



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE - ANNABA -
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
(EX ESTI)

DEPARTEMENT SECOND CYCLE
MEMOIRE
PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
INGENIEUR D'ETAT OU MASTER
FILIERE
GENIE INDUSTRIELLE
SPECIALITE
MAINTENANCE ET FIABILITE DES SYSTEME

Intitulé :

Conception et implémentation d'une GMAO pour le département de maintenance de
l'entreprise HUPP Pharma

Mémoire de Ingénieur

Présenté par

Belkacem Chourouk
Meghaichi Amina

Encadrant : Mohamed Djemana	Grade	MCA	ENSTI Annaba
Encadrant : karmi Yacine	Grade	MAB	Université Mantouri 1 Constantine
Président Djellal Adel	Grade	MCA	Établissement d'affiliation
Examineurs : bouzitouna abdullah	Grade	MCB	Établissement d'affiliation
Membres Invités Driss imane	Grade	MCB	Établissement d'affiliation

Année universitaire 2022/2023

Remerciements :

Nous tenons dans un premier temps à remercier DIEU tout puissant de nous avoir donné la chance et le privilège d'étudier et de nous avoir permis d'en arriver là « Quiconque ne remercie pas le gens, ne remercie pas dieu »

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement M. Djemana et M. Kermi pour leur confiance en acceptant d'encadrer notre projet de fin d'études. Leur soutien constant, leurs conseils précieux et leur respect ont été inestimables.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à M. Ghebghoub Houcine et M. Bouillota Hamza de l'entreprise Hupp Pharma, qui nous ont accueillis et ont permis la réalisation de la partie pratique de notre projet. Leurs conseils avisés et leur soutien constant sur les plans intellectuel et social ont été d'une grande valeur pour nous.

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail avec attention.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers toute ma famille, mes amis et en particulier mes parents, dont les efforts et les sacrifices ont été récompensés par cette réussite.

Dédicace :

Je dédie mon mémoire :

À ma mère aimante, dont l'amour inconditionnel et le soutien indéfectible ont été mes piliers tout au long de ce voyage académique. Tes encouragements sans faille, tes mots de sagesse et ta confiance en moi ont été des sources d'inspiration sans égales. Chaque fois que j'ai douté de mes capacités, tu étais là pour me rappeler ma valeur et me pousser à persévérer. C'est grâce à toi que je suis arrivée jusqu'ici, et je te suis éternellement reconnaissante Que Dieu te garde afin que ton regard puisse suivre ma destinée.

À mon frère adoré, mon complice de toujours, qui a partagé avec moi les hauts et les bas de cette aventure académique. Nos échanges passionnants, nos discussions nocturnes et notre soutien mutuel ont été d'une importance capitale pour moi. Tu m'as montré ce que signifie le dépassement de soi, et ta présence constante a été un véritable moteur de motivation.

À mon oncle Mourad, mon père spirituel, Ta sagesse, ton expérience et ton dévouement à mon égard m'ont inspiré tout au long de ce parcours. Tes conseils avisés, tes encouragements sincères et ta présence réconfortante ont joué un rôle essentiel dans mon succès académique. Je te suis profondément reconnaissante d'avoir été là pour moi à chaque étape.

À ma grand-mère chérie, qui m'a transmis des valeurs profondes et une force intérieure inébranlable. Ton amour incommensurable et ta sagesse infinie ont été des phares dans ma vie. Tu m'as appris à persévérer, à croire en mes rêves et à surmonter les obstacles.

À l'âme de mon père et à celle de mes grands-parents, qui ont veillé sur moi depuis l'au-delà. Votre héritage, vos enseignements et votre amour continuent de briller dans mon cœur. Vous êtes les racines qui m'ont donné la force de m'épanouir et de poursuivre mes aspirations.

A ma meilleure amie Razane, Tu es bien plus qu'une amie, ma complice et ma sœur de cœur. Tu m'as inspiré à être une meilleure personne.

Enfin, à tous mes oncles, tantes, cousins et cousines est surtout Lamia, Ryma, Fella et joujou qui ont enrichi ma vie par leur présence et leur soutien, je vous dédie ce mémoire.

J'espère que ce mémoire sera à la hauteur de vos attentes et que vous serez fiers de moi. Je vous exprime ma reconnaissance éternelle et ma profonde gratitude.

Avec tout mon amour et ma reconnaissance

Belkacem Chourouk

Dédicace :

À l'âme de ma grande mère Hbiba qui a toujours été dans mon esprit et qui restera pour toujours. J'espère que tu seras fière de moi. Que Dieu, le miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis.

À mes parents, voilà le résultat de vos efforts depuis 25 ans. Vous attendez depuis longtemps ce jour mémorable. C'est grâce à vos encouragements, votre amour et l'éducation que vous m'as prodiguée que je suis là aujourd'hui. Que Dieu le tout puissant vous donne santé, bonheur et longue vie, afin que je puisse vous comblez à mon tour. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir.

À mon cher frère Sid Ali mon cœur et à mes sœurs Meriem et Manel que j'adore. Vous êtes ma vie.

À mes amies de tous mon parcours qui ont été toujours présent pour moi, pour me supporter et me pousser à aller de l'avant. Je n'oublierai jamais les souvenirs et les fous rires qu'on a partagés tout au long de notre vie.

À toute ma grande famille.

À tous ceux qui m'aiment et À tous ceux que j'aime.

Amina Meghaichi

الملخص:

صيانة المنشآت الصناعية أصبحت وظيفة استراتيجية أساسية للشركات. هدفنا من هذا المشروع هو تحديث إدارة هذه الخدمة من خلال تطوير برنامج GMAO (إدارة الصيانة المعاونة بواسطة الحاسوب) وتحسين الصيانة الوقائية لنظام مكون من 7 آلات صناعية.

لتحقيق ذلك، قدمنا نموذج تكلفة يتوافق مع سياسة الصيانة الوقائية الدورية المستندة إلى مفهوم تقليل العمر. استخدمنا تقنيات عشوائية مثل الخوارزميات الجينية لتحسين الأنشطة وفترات التدخل. الهدف كان وضع جدول زمني للصيانة الوقائية وتقليل التكلفة الإجمالية للصيانة للنظام المدروس.

بالتالي، بهدف عملنا إلى تقديم نهج جديد لإدارة الصيانة الوقائية، أكثر تحسناً وفعالية، من خلال تحديث العمليات واستخدام تقنيات متقدمة مثل الخوارزميات الجينية

الكلمات المفتاحية: تحسين، صيانة وقائية، موثوقية، قانون ويبول، سياسة الصيانة، خوارزمية جينية، نظام إدارة صيانة الأصول.

Abstract:

The management of maintenance for industrial installations has become a crucial strategic function for companies. Our objective is to modernize the management of this service by developing a CMMS (Computerized Maintenance Management System) software and optimizing the preventive maintenance of a system consisting of 7 industrial machines.

To achieve this, we have proposed a cost model that corresponds to a periodic preventive maintenance policy based on the concept of age reduction. We have employed stochastic techniques such as genetic algorithms to optimize activities and intervention frequencies. The goal was to establish a preventive maintenance schedule and minimize the overall maintenance cost for the studied system.

Thus, our work aims to propose a new approach to preventive maintenance management that is more optimized and efficient by computerizing processes and utilizing advanced techniques such as genetic algorithms.

Keywords: optimization, preventive maintenance, reliability, Weibull, maintenance policy, genetic algorithm.

Résumé :

La gestion de la maintenance des installations industrielles est devenue une fonction stratégique essentielle pour les entreprises. Notre objectif est de moderniser la gestion de ce service en développant un logiciel de GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) et d'optimiser la maintenance préventive d'un système composé de 7 machines industrielles.

Pour cela, nous avons proposé un modèle de coût qui correspond à une politique de maintenance préventive périodique basée sur le concept de réduction de l'âge. Nous avons utilisé des techniques stochastiques telles que les algorithmes génétiques pour optimiser les activités et les périodicités des interventions. L'objectif était de mettre en place un calendrier de maintenance préventive et de minimiser le coût global de maintenance pour le système étudié.

Ainsi, notre travail vise à proposer une nouvelle approche de gestion de la maintenance préventive, plus optimisée et efficace, en informatisant les processus et en utilisant des techniques avancées telles que les algorithmes génétiques.

Mots-clés : Optimisation, Maintenance préventive , fiabilité, , Weibull. Politique de maintenance, algorithme génétique , GMAO

Table des matières

Remerciements :	ii
<i>Dédicace</i>	iii
:الملخص	v
Abstract	vi
Résumé	vii
Table des matières	viii
Liste des Figures	xi
Liste des Tableaux :	xiii
Table des Abréviations et Symboles :	xiv
Introduction Générale :	xv
Chapitre I représentation de l'entreprise HUPP Pharma	2
I.1 Introduction :	2
I.2 Représentation de l'entreprise Hupp Pharma :	3
I.3 La direction du laboratoire Hupp pharma :	3
I.4 La localisation de l'entreprise :	4
I.5 L'activité de laboratoire Hupp pharma :	5
I.6 Les objectifs de l'entreprise :	6
I.7 La représentation du service maintenance :	7
I.8 Conclusion	9
Chapitre II généralité sur la maintenance préventive	11
II.1 Introduction :	11
II.2 Notion sur la maintenance :	12
II.2.1. Définition de la maintenance :	12
II.2.2. Le rôle de la maintenance :	12
II.2.3. Les types de maintenance :	13
II.2.4. La gestion de la maintenance assistée par ordinateur :	14
II.2.5. La gestion des utilisateurs :	15
II.2.6. Les politiques de maintenance :	17
II.2.7. Politique de réduction d'âge du cas étudié :	22

II.3	La sûreté de fonctionnement :	24
II.3.1.	La maintenabilité :	25
II.3.2.	La disponibilité :	25
II.3.3.	La fiabilité :	26
II.3.4.	Les fonctions de la fiabilité :	29
II.3.5.	Les lois de probabilité usuelles en fiabilité :	31
II.3.6.	Les tests d'hypothèses :	35
II.4	Conclusion :	38
Chapitre III.	Méthodes d'optimisation.....	40
III.1	Introduction :	40
III.2	Les méthodes d'optimisation :	40
III.3	Les métaheuristiques :	41
II.3.1.	Métaheuristiques solution unique :	42
i.	Métaheuristiques à population :	44
III.3	Les Algorithmes génétiques :	47
II.3.1.	Principe générale :	47
II.3.2.	Structure de l'algorithme génétique :	49
III.5.	Conclusion.....	60
Chapitre IV :	Résultats d'optimisation du cas étudiés.....	63
IV.1	Introduction :	63
IV.2	Présentation du contexte du cas étudiés.....	63
IV.2.1.	La sélection du système multi composant :	63
IV.2.2	Inventaire et traitement des données disponibles :	66
IV.2.2.	Les étapes de l'algorithme :	72
IV.2.3.	Identification des paramètres de l'algorithme :	74
VI.1	Résultat et discussion :	79
IV.3	Conclusion :	82
Chapitre V	Mise en œuvre d'une GMAO pour l'entreprise HUPP pharma.....	84
V.1	Introduction :	84
V.2	Outils et langage de programmation :	84

V.2.4. Python :.....	84
V.2.5. Visual studio code :	85
V.2.6. My SQL :.....	85
V.2.7. Environnement WampServer :	86
V.3 Structure de l'application :.....	86
V.2.8. Présentation des interfaces de logiciel :.....	88
V.4 Conclusion :	95
Conclusion Générale.....	96
RéférencesBibliographiques	97
Annex 1 : Annex des algorithmes.....	99
Annex2 :Test de validation de (KOLMOGOROV- SMIRNOV) :.....	99
Annex 2 : les Longages de modélisation UML	115

