la détection d'une panne, dans le but de restaurer un bien à un état lui permettant d'accomplir sa fonction requise.

La maintenance corrective englobe les actions entreprises en réponse à une panne, un incident ou un événement imprévu. Son objectif primordial est de rétablir la fonctionnalité des équipements en effectuant des dépannages, des réparations ou en procédant au remplacement des pièces défectueuses.

a. Maintenance palliative

La maintenance palliative correspond au dépannage. Elle consiste à remettre provisoirement une machine ou un outil en état, dans l'attente de sa réparation. La maintenance palliative permet d'éviter l'arrêt totale de production, on parle alors de reprise de production en mode « dégradé ».

b. Maintenance curative

La maintenance curative répare les causes et conséquences de la panne. Contrairement à la maintenance palliative, il s'agit d'une action en profondeur qui agit sur le long terme, souvent en remplaçant la pièce défectueuse par une neuve. L'équipement reprend alors une production normale.

I.2.2. La maintenance préventive

Définition AFNOR de la maintenance préventive : « *Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien* ». [1]

La **maintenance préventive** est donc, comme son nom l'indique, de la prévention par l'entretien régulier d'une machine ou d'un bien. Elle consiste à faire des contrôles selon des normes établies et/ou conformément aux instructions du fabricant, mais également en fonction de l'expérience humaine et des historiques d'interventions réalisés sur le bien.

La maintenance préventive a pour but de :

- Garantir la disponibilité du bien.
- Augmenter sa durée de vie.
- Diminuer la probabilité des pannes et donc d'actions de maintenance corrective.
- Contrôler les consommations d'énergie ou de pièces détachées en contribuant à

la maîtrise des stocks.

On distingue 3 types de maintenance préventive :

a. Maintenance systématique

La maintenance préventive systématique est effectuée selon un échancier, en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable du bien.

La fréquence des interventions est établie à compter de la mise en fonctionnement du bien ou à la suite d'une révision partielle ou complète de celui-ci.

b. Maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est basée sur une surveillance du bien en fonction d'un type d'évènement prédéfini (auto-diagnostique, information de capteurs...). Elle fait intervenir des informations recueillies en temps réel, au moyen de techniques comme la tribologie ou la thermographie par infra-rouge, avec pour objectif d'intervenir au moment où le bien a franchi le seuil d'usure ou de dégradation fixé préalablement. Il s'agit d'effectuer la bonne opération au bon moment, pour une meilleure maîtrise des coûts.

c. Maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle (parfois appelée prédictive) est d'après la définition AFNOR « une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Elle consiste à anticiper les besoins de la maintenance en permettant de prévenir les pannes ou les défaillances. C'est la maintenance 4.0, avec une surveillance en continu des évolutions de certains paramètres, des seuils, des différentes data (logiciel GMAO, etc...), permettant une gestion précise pour déclencher la bonne intervention en fonction de l'ensemble des paramètres.

I.3. L'organigramme de la maintenance

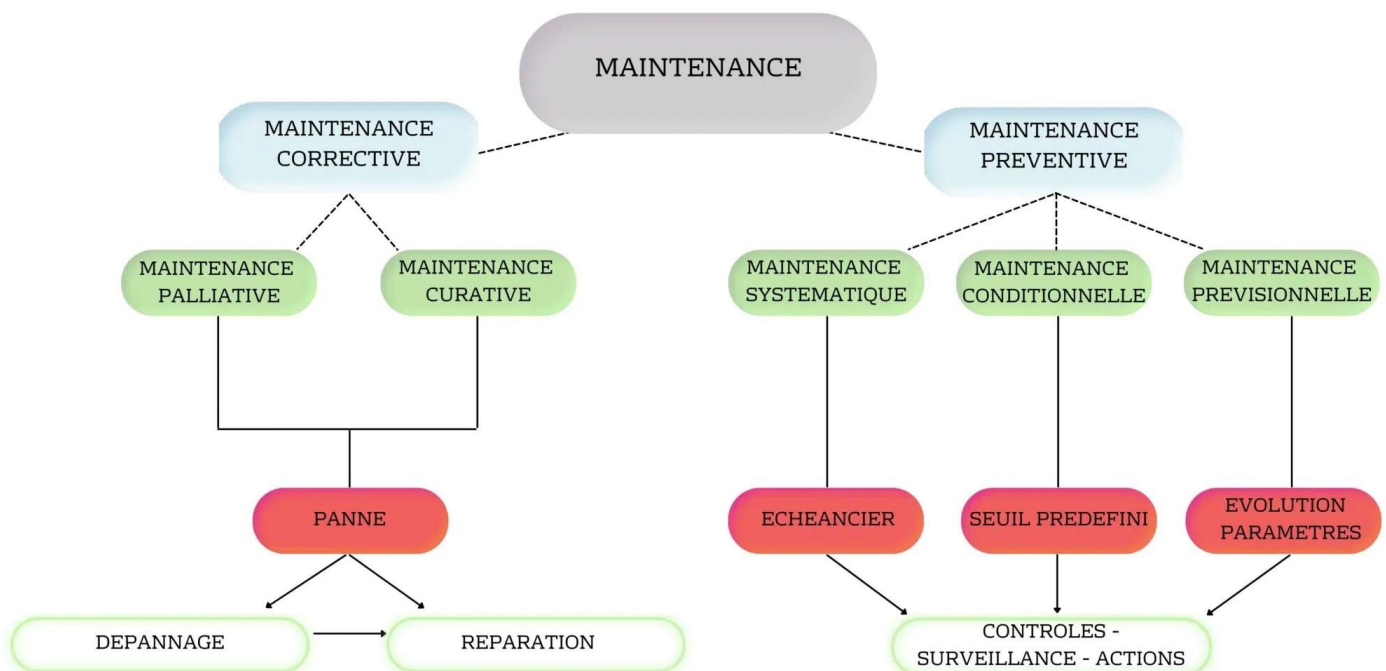


Figure N°I.1 : Les différentes politiques de maintenance.

1.4. Les niveaux de maintenance

Il existe cinq niveaux de maintenance [2]

Niveaux	Actions à effectuer	Intervenant
1^{er}Niveau	Réglage simple prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage de l'équipement, ou échange d'éléments accessible en toute sécurité.	-Constructeur. -Opérateur sur machine.
2^{ème}Niveau	Dépannage par échange standard d'éléments prévu à cet effet, ou des opérations mineures de maintenance préventive (rondes).	-Technicien maintenance.
3^{ème}Niveau	Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparation mécanique mineur.	- Technicien maintenance.
4^{ème}Niveau	Travaux importants de maintenances préventives ou correctives	-Responsable d'équipe maintenance.
5^{ème}Niveau	Travaux de préventions, de rénovations, de reconstructions, ou de réparation importante, confiés à un atelier central.	-Sous-traitants. -Constructeur.

Tableau N° I.1 : tableau représentant les différents niveaux de maintenance

I.5. Conclusion

La maintenance constitue un maillon crucial pour toute entreprise disposant d'un parc d'équipements. Avec divers types de maintenance détaillés dans ce chapitre, elle peut être entièrement supervisée par le biais de l'outil informatique GMAO. Celui-ci englobe la gestion des équipements, les procédures de service, la gestion des stocks et l'ordonnancement, le tout centralisé dans une base de données unique accessible via une interface graphique.

CHAPITRE II

GMAO

II.1. Présentation de la GMAO

II.1.1. Introduction à la GMAO

Depuis l'apparition des premiers logiciels au début des années 80, la GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) a connu de profondes mutations. Initialement considérée comme une simple "base d'informations" permettant de recenser les équipements d'un site et les interventions de maintenance qui y étaient effectuées, elle a peu à peu élargi son champ d'applications à la gestion de toutes les activités de maintenance. Actuellement, n'importe quel logiciel du marché permet de décrire les équipements à maintenir, d'identifier et de planifier les interventions nécessaires, de réaliser des comptes rendus de travaux, de gérer les achats et les stocks de pièces de rechange ; certains vont même jusqu'à proposer un module de "workflow" permettant de gérer le flux de tâches à exécuter.

Les gains obtenus sont incontestables. Bien installée, une GMAO permet notamment de réduire le temps d'indisponibilité des machines, d'optimiser les interventions de maintenance et de rationaliser les stocks de pièces de rechange. Elle participe ainsi à une meilleure maîtrise des coûts et à une gestion plus rationnelle des activités de maintenance. Pour en arriver là, encore faut-il choisir "le bon logiciel"... Un choix d'autant plus difficile que l'offre est extrêmement vaste. Selon une récente enquête de l'AFIM (l'Association française des ingénieurs et responsables de maintenance), il n'existerait pas moins de 800 logiciels de GMAO (et d'aides diverses à la maintenance) pour les applications industrielles. Si tous présentent plus ou moins les mêmes fonctionnalités (on retrouve toujours la gestion des bons de travaux, des stocks, des interventions, etc.), on observe de profonds écarts entre les logiciels d'entrée de gamme, qui offrent un coût attractif mais qui ne conviennent généralement qu'aux besoins des PME, et les outils les plus sophistiqués, que l'on retrouve dans les applications de grande envergure (transports, télécoms, sociétés de distribution d'eau, de gaz, etc.).

II.1.2. Qu'est-ce qu'un progiciel de GMAO

« Un système informatique de management de la maintenance est un progiciel organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects techniques, budgétaire et organisationnel, toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité (services, lignes d'atelier, machines, équipements, sous-ensembles, pièces, etc.) à partir de terminaux se trouvant dans les bureaux techniques, les ateliers, les magasins et bureaux d'approvisionnement. » [3]

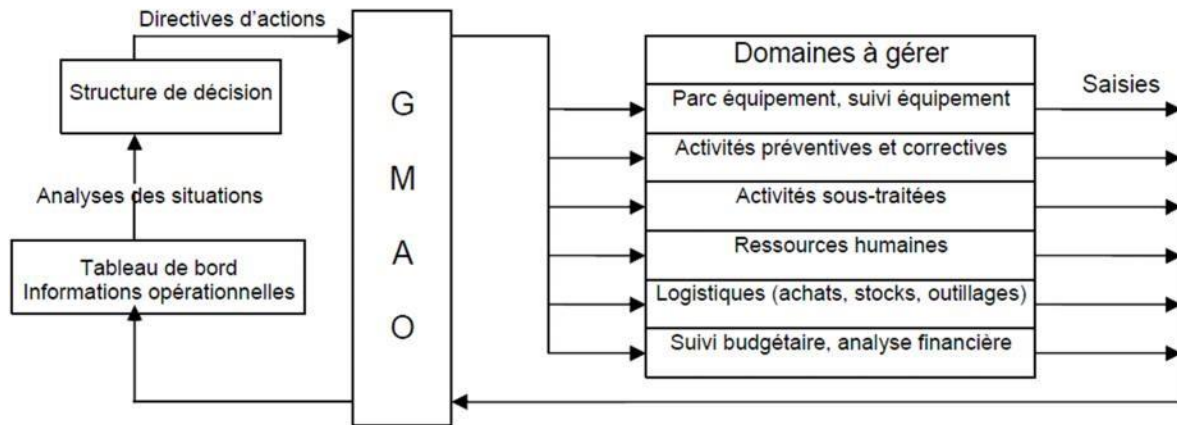


Figure N° II.1: Rôle d'une GMAO dans l'entreprise.

II.2. Optimisation de la Gestion de Maintenance

L'informatisation de la gestion d'un service de maintenance se profile comme une étape inévitable. Toutefois, comment cette démarche devrait-elle s'opérer et dans quel but ? Les réponses résident au sein même du service de maintenance. En obtenir l'aval de la direction (intégration dans le système informatique de l'entreprise et ses évolutions à venir) et éventuellement recourir à un "conseil" externe, bénéficiant de la capacité d'apporter un regard objectif (à travers une évaluation du service), permet de jeter un éclairage sur la situation initiale. Il est important de noter qu'il ne faut pas s'attendre à des résultats miraculeux simplement en recourant à l'assistance de l'ordinateur.

II.3. Pourquoi une GMAO

Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur [2]

- Une GMAO permet une meilleure maîtrise de la gestion des ressources humaines, matérielles et budgétaires.
- Une GMAO permet la réduction des coûts du service maintenance et l'augmentation de la fiabilité des équipements avec une disponibilité maximale.
- Une GMAO maîtrisée doit aboutir à des gains de productivité et d'efficacité et donc une meilleure compétitive.
- Moins de dépenses en optimisant le budget maintenance.
- Moins de pannes on réduisant au maximum les interventions urgentes.
- Haute disponibilité pour avoir le rendement maximum.
- Meilleure qualité de service pour répondre aux besoins.
- Diminuer la fréquence et la gravité des pannes, augmenter la disponibilité des installations, diminuer le manque de produire.

- Augmenter la productivité de la maintenance.
- Diminuer les délais d'intervention.
- Gestion optimisée des stocks.

II.4. L'apport de la GMAO

La GMAO devra rapporter de l'argent en productivité de la fonction, en efficacité du personnel en disponibilité de l'outil de production, en prolongement de la durée de vie des machines. [5]

Le but est de faire participer la fonction maintenance aux objectifs de performance de l'entreprise : réduction des coûts et amélioration du taux de service contribuant directement à l'amélioration de la productivité et augmentent la compétitivité de l'entreprise.

La GMAO devra apporter un plus à la gestion du département maintenance :

- Des coûts d'entretien détaillés connus.
- Des indicateurs et des outils de pilotage.
- Une connaissance immédiate et un pilotage plus efficace de l'activité.
- La suppression des tâches administratives.
- Une meilleure affectation des équipes de maintenance.
- Des budgets suivis.

II.5. L'information pour la prise de décision

Le système de GMAO est censé rendre service au responsable de la maintenance et aux techniciens de maintenance dans le but essentiel d'améliorer la prise de décision. De la GMAO, les utilisateurs attendent qu'elle les aide dans les processus de décision technique. Doit-on remplacer cette machine ou peut-on encore espérer de nombreuses années de fonctionnement après réparation ? On vise à amasser toute l'information nécessaire sur le matériel afin de bien le connaître, en déduire une maintenance adéquate et ne plus subir les pannes. Le professionnel ne peut décider que si l'historique machine est à jour, s'il possède de bons indicateurs de performance MTTR et MTBF, s'il connaît les coûts divers engendrés par différentes options qu'il envisage. Il utilisera encore plus volontiers la GMAO que la documentation et l'information délivrée seront de qualité et qu'il sera facile d'y accéder.

Ceci ne concerne pas uniquement la maintenance : la base de données de la GMAO va rendre également service aux autres fonctions de l'entreprise de façon directe à la fabrication,

à la qualité de la sécurité, de façon indirecte à la direction, au contrôle de gestion, à la comptabilité [3].

II.6. Les avantages et inconvénients de la GMAO

II.6.1. Avantages

- Améliorer le contrôle des coûts.
- Optimiser le budget maintenance.
- Optimiser la gestion des achats et des stocks (réduction des coûts).
- Augmenter la disponibilité des équipements (diminution du manque produire).
- Améliorer et faciliter la planification de la maintenance.
- Capitaliser sur l'expérience (consultation facile et rapide de l'historique).
- Diminuer le nombre, la fréquence et la gravité des pannes.
- Améliorer la qualité de service (répondre aux besoins et augmenter le taux de satisfaction).
- Augmenter la productivité de la maintenance.
- Réduire au maximum les interventions urgentes.
- Diminuer les délais d'intervention.
- Une GMAO permet la réduction des coûts du service maintenance et l'augmentation de la fiabilité des équipements avec une disponibilité maximale.

II.6.2. Inconvénients (causes d'échecs)

- La cause première d'échec en exploitation des GMAO est contenue dans l'attente d'un investissement miracle. Il y aura échec :
 - ✓ Là où les besoins à satisfaire n'ont pas été identifiés ni approfondis.
 - ✓ Là où il n'y avait ni service méthodes, ni ordonnancements efficaces.
 - ✓ Là où il n'y avait pas d'organisation rationnelle de la maintenance.
 - ✓ Là où les gens ne sont pas motivés, ou pas compétents, ou mis devant le logiciel sans préparation.
 - ✓ Là où il n'y a pas de démarche consensuelle d'introduction de l'outil.
- L'échec viendra aussi, le plus souvent, par refus de l'outil de la part des acteurs. Et s'il n'y avait pas une bonne organisation avant, l'investissement sera voué à l'échec

après. La démarche de « Consommateur d'informatique », parce que le concurrent a acheté une GMAO, ou parce que c'est proposé dans les revues et dans les salons, ou parce que c'est « la mode », est vouée à l'échec. IL est important de distinguer :

- ✓ La GM (gestion de la maintenance) : qui est avant tout la compétence de l'acquéreur utilisateur.
- ✓ La AO (assistance informatique) : qui est la compétence du vendeur (qui n'ignore pas la maintenance, mais ne connaît pas l'entreprise.)