Liste des Figures

Figure I.1 la localisation de l'entreprise Hupp pharma	5
Figure I.2Hupp pharma vue de l'extérieure.....	23
Figure 0organigramme de service maintenance	25
Figure II.1:Relation entre les facteurs d'amélioration des composants et les 1P-activités	20
FigureII2-.: Impact des différentes actions du modèle sur la fiabilité.....	22
Figure II.3-1 L'Allure de la fonction de fiabilité.....	29
Figure II.4:Courbe théorique de distribution	33
Figure II.5:variation de $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$ par les différentes valeurs de β	35
Figure III-1:Classes des méthodes de résolution	41
Figure III-2:Classes des métaheuristiques	41
Figure III-3:Principe général d'un algorithme génétique.....	48
Figure III-4:Codage des données.....	50
Figure III-5: Types de croisement [7]	55
Figure III-6:Opérateur de croisement PMX.....	56
Figure III-7:Opérateur de croisement CX	57
Figure III-8:Opérateur de croisement OX\.....	58
Figure III-9:Mutation par inversion	59
Figure III-10:Mutation par insertion.....	59
Figure III-11:Mutation par déplacement	60
Figure III-12:Mutation par inversion	60
Figure IV-1: représentation des TBF en fonction du temps « blistéreuse»	68
Figure IV-2:le graphe de beta pour le cas de la "blistéreuse"	69
Figure IV-3:représentation des TBF en fonction du temps "vignèteuse"	71

Figure IV-4: le graphe de beta pour le cas de la "vigneteuse"	72
Figure IV-5:Propriétés initiales de l'algorithme	75
Figure IV.6:Fonction objective	75
Figure IV.7: fiabilité de l'unité de prouction1	81
Figure V.1:structure de logiciel	87
Figure V.2:interface d'ethentification	88
Figure V.3:interface de responsable	89
Figure V.4:formulaire de nouveau utilisateur	89
Figure V.5:liste des utilisateurs	90
Figure V.6:interface operateur	90
Figure V.7: liste des unités	91
Figure V.8: liste des machines	91
Figure V.9: interface pour signaler une panne	92
Figure V.10: liste des pannes signalées	92
Figure V.11: interface maintenancier	93
Figure V.12: : liste des pannes signalés (maintenancier)	93
Figure V.13: liste des stock PDR	94
Figure V.14: liste des pièces de rechange	94
Figure V.15: historique des pannes	95

Liste des Tableaux :

Tableau I.1 : effectifs personnels de Hupp pharma (juin 2022)	4
Tableau IV.1:tableau des paramètres de Weibull du cas étudiés	67
Tableau IV. 2:tableux des TBF "Blistereuse"	69
Tableau IV.3:tableux des TBF "vignèteuse"	69
Tableau IV.3.1:Facteurs d'amélioration m1 pour les composants du système	76
Tableau IV.3.2:tableau des couts de la mnt prv.....	77
Tableau IV.3.3::Les paramètres A0 et A1 des composants du système	79
Tableau IV.3.4:Echéancier optimal de MP (Tp variable ; Bd=0.2066, cycle de vie : 21000(h))	80

Table des Abréviations et Symboles :

Abréviations	Désignation
MDP	Mots de passe
Mnt	Maintenance
Prv	Préventive
CUR	Curative
Pdr	Pièce de rechange
HIS	Historique
Qte	Quantité
SQL	StructuredQueryLanguage
CRUD	create Read
FIFO	first in first out
SE	Stratégie d'évolution
EP	Programme évolutionnaire
AG	Algorithme génétique
Pg	Programmegénétique
MUT	Mean up time
MDT	Mean down time
MTTR	Mean time to repair
MTBF	Mean time between failure

Introduction Générale :

Avec l'évolution de l'industrie et l'intensification de la concurrence, l'accent est mis sur la recherche de la qualité totale et la réduction des dépenses. Dans ce contexte, la maintenance est devenue une fonction stratégique pour les entreprises. Cependant, elle est en constante évolution, suivant l'introduction de nouvelles méthodes de gestion et le développement technologique des outils de production, notamment dans les domaines de la mesure, du contrôle et de la prédiction des défaillances . Malheureusement, les coûts liés à la maintenance sont souvent perçus de manière négative par les dirigeants et les économistes.

Face à cette réalité, les professionnels de la maintenance ont cherché un compromis, qui se traduit par l'optimisation de la maintenance préventive (MP). Ce processus vise à améliorer l'efficacité et la performance de la maintenance en équilibrant les exigences préventives (légales, économiques, techniques, etc.) avec les ressources nécessaires à la mise en œuvre des programmes de maintenance (main-d'œuvre, pièces de rechange, consommables, équipements, etc.).

L'objectif de l'optimisation de la maintenance préventive est de déterminer la politique appropriée pour chaque équipement et d'identifier la périodicité à laquelle cette politique doit être appliquée afin d'atteindre les objectifs de sécurité, de fiabilité et de disponibilité des systèmes. Comme l'a souligné François Manchy, "plus l'indisponibilité est coûteuse, plus la maintenance est économique, plus la sécurité est en jeu, plus la maintenance s'avère obligatoire".

Ainsi, l'optimisation de la maintenance préventive vise à trouver le juste équilibre entre les coûts et les bénéfices de la maintenance, en prenant en compte les impératifs économiques, la sécurité des installations et la disponibilité des équipements. C'est un processus continu d'amélioration visant à maximiser les performances tout en minimisant les coûts, contribuant ainsi à la compétitivité et à la durabilité des entreprises industrielles.

Et qui dit maintenance dit gestion dit GMAO ce logiciel informatique qui est devenue un indispensable dans toutes les entreprises quel que soit sa taille. En effet, les logiciels de GMAO ont répondu à un besoin vif c'est la gestion d'information qui est parmi les enjeux les plus primordiaux pour les entreprises et touche pratiquement toutes les activités telles que la comptabilité, la production et la maintenance.

A cet effet, , notre travail consiste à développer une application de GMAO pour l'entreprise HUPP Pharma de Constantine, afin de faciliter la communication entre les différents services et d'optimiser les actions de maintenance préventive en minimisant les coûts globaux de maintenance.

L'optimisation de la maintenance est réalisée à l'aide de la méthode des algorithmes génétiques (GA), qui est une technique d'optimisation faisant partie de la famille des méthodes stochastiques. Les algorithmes génétiques appartiennent à la catégorie des algorithmes évolutionnaires, qui produisent des solutions d'optimisation en s'inspirant des mécanismes de l'évolution naturelle, tels que l'héritage, la mutation, la sélection et le croisement. Cette méthode est particulièrement efficace dans le domaine de l'optimisation.

Pour mener à bien notre projet, nous suivons l'approche suivante :

1. **Le premier chapitre** présente une vue d'ensemble de l'entreprise HUPP Pharma, de son service de maintenance et d'une de ses unités de production, en fournissant des détails spécifiques.
2. **Le deuxième chapitre** aborde les notions de maintenance, les différentes politiques de gestion de la maintenance, la fiabilité des systèmes et la relation coût-maintenance.
3. **Le troisième chapitre** présente les méthodes d'optimisation stochastiques pour la maintenance préventive. La méthode des algorithmes génétiques fait l'objet d'une étude approfondie, étant donné qu'elle est au cœur de notre étude.
4. **Le quatrième chapitre** aborde l'optimisation de la maintenance préventive de l'ensemble des équipements d'une unité de production. Dans cette partie, l'optimisation de la maintenance est réalisée en maximisant la durée de vie par unité de coût.
5. **Le cinquième chapitre** décrit en détail les outils utilisés pour développer l'application web, l'architecture du système et le matériel nécessaire au déploiement de l'application.

Le mémoire se conclut par une conclusion générale qui résume les résultats obtenus et souligne l'importance de l'optimisation de la maintenance préventive dans le contexte de l'entreprise étudiée.

chapitre I : Représentation de l'entreprise Hupp pharma

Chapitre Ireprésentation de l'entreprise HUPP Pharma

I.1 Introduction :

L'industrie pharmaceutique est un sujet d'actualité majeur pour les autorités publiques qui se préoccupent beaucoup de la garantie de l'accès aux médicaments depuis que l'état a renoncé à son monopole dans ce secteur.

Au début des années 90 l'Algérie est devenue l'une des principaux producteurs pharmaceutiques d'Afrique ce qui se traduit en chiffre par plus de 2,5 milliards d'euros de médicaments produits dans l'années 2021.

L'importance que notre gouvernement a élu pour ce secteur vital a poussé l'investissement du secteur privé dans ce domaine et a favorisé l'investissement étranger dans le cadre du partenariat pour produire localement les médicaments, particulièrement les génériques, afin d'atteindre une couverture médicamenteuse à 80% , et aussi de rationaliser l'utilisation des différentes classes thérapeutiques en termes de prescription et de tarification et faire Face aux difficultés de financement des dépenses d'assurance maladie,ce qui a engendré la création de 200 unités de production répartie sur 35 société pharmaceutique Algérienne cequi a engendré une croissance à deux chiffres dans l'échelle économique national, vu que le développement des médicaments génériques représente une solution presque idéale pour améliorer l'efficacité des dépenses publiques liées à la santé .

Le challenge de l'industrie pharmaceutique algérienne maintenantet de pallier aux rendements décroissants de la recherche et du développement et d'acquérir le know how, le savoir-faire, pour la production de nouvelles technologies. Comme l'hormonologie. Et pourquoi pas passer à la production des médicaments biologiques dans un proche avenir.Les sociétés pharmaceutiques vont procéder à la réorganisation de la recherche L'objectif est de passer d'une forte centralisation, qui caractérise la structure traditionnelle de la société pharmaceutique, à l'instauration d'unités indépendantes, beaucoup plus réactives.

Ce chapitre contient une représentation de l'entreprise Hupp pharma, de ses objectifs et de son service maintenance.

I.2 Représentation de l'entreprise Hupp Pharma :

Hupp Pharma, fondée en octobre 2011 par Monsieur Belhadj Mostapha Toufik, est une société pharmaceutique qui vise à répondre aux besoins du marché en matière de médicaments à usage humain et animal. Son objectif est de garantir la disponibilité et la distribution de ces médicaments à l'échelle nationale et internationale.

Le groupe Hupp Pharma comprend trois entreprises, toutes situées dans la zone industrielle Palma de Constantine. Deux des entreprises sont logées dans des bâtiments reliés par une trémie qui facilite la circulation des employés et réduit les coûts logistiques.

Le bâtiment principal de l'entreprise s'étend sur plus de 10 000 m². Il abrite 10 unités de production, dont 6 sont opérationnelles et 4 sont actuellement en cours de réalisation. Il y a également un bâtiment dédié à la direction, composé de 3 étages et d'un sous-sol servant de stock de pièces de rechange.

Le groupe Hupp Pharma est subdivisé en trois filiales :

- Hupp Pharma, qui se consacre à la production de médicaments à usage humain.
- HAPP Pharma, spécialisée dans la production de médicaments à usage animalier.
- Hupp Distribution, chargée de la distribution des produits à l'échelle nationale et internationale.

I.3 La direction du laboratoire Hupp pharma :

L'entreprise Hupp pharma est une société à responsabilité limitée (SARL) dirigé par son directeur générale **Mr Belhadj Mostapha Toufik** ainsi que ses deux filles Malek Belhadj Mostapha et Yasmine Belhadj Mostapha

Grâce à sa politique de développement et à l'expansion de son réseau de distribution national et international à court terme, HUP PHARMA s'inscrit, depuis sa création, dans une dynamique

Chapitre I représentation de l'entreprise HUPP Pharma

de croissance forte 900 employée dont 80% sont des diplômés d'étude supérieure qui partagent entre eux les valeurs de l'éthique et la déontologie.

Tableau 0: effectifs personnels de Hupp pharma (juin 2022)

poste	Gestionnaire	Cadre	Maitrise	Exécution	Totale
Effectives	15	54	376	458	903

I.4 La localisation de l'entreprise :

L'infrastructure de Hupp Pharma comprend trois bâtiments distincts, situés dans la zone industrielle Palma de Constantine. Ces bâtiments abritent six unités de production indépendantes, avec quatre autres unités en cours de réalisation. L'ensemble de ces installations couvre une superficie d'environ 10 000 m².

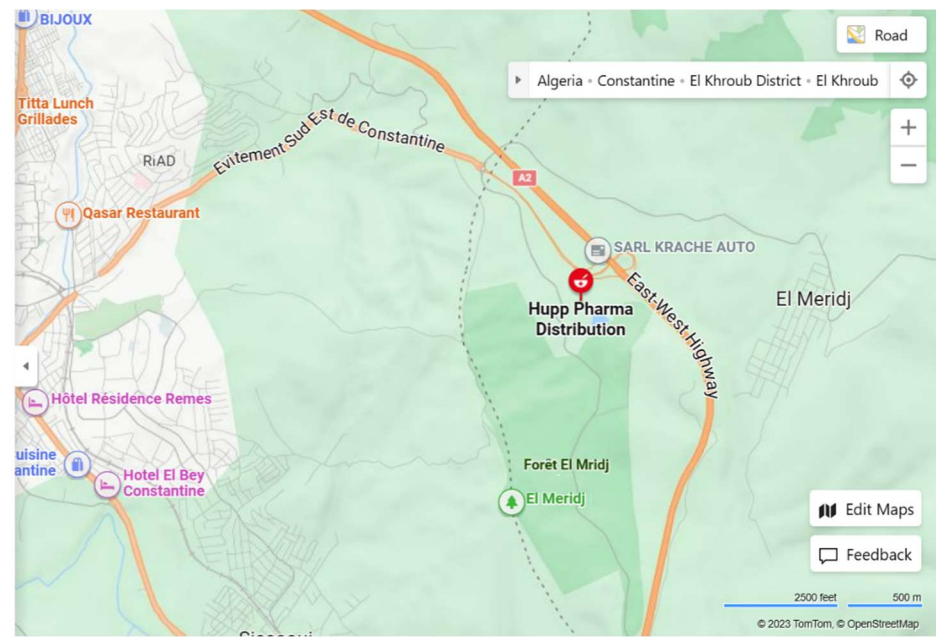


Figure I-1 la localisation de l'entreprise Hupp pharma

I.5 L'activité de laboratoire Hupp pharma :

L'entreprise Hupp pharma est spécialisé dans la production des médicaments générique Algérien et détient une gamme de plus de 60 produits qui couvrent les classes pharmaco Thérapeutiques suivantes:

- Produits pharmaceutiques pour l'urologie, la gynécologie et l'obstétrique
 - Médicaments pour gynécologie et obstétrique (autres)
 - Médicaments pour désordres du tractus urinaire (autres)
 - Médicaments pour désordres rénaux
- Préparations immunologiques
 - Médicaments antivirus
- Produits antiseptiques et antibactériens

Chapitre I représentation de l'entreprise HUPP Pharma

- Médicaments antibactériens
- Produits pharmaceutiques (autres)
 - Produits pharmaceutiques génériques



Figure 1.a-2 Hupp pharma vue de l'extérieure

I.6 Les objectifs de l'entreprise :

Apart l'attention des objectifs prédéfinie par le ministère d'atteindre une couverture médicamenteuse à 80% et aussi de rationaliser l'utilisation des différentes classes thérapeutiques, l'industrie pharmaceutique HUPPHARMA a aussi pour objectif de se développer à l'international. Pour cela, elle s'est engagée dans une mise à niveau par l'application d'un système de management de qualité (ISO9001) en cours de réalisation.

I.7 La représentation du service maintenance :

La politique adoptée par le laboratoire Hupp Pharma accorde une grande importance à la maintenance. Au fil du temps, le service de maintenance s'est développé pour répondre aux besoins de l'entreprise. Son objectif ne se limite plus à la simple réparation des équipements, mais il vise également à prévoir et prévenir les dysfonctionnements des installations de l'entreprise afin d'éviter les interruptions de production et les retards dans les commandes des clients.

Au cours de ces changements, les activités du personnel de maintenance ont également évolué pour combiner des compétences techniques, organisationnelles et relationnelles. Notre stage s'est déroulé dans ce service, plus précisément au bureau des méthodes, où les responsables veillent au bon fonctionnement de l'entreprise.

La division de la maintenance de Hupp Pharma est structurée selon l'organigramme suivant :

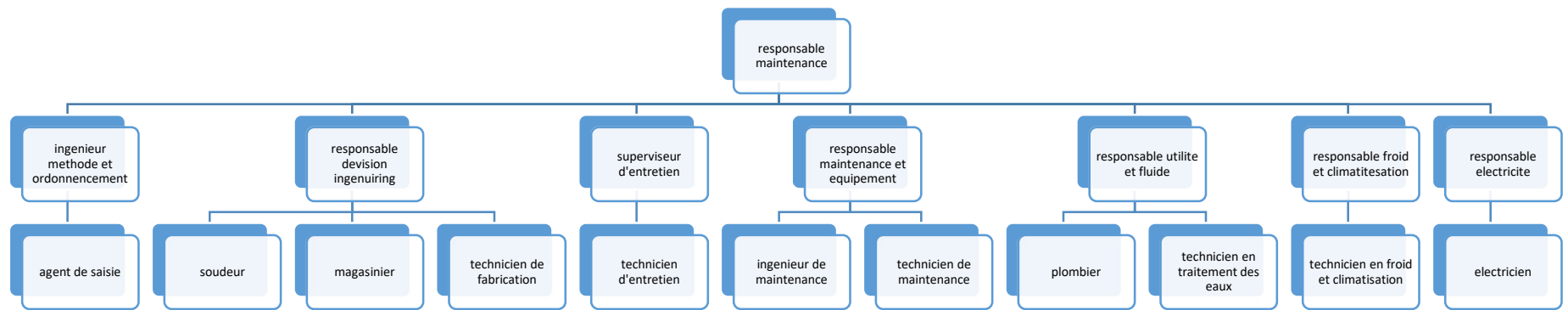


Figure 0 : organigramme de service maintenance

I.8 Conclusion

Durant notre stage de fin d'étude pour la préparation de mon projet fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur en maintenance et fiabilités des systèmes au sein de l'entreprise Hupp Pharma, et pendant les 6 semaines que j'ai effectuées, j'ai pu mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation universitaire, de plus je me suis confronté aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipes.

Après mon intégration dans l'équipe de travail de service maintenance industrielle, j'ai eu l'occasion de voir l'installation de l'unité 1 de plus près et d'assister à plusieurs tâches de maintenance préventive qui ont constitué une mission globale de ce stage, cette expérience m'a permis de choisir un système délicat correspond à mon sujet de fin d'étude. Ce qui me facilite l'insertion dans le monde professionnelle, car elle fut pour nous une expérience enrichissante et complète qui conforte notre désir d'exercer notre futur métier dans le domaine de la maintenance des installations industrielles.

chapitre II : Généralité sur la maintenance et la fiabilité

Chapitre II généralité sur la maintenance préventive

II.1 Introduction :

Au fil du développement industrielle et avec l'accroissement de la concurrence et la course à la compétitivité qui pousse l'industrie à la recherche de la qualité totale et surtout de réduire les dépenses et avec la complexification et l'automatisation des processus de production, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gré de l'introduction de nouvelles méthodes de gestion, du développement technologique des outils de production, en particulier dans les domaines de la mesure et du contrôle de fonctionnement, de la systématisation progressive, de l'usage des normes et des procédures... tous ces facteurs modifient non seulement les modes d'organisation de la fonction maintenance mais aussi les activités des techniciens et ouvriers qui opèrent dans ce champ

Le coût de maintenance industrielle qui est toujours considéré comme une perte d'argent pour les dirigeants est très important, les statistiques faites en France au cours de l'année 1988 évoquent que le montant des dépenses de la maintenance industrielle s'élevait à 140 milliards, ont progressé jusqu'en 1995 et atteint 167 milliards, puis ils ont aperçu une régression pour retomber à moins de 153 milliards de francs en 2000 grâce au nouveau type de maintenance qui a apparue connue sous le nom de la maintenance préventive qui consiste sur un ensemble de gestion ainsi que des actions administratives et techniques pour réduire les âges des composants afin améliorer la disponibilité et la fiabilité d'un système cette dernière est souvent utilisée pour évaluer la durée de vie d'un composant, d'un système simple ou complexe.

Dans cette première partie, nous présentons tout d'abord la notion de maintenance, les différentes politiques de la maintenance préventive et pour finir nous allons voir les différentes méthodes existantes dans la littérature pour mesurer ou estimer la fiabilité d'une unité de production.

II.2 Notion sur la maintenance :

II.2.1. Définition de la maintenance :

Une première définition normative de la maintenance est donnée par l'AFNOR en 1994 (norme NFX 60-010), à savoir « **l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé** ». (*NFX EN 1994*)

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (NF EN 13306 X 60-319) : « **Ensemble de toutes les actions techniques, administrative et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.** » (*NF EN 2001*)[1]

II.2.2. Le rôle de la maintenance :

La place de la maintenance est de plus en plus importante dans l'activité et la productivité des entreprises. Aujourd'hui, les activités de maintenance ne visent plus seulement à réparer des équipements (maintenance corrective) mais aussi à anticiper les pannes et les dysfonctionnements (maintenance préventive). Grâce aux nouvelles technologies, notamment aux capteurs électroniques et aux nouvelles solutions de GMAO, il est même possible de prévoir les pannes et de réaliser des interventions avant qu'elles ne surviennent (maintenance prévisionnelle ou prédictive). En bref, le rôle de la maintenance est de mettre en œuvre le fameux proverbe « mieux vaut prévenir que guérir ».

L'objectif de la maintenance est ainsi de maintenir les outils de production en état de fonctionner en toute sécurité tout en réduisant les coûts de production. Pour répondre aux enjeux économiques croissants, elle est une source d'optimisation voire de profits.

Le rôle d'un service maintenance est donc aujourd'hui plus vaste qu'avant, et les responsables et techniciens sont impliqués dans des projets structurels qui doivent intégrer de nombreux paramètres comme le coût et les délais, la qualité, la sécurité ou l'environnement.[2]

II.2.3. Les types de maintenance :

En effet, la productivité des entreprises industrielles dépend en partie de la qualité des programmes de maintenance mis en place pour assurer l'efficacité des équipements. La maintenance a été subdivisée en quatre types principaux :

1.a Maintenance préventive :

Définition :

La mnt préventive est un ensemble de tâche prédéfinie par des spécialiste et établie selon un calendrier fixé préalablement.

Elle contient généralement des tachesd'inspection, de nettoyage, de remplacement et de vérification. Elle prend lieu généralement pendant les temps morts entre les équipes ou les week-ends pour ne pas affecter les objectifs de la production [3].

Les objectifs :

- Identifier les problèmes existants afin de les corriger
- Empêcher les problèmes éventuels d'apparaître
- Réduire les arrêts et le temps d'arrêts des machines
- Limiter les sources des accidents graves
- Mieux gérer le stock des pièces de rechanges

Les types :

- La maintenance systématique
- La maintenance conditionnelle
- La maintenance prévisionnelle

1.b La maintenance corrective :

Définition :

La maintenance corrective est un type de maintenance effectuée pour corriger un dysfonctionnement ou une anomalie qui apparue dans les équipements et les machines. Elle a pour but de rétablir le bon état de fonctionnement et le niveau de performance

spécifié par les dirigeants de l'entreprise. La maintenance corrective est parfois appelée maintenance réactive car elle est considérée comme une réaction faite lors d'une défaillance.[3]

La maintenance corrective de point de vue cout :

Pour demeurer compétitive, une entreprise doit proposer un produit ou un service toujours meilleur et au coût le plus bas, la chasse aux coûts est plus que nécessaire afin de rester concurrentiel sur un marché en constante évolution.