II.7. Conclusion

Une GMAO investie est une « valise pleine d'informatique et vide de maintenance » : il s'agit de la remplir, puis de la faire vivre à l'intérieur d'une organisation préalablement éprouvée. La GMAO est un outil incontournable.

Il existe des prérequis à l'acquisition d'une GMAO. Mais dès lors qu'un service maintenance est structuré et a fait la preuve de l'efficacité de son organisation, l'outil GMAO se révèle indispensable par sa capacité de mise en mémoire, par ses possibilités de traitement d'informations, par ses interfaces et par sa réactivité.

CHAPITRE III
Optimisation des
Processus et des
Ressources Industrielles

III.1. Introduction

Dans le paysage industriel moderne, l'optimisation des processus et des ressources est devenue un objectif incontournable pour les entreprises désireuses d'atteindre des niveaux supérieurs d'efficacité et de compétitivité. C'est dans ce contexte que la GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) émerge comme une solution puissante pour transformer les opérations industrielles en une machine bien huilée, tout en exploitant pleinement les ressources disponibles.

Cette approche novatrice transcende les limites conventionnelles de la maintenance, en intégrant les processus de gestion des actifs, la planification de la maintenance et l'allocation des ressources. En tirant parti des technologies de pointe telles que l'Internet des Objets (IdO) et l'analyse de données, l'optimisation des processus et des ressources industrielles par le biais de la GMAO permet une prise de décision informée, une maintenance préventive ciblée et une gestion proactive des ressources.

Au cœur de cette exploration se trouve la conviction que chaque interaction entre l'humain, la machine et les données peut être optimisée pour une performance accrue. Dans cette perspective, nous plongerons dans les principes fondamentaux de cette approche. Nous étudierons comment les entreprises peuvent fusionner leurs objectifs opérationnels et stratégiques grâce à une gestion intelligente des processus et des ressources. [10]

III.2. L'ordre de travail (OT)

L'ordre de travail est un outil fondamental dans la gestion de la maintenance industrielle, contribuant à l'organisation, à la planification et à l'exécution efficaces des activités de maintenance. Cette pratique permet d'assurer que les interventions de maintenance sont effectuées de manière systématique et ciblée, minimisant les temps d'arrêt non planifiés et maximisant la disponibilité des équipements. [8]

L'ordre de travail assure une communication transparente entre les équipes de terrain et de gestion, clarifiant la nature et les conditions de la maintenance. Il normalise le flux de travail, simplifiant la planification, l'attribution et le suivi des tâches. De plus, il documente les ressources et surveille les performances, contribuant ainsi aux objectifs essentiels de coordination optimale et d'amélioration continue.

III.3. Conception et Architecture d'un Ordre de Travail

Pour élaborer un bon ordre de travail (OT) dans le domaine de la maintenance, il est essentiel de suivre quelques étapes clés pour garantir sa qualité et son efficacité. Voici un guide pour créer un ordre de travail efficace :

- **Clarté de la Description** : Décrivez la tâche de manière claire et précise. Utilisez un langage simple et des termes compréhensibles pour éviter toute confusion.
- **Identification de l'Équipement** : Indiquez l'équipement, la machine ou l'installation concernée par la tâche de maintenance. Assurez-vous que l'identification soit précise pour éviter les erreurs.
- **Priorité et Échéance** : Spécifiez la priorité de la tâche (urgente, normale, etc.) et déterminez une date limite pour son achèvement.
- **Liste des Ressources** : Incluez une liste complète des pièces de rechange, des outils et des équipements nécessaires pour réaliser la tâche.
- **Instructions Détaillées** : Fournissez des instructions étape par étape sur la manière d'effectuer la tâche. Incluez des détails sur les procédures, les mesures de sécurité et les précautions à prendre.
- **Responsabilité** : Indiquez clairement qui est responsable de la réalisation de la tâche. Assurez-vous que la personne ou l'équipe désignée a les compétences nécessaires.
- **Validation et Approbation** : Incluez une section pour la validation et l'approbation de la tâche par les parties concernées, tels que les superviseurs ou les gestionnaires.
- **Suivi et Rapport** : Prévoyez un espace pour enregistrer les observations, les ajustements effectués et les résultats de la tâche. Cela contribue à un suivi précis et à l'analyse future.
- **Historique** : Si possible, référez-vous à l'historique des tâches précédentes pour éviter les répétitions et les erreurs.
- **Intégration à la GMAO** : Utilisez un système de Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) pour créer, suivre et gérer électroniquement les ordres de travail.
- **Formation et Communication** : Assurez-vous que les techniciens de maintenance comprennent bien l'ordre de travail et ses instructions.
- **Amélioration Continue** : Révisez régulièrement les ordres de travail pour les améliorer en fonction des retours d'expérience et des changements dans les opérations.

III.4. Analyse des temps de maintenance

Dans l'appellation temps de maintenance, il faut y voir :

- Le temps machine, c'est à dire l'alternance d'UT (Up time) et de DT (Down time) ;
- Le temps d'activité humaine, c'est à dire les temps d'intervention des techniciens de réalisation.

Le gros problème réside dans la mesure de ces temps, car une mesure de temps non maîtrisée conduit obligatoirement à des études de fiabilité biaisée, à un taux de maintenabilité optimiste ou une logistique de soutien déphasée

III.4.1. Moyens de mesure

En ce qui concerne les temps machine, il s'agit des compteurs (horaires, de cycle, d'unités d'utilisation) ou encore de l'horloge. Ces méthodes de mesure sont généralement fiables et suscitent rarement des doutes.

Cependant, lorsqu'il s'agit des temps d'activité humaine, la situation devient plus complexe. La mesure repose en grande partie sur l'autorégulation des personnes impliquées. L'utilisation du chronomètre ou même l'enregistrement vidéo (essentiel notamment pour une méthode SMED) est souvent mal perçue par les techniciens sur le terrain. De plus, ces méthodes sont généralement réservées à des activités spécifiques, par exemple, pour illustrer une séquence opérationnelle.

D'un autre côté, il faut prendre en considération la grande variabilité de la durée d'un dépannage en fonction de la nature de la défaillance. Cette durée peut varier de quelques secondes à plusieurs heures.

III.4.2. Nécessité de la connaissance des temps

La connaissance et la maîtrise du temps d'activité revêtent une importance capitale, car elles constituent le fondement de toute gestion rationnelle du service de maintenance :

L'absence d'estimation des temps alloués conduit à une planification déficiente des interventions préventives et à l'absence de gestion prévisionnelle.

L'omission des relevés de temps passés aboutit à l'absence de données relatives aux coûts de maintenance. En conséquence, la gestion budgétaire devient complexe, tout comme l'analyse des activités, ce qui finalement se traduit par une absence d'améliorations significatives.

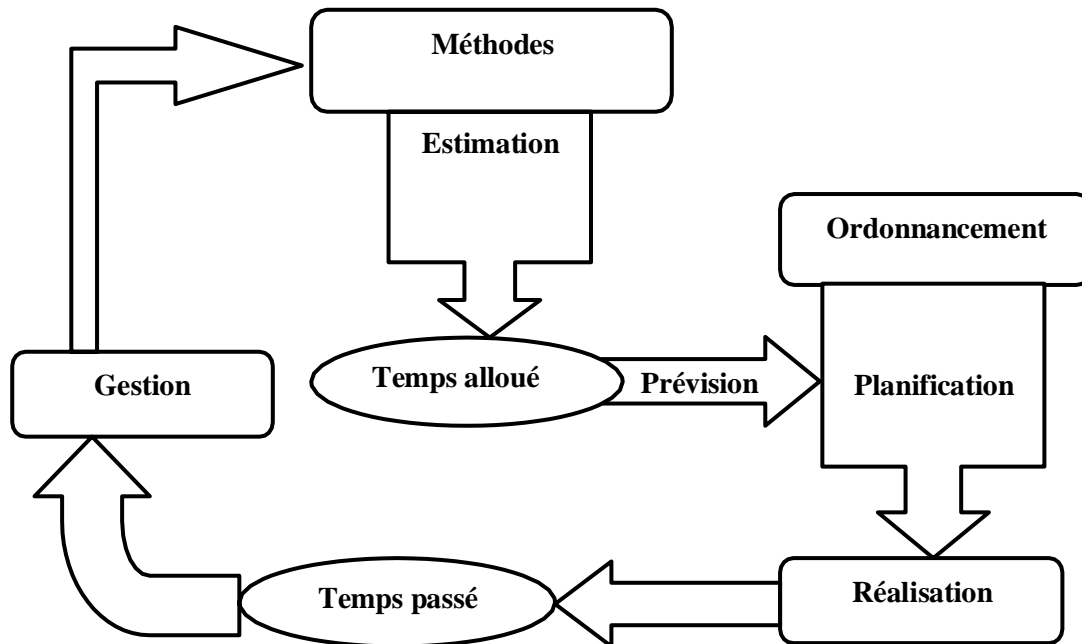


Figure N° III.1: Cycle de détermination du temps alloué pour une activité

La connaissance des temps passés et l'évaluation des temps à venir sont des conditions nécessaires à la gestion de la maintenance, elles interviennent à tous les niveaux comme l'indique le tableau suivant :

Préparation	<ul style="list-style-type: none"> - Délais de sous-traitance - Devis, établissement des programmes - Budget prévisionnel - Choix de la méthode de travail
Ordonnancement	<ul style="list-style-type: none"> - Planning de charge, - Répartition équitable du travail - Lancement
Intervention	<ul style="list-style-type: none"> - Temps passé par BT. - Délais à respecter

Exploitation au B.M	<ul style="list-style-type: none">- Chiffrage des coûts directs et indirects,- Répertoire des temps- Juger de la qualité de la prévision- Rétributions éventuelles (primes),- Gestion des activités du service au sens large
---------------------	--

Tableau N° III.1 : Liste des niveaux d'intervention en fonction du temps

III.4.3. Les temps de maintenance

➤ La MTBF (norme X60-500) est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

➤ La MTTR (norme X60-500) est la moyenne des temps de réparation (TTR). Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. IL débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

➤ La MTTA (norme X60-500) est la moyenne des temps d'arrêt (TTA). Les temps d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique pour distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.).

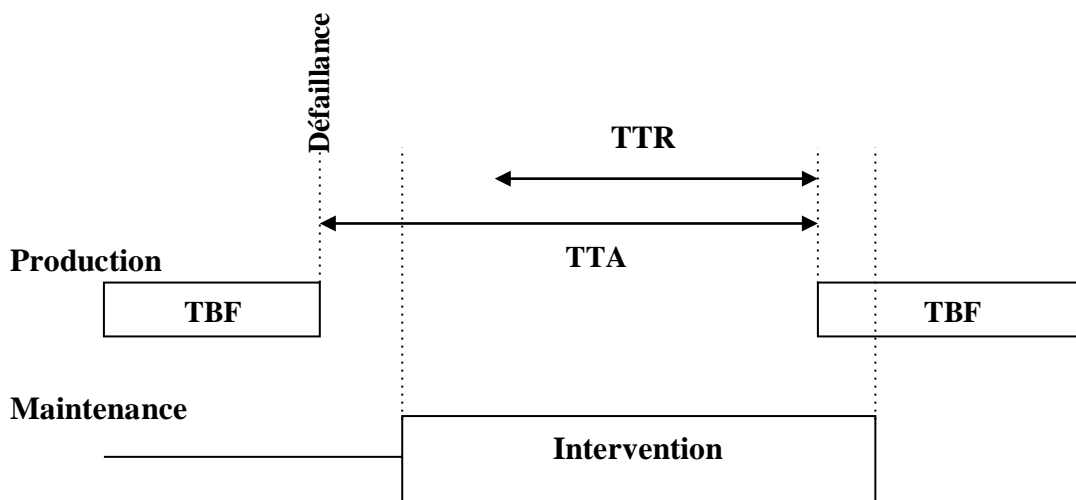


Figure N° III.2 : Les temps caractéristiques lors d'une intervention

➤ Les temps d'intervention préventive

Lors d'une intervention préventive, l'ensemble de la préparation est effectué à l'avance, et ce processus débute par la création de l'OT (Ordre de Travail). Le découpage de ce processus est présenté dans la figure 1.6. Le laps de temps entre les moments t_2 et t_3 est désigné sous le terme de "temps technique d'intervention préventive" (TTR).

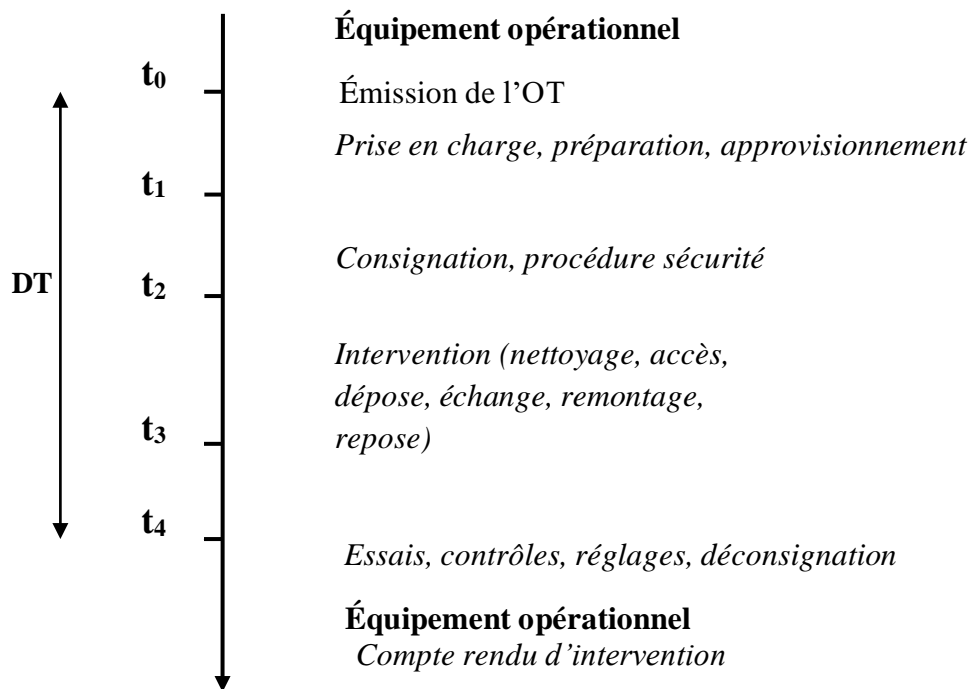


Figure III.3 : Découpage d'une intervention préventive

➤ Les temps d'intervention corrective

La maintenance corrective a pour objectif de ramener l'élément en question à un état lui permettant d'accomplir, même de manière temporaire ou partielle, la fonction requise. Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes d'une intervention corrective.

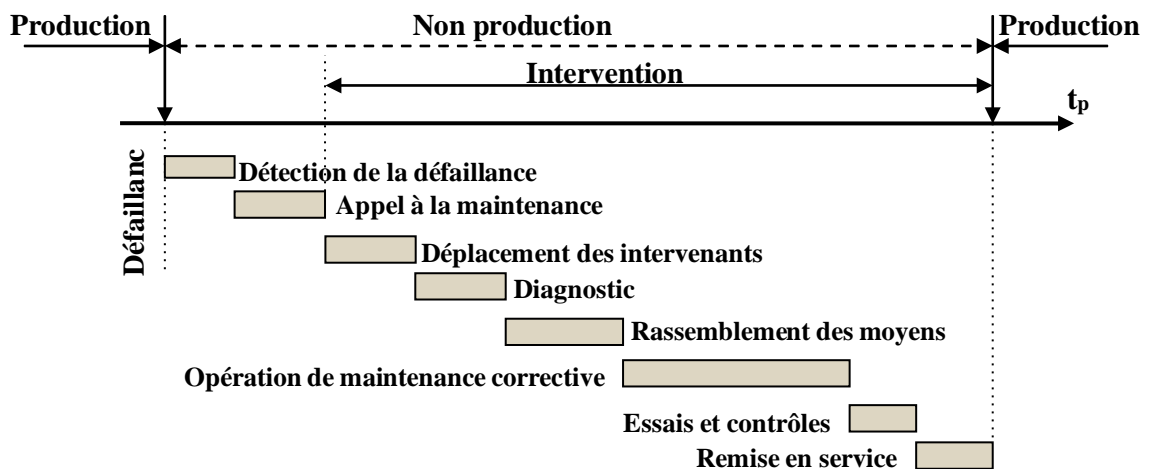


Figure N° III.4 : Les phases d'une opération de maintenance corrective

III.4.4 Estimation des temps d'intervention

Les indices MTTR et TTR déterminent la capacité de maintenance de l'équipement. Pour les calculer, il est nécessaire d'avoir effectué l'intervention un nombre adéquat de fois, noté N. L'histogramme des TTR et la fonction de densité de probabilité $g(t)$ associée exhibent une asymétrie caractéristique.