L'intérêt premier de la maîtrise de ses coûts de maintenance est de pouvoir élaborer son budget. Il y'a bien sûr une méthodologie à suivre, mais il y a autant de procédures qu'il y a d'entreprises.

1.c La maintenance prédictive :

La maintenance prédictive se focalise sur les méthodes employées pour déterminer le calendrier optimal des interventions de maintenance planifiée et corrective. Son objectif principal est d'anticiper, grâce à diverses techniques de test, le moment où une machine connaîtra une usure significative, afin de pouvoir programmer une maintenance corrective sans compromettre les objectifs de productivité et avant que la machine ne tombe en panne [3].

1.d La maintenance proactive :

Le concept de la maintenance proactive est au sens de rechercher et de supprimer les causes de panne. C'est une forme avancée de maintenance prévisionnelle consistant à déterminer les causes initiales de défaillances à partir de l'état de défaillance potentielle.[3]

II.2.4. La gestion de la maintenance assistée par ordinateur :

4.a Définition de la GMAO :

Le logiciel de gestion de maintenance assisté par ordinateur est un outil informatique qui a pour but de gérer la maintenance, suivre, organiser et programmer sous les aspects techniques et organisationnel les tâches de la maintenance ainsi que le stock des pièces de rechanges et l'activité de personnel.

4.b Les objectifs :

La GMAO un outil d'aide à la décision permettant de :

- Diminuer et maîtriser les coûts de la maintenance
- Assurer la pérennité du patrimoine
- Optimiser les moyens techniques et humains de maintenance
- Mieux gérer la préparation des interventions et leur planification
- Optimiser la gestion du stock de pièces de rechange afin de diminuer la valeur de ce stock tout en maintenant une disponibilité satisfaisante des installations (tps)
- Inventorier les installations techniques et les documenter
- Fiabiliser les installations par l'analyse des indicateurs de performance (retour d'expérience) et aide à la prise de décision et l'argumentation de plans d'actions

4.c La mise en place d'une GMAO :

Le besoin fonctionnel :

Il s'agit des fonctionnalités du système. Ce sont les besoins spécifiant un comportement d'entrée / sortie du Système.

II.2.5. La gestion des utilisateurs :

Il permet de faire les opérations de gestion d'accès des personnes au logiciel telle que l'ajout la suppression et les informations personnelles de chaque utilisateur.

- Operateur (lancement de demande d'intervention)
- Mainteneur (rechercher l'existence de pdr+ remplir les fiches d'intervention)
- Magasinier (entrer et sortie de pdr ; ordre d'achat)
- Responsable maintenance (accès à tous pdr tableau d'intervention KPI mnt préventive...)
- Responsable achat (commande pdr)

- Directeur générale (accès à tous)

La gestion de stock de PDR :

- Informatiser le stock
- Faciliter la recherche des pièces
- Envoyer un message d'alerte pour avertir le responsable magasin et éviter la rupture de stock
- La gestion des bons d'entrées
- La gestion des bons de sorties

Le suivi des équipements

- La codification et le listing des équipements
- Avoir l'historique de chaque machine
- Suivre l'avancement des interventions critiques
- La localisation exacte de l'équipement
- La disponibilité de la machine

La maintenance corrective :

- Numériser les fiches d'intervention
- Aider à suivre l'avancement des interventions critiques
- Facilite la diffusion de l'information

La maintenance préventive :

- Prévenir les mainteniciens de l'approche de la date des préventives
- Aides à planifier la maintenance préventive et informer les parties concernées

Achat :

- Facilite le suivi des achats.
- Avoir une traçabilité des demandes d'achat.
- La gestion des bons de réception.

Export KPI :

- Facilite le calcul et l'interprétation des indicateurs de performance.
- Facilite la rédaction des rapports.

Le besoin non fonctionnel :

- L'extensibilité : C'est-à-dire que le logiciel peut être modifié (ajouter des nouvelles fonctionnalités)
- La sécurité : Le logiciel devra être hautement sécurisé, les informations ne devront pas être accessibles à tout le monde, c'est-à-dire que le logiciel est accessible par un identifiant et un mot de passe attribué à une personne physique.
- La performance : Le logiciel doit réagir dans un délai précis quel que soit l'action de l'utilisateur
- La convivialité : L'application doit être simple et facile à utiliser même par ses experts

II.2.6. Les politiques de maintenance :**6.d Définition :**

La politique de maintenance au sein d'une entreprise consiste à définir les objectifs technico-économiques liés à la gestion des équipements par le service de maintenance. C'est dans le cadre de cette politique que le responsable du service de maintenance, en collaboration avec le responsable du projet, met en place les moyens nécessaires pour atteindre les objectifs fixés. On parle alors de stratégie à moyen terme et de tactique à court terme. La stratégie vise à déterminer les orientations générales et les plans d'action sur une période prolongée, tandis que la tactique se concentre sur les mesures concrètes et les actions immédiates à prendre.[4]

6.e Les types des politiques :***Politique de maintenance périodique imparfaite avec réparation minimale :***

Une nouvelle unité commence à fonctionner au temps $t = 0$, et lorsqu'elle échoue, seulement une réparation minimale est effectuée. De plus, une unité est remplacée à des instants périodiques kT ($k = 1, 2, \dots$) indépendamment de son âge, et toute unité devient comme neuve après le remplacement. On suppose que les délais de réparation et de remplacement soient négligeables. Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_c \cdot H(T) (1 + e^\alpha + \dots + e^{\alpha(K-1)}) + (K-1)C_p + C_{ov}}{KT} \quad \text{II. 1}$$

C_c : Coût de la réparation minimale.

C_p : Coût de maintenance préventive imparfaite (révision partielle).

C_{ov} : Coût de la révision générale.

K : Nombre de révisions partielles avant la révision générale.

e^a : Facteur de dégradation.

Politique de maintenance préventive périodique :

Dans cette politique, appelé aussi **politique de remplacement par bloc** une unité (composant élémentaire) est préventivement maintenue à des intervalles de temps fixes KT ($K=1, 2, 3, \dots$) indépendants de l'historique des pannes, et réparé à l'échec intermédiaires où T est une constante. Son nom est tiré de la politique courante consistant à remplacer un bloc ou un groupe d'unités dans un système à l'instant prescrits. Elle est souvent utilisée dans les systèmes (multi-composants).

Les défaillances surviennent suivant un processus de Poisson non homogène, le nombre moyen de défaillances dans un intervalle $[0 ; T]$ est donné par :

$$H(T) = \int_0^T \lambda(t) dt \quad \text{II. 2}$$

Où $\lambda(t)$ représente le taux d'occurrence de défaillances (ROOCOF pour Rate Of Occurrence Of Failure), pour un composant non réparable il représente le taux de défaillance, l'expression devient alors :

$$C(T) = \frac{C_c \cdot H(T) + C_p}{T} = \frac{C_c \cdot \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T} \quad \text{II. 3}$$

Politique de maintenance préventive basé sur le concept de réduction d'âge :

Un modèle de politique de maintenance périodique basée sur le concept de réduction de l'âge pour les systèmes multi-composants. Selon cette politique, les éléments ne sont pas remplacés directement de manière périodique, mais ils subissent des actions de maintenance préventive.

Une approche de maintenance préventive périodique pour un système comportant des composants dégradés été proposée, dans cette approche, deux types d'activités de maintenance sont considérés simultanément : la maintenance préventive simple (P1) et le remplacement préventif (P2).

La maintenance préventive simple (P1) vise à maintenir le système au-dessus d'un seuil de fiabilité critique, afin d'éviter les pertes importantes causées par les défaillances imprévues. Elle permet de rétablir la fiabilité du système pour une période récente donnée. En revanche, la maintenance préventive P2 est conçue pour restaurer l'état initial de fiabilité du système.

En revanche, le remplacement du composant permet de ramener le taux de défaillance du composant à son taux initial (neuf). Dans ce contexte, il est nécessaire de mesurer l'effet de chaque opération de maintenance sur le système. La fiabilité du système, après chaque opération de maintenance, sera exprimée en fonction de l'effet de la maintenance préventive et de la fiabilité précédente .[4]

➤ La maintenance préventive simple (MP1) :

La maintenance préventive simple (MP1) permet de rétablir la fiabilité d'un composant pour une période récente et à maintenir la fiabilité du composant en réduisant les effets de la dégradation et en prévenant les défaillances imprévues.

En utilisant un facteur d'amélioration $m1$. Ainsi, chaque action de MP1 réduit l'âge effectif du composant en appliquant ce facteur d'amélioration $m1$, qui varie entre 0 et 1. Par exemple, lorsque la fiabilité du composant atteint un seuil critique R_{min} pour la première fois à l'instant $t1$, l'âge effectif du composant est réduit à $(1-m1)t1$ si une action de MP1 est effectuée, conformément au concept de réduction de l'âge.

Le deuxième intervalle de maintenance intervient lorsque la fiabilité du composant atteint à nouveau R_{min} à l'instant $t2$. Pendant ce deuxième intervalle, l'âge effectif consommé est $(1-m1)(t2-t1)$.

Afin de quantifier l'impact de la MP1 sur la fiabilité, il est nécessaire d'évaluer le facteur d'amélioration. Généralement, ce facteur d'amélioration de la MP1 peut être déterminé en analysant les caractéristiques intrinsèques du composant ainsi que les activités extrinsèques qui lui sont appliquées. L'expérience montre que les problèmes de dégradation du composant résultent souvent de dommages cumulatifs tels que la fatigue, l'usure, la corrosion et le vieillissement. L'application de la MP1 permet de réduire l'impact de ces causes [5].

Les activités de la MP1 peuvent être classées en cinq catégories :

- Lubrification/vidange.
- Nettoyage.
- Contrôle de sécurité.
- Changement des composants
- Vérification

La relation entre les facteurs d'amélioration et les activités de MP₁ est montré par le tableau suivant :

Compo sant	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Facteur d'amélioration (m)
C ₁	p ₁₁ d ₁₁	p ₁₂ d ₁₂	p ₁₃ d ₁₃	p ₁₄ d ₁₄	p ₁₅ d ₁₅	m ₁₁
C ₂	p ₂₁ d ₂₁	p ₂₂ d ₂₂	p ₂₃ d ₂₃	p ₂₄ d ₂₄	p ₂₅ d ₂₅	m ₁₂
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
C _n	p _{n1} d _{n1}	p _{n2} d _{n2}	p _{n3} d _{n3}	p _{n4} d _{n4}	p _{n5} d _{n5}	m _{1n}

Figure II.1: Relation entre les facteurs d'amélioration des composants et les 1P-activités

Sachant que :

X1 : la vérification des composants de chaque équipement

X2 : la lubrification

X3 : Nettoyage des machines de l'intérieur

X4 : Contrôle des paramètres de fonctionnement

X5 : Le remplacement des composants défectueux

Chacune des Cinq activités de MP1 a une probabilité d'application p_{ij} et un niveau d'amélioration ou de récupération d_{ij} associé à chaque composant. Ces valeurs varient entre 0 et 1 en fonction de la possibilité d'effectuer l'activité et du niveau de récupération qu'elle apporte au composant.

$$m_{1i} = \frac{1}{p_{s_i}} \sum_{j=1}^6 p_{ij} d_{ij} \quad \text{II. 4}$$

Où :

$$p_{s_i} = \sum_{j=1}^6 p_{ij} \quad \text{II. 5}$$

➤ Révision préventive simple (MP2) :

La maintenance préventive plus approfondie (MP2) permet de ramener le système à un état « aussi bon que neuf », en utilisant un autre facteur d'amélioration m_2 , qui varie également entre 0 et 1. Chaque action de MP2 réduit l'âge du système selon ce facteur d'amélioration m_2 .

Après une maintenance parfaite, le système présente un taux de défaillance presque identique à celui d'un système neuf. Par exemple, une révision complète d'un moteur peut entraîner cet effet[5].

Le facteur d'amélioration de la MP2 peut être déterminé en fonction de l'efficacité de la maintenance, généralement représentée par le paramètre α . Ce paramètre est souvent fixé à 0,8 et est calculé en tenant compte des moyens et des technologies utilisés pour la maintenance. Cependant, ce facteur est réduit progressivement en fonction du nombre d'applications de révisions préventives. Le facteur d'amélioration pour la MP2 est défini de la manière suivante :

$$m_{2i} = e^{(k-1)(\alpha-1)^3}$$

Où :

k : Nombre des révisions préventives avant le remplacement

α : L'efficacité de la maintenance

➤ Remplacement préventif (MP3) :

Le remplacement du composant intervient après un certain nombre d'actions préventives MP1 et MP2. Il permet de restaurer l'état du composant à son niveau initial de fiabilité en utilisant un facteur d'amélioration m_3 égal à 1. Cette action permet également de réinitialiser l'âge du composant à $t=0$. [5]

La figure suivante illustre l'impact de trois actions sur la fiabilité d'un composant :

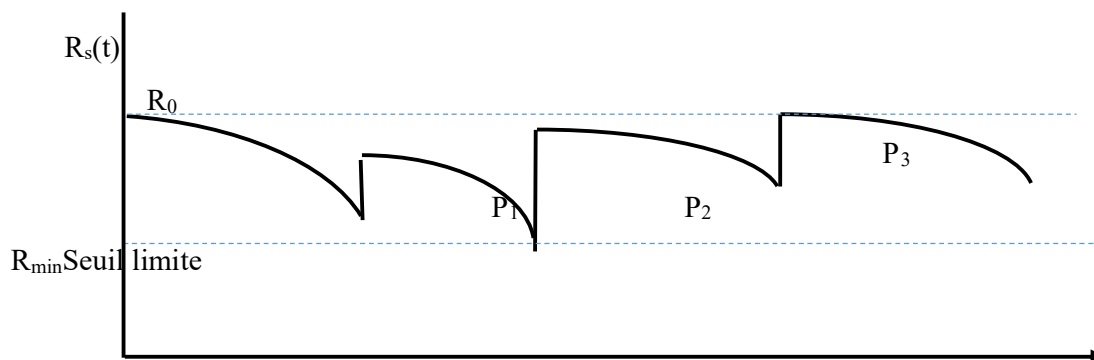


Figure II.2: Impact des différentes actions du modèle sur la fiabilité

II.2.7. Politique de réduction d'âge du cas étudié :

Lors de la planification de la politique de maintenance préventive, nous sommes souvent confrontés à la problématique de déterminer les activités appropriées (MP1, MP2 ou MP3) pour les composants concernés par la maintenance préventive. Pour résoudre ce problème, la durée de vie en unité de coût du système est utilisée comme un indicateur de décision pour déterminer les activités optimales pour chaque étape de la maintenance préventive.

L'évaluation de la durée de vie en unité de coût du système nécessite l'étude à la fois du coût de la maintenance et de la durée de vie prolongée du système. En prenant en compte le coût de la

maintenance à chaque étape de la maintenance préventive, la durée de vie en unité de coût B_{mj} est définie par :

$$B_{m,n} = \frac{t_p + T_{n+1}}{C_s + C_n^s + C_{r,q}} \quad \text{II. 6}$$

C_s : Coût d'acquisition du système.

T_{n+1} : La durée de vie prolongée s'exprime par :

$$T_{n+1} = \int_{t_j}^{+\infty} R_{s,n+1}(t) dt \quad \text{II. 7}$$

$C_{r,q}$: Coût de MC survenu entre t_j et T_{n+1}

C_n^s : Le coût moyen de maintenance est donné par :

$$C_n^s = Cc_n H(T) + Cp_n \quad \text{II. 8}$$

$H(T)$ représente le nombre moyen de défaillances de 0 à T

Le nombre moyen de défaillances dans un intervalle $[0 ; T]$ est donné par :

$$H_n^s(T) = \sum_{i=1}^k \int_{t_{n-1}}^{t_n} h_i(t) dt + \int_{t_{n-1}}^{t_n} \lambda(t) dt \quad \text{II. 9}$$

Où

$h(t)$: Hazard rate

$\lambda(t)$: Failure rate

L'expression (VI. 14) devient alors :

$$C_n^s = Cc_n \left(\sum_{i=1}^k \int_{t_{n-1}}^{t_n} h_i(t) dt + \int_{t_{n-1}}^{t_n} \lambda(t) dt \right) + Cp_n \quad \text{II. 10}$$

Cp Coût de la maintenance préventive en nième étape.

Cc_n Coût entraîné par la défaillance en nième étape.

Le coût de la maintenance préventive Cp_a associé tous les coûts de trois types de la maintenance préventive.[5]

$$Cp_n = \sum_{i=1}^k Cp_{i,p} \quad \text{II. 11}$$

Où

P : indique le type de MP qui a été pris pour le composant :

$P = 1 \Rightarrow$ action de MP_1

$P = 2 \Rightarrow$ action de MP_2

$P = 3 \Rightarrow$ action de MP_3

Le résultat montre que le temps le plus long de fonctionnement du système se produit dans la première (MP) étape si la fiabilité minimum à chaque étape est réglée à la même

D'après les résultats obtenus, le système fonctionne le plus longtemps lors de la première étape de maintenance préventive (MP) lorsque la fiabilité minimale est fixée de manière équivalente à chaque étape. Le temps de fonctionnement maximal par unité de coût à la première étape est défini comme la durée de vie au rebut, qui sert de référence pour la planification de la MP. La durée de vie au rebut est calculée selon la formule suivante :

$$B_d = \frac{T_1}{C_s + Cc_n \left(\sum_{i=1}^k \int_0^{T_1} h_i(t) dt + \int_0^{T_1} \lambda(t) dt \right)} \quad \text{II. 12}$$

La durée de vie en unités de coût (B_{mj}) à chaque étape de la maintenance préventive diminue progressivement. Lorsque la valeur de B_{mj} à une étape de la MP passe en dessous de la valeur seuil B_d , il devient peu rentable de maintenir le système, et il serait plus avantageux d'effectuer un changement complet du système.

La détermination des activités de la MP pour chaque étape est réalisée en utilisant la programmation numérique dans MATLAB. L'objectif est de choisir l'ensemble d'activités de MP qui maximise la durée de vie en unités de coût du système pour cette étape spécifique. Cependant, il est important de s'assurer que la durée de vie en unités de coût du système reste supérieure à sa durée de vie au rebut. Si cette condition n'est pas satisfaite, le programme s'arrête à cette étape.

II.3 La sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement est un ensemble varié de méthodes et de concepts utilisés pour maîtriser les risques. Connue également sous le nom de "science des défaillances", cette discipline a connu une évolution majeure au cours du XXe siècle. Son objectif principal est d'assurer le bon fonctionnement et la fiabilité des systèmes, qu'ils soient mécaniques, électroniques, logiciels, ou une

combinaison de ces différents types de systèmes. La sûreté de fonctionnement se concentre sur la prévention, la détection et la correction des défaillances potentielles afin de garantir :

II.3.1. La maintenabilité :

Pour une entité donnée, utilisée dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné, lorsque la maintenance est assurée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et de moyens prescrits. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais dûs au :

- Temps pour l'attente de pièce de remplacement ;
- Temps pour compléter les documents ;
- Temps de préparation de l'action.

Son indice est le MTTR et se calcule de manière suivante :

$MTTR = \text{Temps total d'arrêts} / \text{Nombre d'arrêts}$

$$MTTR = \frac{\text{temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}} \quad \text{II. 13}$$

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

II.3.2. La disponibilité :

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance[7].

La disponibilité (D) sur un intervalle de temps donné put être évaluée par le rapport :

$$D = \frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{Temps d'indisponibilité}} \quad \text{II. 14}$$

$$D = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \text{II. 15}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{II. 16}$$

D'où : MUT : Mean Up Time (Temps Moyen de Disponibilité)

MDT: Mean Down Time (Temps Moyen d'indisponibilité)

II.3.3. La fiabilité :

3.a Définition :

La norme AFNOR X606500 définit la fiabilité comme « **l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné** »

Elle est définie par : $R(t) = P(E \text{ non défaillante pendant la durée } [0, t] \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0)[1]$.

3.b Les objectifs :

L'analyse de la fiabilité est une étape essentielle dans toute étude de sécurité fonctionnelle. À l'origine, la fiabilité était principalement associée aux systèmes de haute technologie tels que les centrales nucléaires et l'aérospatial. Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et un outil d'aide à la prise de décision.

Dans le domaine de la mécanique, l'analyse de la fiabilité joue un rôle crucial en permettant de caractériser le comportement d'un produit tout au long de ses différentes phases de vie. Elle permet de mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, de qualifier un nouveau produit et d'améliorer ses performances tout au long de sa durée de vie. C'est un outil essentiel pour assurer la fiabilité et la performance des produits mécaniques.[8]

3.c Les types :

Fiabilité opérationnelle :

C'est la fiabilité observée sur des produits en exploitation normale. Elle résulte de l'observation et de l'analyse du comportement d'un certain nombre de dispositifs identiques, en conditions de fonctionnement réelles et de l'ambiance entourant les produits, de l'influence du personnel de maintenance et d'exploitation. En d'autres termes, il s'agit d'un traitement statistique

d'un retour d'expérience. La probabilité moyenne issue de ce retour d'expérience n'a de sens qu'en considérant un nombre important de dispositifs

Fiabilité prévisionnelle :

Elle estime la fiabilité future d'un système à partir de considérations sur la conception du système et la fiabilité opérationnelle (supposée connue) de ses composants. Cette estimation repose très souvent sur l'évaluation du "taux de défaillance" probable et du "temps moyen de non défaillance". Nous pouvons considérer deux étapes : l'étude du système et de son environnement et l'analyse prévisionnelle des défaillances.[8]

- Étude du système et de son environnement ;

Si la phase initiale de la fiabilité prévisionnelle a bien pour but l'estimation à priori des limites et des points faibles de l'équipement, et l'orientation de choix techniques et technologiques, il est quand même indispensable de procéder au préalable à l'étude fonctionnelle et structurelle du système.[8]

- L'analyse prévisionnelle des défaillances :

Elle a pour but, par démarches essentiellement logiques :

- D'identifier les principaux événements (avec une optique de défaillance) pouvant survenir sur l'équipement en fonctionnement ou non.
- D'étudier les effets et les causes.
- De les hiérarchiser afin de ne développer que les seuls dignes d'intérêt (souci d'optimisation).

Une telle analyse ne peut être que le résultat d'un travail d'équipe constituée de techniciens d'étude, de maintenance, de techniciens de sécurité et de fiabilité.

Fiabilité intrinsèque :

Elle est fonction de la fiabilité des éléments, du projet ou de la conception, et enfin de la réalisation technique du système.[8]

Fiabilité extrinsèque :

Elle résulte des conditions d'exploitation (profil de mission), de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événements relatifs à l'intervention humaine.[8].