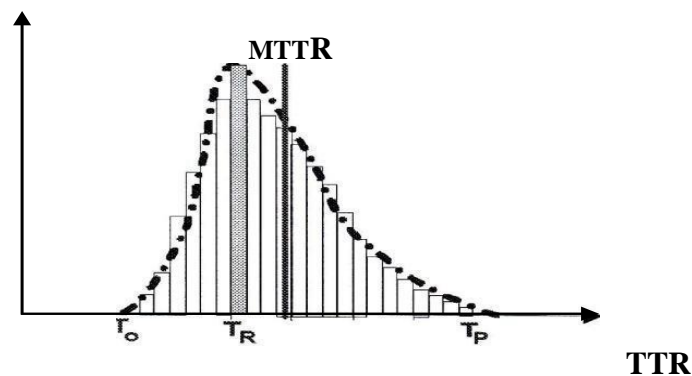


Figure N° III.5 : Répartition des TTR mesurés

A partir de graphe ci-dessus, on peut définir :

- T_0 représente le temps record ou temps optimiste,
- T_P représente le temps le plus mauvais ou temps pessimiste,
- T_R représente le temps le plus fréquent ou temps réaliste.

La moyenne et l'écart type s'écrivent donc :

$$MTTR = T_0 + \frac{4T_R + T_P}{6} \text{ et } \sigma = \frac{T_P - T_0}{6}$$

III.5. Analyse des coûts de maintenance

Les charges de maintenance peuvent être classées en deux catégories distinctes : les coûts directs, étroitement liés aux activités de maintenance, et les coûts indirects, qui découlent de l'indisponibilité des équipements

III.5.1. Les coûts indirects

Les coûts indirects englobent l'ensemble des répercussions économiques résultant de l'arrêt d'un équipement de production. Ils sont également désignés sous le nom de coûts de perte de production ou de non-maintenance. Ces coûts prennent en compte plusieurs facteurs :

- Coûts de perte de production : cela désigne la perte de revenus due à l'arrêt de la production. Lorsque l'arrêt se produit en fin de ligne de production, les produits ne sont pas vendus par l'entreprise mais par la concurrence.
- Coûts de non-production : cela englobe les dépenses fixes non couvertes et les dépenses variables non prises en compte, tels que les coûts d'amortissement non réalisés pour le matériel arrêté et les frais liés au matériel excédentaire.

- Coûts de non-qualité de production causés par les défaillances des équipements de production, tels que les frais associés aux rebuts et/ou aux retouches.
- Coûts liés à la main-d'œuvre inoccupée pendant cette période d'arrêt.

- Frais de redémarrage de la production, qui engendrent des pertes de matière et des problèmes de non-qualité (rebut).
- Pénalités commerciales ou coûts engendrés par le non-respect des délais.
- Coûts résultant d'accidents corporels.
- Répercussions sur la réputation de l'entreprise : celles-ci peuvent entraîner la perte de clients, bien qu'elles ne puissent pas être directement quantifiées.

En somme, les coûts indirects de maintenance prennent en considération divers aspects et conséquences qui résultent de l'arrêt d'équipements de production, allant des pertes financières aux retombées sur l'image de marque.

III.5.2. Les coûts directs

Les coûts directs associés à la maintenance, qu'elle soit de nature corrective ou préventive, englobent les dépenses directement attribuables à la maintenance ainsi que les charges découlant de l'exécution des opérations de maintenance, comme expliqué plus précisément ci-dessous :

- Salaires du personnel du service de maintenance et les charges sociales afférentes à la main-d'œuvre. Ces dépenses sont calculées en fonction du temps technique de réalisation (TTR) multiplié par le temps de main-d'œuvre (TMO) nécessaire.
- Coûts des fournitures de maintenance et des consommables.

On distingue :

- Cela inclut les coûts des pièces de rechange utilisées pendant l'intervention. Ces coûts sont enregistrés dans l'ordre de travail (OT) et sont régulièrement actualisés en fonction des factures d'achat. Ils sont également ajustés pour tenir compte des frais liés à la passation de commande, au stockage et à la dépréciation. Le prix unitaire moyen pondéré (PUMP) est ainsi obtenu.
- Les coûts des consommables et produits utilisés lors des opérations de maintenance, tels que la visserie, la graisse, les chiffons, etc., sont également inclus. Les prix de ces fournitures sont documentés par les factures.

○ Coûts liés à la maintenance externalisée.

Ils comprennent :

- Cela couvre les coûts des contrats de maintenance qui sont généralement négociés sur une base annuelle.
- Les coûts des travaux sous-traités sont également inclus dans cette catégorie.

○ Frais fixes.

Cela englobe :

- Cette catégorie englobe les dépenses générales liées au service de maintenance. Cela comprend les salaires des cadres et du personnel de bureau en relation directe avec le service de maintenance, les frais de location et d'assurance pour les locaux de maintenance, les coûts de chauffage, de climatisation, d'éclairage, de téléphone, de reprographie, etc.
- Les frais associés à la détention des équipements, machines et stocks du service de maintenance (amortissement, pertes dues à la dépréciation).

En résumé, les coûts directs de maintenance comprennent une variété de composantes, depuis les salaires du personnel jusqu'aux fournitures et aux coûts externalisés, contribuant à une évaluation précise des dépenses liées à la maintenance.

III.5.3. Coût d'une défaillance

Ces coûts englobent à la fois les charges liées à la maintenance corrective et les dépenses induites par l'indisponibilité résultant des pannes des équipements. Par conséquent, on peut établir l'équation suivante :

$$C_d = C_{mc} + C_i$$

Dans cette équation, C_{mc} représente les dépenses directes d'une intervention corrective. Il est pertinent de calculer ce coût uniquement pour les équipements jugés critiques. L'intervention corrective peut être réalisée en interne ou être confiée à un prestataire externe.

III.6. Optimisation des coûts de maintenance

III.6.1. Coût global de maintenance

L'objectif principal de la maintenance réside dans l'amélioration de la disponibilité des équipements. Cependant, cet objectif ne doit pas être poursuivi sans considération des conséquences financières. En effet, bien qu'une disponibilité accrue puisse être obtenue par des investissements accrus en ressources humaines et en matériel (via une maintenance préventive systématique), cela peut engendrer des résultats directs tels que :

- Réduction des coûts d'indisponibilité (C_i),
- Augmentation des coûts de maintenance (C_m).

Les coûts de maintenance englobent à la fois les coûts de maintenance corrective et préventive, représentés comme suit :

$$C_m = C_{mc} + C_{mp}$$

Une approche globale est donc nécessaire pour évaluer l'ensemble des coûts. L'ensemble de ces coûts, souvent en tension, est composé de trois éléments :

- Coûts des activités de maintenance (C_m)
- Coûts de possession des stocks de maintenance (dépenses liées à la détention des stocks) (C_s),
- Coûts d'indisponibilité (C_i).

Ainsi, on peut exprimer le coût global de maintenance comme suit :

$$C_g = C_m + C_s + C_i$$

La Figure N° III.6 illustre la nécessité de parvenir à un équilibre entre la maintenance corrective et la maintenance préventive. Les coûts directs de la maintenance préventive (C_{mp}) présentent une relation inverse avec les coûts directs de la maintenance corrective (C_{mc}). Les coûts de possession des stocks sont influencés par le niveau de maintenance préventive et le niveau de maintenance corrective (notamment pour les pièces stratégiques). La stratégie globale consistera donc à déterminer le juste équilibre entre les approches préventive et corrective.

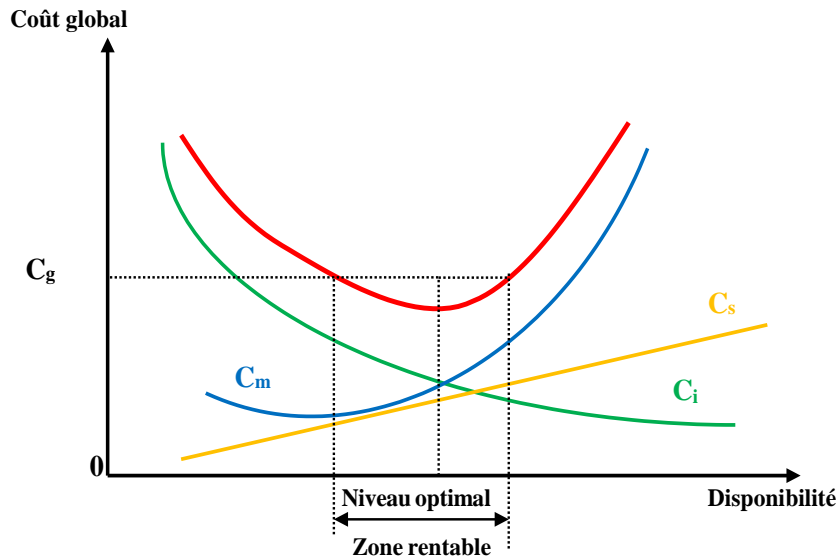


Figure N° III.6 : Optimisation du coût global de maintenance

III.6.2. Optimisation des coûts de défaillance

En définissant la valeur la plus basse pour C_d , on peut délimiter la plage optimale des coûts de défaillance. Par conséquent, le responsable de la maintenance doit ajuster sa stratégie en fonction du degré de criticité de ses équipements :

- Pour des équipements peu critiques, cela implique des coûts d'indisponibilité (C_i) faibles, ce qui signifie que l'application d'une maintenance préventive peut entraîner des dépenses importantes.
- À l'opposé, des équipements fortement critiques entraînent des coûts d'indisponibilité considérables, justifiant ainsi l'adoption d'une approche de maintenance préventive.

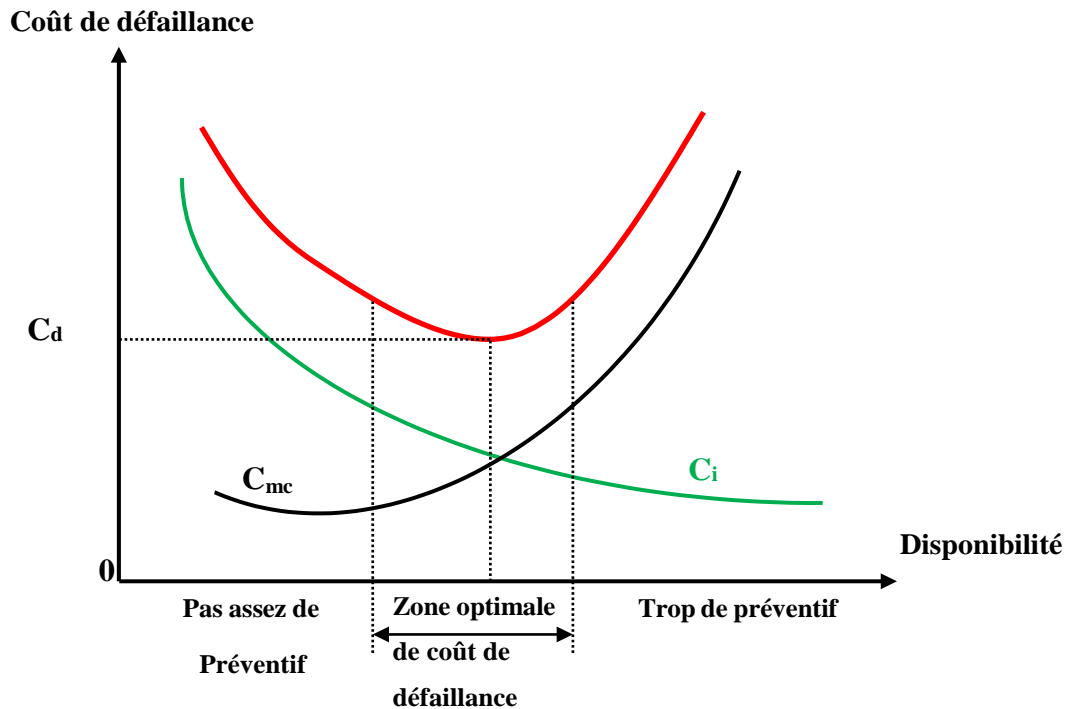


Figure N° III.7 : Optimisation du coût de défaillance

III.7. Préparation d'une intervention

Le professionnel en méthodes doit constamment garder à l'esprit que chaque intervention corrective possède un caractère unique et qu'il doit l'appréhender en tenant compte de son contexte de préparation :

- La durée d'une intervention corrective peut varier de quelques minutes à plusieurs heures.
- Selon sa complexité, une intervention corrective peut être effectuée par un seul intervenant en cas de simplicité, mais elle peut aussi exiger la mobilisation d'une équipe entière en cas de complexité.
- Une intervention corrective peut nécessiter une attention immédiate, présenter des risques potentiels ou être techniquement délicate, voire réunir toutes ces caractéristiques à la fois.
- Il est impératif que l'intervention soit réalisée par des techniciens possédant une connaissance approfondie de l'équipement, excluant toute improvisation.
- L'intervention corrective peut être de nature récurrente ou bien constituer une nouvelle situation.

- Elle peut également survenir de manière inattendue, laissant peu de temps pour une préparation anticipée.

III.8. Conclusion

Une préparation de qualité se caractérise par sa rapidité tout en fournissant un document synthétique qui joue un rôle essentiel dans la préservation de la sécurité des intervenants. Ce document agit comme un guide clair et succinct, garantissant que toutes les étapes de l'intervention sont effectuées de manière sécurisée et conforme aux protocoles établis.

Chapitre IV

Gestion de stock

IV. Gestion de stock

IV.1. Introduction

Le stock de maintenance rassemble les biens entreposés essentiels pour assurer une maintenance optimale en termes de rapidité, disponibilité, coûts, qualité et sécurité. Il englobe des articles liés à la liste des biens à entretenir ainsi que du matériel et des outils nécessaires pour exécuter les tâches de maintenance conformément à la stratégie et aux niveaux de maintenance établis.

Les éléments constitutifs du stock de maintenance peuvent être regroupés en cinq catégories distinctes :

- Produits consommables
- Pièces prévues pour remplacement programmé
- Pièces pour remplacement non programmé
- Pièces pour remplacement exceptionnel
- Équipements et outils dédiés à la maintenance.

Le stock de maintenance d'une usine consiste en tous les articles (matériaux et pièces de rechange) nécessaires au service de maintenance pour deux objectifs principaux :

- Assurer une gestion économique de l'équipement de l'usine en accord avec le processus de production.
- Effectuer diverses opérations demandées par différents services, agissant en tant que fournisseur.

Le stock de maintenance n'inclut pas les éléments suivants :

- Matériaux et produits commandés pour de nouvelles constructions.
- Outils de fabrication.
- Articles commandés directement via un ordre de travail pour un équipement en préparation pour lequel une intervention est planifiée.
- Matières et produits destinés à la fabrication.

IV.2. Terminologies essentielles dans la gestion de stock

IV.2.1. Stock

Un stock représente une quantité d'articles conservés en réserve en vue d'une utilisation future. Il joue également un rôle dans la séparation des différentes étapes dans la chaîne de fabrication ou de distribution de ces articles vers les clients. En effet, les stocks peuvent comprendre des produits finis prêts à être vendus, mais aussi des pièces, des articles intermédiaires, des produits en cours de fabrication ou des matières premières.

IV.2.2. Gestion de stock

Il existe des activités et des méthodes visant à maintenir les niveaux souhaités des stocks, qu'il s'agisse de matières premières, de produits en cours de fabrication ou de produits finis. Les stocks ne sont pas gérés de manière indépendante des opérations de production. La décision d'investir dans la constitution d'un stock doit être prise en considération par rapport à d'autres investissements possibles. Il est toujours préférable de maintenir les stocks au niveau le plus bas possible, tout en respectant les objectifs et les niveaux de contrôle du processus. Il est essentiel de déterminer le moment et la quantité pour renouveler un article, en recherchant le meilleur équilibre entre les coûts associés aux stocks et les coûts liés à la pénurie.

IV.2.3. Le fichier du stock de maintenance

La gestion d'un registre appelé "stock de maintenance" vise à améliorer les performances de la fonction maintenance.

- Un fichier exhaustif d'articles peut contenir, par exemple, certains ou tous les éléments suivants pour chaque article :
 - Nom de l'article ;
 - Code d'article chez l'utilisateur ;
 - Code d'article chez le fabricant ou les fournisseurs ;
 - Codes du fabricant et/ou des fournisseurs ;
 - Etc.
- Recommandations spécifiques pour l'approvisionnement :
 - Quantité à réapprovisionner ;
 - Seuil déclencheur de commande ;
 - Stock maximum ;
 - Période de réapprovisionnement ;
 - Décision d'approvisionnement ;
- Délai moyen d'approvisionnement ;
- Conditions particulières de stockage ;
- Durée de conservation en stock pour les biens périssables ;
- Applicabilité (sur quels équipements cet article peut-il être utilisé ?)
- Importance de l'article dans sa fonction.

IV.2.4. Stock des pièces de rechanges

Les stocks de maintenance contiennent des pièces de rechange, telles que des pièces d'usure, des pièces de fonctionnement et des pièces de structure. Ces pièces peuvent être classées comme suit :

- Pièces d'origine ;
- Pièces équivalentes (ayant des spécifications similaires aux pièces d'origine mais fournies par d'autres sources) ;
- Pièces interchangeables (pouvant remplacer une pièce d'origine) ;
- Pièces adaptables (nécessitant une adaptation pour être utilisées).

Les articles sont identifiés par une codification unique, comprenant une désignation (longue et courte) et un code article composé de lettres et de chiffres en fonction des caractéristiques de l'article (classe d'équipement, diamètre, épaisseur, etc.).

Les articles peuvent également être regroupés en classes, contribuant ainsi à la formation des codes article.

IV.3. Les coûts de gestion des stocks

IV.3.1. Coût de passation de commande (ou coût d'acquisition)

Le coût de passation de commande (C_a) englobe tous les frais liés à la préparation, au traitement et au règlement de la commande. Ce coût diffère considérablement d'un article à l'autre. Dans le contexte d'une commande interne, le coût de passation de commande fait référence aux dépenses associées à la préparation et à la mise en marche, c'est-à-dire les coûts relatifs au réglage de l'équipement utilisé pour produire le bien nécessaire.

Le coût annuel de passation de commande augmente avec la fréquence des commandes passées [9]

$$Cat = C_a * N = (C_a * K) / Q$$

Cat	Coût annuel de passation de commande
C_a	Coût de passation d'une commande
N	Nombre de commande par an
K	Consommation annuelle prévisionnelle
Q	Quantité commandée

IV.3.2. Coût de possession (ou coût de stockage)

Le coût de possession (C_p) englobe trois types de coûts : le coût de renonciation, le coût d'entreposage et le coût lié aux pertes sur les stocks. Sur une base annuelle, les frais de stockage peuvent être significatifs, représentant entre 20 % et 50 % du coût d'achat ou de production en fonction des articles.

- Le coût de renonciation englobe les coûts liés au capital emprunté et au rendement sur les investissements autres que les stocks.
- Le coût d'entreposage englobe les taxes foncières, les assurances pour l'entrepôt ou le magasin, les dépenses énergétiques, la manutention et les frais de réparation pour l'entrepôt.
- Le coût de détention inclut les assurances pour les stocks, la désuétude, la détérioration, l'emballage, ainsi que les coûts liés aux risques de feu, de vol et de bris.

Le coût de possession annuel est déterminé par le coût unitaire de stockage et la quantité moyenne de stock en circulation pendant l'année. En se basant sur la formule $Q = K / N$, le stock moyen équivaut à la moitié de Q ou de $K / 2N$.

$$CP = C/2 \times PU \times i$$

C_p	Coût de possession
Q	Quantité commandée
N	Nombre de commande par an
P_u	Prix unitaire
i	Taux de possession

IV.3.3. Coût total de gestion de stock

Le coût global de gestion de stock, illustré par le graphique résultant ci-dessous, où la zone rouge représente la somme des deux coûts mentionnés précédemment, peut être exprimé de la manière suivante :

$$C_T = C_{at} + C_P = C_a \times \frac{K}{Q} + \frac{Q}{2} \times P_u \times i$$

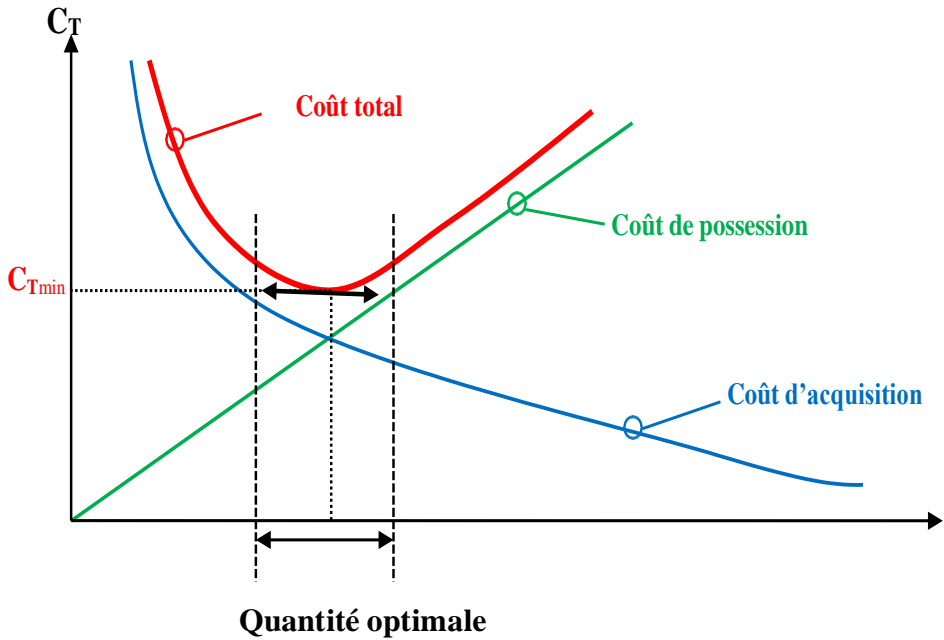


Figure N° IV.1 : Politique d'approvisionnement de type point de commande (C_{Tmin} , Q_{min})

IV.4. Formule Wilson

La formule de Wilson, également connue sous le nom de modèle EOQ (Economic Order Quantity), est une méthode utilisée pour déterminer la quantité optimale de commande à passer pour minimiser les coûts totaux associés à la gestion des stocks. Elle a été développée par R. H. Wilson en 1934. [10]

L'explication de la formule de Wilson est la suivante : elle prend en compte le coût de passation de commande (coûts administratifs et de traitement de la commande) et le coût de possession de stock (coûts de stockage, d'entreposage, de détention et de renonciation). L'objectif est de trouver le point où ces deux coûts se rejoignent, indiquant ainsi la quantité de commande optimale.

La formule de Wilson s'exprime comme suit :

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

où :

- Q^* : est la quantité de commande optimale.
- D : est la demande annuelle (quantité de produits consommée annuellement).
- S : est le coût de passation de commande (coûts administratifs et de traitement de la commande).
- H : est le coût de possession par unité de temps (coûts de stockage, d'entreposage, de détention et de renonciation).

IV.5. Conclusion

Assurer la disponibilité immédiate de pièces et d'outillages stockés est essentiel pour garantir l'efficacité et la rentabilité d'une entreprise. Ainsi, la gestion des stocks doit toujours figurer parmi les priorités. Les méthodes et critères présentés dans ce chapitre se révèlent être des atouts essentiels pour optimiser la disponibilité des pièces et autres composants essentiels, tout en maîtrisant les coûts associés à leur stockage et à leur gestion.

CHAPITRE V

Ordonnancement

V. Ordonnancement

V.1.Introduction

L'ordonnancement, dans le domaine de l'industrie, est une discipline de gestion cruciale pour la planification et l'organisation efficace des activités de production. Son objectif principal est de maximiser l'utilisation des ressources disponibles tout en respectant diverses contraintes, notamment les délais, les priorités, les capacités de production, et les exigences des clients. Une gestion d'ordonnancement réussie peut avoir un impact significatif sur la rentabilité, la qualité des produits et la satisfaction des clients. [11]

L'ordonnancement nécessite l'utilisation d'un langage particulier, et il est primordial de clarifier ces termes avant d'explorer les différentes méthodes pour gérer les activités de maintenance. Dans certains cas, la gestion des stocks et du magasin peut être intégrée à l'ordonnancement lorsque ces responsabilités relèvent du service de maintenance. [12]

L'ordonnancement est essentiel pour garantir que les ressources, telles que la main-d'œuvre, les machines et les matières premières, sont utilisées de manière optimale pour répondre aux besoins de production tout en minimisant les coûts et en respectant les délais. Les références ci-dessus fournissent une base solide pour comprendre les principes de l'ordonnancement et leurs applications pratiques dans l'industrie.

V.2. Terminologies de l'ordonnancement

- Ordonnancement : Le processus de planification et d'organisation des tâches ou des opérations dans un ordre spécifique.
- Ordre de fabrication (OF) : Un document spécifiant les détails d'une tâche de production, y compris les matériaux, les ressources et les délais.
- Temps de cycle : Le temps nécessaire pour terminer une tâche ou une opération.
- Date butoir : La date limite à laquelle une tâche doit être terminée.
- Charge de travail : La quantité de travail assignée à une ressource ou une machine sur une période donnée.
- Séquençage : L'organisation des tâches dans un ordre spécifique pour optimiser les performances.
- Plage de tolérance : La marge de temps autorisée pour l'exécution d'une tâche sans perturber le planning global.

V.3. Ordonnancement par la méthode de GANTT

La méthode de Gantt, développée par Henry L. Gantt au début du XXe siècle, est une technique de planification et de suivi largement utilisée dans divers domaines pour gérer des projets et des activités. Ses missions et rôles principaux sont les suivants : [13]

- **Planification des activités** : La méthode de Gantt permet de planifier les différentes tâches ou activités nécessaires pour atteindre un objectif. Elle permet de déterminer l'ordre chronologique des activités, leurs délais et leurs dépendances.
- **Visualisation du calendrier** : Elle offre une représentation visuelle des activités sur une échelle de temps. Cela permet à l'équipe de projet et aux parties prenantes de voir clairement le calendrier prévu, y compris les délais et les dates de début et de fin de chaque tâche.
- **Allocation des ressources** : La méthode de Gantt permet d'attribuer des ressources (humaines, matérielles, financières, etc.) à chaque tâche. Cela aide à s'assurer que les ressources nécessaires sont disponibles au bon moment.
- **Suivi de l'avancement** : Une fois le projet en cours, la méthode de Gantt est utilisée pour suivre l'avancement réel par rapport au plan initial. Les tâches terminées, les retards éventuels et les ajustements nécessaires sont facilement repérables.
- **Communication** : Elle facilite la communication entre les membres de l'équipe de projet, les parties prenantes et d'autres parties impliquées. Les diagrammes de Gantt sont généralement faciles à comprendre, même pour les non-initiés.
- **Gestion des priorités** : En visualisant l'ensemble du projet, il est possible de hiérarchiser les tâches en fonction de leur importance et de leur urgence.
- **Aide à la prise de décision** : En fournissant une vue d'ensemble du projet, la méthode de Gantt aide les gestionnaires et les responsables de projet à prendre des décisions éclairées pour résoudre les problèmes, ajuster les calendriers ou réallouer des ressources en cas de besoin.
- **Documentation** : Les diagrammes de Gantt servent de documentation du projet, conservant une trace des décisions, des changements et de l'historique de l'avancement du projet.

En résumé, la méthode de Gantt est un outil essentiel pour planifier, suivre, gérer et communiquer sur les projets et les activités. Elle contribue à garantir que les objectifs sont atteints de manière efficace et que les ressources sont utilisées de manière optimale.

Pour élaborer un diagramme de Gantt, il est essentiel de suivre les étapes suivantes : [14]

1. **Identification des tâches** : Commencez par répertorier toutes les tâches ou activités qui doivent être accomplies dans votre projet. Chaque tâche doit être clairement définie et comprise.

2. **Séquencement des tâches** : Déterminez l'ordre chronologique dans lequel les tâches doivent être effectuées. Certaines tâches peuvent être effectuées simultanément, tandis que d'autres dépendent de la fin d'une tâche précédente.
3. **Estimation de la durée** : Pour chaque tâche, estimez la durée nécessaire à son achèvement. Cette estimation doit être réaliste et basée sur des données fiables.
4. **Création du diagramme** : Faut utiliser un logiciel de gestion de projet ou un outil spécifique pour créer le diagramme de Gantt. Vous pouvez également le faire manuellement, en utilisant du papier et un crayon, mais cela peut être plus complexe.
5. **Construction du graphique** : Pour chaque tâche, créez une barre sur le graphique de Gantt. La longueur de la barre représente la durée de la tâche, et sa position indique quand elle doit commencer et se terminer.
6. **Inclusion des dépendances** : Si certaines tâches dépendent de la fin d'autres tâches, assurez-vous de représenter ces dépendances sur le diagramme.
7. **Ajout des ressources** : Si nécessaire, indiquez quelles ressources (personnes, matériel, etc.) sont assignées à chaque tâche.
8. **Révision et ajustement** : Passez en revue le diagramme de Gantt pour vous assurer qu'il est logique et réalisable. Si besoin, ajustez les durées ou les dépendances.
9. **Communication** : Partagez le diagramme avec votre équipe et d'autres parties prenantes pour assurer une compréhension commune du planning.
10. **Mise à jour** : Tout au long du projet, mettez à jour régulièrement le diagramme de Gantt pour refléter l'avancement réel du projet.

Taches \ Temps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	■														
B				■											
C										■					
D				■											
E												■			

Tableau N° V.1 : Diagramme de Gantt du projet

V.4. Ordonnancement par la méthode PERT

L'ordonnancement par la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique) est une technique de gestion de projet qui permet de planifier, de coordonner et de suivre les activités d'un projet de manière efficace. Elle se base sur l'analyse des dépendances entre les différentes tâches du projet et sur l'estimation des durées nécessaires à leur réalisation. [30]

Dans la méthode PERT, chaque tâche est représentée par un nœud (ou une étape), et les dépendances entre les tâches sont représentées par des flèches (ou des arcs) qui relient les nœuds. Chaque tâche est associée à une estimation de sa durée, qui peut être optimiste, pessimiste et la durée la plus probable. Ces estimations sont utilisées pour calculer la durée attendue de chaque tâche en utilisant une formule de la distribution bêta.

En utilisant ces durées estimées et les dépendances entre les tâches, la méthode PERT permet de déterminer la durée totale du projet, le chemin critique (c'est-à-dire la séquence de tâches qui détermine la durée minimale du projet), et les marges de temps disponibles pour chaque tâche. La méthode PERT est particulièrement utile pour les projets complexes où les dépendances entre les tâches sont nombreuses et où l'incertitude sur les durées est élevée. Elle permet de mieux planifier et gérer les risques associés à ces projets.

L'outil PERT (Program Evaluation and Review Technique) facilite la maîtrise d'un projet en permettant une meilleure planification, coordination et gestion des activités du projet. Voici comment il contribue à cette maîtrise :

- **Analyse des dépendances** : PERT permet d'identifier clairement les dépendances entre les différentes tâches d'un projet. Cela signifie que les responsables de projet comprennent quelles tâches doivent être accomplies avant que d'autres puissent commencer, ce qui évite les retards et les problèmes de coordination.
- **Estimation des durées** : En utilisant des estimations optimistes, pessimistes et les durées les plus probables pour chaque tâche, PERT fournit une estimation plus précise des durées nécessaires à la réalisation du projet. Cela aide à éviter les retards imprévus.
- **Identification du chemin critique** : PERT permet d'identifier le chemin critique du projet, c'est-à-dire la séquence de tâches qui détermine la durée minimale du projet. En se concentrant sur ces tâches, les gestionnaires de projet peuvent garantir que le projet est livré à temps.
- **Gestion des ressources** : En connaissant les dépendances et les durées, PERT aide à allouer efficacement les ressources nécessaires à chaque tâche, évitant les sous-utilisations ou les surcharges de ressources.
- **Suivi de l'avancement** : PERT permet de suivre facilement l'avancement réel du projet par rapport au plan initial. Les écarts par rapport aux estimations peuvent être rapidement identifiés et traités.
- **Gestion des risques** : En prenant en compte les estimations pessimistes, PERT aide à anticiper les risques potentiels et à développer des plans de contingence pour les atténuer.
- **Communication** : PERT fournit une représentation visuelle du projet, ce qui facilite la communication entre les membres de l'équipe du projet et les parties prenantes. Tout le monde peut voir comment le projet progresse.