Fiabilité dynamique

La fiabilité dynamique recouvre l'évaluation de systèmes dont le modèle de fiabilité évolue dans le temps en réponse à des événements aléatoires

Le comportement de dégradation des composants maintenus est modélisé par une équation qui s'exprime en fonction de taux de défaillance.[9]

Le taux de défaillance du système mécanique est donné par :

$$h(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{II. 17}$$

La fonction de fiabilité $R(t)$ et la fonction de taux de défaillance $h(t)$ sont déterminées en prenant en compte à la fois les caractéristiques intrinsèques du composant et les conditions extrinsèques d'utilisation. Pour les systèmes mécaniques, qui sont sujets à des défaillances, la plupart des phénomènes de dégradation sont liés à des dommages cumulatifs. Selon des études citées dans des modèles de taux de défaillance ont été développés pour décrire ces problèmes de défaillance cumulatifs.[9]

Ces études ont démontré que le taux de défaillance pour les systèmes mécaniques peut être exprimé par :

$$h(t) = A_0 + A_1(R_0 - R(t)) \quad \text{II. 18}$$

Où :

R_0 : Fiabilité initiale

A_1 : Facteur de dégradation

A_0 : Taux de défaillance initial

Une équation de fiabilité dynamique décrivant le comportement de dégradation du composant est obtenue par la combinaison des équations (II. 17) et (II. 18), on obtient :

$$R(t) = \frac{R_0(A_0 + R_0 A_1)}{R_0 A_1 + A_0 e^{(A_0 + R_0 A_1)t}} \quad \text{II. 19}$$

Les facteurs A_0 et A_1 peuvent être déterminés par des résultats de simulation ou des données expérimentales de l'équation.

II.3.4. Les fonctions de la fiabilité :

4.a Fonction de répartition :

La fonction de répartition de la variable aléatoire T , La fiabilité $R(t)$, représente la probabilité qu'une entité E subisse une défaillance avant ou à l'instant t . Elle est définie mathématiquement comme suit

$$R(t) = P(T > t) \quad \text{II. 20}$$

Où T est une variable aléatoire continue représentant la durée de vie du système. Rappelons que la durée de vie d'un système est une mesure de la quantité de service rendu par exemple : temps, kilomètres, ...

La fonction de fiabilité $R(t)$ peut être représentée graphiquement par une courbe (la figure II-2) de survie qui indique la probabilité de survie du système en fonction du temps.

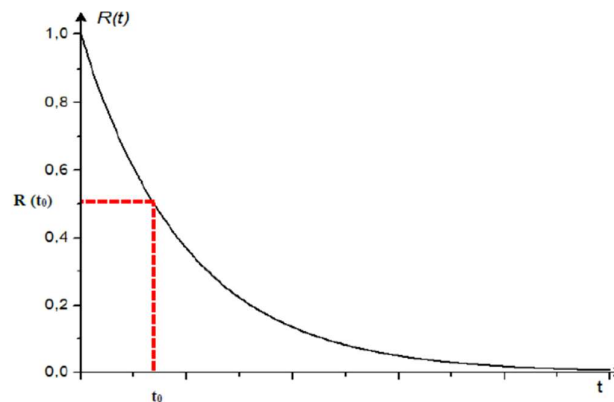


Figure II.3 L'Allure de la fonction de fiabilité

La probabilité complémentaire à 1 de cette fonction aboutit à l'expression de la fonction de répartition de la défaillance $F(t)$.

4.b Fonction de la défaillance $F(t)$:

Une défaillance peut être définie comme la « cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, un état du système où la fonction de sécurité n'est pas réalisée, un ou plusieurs composants étant défaillant ». La défaillance se produit lorsque le système ne répond plus à une demande d'activation de la fonction de sécurité, ce qui peut entraîner un risque d'accident. La

défaillance peut être **complète** (l'entité ne répond plus à sa fonction) ou **partielle** (la fonction est assurée dans certaines limites, on parle de mode dégradé),

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - R(t) \text{ II. 21}$$

La dérivée de la fonction de répartition de la défaillance par rapport au temps représente la densité de probabilité de défaillance qui reflète la vitesse de mortalité de l'entité. Cette fonction de densité de probabilité de défaillance notée et peut s'écrire comme suit :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \text{ II. 22}$$

La densité de probabilité de défaillance permet aussi d'exprimer la moyenne de temps de bon fonctionnement (MTBF) par la formule suivante :

$$MTBF = E(T) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt \text{ II. 23}$$

4.c Taux de défaillance instantané :

Le taux de défaillance instantané, noté $\lambda(t)$, représente la probabilité qu'un dispositif en état de marche à l'instant t tombe en panne entre l'instant t et $t + \Delta t$, avec Δt étant une petite variation de temps. Il s'agit donc d'une mesure de la probabilité de défaillance instantanée d'un système à un moment donné.

Mathématiquement, le taux de défaillance instantané est défini comme suit :

$$\lambda(t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T > t)} = \frac{(F(t + \Delta t) - F(t))}{R(t)} = \frac{(R(t) - R(t + \Delta t))}{R(t)} \text{ II. 24}$$

On divise par Δt

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \Delta t} \text{ II. 25}$$

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \text{ II. 26}$$

$$\lambda(t) = -\frac{f(t)}{R(t)} \text{ II. 27}$$

Où T est la variable aléatoire représentant le temps de défaillance et $P(T \leq t + \Delta t \mid T > t)$ est la probabilité que l'entité subisse une défaillance entre les instants t et $t + \Delta t$ sachant qu'elle n'a pas subi de défaillance jusqu'à l'instant t .

De cette expression, on déduit l'expression générale de la loi de fiabilité en fonction du taux de défaillance :

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(u) du \right] \quad \text{II. 27}$$

- Si le taux de défaillance est constant $\lambda(t) = \lambda$
la loi de fiabilités est la loi exponentielle:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{II. 28}$$

II.3.5. Les lois de probabilité usuelles en fiabilité :

5.a La loi exponentielle :

Une variable aléatoire X est de loi exponentielle de paramètre $\lambda > 0$, notée $\exp(\lambda)$, si et seulement si sa fonction de répartition est :

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x) \quad \text{II. 20}$$

- La fiabilité est $R(x) = 1 - F(x)$ d'où : $R(x) = \exp(-\lambda x)$
- La densité est $f(x) = F'(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$.
- La durée de vie moyenne est : $MTTF = 1/\lambda$
- La variance de X est $\text{Var}[X] = 1/\lambda^2$.
- Le taux de défaillance est :

$$h(x) = \frac{f(x)}{R(x)} = \frac{\lambda \exp(-\lambda x)}{\exp(-\lambda x)} = \lambda \quad \text{II. 21}$$

Le taux de défaillance est donc constant, ce qui signifie que la loi exponentielle modélise les durées de vie de systèmes étudié[10].

5.b La loi de WEIBULL :

La loi de Weibull est modèle mathématique qui couvre bien un assez grand nombre de distributions de durées de vie et permet une grande variabilité de forme.

Grâce à sa grande flexibilité, la loi de Weibull permet de modéliser le comportement de nombreux types de défaillances telles que :

- La résistance à la rupture des composants ou l'effort requis pour fatiguer des métaux
- Le temps de défaillance d'un composant électronique
- Le temps de défaillance pour des articles utilisés en extérieur tels que les pneumatiques automobiles
- Les systèmes qui faillissent lorsque le composant le plus faible dans le système a une défaillance

La loi de Weibull permet également de modéliser le comportement de différentes situations de vie d'un même composant [11].

La fonction de la loi de Weibull est la suivante :

$$\left. \begin{array}{l} F(t) = 1 - e^{-(t-\gamma/\eta)^\beta} \\ F(t) = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{si } t > \gamma \\ \text{si } t \leq \gamma \end{array} \quad \text{avec : } \beta, \eta > 0 ; \gamma \geq 0 \quad \text{II. 22}$$

Les paramètres s'appellent :

γ : paramètre de position (location paramètre)

Le paramètre δ permet de positionner la loi de distribution d'un paramètre

β : Paramètre de forme (Shape paramètre)

Il permet d'adapter la forme de la loi pour être le plus proche du taux de défaillance constaté

η : Paramètre d'échelle (scale paramètre)

Le paramètre η permet d'ajuster l'échelle de la loi de distribution à l'échelle du problème constaté

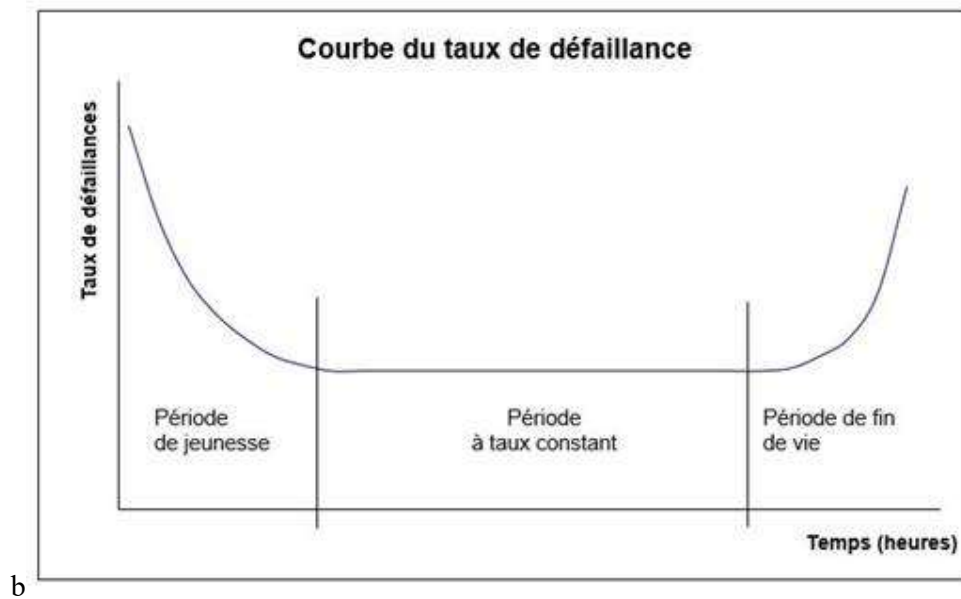


Figure 5.bI.4: Courbe théorique de distribution

Telle que :

- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
 - $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
 - $3 < \beta < 4$: usure, corrosion
- Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
- Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse

Sa **fonction de fiabilité $R(t)$** est donnée par :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{II.23}$$

Sa **fonction de densité $f(t)$** est donnée par :

$$f(t) = \begin{cases} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} & \text{pour } t > \gamma \\ f(t) = 0 & \text{pour } t \leq \gamma \end{cases} \quad \text{II.24}$$

- Si $\gamma=0$ et $\beta=1$, $f(t) = \frac{1}{\eta} e^{-t/\eta}$

C'est la distribution exponentielle, cas particulier de la distribution de Weibull.

- Si $\beta \geq 3$,

la distribution de Weibull se rapproche de la loi normale dont on ne peut plus la distinguer pratiquement à partir de $\beta=4$.

➤ **Moment** : l'espérance mathématique de cette distribution est donnée par :

$$E(t) = \int_0^{+\infty} t f'(t) dt = \gamma + \frac{\eta}{\beta} \Gamma\left[\frac{1}{\beta}\right] = \gamma + \eta \Gamma\left[1 + \frac{1}{\beta}\right] \quad \text{II.25}$$

- Si $\gamma=0$, ce qui est un cas assez général :

$$E(t) = \eta \Gamma\left[1 + \frac{1}{\beta}\right] \quad \text{II.26}$$

Remarque : rest le symbole de la fonction GAMMA (une fonction eulérienne de seconde espèce).

$$\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad \text{II.26}$$

- Si $\gamma=0$ les moments bruts étaient donnés par l'expression :

$$E(t^x) = \eta^x \Gamma\left[1 + \frac{x}{\beta}\right] \quad \text{II.28}$$

On peut ainsi calculer la variance puisque :

$$V(t) = E(t^2) - E^2(t) \quad \text{II.29}$$

Et alors:

$$V(t) = \eta^2 \Gamma\left[1 + \frac{2}{\beta}\right] - \eta^2 \Gamma\left[1 + \frac{2}{\beta}\right]^2 \quad \text{II.30}$$

Taux de défaillance, le calcul donne :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad \text{II.31}$$

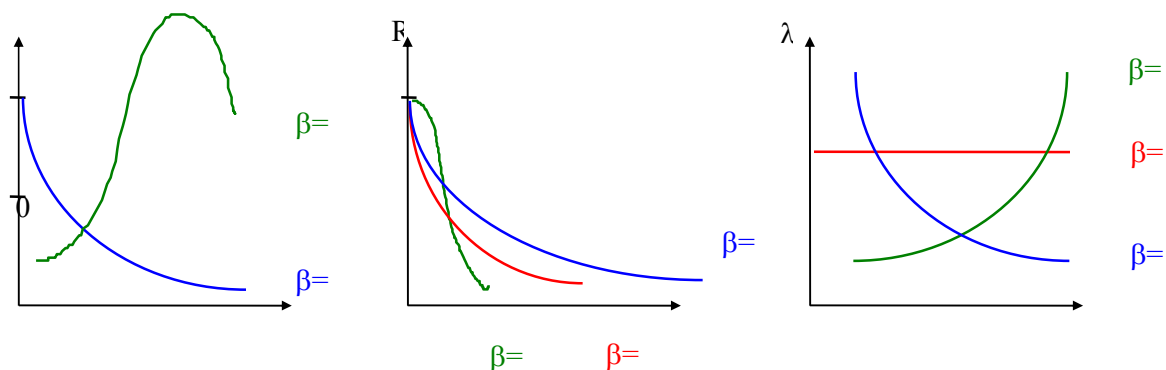


Figure II.5: variation de $f(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$ par les différentes valeurs de β

II.3.6. Les tests d'hypothèses :

Un test d'hypothèse (ou test statistique) est une démarche qui a pour but de fournir une règle de décision permettant, sur la base de résultats d'échantillon, de faire un choix entre deux hypothèses statistiques.