- **Optimisation des délais** : En identifiant les marges de temps disponibles pour chaque tâche, PERT permet aux gestionnaires de projet d'optimiser l'utilisation du temps et de réagir rapidement aux changements imprévus.

En résumé, PERT est un outil puissant pour la maîtrise de projet car il fournit une structure claire, des estimations basées sur des données et une visibilité sur les dépendances et les marges de temps. Cela permet aux gestionnaires de projet de prendre des décisions plus éclairées et de réagir rapidement aux défis potentiels tout au long du projet.

Graphique illustrant le diagramme de PERT :

Le schéma adopte une structure en réseau, avec un début et une fin, des étapes ainsi que des tâches. Les tâches sont symbolisées par des flèches délimitées par deux étapes (ou nœuds). Chaque étape comporte une date minimale et une date maximale. Pour évaluer la durée des tâches, cette formule fournit une estimation moyenne basée sur la valeur jugée la plus probable.

$$Estimation = \frac{a + 4m + p}{6}$$

Avec

a = estimation optimiste

m = probable

b = pessimiste

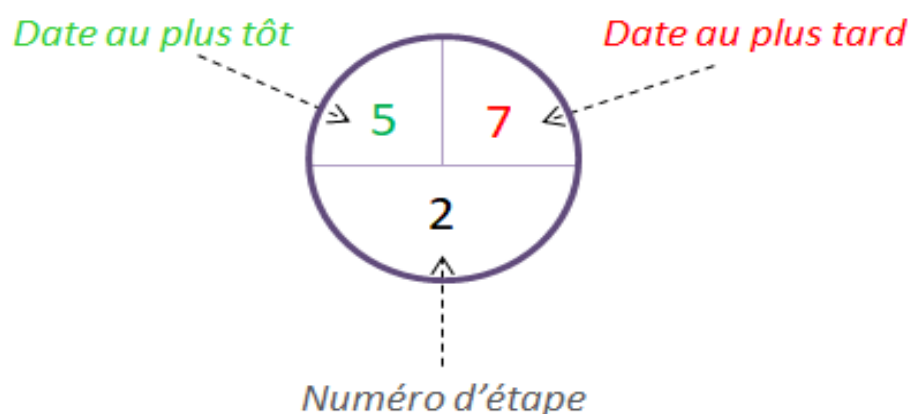


Figure N° V.1 : représentation d'une étape

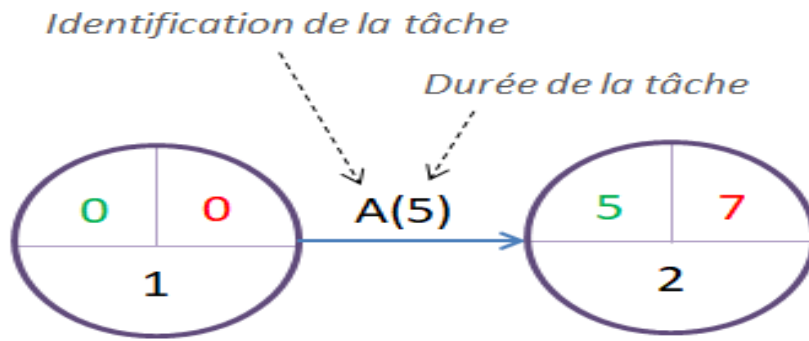


Figure N° V.2 : représentation d'une tâche

□ **Le chemin critique :**

Il s'agit du chemin passant par les tâches dont la marge totale est nulle. Ce tracé indique le délai incompressible pour réaliser le projet [16]

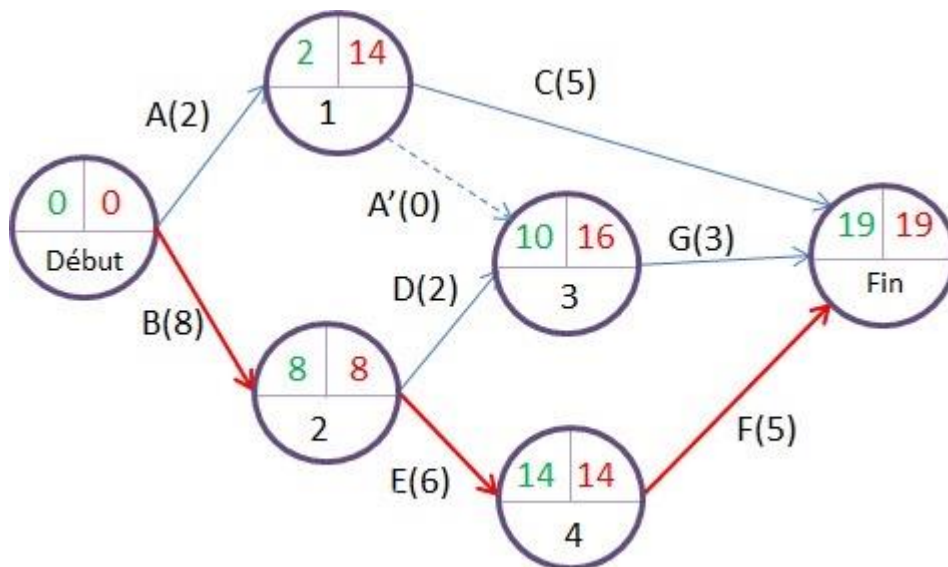


Figure N° V.3 : chemin critique

NB :

L'application conjointe de la méthode PERT avec la représentation de Gantt aboutit à la création du Gantt fléché, qui est couramment utilisé aujourd'hui.

V.5.Conclusion

L'ordonnancement se révèle être un pilier essentiel de la gestion de la maintenance. Grâce à une variété d'outils et de critères, les entreprises peuvent élaborer des plannings précis pour leurs opérations de maintenance, en plus de disposer d'une méthode d'intervention optimale pour garantir l'efficacité des tâches. Cette fonction d'ordonnancement joue également un rôle majeur dans l'optimisation des dépenses liées aux interventions, en offrant une planification détaillée des coûts et des ressources humaines nécessaires à la réalisation des opérations.

Chapitre VI

Environnement de Développement

VI. Outils logiciels

VI.1. MATLAB

VI.1.1. Définition

MATLAB, acronyme de "MATrix LABoratory", est un environnement de développement et un langage de programmation numérique de haut niveau axé sur le calcul matriciel. Il a été développé par la société MathWorks et est largement utilisé dans les domaines de l'ingénierie, des mathématiques appliquées, des sciences physiques, de la finance et d'autres disciplines techniques. [17]

Cet environnement offre un large éventail de fonctionnalités pour effectuer des opérations numériques, analyser des données, résoudre des problèmes d'algèbre linéaire, créer des graphiques et des visualisations, ainsi que pour développer des algorithmes et des applications personnalisées. Il est également équipé de nombreuses bibliothèques et boîtes à outils qui étendent ses capacités dans divers domaines d'application.

MATLAB propose un large éventail d'outils et de fonctionnalités qui en font un environnement de choix pour de nombreuses applications scientifiques et techniques. Voici certains des principaux outils de MATLAB : « Boîtes à outils (Toolboxes), Simulink, App Designer, ...etc. »

MATLAB se distingue par sa syntaxe simple et expressive, qui permet aux utilisateurs d'effectuer des calculs et des manipulations de données complexes avec une relative facilité. Il offre également un environnement interactif qui facilite le prototypage rapide et l'expérimentation.

VI.1.2 App Designer

App Designer est un environnement de développement interactif inclus dans MATLAB qui permet de créer des applications avec des interfaces utilisateur (UI) conviviales. Il offre un ensemble de composants graphiques prêts à l'emploi, tels que des boutons, des graphiques, des menus déroulants, etc. Ces composants peuvent être agencés et configurés visuellement pour créer une interface utilisateur personnalisée.

En outre, App Designer intègre un éditeur de code MATLAB, permettant d'ajouter des fonctionnalités et de définir le comportement des composants de l'interface. Cela signifie que vous pouvez associer des actions et des calculs spécifiques aux interactions de l'utilisateur.

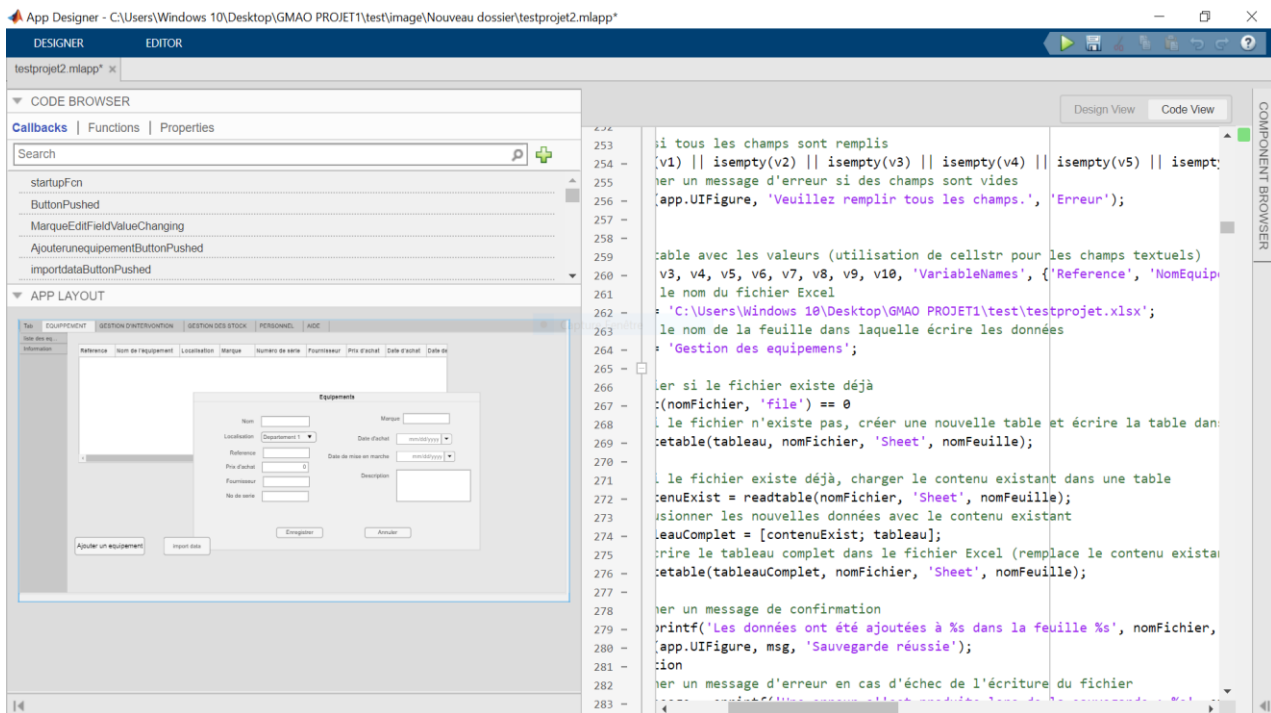


Figure N° VI.1 : Interface de programmation de « APP designer »

L'Interface de Programmation d'Application (API) de "App Designer" dans MATLAB permet aux développeurs d'interagir avec les applications créées dans App Designer. Cela signifie que vous pouvez utiliser l'API pour automatiser des tâches, récupérer des données de l'application et même interagir avec d'autres composants logiciels.

L'API d'App Designer offre des fonctionnalités puissantes pour personnaliser et étendre les fonctionnalités de vos applications. Cela peut être utile pour intégrer des fonctionnalités spécifiques à votre application, créer des connexions avec d'autres logiciels ou systèmes, ou automatiser des tâches récurrentes.

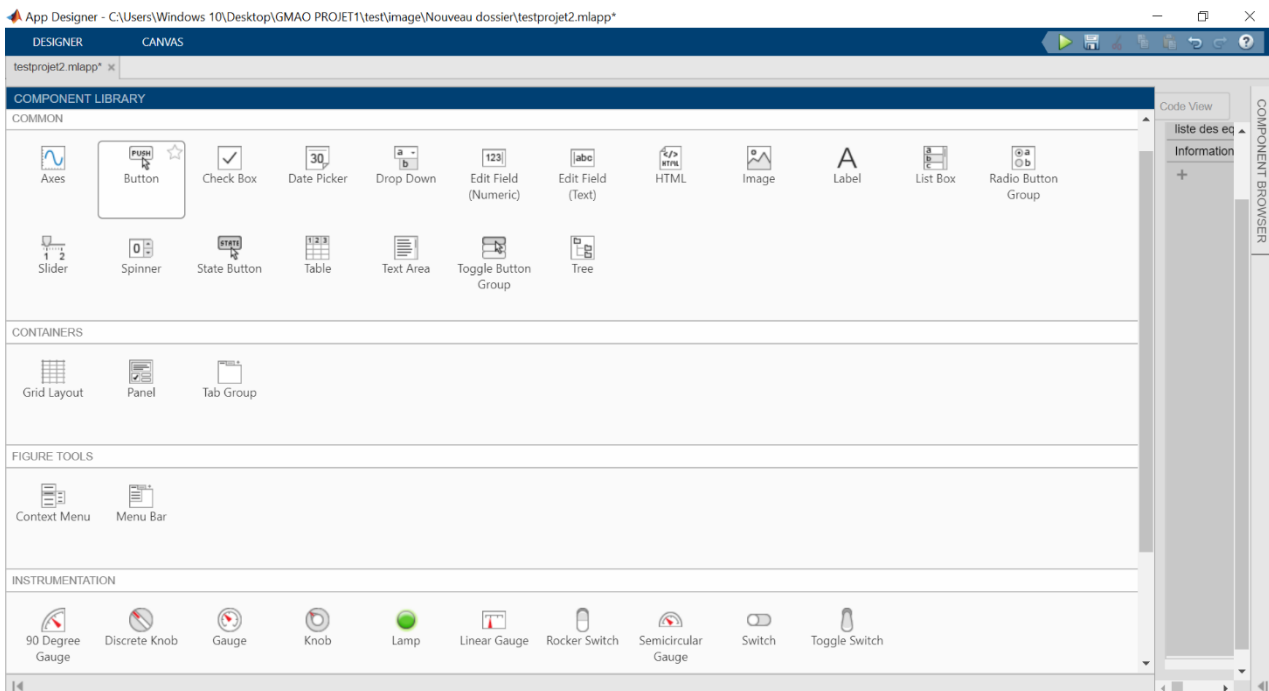


Figure N° VI.2 : Bibliothèque des composants de " App designer"

La Bibliothèque des Composants de "App Designer" dans MATLAB est une collection d'éléments graphiques prédéfinis que vous pouvez utiliser pour concevoir et personnaliser l'interface utilisateur de vos applications. Ces composants simplifient la création d'interfaces utilisateur interactives et esthétiques.

VI.2. Microsoft Excel :

L'Excel, faisant partie de la suite bureautique Office de Microsoft, est un logiciel polyvalent qui permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de plannings, de graphiques et de bases de données. Il est classé dans la catégorie des "tableurs".

Avec Excel, il est aisé de concevoir divers types de tableaux et d'y intégrer des formules de calcul. Ainsi, les valeurs du tableau se mettent à jour automatiquement en fonction des saisies et des opérations effectuées.

Dans notre contexte, Excel sert de base de données pour le logiciel GMAO. Les tableaux qu'il contient doivent être complétés, et c'est à partir de ces données que Matlab interagit avec Excel.

VI.3. Conclusion

Plusieurs raisons ont orienté notre choix vers Matlab comme logiciel privilégié. L'environnement de programmation Matlab offre des avantages notables. Il permet aux utilisateurs initiés de développer rapidement des calculs et des affichages. De plus, sa bibliothèque bien fournie favorise la créativité dans la programmation.

L'aspect pratique de MATLAB réside dans sa capacité à intégrer des programmes en C ou en C++ et à les compiler à l'aide d'un compilateur directement intégré dans le logiciel. Cela facilite grandement le développement et l'exécution de programmes en langages complémentaires.

En outre, Matlab constitue un environnement complet, doté d'outils essentiels pour travailler dans de nombreux domaines variés. De plus, les possibilités offertes par Matlab peuvent être étendues grâce aux toolboxes disponibles.

CHAPITRE VII
Interface et
fonctionnalités de
l'application

VII. Interface et fonctionnalités de l'application

VII.1. Introduction

L'application doit offrir une expérience utilisateur fluide et intuitive, garantissant un gain de temps maximal en permettant un accès direct et rapide aux informations essentielles.

Pour exécuter les fonctions indispensables à une gestion complète de la maintenance au sein de l'entreprise, l'application effectue ses calculs en se référant aux diverses méthodes et formules théoriques détaillées dans la section théorique de ce chapitre.

VII.2. Page D'accueil

Une fois l'application ouverte, l'utilisateur est dirigé vers la page d'accueil où il trouvera plusieurs fenêtres affichant immédiatement des informations cruciales et pertinentes. Cela permet à l'utilisateur de prendre connaissance des différentes opérations de maintenance préventive et corrective en un coup d'œil.

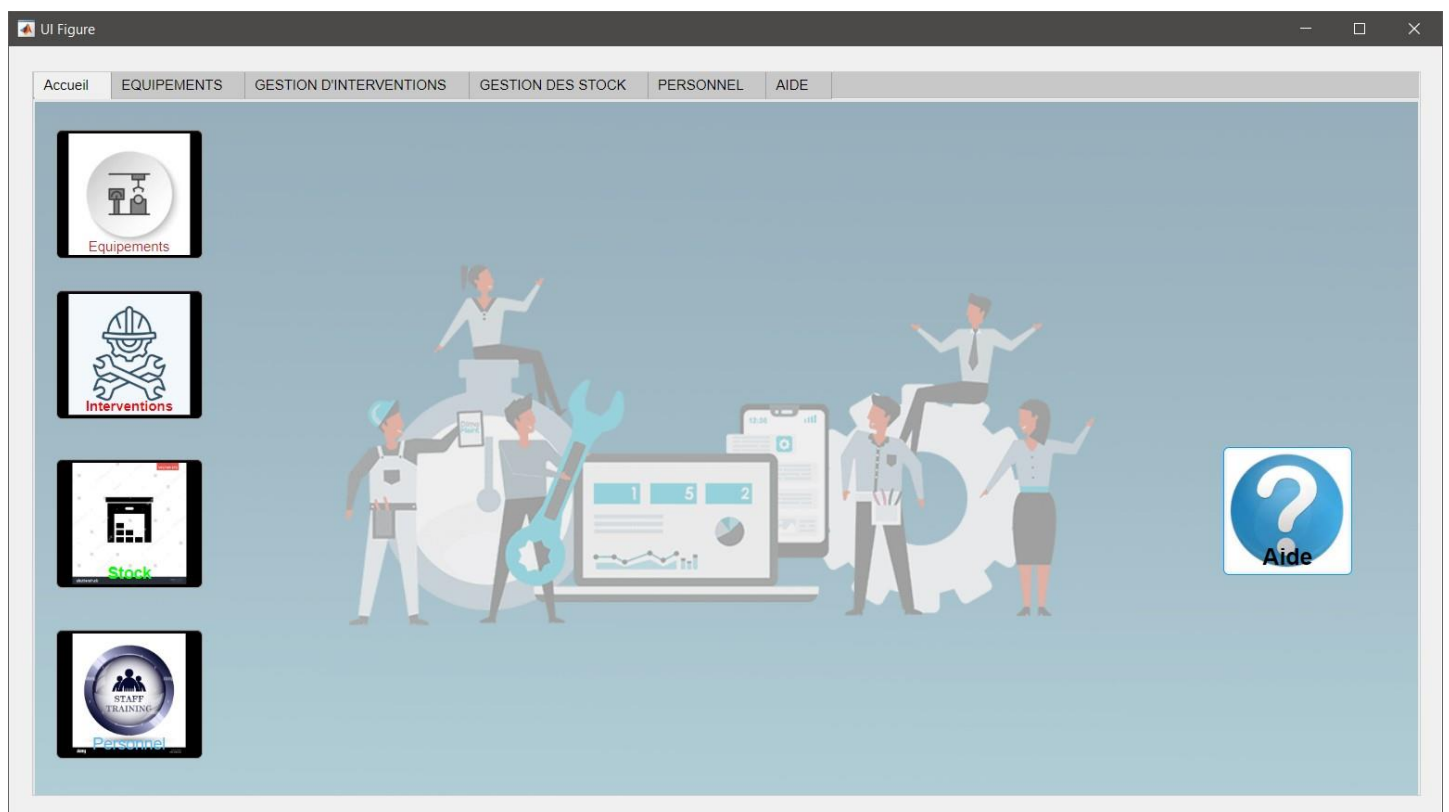


Figure N° VII.1 : Page d'accueil

La page d'accueil abrite également des boutons donnant accès aux divers menus et fonctionnalités du logiciel. Ces éléments sont agencés de la manière suivante :

- Gestion Equipements
- Gestion Intervention
- Gestion Stock

- Gestion du Personnel
- Aide

VII.3. Gestion des Equipements

En cliquant sur un bouton dédié (Equipements), on accède à une page composée de deux sections : la liste des équipements et les informations.

VII.3.1. Liste des Equipement

Composé d'un tableau organisé en 10 colonnes, il répertorie tous les équipements de l'entreprise ainsi que les informations essentielles les concernant, disposées de la manière suivante :

- **Reference** : Inclut le code de référence spécifique de l'équipement au sein de l'entreprise ;
- **Nom De L'équipement** : Cet élément contient la dénomination spécifique qui identifie l'équipement en question ;
- **Localisation** : Indique où l'équipement est situé dans les installations de l'entreprise ;
- **Marque** : Il s'agit de la société ou de la marque qui a produit l'équipement ;
- **Numéro De Série** : Il permet d'identifier de manière unique chaque équipement au sein de l'entreprise ;
- **Fournisseur** : C'est la société ou l'entité qui fournit les équipements à l'entreprise ;
- **Prix D'achat** : le coût engagé par l'entreprise pour acquérir un équipement spécifique auprès de son fournisseur ;
- **Date D'achat** : correspond au moment précis où l'entreprise a effectué la transaction pour acquérir un équipement auprès de son fournisseur ;
- **Date De Mise En Marche** : indique quand l'équipement a commencé à être utilisé ;
- **Description** : Les informations détaillées sur ses caractéristiques et son utilisation.

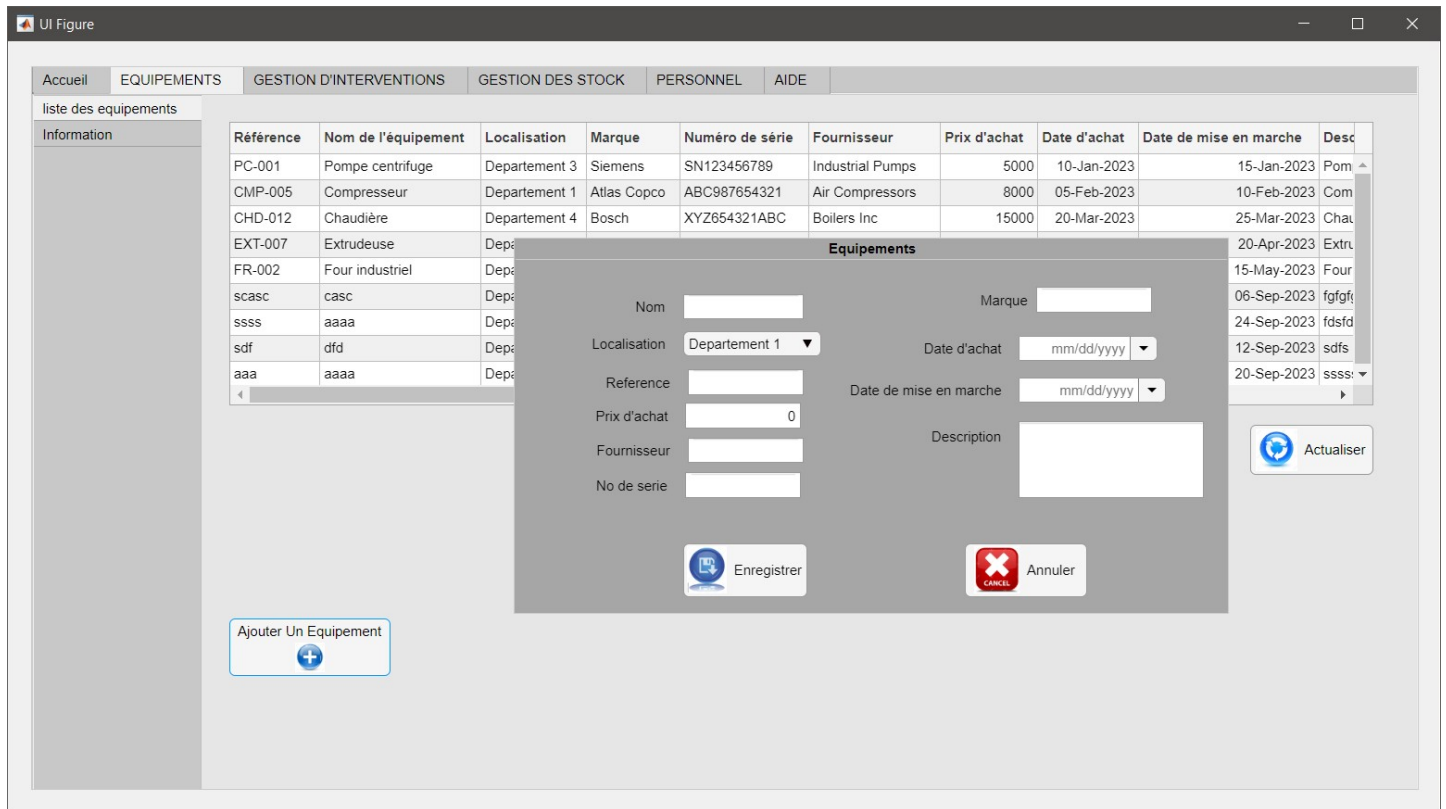


Figure N° VII.2 : Liste des équipements

VII.3.2. Information

L'onglet "Informations" répertorie les emplacements des équipements dans les différents départements de l'entreprise sous forme arborescente, ainsi que les fiches techniques détaillées pour chaque équipement.

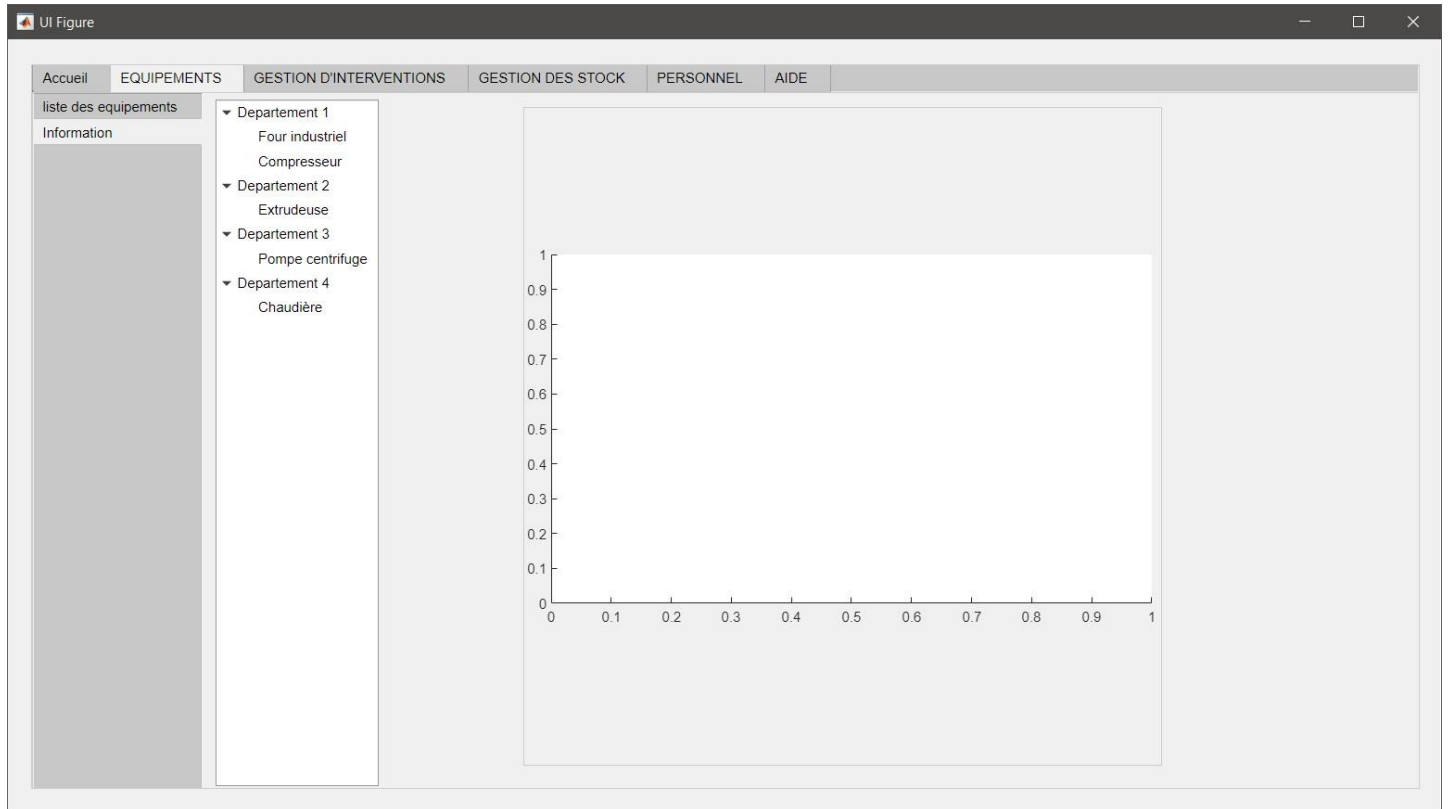


Figure N° VII.3 : Information

VII.4. Gestion D'interventions

La section "Gestion des Interventions" présente un tableau exhaustif des données relatives aux opérations de maintenance dans l'entreprise. Elle est subdivisée en deux volets : "Préventif" et "Correctif".

VII.4.1. Intervention préventive

La section "Préventive" offre une vue d'ensemble complète des opérations de maintenance planifiées, permettant à l'entreprise de gérer de manière proactive l'entretien de ses équipements

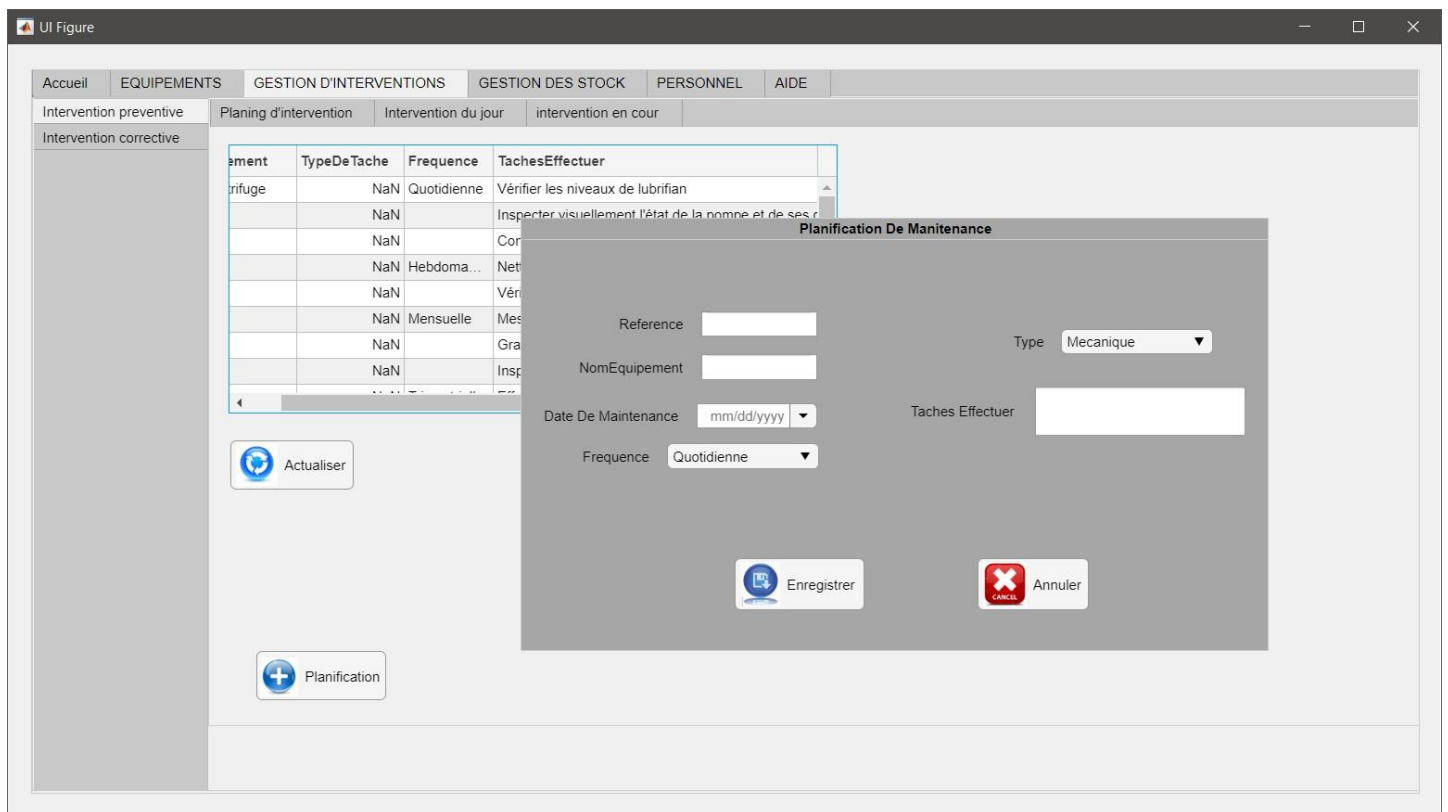


Figure N° VII.4 : Gestion D'interventions Préventive

VII.4.2. Intervention corrective

La section "Interventions Correctives" présente un aperçu global des actions de maintenance déclenchées en cas de panne d'un équipement, permettant ainsi à l'entreprise de réagir de manière efficace face aux défaillances.