6.a Test d'hypothèse paramétrique :

Réaliser un test d'hypothèse paramétrique consiste à émettre une hypothèse concernant la distribution de la mesure d'un caractère sur une population et à décider d'accepter ou de refuser cette hypothèse à partir d'un ou de plusieurs échantillons. On teste systématiquement une hypothèse donnée appelée hypothèse nulle H_0 contre une hypothèse alternative. Deux choix sont possibles : prendre la décision D_0 d'accepter H_0 ou bien la décision D_1 de rejeter H_0 .

Lorsque les hypothèses portent sur la valeur d'un ou de plusieurs paramètres (moyenne, écart-type ...) d'une même population, on parle de test d'hypothèse paramétrique. Si l'hypothèse concerne une étude comparative des valeurs d'un même paramètre dans des populations statistiques distinctes, ce test paramétrique est appelé test de comparaison. Dans le cas où le test utilisé ne fait pas intervenir

la nature de la distribution dont est ou sont issus le ou les échantillons, on parle de méthodes non paramétriques (tests d'ajustement, d'indépendance...).

6.b Test d'hypothèse non-paramétrique :

Lorsqu'on fait l'hypothèse que les observations qui décrivent les individus n'impose pas de distribution sur ces variables on sera dans le cadre de la statistique non paramétrique.

Test de khi-deux :

Le test du khi carré, aussi dit du khi-deux, d'après sa désignation symbolique χ^2 , est un test statistique où la statistique de test suit une loi du χ^2 sous l'hypothèse nulle.

L'avantage du test khi-deux est sa grande diversité d'utilisation :

- Test d'**adéquation** à une loi ou une famille de lois définies à priori, par exemple : la taille d'une population suit elle une loi normale ?
- Test d'**indépendance**, exemple : la couleur des cheveux est-elle indépendante du sexe ?
- Test d'**homogénéité** : deux séries de données sont-elles identiquement distribuées ?

$$\forall x \in XP_n, X(x) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n 1_{X_k = x} \quad \text{II. 32}$$

Test de Kolmogorov-Smirnov :

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test d'hypothèse utilisé pour déterminer si un échantillon suit bien une loi donnée connue par sa fonction de répartition continue, ou bien si deux échantillons suivent la même loi. Autrement dit Le test de Kolmogorov est un test qui compare la distribution observée d'un échantillon statistique à une distribution théorique [9].

$$D_{ni} = |F(t_i) - Fe(t_i)| \quad \text{II. 33}$$

Où :

$Fe(t_i)$: la fonction de répartition théorique.

$F(t_i)$: la fonction de répartition réelle.

Avec

$$Fe(t_i) = \frac{\sum n_i - 0.3}{N + 0.4} \quad \text{si } N < 20 \quad \text{II. 34}$$

$$Fe(t_i) = \frac{\sum n_i}{N + 1} \quad \text{si } N > 20 \quad \text{II. 35}$$

$$F(t_i) = 1 - R(t_i) = 1 - e^{-(t-\gamma/\eta)} \quad \text{II. 36}$$

On va prendre la valeur maximale :

$$D_{n.max} = \max |F(t_i) - Fe(t_i)| \quad \text{II. 37}$$

Avec la valeur $D_{n\alpha}$ qui est donnée par le tableau de Kolmogorov-Smirnov, si :

$D_{n.max} > D_{n\alpha}$: Donc nous refusons l'hypothèse du modèle théorique.

$D_{n.max} < D_{n\alpha}$: Donc nous acceptons l'hypothèse du modèle théorique.

- Déroulement du test :

1. On calcule FX et FY comme ci-dessus.
2. On calcule $K = \sup |FX(x) - FY(x)|$.
3. On compare avec la valeur critique de la loi du $\Delta\Delta$ de Kolmogorov-Smirnov : si b est tel que $P(\Delta > b) = \alpha$

Et si

$$K < \sqrt{\frac{pq}{p}} * b, \text{ alors on accepte l'hypothèse,}$$

Sinon

On la rejette.

- Condition de validité : il faut que p et q soient grands, car on approxime la loi de $|FX - FY|$ par la loi limite.

II.4 Conclusion :

Ce passage présente une introduction générale à la maintenance, ainsi que les concepts de plusieurs modèles de maintenance préventive. Il aborde le modèle de maintenance préventive périodique basée sur la réduction de l'âge, le modèle de maintenance préventive imparfaite avec réparation minimale, et le modèle de remplacement en bloc. Ces politiques de maintenance ont démontré une efficacité remarquable en réduisant les taux de défaillance et, par conséquent, les coûts de maintenance. Ce dernier peut être défini à l'aide de différentes méthodes, telles que l'analyse statistique des données collectées, l'optimisation et l'exploitation des connaissances métier, pour but de maintenir un niveau de fiabilité prédéfini. Ce niveau de fiabilité est calculé à partir de la loi de Weibull, qui est aussi expliquée précédemment.

chapitre III : **Méthodes** **d'optimisation**

Chapitre III. Méthodes d'optimisation

III.1 Introduction :

Les méthodes d'optimisation sont nombreuses. Cependant, On peut les classer en deux grandes catégories : les méthodes de résolution exactes et les méthodes stochastiques. Dans la première classe, on rencontre toutes les méthodes qui cherchent le minimum d'une fonction en se basant sur la connaissance d'une direction de recherche, souvent donnée par le gradient de cette fonction. Dans le cas d'optima multiples, elles s'arrêtent sur le premier rencontré. Les méthodes stochastiques sont une alternative pour pallier cet inconvénient. Les trois méthodes stochastiques les plus répandues sont les algorithmes génétiques, le recuit simulé et la recherche taboue. Elles sont capables de trouver le minimum global d'une fonction même dans des cas très difficiles, mais le temps de calcul peut être élevé.

III.2 Les méthodes d'optimisation :

Les méthodes d'optimisation stochastiques s'appuient sur des mécanismes de transition probabilistes et aléatoires. Cette caractéristique indique que plusieurs exécutions successives de ces méthodes peuvent conduire à des résultats différents pour une même configuration initiale d'un problème d'optimisation. Ces méthodes ont une grande capacité à trouver l'optimum global du problème.

Contrairement à la plupart des méthodes déterministes, elles ne nécessitent ni point de départ, ni la connaissance du gradient de la fonction objectif pour atteindre la solution optimale. Elles sont d'ordre zéro. Cependant, elles demandent un nombre important d'évaluations de la fonction objectif. La figure ci dessous présente les méthodes stochastiques les plus utilisées.[13]

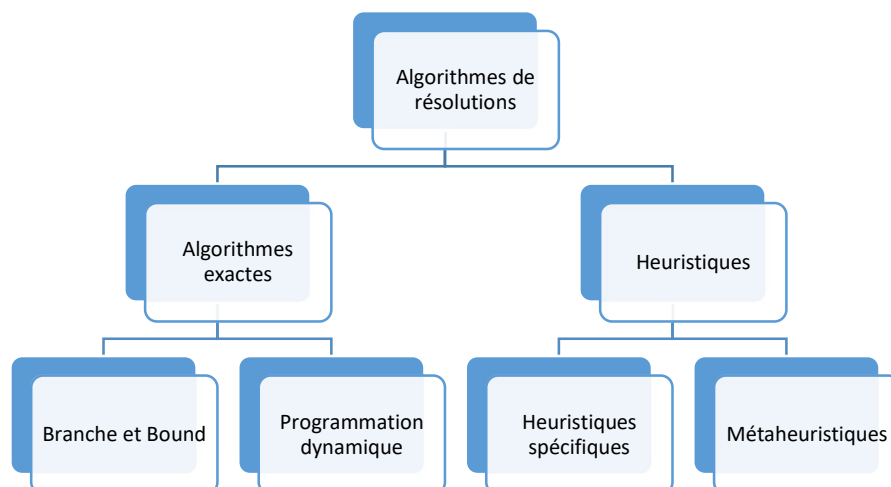


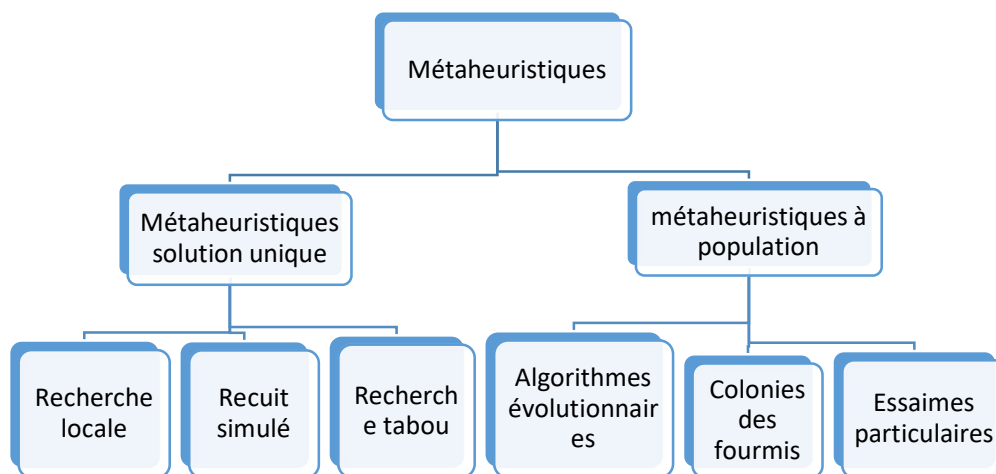
Figure III-1:Classes des méthodes de résolution

III.3 Les métaheuristiques:

Les métaheuristiques forment un ensemble de méthodes utilisées en recherche opérationnelle et en intelligence artificielle pour résoudre des problèmes d'optimisation réputés difficiles. Résoudre un problème d'optimisation combinatoire, c'est trouver l'optimum d'une fonction, parmi un nombre fini de choix, souvent très grand. Les applications concrètes sont nombreuses, que ce soit dans le domaine de la production industrielle, des transports ou de l'économie – partout où se fait sentir le besoin de minimiser des fonctions numériques, dans des systèmes où interviennent simultanément un grand nombre de paramètres.

Alors une métaheuristique est une méthode algorithmique capable de guider et d'orienter le processus de recherche dans un espace de solution, souvent très grand à des régions riches en solutions optimales. Le fait de rendre cette méthode abstraite et plus générique conduit à une vaste utilisation pour des champs d'applications différents.