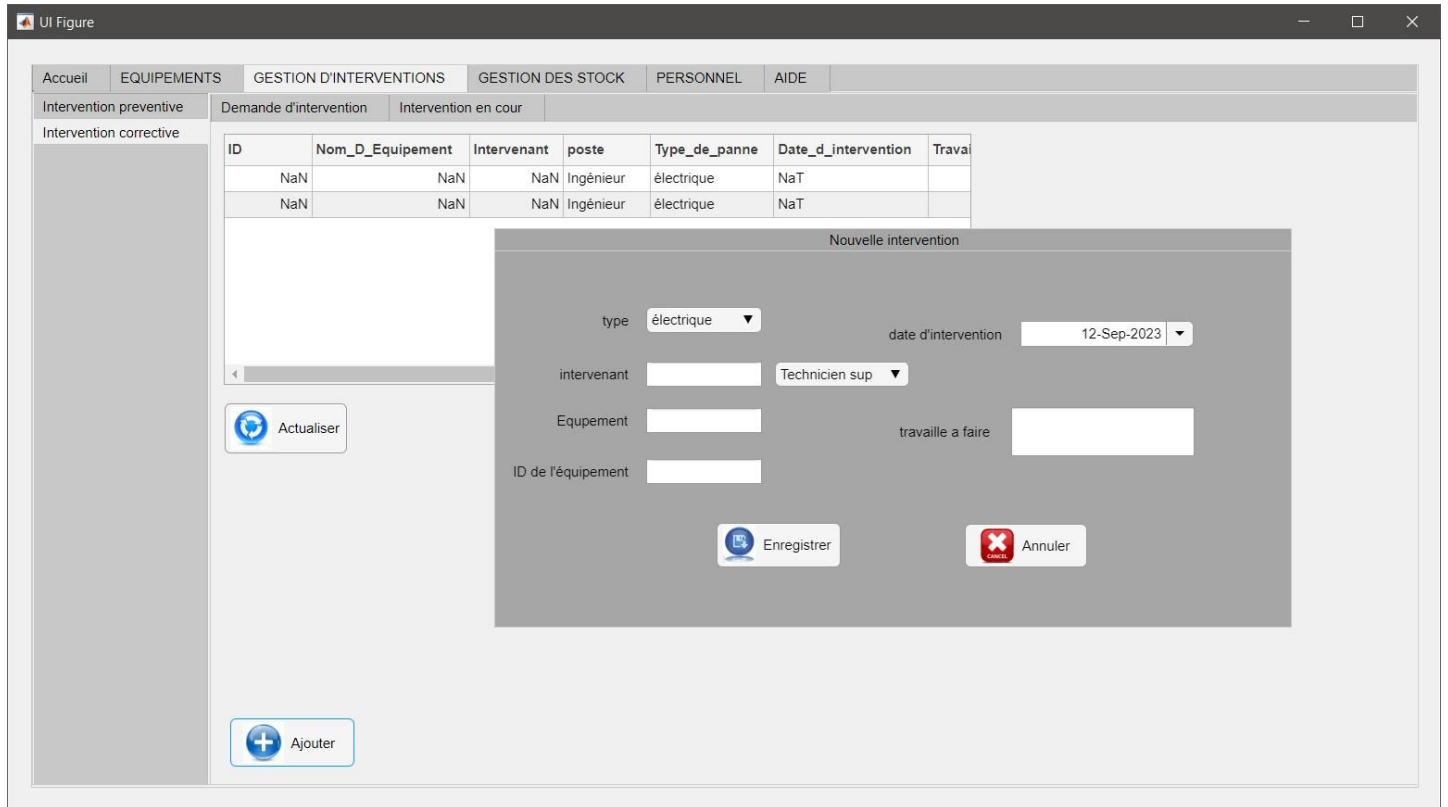


Figure N° VII.5 : Gestion d'intervention corrective

VII.5. Gestion de stock

La section "Gestion du Stock" permet d'identifier, nommer et quantifier les réserves en pièces de rechange et consommables dont l'entreprise dispose.

Cette partie est organisée en deux onglets distincts :

VII.5.1. Gestion des pièces

Composé d'un tableau organisé en 12 colonnes, il répertorie toutes les pièces de rechange de l'entreprise ainsi que les informations essentielles les concernant

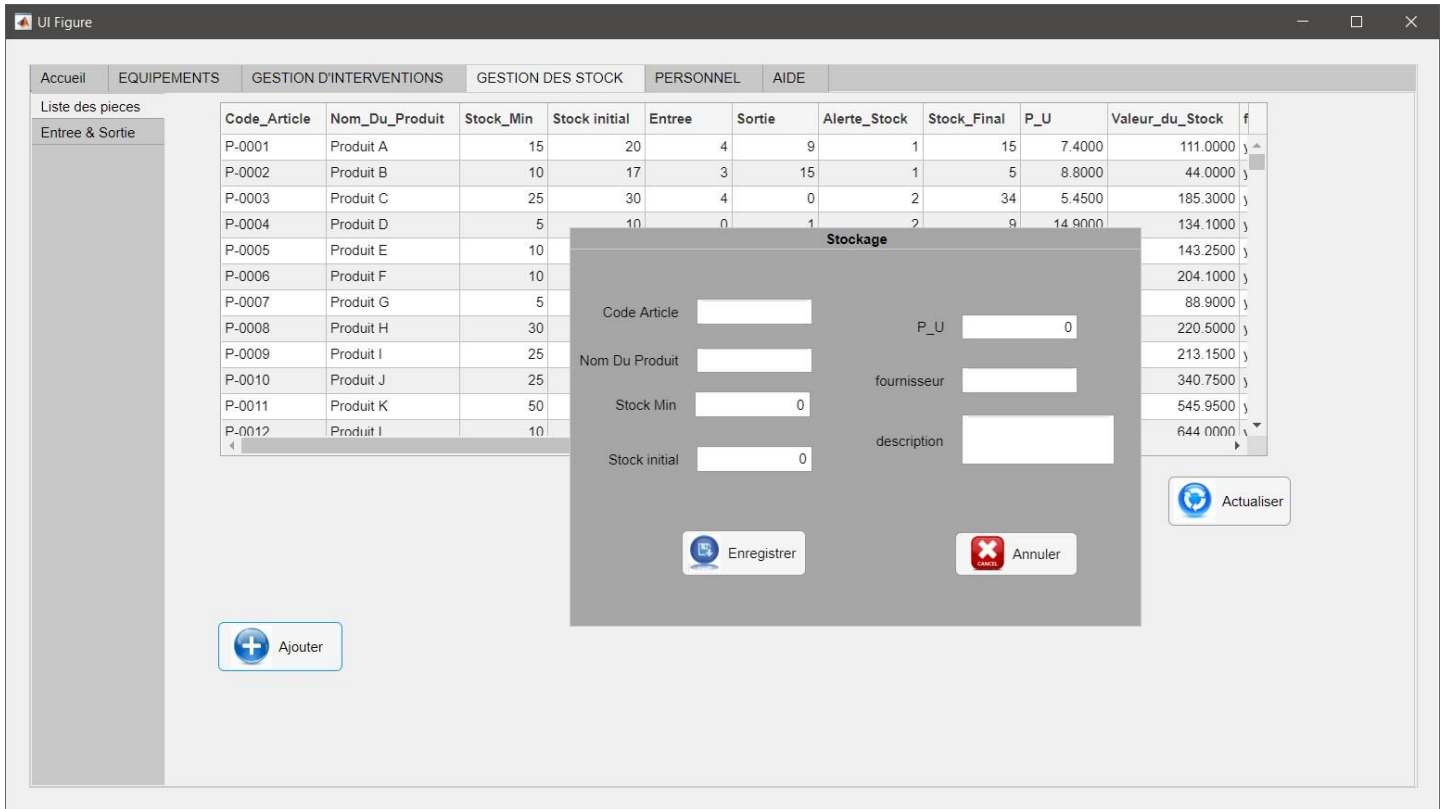


Figure N° VII.6 : Gestion des pièces

VII.5.2. Entrée et sortie

L'option "Entrée et Sortie" conduit à un tableau qui répertorie les pièces avec leur nom, le nombre d'entrées et de sorties, ainsi que la date correspondante.

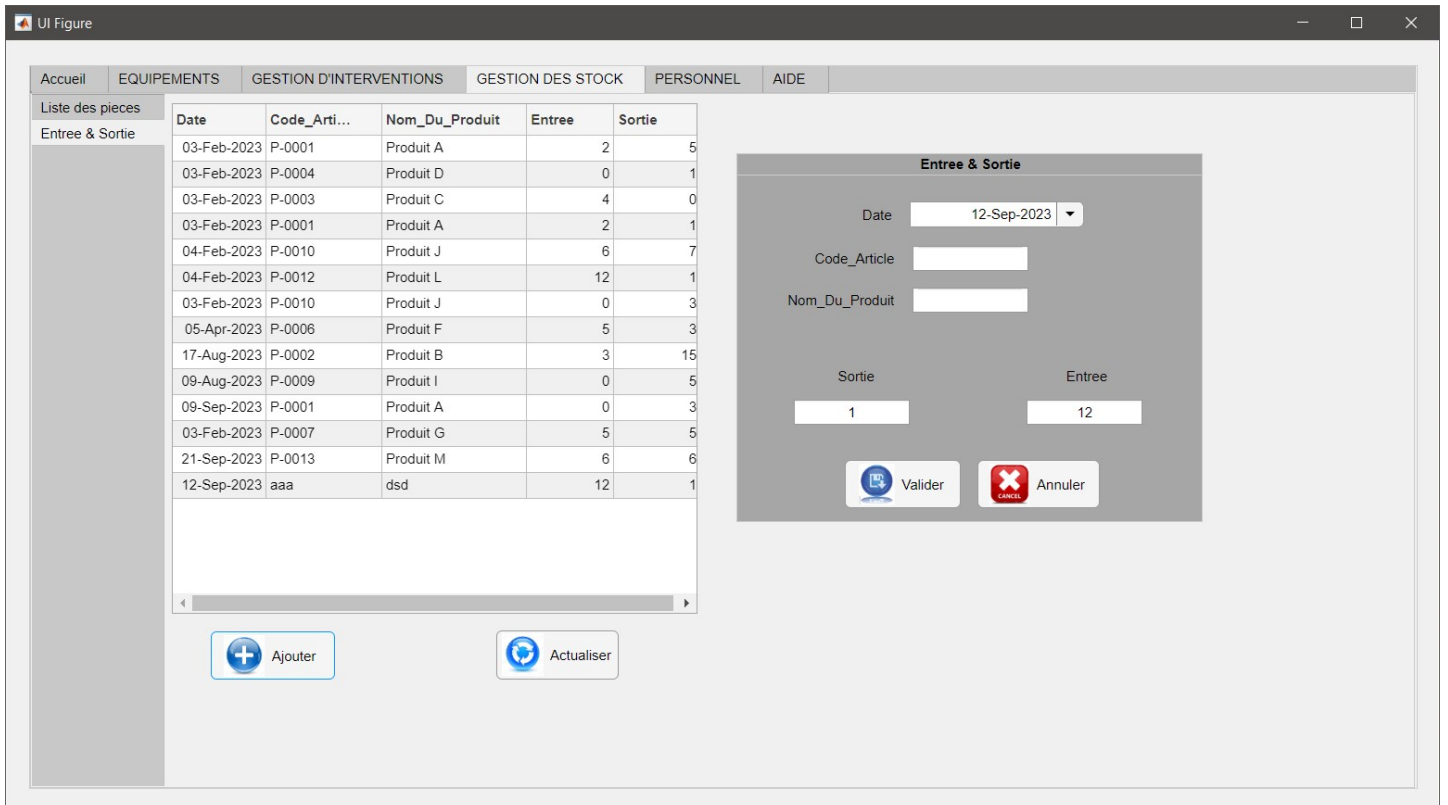


Figure N° VII.7 : Gestion des entrée et sortie

VII.6. Gestion du personnel

En sélectionnant l'option "Personnel", une page s'ouvre avec deux sections distinctes : "Pointage et Heures Supplémentaires" ainsi que "Liste du Personnel".

VII.6.1. Pointage et heures Supplémentaires

Cet onglet réunit les détails financiers concernant le personnel de l'entreprise.

The screenshot displays the 'PERSONNEL' tab in the application. It features a table for recording work hours and a form for entering work details.

ID	Date	Nom	Type	TempsStart	TempsStop	PauseSt
1	26-Aug-2023	Xxx Zzz	Travail	0.3333	0.5833	
2	27-Aug-2023	Aaaa Ssss	Travail	0.3750	0.8646	
3	19-Sep-2023	Moh moh	Travail	0.3333	0.7292	0.
4	NaT			NaN	NaN	
5	NaT			NaN	NaN	
6	NaT			NaN	NaN	
7	NaT			NaN	NaN	
8	NaT			NaN	NaN	
9	NaT			NaN	NaN	

Below the table, there is an 'Actualiser' button. At the bottom left, there is an 'Ajouter' button. On the right side, there is a 'Temps De Travail' form with the following fields:

- Date: mm/dd/yyyy
- Employer: [Text Input]
- Type: Travail
- Debut De Travail: [Text Input]
- Debut De Pose: [Text Input]
- Fin De Pose: [Text Input]
- Fin De Travail: [Text Input]

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Enregistrer' and 'Annuler'.

Figure N° VII.8 : Gestion du Pointage et des Heures Supplémentaires

VII.6.2. Liste du personnel

La section 'Liste du Personnel' offre une vue d'ensemble des employés de l'entreprise, fournissant leurs coordonnées, leur fonction, le type de contrat et leur numéro de matricule.

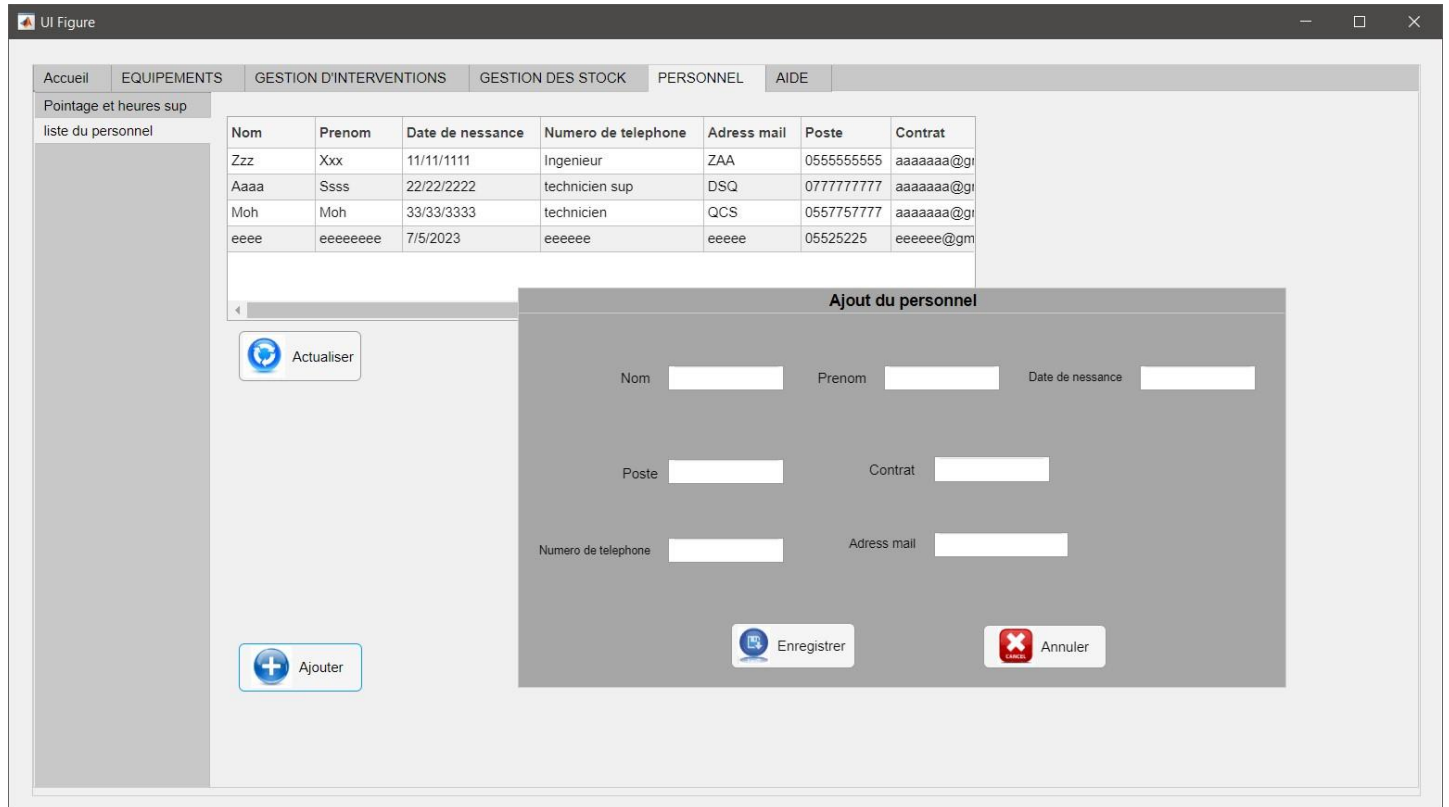


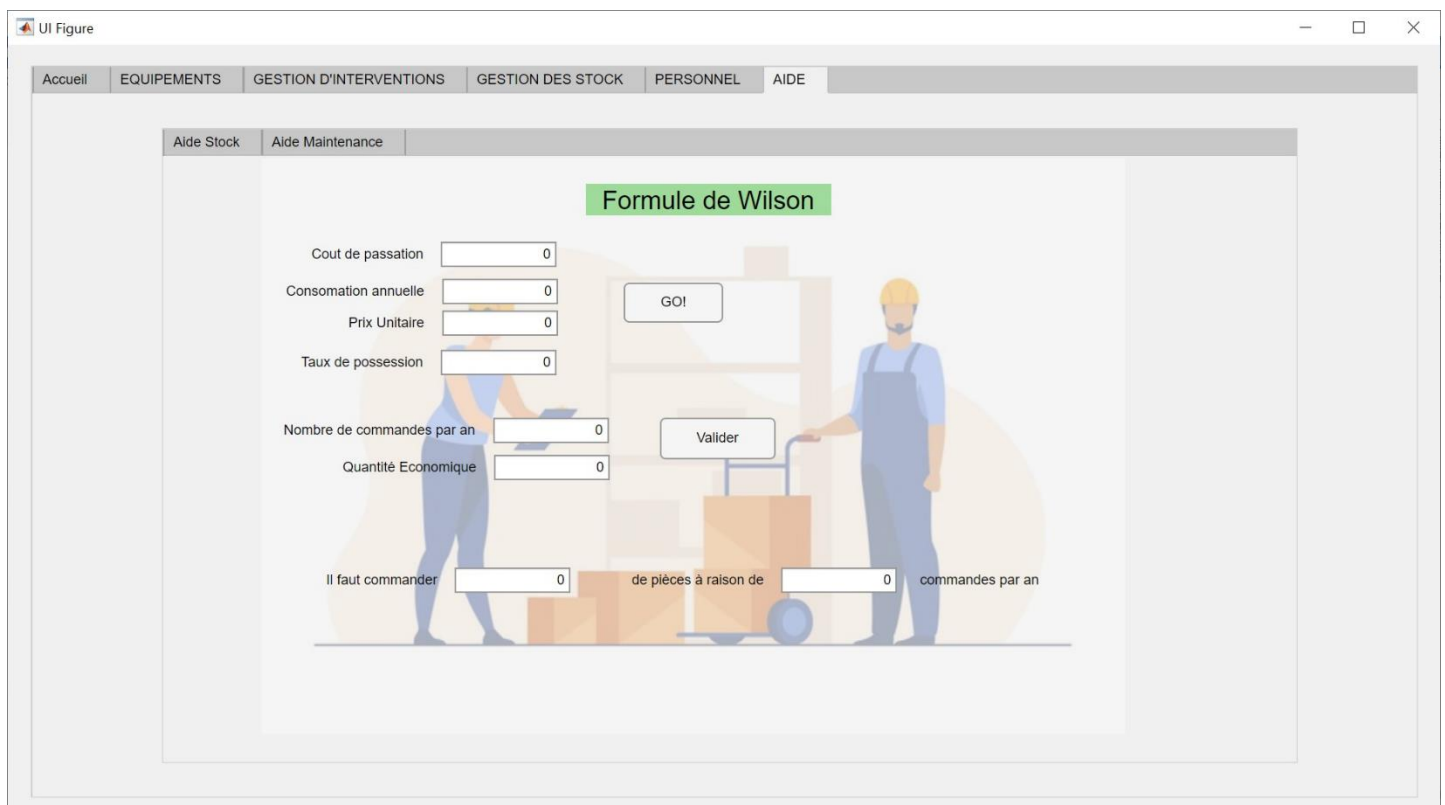
Figure N° VII.9 : Gestion de la Liste du Personnel

VII.7. Aide

La partie "Aide" offre deux sections : "Aide pour le stock" et "Aide pour la maintenance"

VII.7.1. Aide stock

Cette fonctionnalité offre la possibilité d'effectuer un calcul précis de la quantité économique à consommer pour chaque pièce. En d'autres termes, elle permet de déterminer la quantité optimale de chaque élément nécessaire pour maintenir un équilibre entre le coût d'approvisionnement et les coûts associés au stockage ou à la maintenance. Cela permet d'optimiser les opérations en évitant les excédents inutiles tout en garantissant que l'entreprise dispose toujours des composants essentiels pour son activité.



The screenshot shows a web application window titled "UI Figure" with a navigation menu at the top: Accueil, EQUIPEMENTS, GESTION D'INTERVENTIONS, GESTION DES STOCK, PERSONNEL, and AIDE. The "AIDE" menu is active, and the sub-menu "Aide Stock" is selected. The main content area is titled "Formule de Wilson" and contains a form for calculating the economic order quantity. The form includes the following fields and buttons:

- Cout de passation:
- Consommation annuelle:
- Prix Unitaire:
- Taux de possession:
- Nombre de commandes par an:
- Quantité Economique:
- GO! button
- Valider button
- Il faut commander: de pièces à raison de: commandes par an

The background of the form features an illustration of a worker in blue overalls and a yellow hard hat pushing a cart with boxes, and another worker in a blue shirt and dark pants looking at a tablet.

Figure N° VII.10 : Optimisation de stock

VII.7.2. Aide Maintenance

Cette option permet d'évaluer les coûts associés à la maintenance corrective et préventive. Cela donne à l'entreprise la possibilité de prendre une décision éclairée entre ces deux types de maintenance en fonction de leur impact financier.

The screenshot shows a software interface titled 'UI Figure' with a navigation menu at the top: Accueil, EQUIPEMENTS, GESTION D'INTERVENTIONS, GESTION DES STOCK, PERSONNEL, AIDE. The 'AIDE' menu is selected, leading to a sub-menu with 'Aide Stock' and 'Aide Maintenance'. The 'Aide Maintenance' section is active and contains two main panels:

- Calcul Cout De Maintenance Corrective:**
 - Inputs: 'cout de l'heure' (0), 'Nbr° d'heure d'arrêt' (0), 'cout de l'heure de maintenace' (0), 'Nbr° d'heure' (0), 'cout de piece' (0), 'Nbr° de pieces' (0).
 - Buttons: 'calcul' (green).
 - Output: 'Cout D'une Intervention Corrective' (0).
 - Input: 'Frequence De Pannes' (0).
 - Button: 'calcul' (green).
 - Final Output: 'Cout Annuel D'Intervention Corrective' (0).
- Calcul Cout De Maintenance Preventive:**
 - Inputs: 'cout de l'heure de maintenance' (0), 'Nbr° d'heure' (0), 'cout de piece' (0), 'Nbr° de pieces' (0).
 - Button: 'calcul' (green).
 - Output: 'Cout D'une Intervention Preventive' (0).
 - Input: 'Nbr D'intervention Annuelles' (0).
 - Button: 'calcul' (green).
 - Final Output: 'Cout Annuel D'Intervention Preventive' (0).

Figure N° VII.11 : Évaluation des Coûts de Maintenance

- $\text{Cout d'une maintenance corrective} = (\text{cout de l'heure} * \text{nombre d'heure d'arrêt}) + (\text{cout de l'heure de maintenace} * \text{nombre d'heure}) + (\text{cout de pièce} * \text{nombre de pièces})$
- $\text{Cout annuel d'intervention corrective} = (\text{cout d'une intervention corrective} * \text{nombre de pannes})$
 - $\text{Cout d'une intervention préventive} = (\text{cout de l'heur de maintenance} * \text{nombre d'heure}) + (\text{cout de pièce} * \text{nombre de pièce})$
 - $\text{Cout annuel d'une intervention préventive} = (\text{cout d'une intervention préventive} * \text{nombre d'intervention annuel})$

VII.8. Conclusion

Dans ce chapitre, a été présentée la solution GMAO mise en place. Elle répond efficacement à la plupart des exigences en matière de gestion et de planification de la maintenance, en incluant des évaluations et des prévisions concernant de nombreuses variables liées à la maintenance au sein de l'entreprise. Cette application offre une interface unique et intuitive, regroupant une variété d'outils et de données pour simplifier la gestion de la maintenance au sein de la société.

Conclusion

GENERALE

Conclusion :

Dans ce présent projet de Master, nous avons développé une application informatique de gestion de la maintenance assistée par ordinateur qui utilise les outils analytiques, statistiques et organisationnels que nous avons abordé au cours de notre formation. L'application en question propose des interfaces et un environnement de travail simples et intuitifs pour s'adapter à un grand nombre d'utilisateurs. N'étant pas développeurs d'applications informatiques de formation, nous avons opté pour un environnement de développement composé de Matlab pour la programmation, de Matlab AppDesigner pour les interfaces et de tableurs Excel pour le stockage des bases de données. Sur ce dernier point, il faut noter que Matlab permet de créer et de partager des programmes sous forme d'applications autonomes exécutables ou web grâce à son module nommé MATLAB Compiler.

Après avoir optimisé leur production et organisation, les entreprises cherchent constamment à améliorer la disponibilité de leurs équipements. La maintenance ne doit pas être sous-estimée, elle constitue un élément vital et son impact sur d'autres fonctions telles que la production, la comptabilité, les stocks, la sécurité, etc., est incontestable. De nombreux dysfonctionnements constatés dans d'autres domaines trouvent leur origine dans ce processus. Ainsi, la citation suivante prend tout son sens : « Quand la maintenance tousse, c'est toute l'entreprise qui s'enrhume ».

Pour agir, planifier, préparer, analyser et mettre en place les outils et les méthodes nécessaires à la fabrication des moyens de production, l'adoption d'une solution GMAO s'avère incontournable pour permettre à l'entreprise d'optimiser économiquement la disponibilité de ses équipements productifs.

La conception d'un progiciel de GMAO implique en premier lieu une préparation minutieuse (codification des équipements, des articles, etc.) propre à l'entreprise utilisatrice du progiciel. En effet, la définition des bases de données à utiliser dépend principalement de ces codifications. Cette étape revêt une importance capitale pour les programmeurs car chaque structure de base de données est utilisée dans les programmes. Une structuration adéquate permet d'éviter la redondance d'informations. Il est impératif d'établir des liens précis entre les tables de la base de données pour garantir le bon fonctionnement de l'application

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : AFNOR. (1998). Recueil de normes françaises X06, X50, X60.
- [2] : FRANÇOIS MONCHY, JEAN PIERRE VERNIER. (2010), Maintenance Méthodes et organisations, Dunod, Paris.
- [3] : MARC FREDERIC. (2011). Mettre en œuvre une GMAO, Maintenance industrielle ; Service après-vente ; Maintenance immobilière, Dunod,.
- [4] : OPTIMAIN : Pourquoi une GMAO, Guide d'utilisation du logiciel Optimaint, Apisoft international.
- [5] : Groupe de réflexion et d'orientation en Maintenance « Réussir sa maintenance », MARE NOSTRUM, 1996.
- [6] : YEVES LE CAZ. (2005). GMAO-Identifier les objectifs et les enjeux, techniques-ingénieur, ref MT9460.
- [7] : Smith, J. R., & Johnson, K. A. (2019). "Optimizing Industrial Processes Using IoT and Big Data". Industrial Engineering Handbook.
- [8] : Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2013). "Maintenance replacement and reliability: theory and applications." CRC Press. (Chapitre 6 : Work Order Planning and Scheduling in Maintenance)
- [9] : HERMI. H. (2019) Mémoire de fin d'étude « Gestion de la maintenance » Institut supérieur des études technologique de kef.
- [10] : Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Inventory Management and Production Planning and Scheduling. Wiley.
- [11] : K. R. Baker. (2019). "Introduction to Sequencing and Scheduling".
- [12] : Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, F. R. (2017). Manufacturing planning and control for supply chain management. McGraw-Hill Education.
- [13] : « A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) Section 6.5.2 - Séquencement des activités et diagramme de Gantt »
- [14] : A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide).
- [15] : Paul E. Harris (2011). Program Evaluation and Review Technique (PERT): A Practitioner's Guide to Optimizing Performance.

Bibliographie

[16] : www.manager-go.com

[17] : MathWorks. [https://www.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html]

Résumé

Ce travail met en évidence l'évolution de la gestion de la maintenance, initialement négligée pour sa complexité, mais désormais soutenue par l'informatisation grâce à l'émergence des GMAO. Cette informatisation offre des avantages considérables, tels que des outils de calcul puissants, un stockage de données robuste et une traçabilité accrue. L'objectif du projet était de créer un logiciel intégrant les principes de la gestion de la maintenance, fournissant des estimations précises basées sur les données historiques. La plateforme est conçue pour être conviviale, mais des améliorations futures sont envisagées, notamment des fonctionnalités avancées, des calculs statistiques prévisionnels et une aide à la prise de décision basée sur les archives.

Mots clés : GMAO, maintenance, appdesigner, application, ordonnancement.

Abstract :

This work highlights the evolution of maintenance management, which was initially overlooked due to its complexity but is now supported by computerization through the emergence of CMMS (Computerized Maintenance Management Systems). This computerization offers significant advantages, such as powerful calculation tools, robust data storage, and increased traceability. The project's objective was to create software that integrates the principles of maintenance management, providing accurate estimates based on historical data. The platform is designed to be user-friendly, but future enhancements are envisaged, including advanced features, predictive statistical calculations, and decision support based on archived data.

Key words: GMAO, Maintenance, app designer, application, scheduling.

ملخص:

هذا العمل يسلط الضوء على تطور إدارة الصيانة، حيث تم تجاهلها في البداية بسبب تعقيدها، ولكنها أصبحت اليوم مدعومة بالحوسبة بفضل ظهور أنظمة إدارة الصيانة المشهورة. تقدم هذه الحوسبة فوائد كبيرة، مثل أدوات الحساب القوية وتخزين البيانات الممتين وزيادة قدرة التتبع. هدف المشروع كان إنشاء برنامج يدمج مبادئ إدارة الصيانة، ويقدم تقديرات دقيقة استنادًا إلى البيانات التاريخية. تم تصميم النظام ليكون سهل الاستخدام، ولكن هناك تحسينات مستقبلية تُدرس، بما في ذلك ميزات متقدمة وحسابات إحصائية تنبؤية ودعم لاتخاذ القرار بناءً على السجلات.

الكلمات الرئيسية: أنظمة إدارة الصيانة المساعدة بالحوسبة (GMAO)، صيانة، تصميم التطبيقات، تطبيق، جدولة.