A ces applications, les métaheuristiques permettent de trouver des solutions, peut-être pas toujours optimales, en tout cas très proches de l'optimum et en un temps raisonnable. Elles se distinguent en cela des méthodes dites exactes, qui garantissent certes la résolution d'un problème, mais au prix de temps de calcul prohibitifs [14].

**Figure III-2:Classes des métaheuristiques**

II.3.1. Métaheuristiques solution unique :

Recherche Locale :

L'approche derrière les algorithmes de recherche locale consiste à atteindre des solutions de bonne qualité en améliorant itérativement la solution courante au moyen de déplacements locaux dans l'espace de recherche. Les recherches locales sont des algorithmes d'optimisation approchés dont les composants principaux peuvent être définis et réduits à un quadruplet (X, N, f, H)

A savoir :

- Un espace de recherche X contenant toutes les solutions valides du problème proposé.
- Une fonction de voisinage $N : X \rightarrow 2^X$ décrivant les mouvements possibles entre solutions.
- Une fonction d'évaluation des solutions $f : X \rightarrow \mathbb{R}$ qui associe à chaque solution un score. f peut être la fonction objective du problème d'optimisation à résoudre, ou une variation de celle-ci qui rend compte de la qualité des solutions et de la pertinence de leurs propriétés pour l'algorithme de recherche.
- Une heuristique de mouvement H , que l'on assimilera à un opérateur de sélection de solution voisine. Cette heuristique peut être stochastique et applique une stratégie basée sur l'évaluation des voisins et d'éventuels paramètres additionnels propres aux algorithmes de recherche, comme la prise en compte de l'historique des précédentes solutions évaluées.

Ces composants interagissent de manière à atteindre au cours de cet échantillonnage la meilleure solution possible.

Tout d'abord, une solution de départ est choisie, usuellement de manière aléatoire ou alternativement au moyen d'une heuristique constructive, pour constituer la première solution courante de la recherche.

Ensuite, l'algorithme évalue tout ou partie du voisinage de la solution courante puis sélectionne une de ces solutions qui devient la solution courante de la prochaine itération de la recherche.

Lorsque qu'un critère de fin est atteint, la recherche locale retourne la meilleure solution évaluée au cours de la recherche. Lorsque la fonction d'évaluation diffère de la fonction objective, l'algorithme peut inclure des calculs de score supplémentaires au sens de la fonction objective (par exemple restreints aux solutions courante) et retourne au final la meilleure d'entre elles .

Recuit Simulé :

Le recuit simulé est une méthode de recherche locale normale, utilisant une stratégie pour éviter les minima locaux. Cette méta-heuristique est basée sur une technique utilisée depuis longtemps par les métallurgistes qui, pour obtenir un alliage sans défaut, faisant alterner les cycles de réchauffage (ou de recuit) et de refroidissement lent des métaux.

Le recuit simulé s'appuie sur des travaux faits par Metropolis & al [10], qui ont pu décrire l'évolution d'un système en thermodynamique.

Le principe du recuit simulé est de parcourir de manière itérative l'espace des solutions. On part avec une solution notée S_0 initialement générée de manière aléatoire dont correspondent une énergie initiale E_0 , et une température initiale T_0 généralement élevée. A chaque itération de l'algorithme, un changement élémentaire est effectué sur la solution, cette modification fait varier l'énergie du système.

Si cette variation est négative (la nouvelle solution améliore la fonction objective, et permet de diminuer l'énergie du système), elle est acceptée, Si la solution trouvée est moins bonne que la précédente alors elle sera acceptée avec une probabilité P calculée suivant la distribution :

$$P(E, T) \exp^{-\frac{\Delta E}{T}} \quad \text{III. 1}$$

En fonction du critère de Metropolis, un nombre $\varepsilon \in [0,1]$ est comparé à la probabilité $P(E, T) = \exp^{-\frac{\Delta E}{T}}$. Si $p \leq \varepsilon$ la nouvelle solution est acceptée.

Le fonctionnement du critère de Metropolis est interprété par :

- Si $\Delta E = f(s') - f(s) < 0$ alors $\exp^{-\frac{\Delta E}{T}} > 1$, donc ε est toujours inférieur à cette valeur, et on accepte la solution s' .
- Si $\Delta > 0$
 - Et T est très grande, alors $\exp^{-\frac{\Delta E}{T}} \cong 1$, tout voisin est systématiquement accepté.

- Et T est très petite, alors $\exp^{-\frac{\Delta E}{T}} \cong 0$, une dégradation a peu de chances d'être accepté.

Recherche Taboue :

La recherche taboue est une méthode de recherche locale combinée avec un ensemble de techniques permettant d'éviter d'être piégé dans un minimum local ou la répétition d'un cycle.

Cette méthode a montré une grande efficacité pour la résolution des problèmes d'optimisation difficiles. En effet, à partir d'une solution initiale s dans un ensemble de solutions local S , des sous-ensembles de solution $N(s)$ appartenant au voisinage S sont générés. Par l'intermédiaire de la fonction d'évaluation nous retenons la solution qui améliore la valeur de f , choisie parmi l'ensemble de solutions voisines $N(s)$.

L'algorithme accepte parfois des solutions qui n'améliorent pas toujours la solution courante. Nous mettons en œuvre une liste taboue T de longueur k contenant les k dernières solutions visitées, ce qui ne donne pas la possibilité à une solution déjà trouvée d'être acceptée et stockée dans la liste taboue.

Alors le choix de la prochaine solution est effectué sur un ensemble des solutions voisines en dehors des éléments de cette liste taboue. Quand le nombre k est atteint, chaque nouvelle solution sélectionnée remplace la plus ancienne dans la liste. La construction de la liste taboue est basée sur le principe FIFO, c'est-à-dire le premier entré est le premier sorti. Comme critère d'arrêt on peut par exemple fixer un nombre maximum d'itérations sans amélioration de s^* , ou bien fixer un temps limite après lequel la recherche doit s'arrêter.[15]

i. Métaheuristiques à population :

Essaie particulaire :

L'optimisation par essaim de particules est une méthode métaheuristique, développée à partir de l'intelligence en groupe qui est basée sur le comportement du déplacement des oiseaux ou des poissons pour la recherche de la nourriture.

Lorsque les oiseaux sont à la recherche de nourriture, d'un endroit à l'autre, il y a toujours un oiseau qui peut sentir la nourriture et trouver l'endroit où elle peut être trouvée. Comme qu'il y'a un échange d'informations entre eux à tout moment, ils finiront par affluer vers l'endroit où la

nourriture peut être trouvé. Une bonne information est égale à la solution la plus optimiste et la nourriture est égale à la solution la plus optimiste pendant tout le parcours.

L'algorithme proposé par Kennedy et Eberhart cherche à simuler ce comportement social basé sur l'analyse de l'environnement et du voisinage est constitué alors une méthode de recherche d'optimum par l'observation des tendances des individus voisins. Chaque individu cherche à optimiser ses chances en suivant une tendance qu'il modère par ses propres vécus.

L'optimisation par essaim de particules repose sur un ensemble d'individus originellement disposés de façon aléatoire et homogène, que nous appellerons dès lors des particules, qui se déplacent dans l'espace de recherche et constituent chacune une solution potentielle. Chaque particule dispose d'une mémoire concernant sa meilleure solution visitée ainsi que la capacité de communiquer avec les particules constituant son entourage.

A partir de ces informations, la particule va suivre une tendance faite, d'une part, de sa volonté à retourner vers sa solution optimale, et d'autre part, de son mimétisme par rapport aux solutions trouvées dans son voisinage. A partir des optimums locaux et empiriques, l'ensemble des particules va normalement converger vers la solution optimale globale du problème traité [3].

Les colonies de fourmis :

Les fourmis sont capables de résoudre collectivement des problèmes complexes, comme trouver le plus court chemin entre deux points dans un environnement accidenté. Pour cela, elles communiquent entre elles de façon locale et indirecte, grâce à une hormone volatile, appelée phéromone : au cours de sa progression, une fourmi laisse derrière elle une trace de phéromone qui augmente la probabilité que d'autres fourmis passant à proximité choisissent le même chemin.

Ce mécanisme de résolution collective de problèmes est à l'origine des algorithmes à base de fourmis artificielles. Ces algorithmes ont été initialement proposés comme une approche multi-agents pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire.

L'idée est de représenter le problème à résoudre sous la forme de la recherche d'un meilleur chemin dans un graphe, appelé graphe de construction, puis d'utiliser des fourmis artificielles pour rechercher de bons chemins dans ce graphe. Le comportement des fourmis artificielles est inspiré des fourmis réelles : elles déposent des traces de phéromone sur les composants du graphe de construction et elles choisissent leurs chemins relativement aux traces de phéromone précédemment déposées ; ces traces sont évaporées au cours du temps.

Les fourmis artificielles ont aussi d'autres caractéristiques, qui ne trouvent pas leur équivalent dans la nature. En particulier, elles peuvent avoir une mémoire, qui leur permet de garder une trace de leurs actions passées. Dans la plupart des cas, les fourmis ne déposent une trace de phéromone qu'après avoir effectué un chemin complet, et non de façon incrémentale au fur et à mesure de leur progression.

Enfin, la probabilité pour une fourmi artificielle de choisir un arc ne dépend généralement pas uniquement des traces de phéromone, mais aussi d'heuristiques dépendantes du problème permettant d'évaluer localement la qualité du chemin.

Cette métaheuristique a permis de résoudre différents problèmes d'optimisation combinatoire, comme par exemple le problème du voyageur de commerce, le problème d'affectation quadratique ou le problème de routage de véhicules. [16]

Algorithmes évolutionnaires :

Les Algorithmes Évolutionnaires sont inspirés du concept de la sélection naturelle développé par « Charles Darwin » dans « The Origin of Species », Darwin montre que l'apparition d'espèces distinctes se fait par le biais de la sélection naturelle.

Le principe de la sélection est fondé sur la lutte pour la vie, due à une population tendant à s'étendre mais disposent d'un espace et ressources finis. Il en résulte que les individus les plus adoptés tendant à survivre plus longtemps et à se reproduire plus aisément.

Le principe d'adaptation d'une population d'individus aux conditions naturelles définis par environnement, inclut les lois de variations telles que le croisement et la mutation qui expliquent l'apparition des variations aux niveaux individuelles. Cette appariation explique bien le phénomène d'évolution et d'adaptation sans avoir besoin à une modification directe des individus. Le principe ainsi défini conduit une population à s'évoluer et s'adapter de génération en génération sans tendre vers un objectif dicté.

Différents types d'algorithmes évolutionnaires ont été développés au début des années soixante :

- **Stratégies d'Evolution (SE):** les (SE) ont été développés par deux ingénieurs Rechenberg et Schwefel au cours de leurs travaux de recherches sur des problèmes numériques pour l'optimisation paramétrique.

- **Programmation Evolutionnaire (EP)** : la (PE) a été développée aux années 60 par L. Fogel dans le contexte de la découverte d'automates d'états finis pour l'approximation des séries temporelles, puis utilisé plus tard par D.B. Fogel aux années 91.
- **Algorithmes Génétiques (AG)** : les (AG), développées par J. Holland en 75 comme outils de modélisation de l'adaptation et qui travaillent dans un espace de chaînes de bits. Les plus populaires aux chercheurs de différentes disciplines. Largement utilisées et développées par D.E. Goldberg en 1989.
- **Programmation Génétique (PG)** : la (PG) a été développée par J. Koza en 90 dans le but d'attendre un des rêves des programmeurs : faire écrire un programme automatiquement. La représentation est basée sur des arbres représentant les programmes. Dans la suite de ce chapitre nous nous traitons beaucoup plus en détail plus particulièrement les algorithmes génétiques.[17]

III.3 Les Algorithmes génétiques :

II.3.1. Principe générale :

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle : croisements, mutations, sélection, etc. Les algorithmes génétiques ont déjà une histoire relativement ancienne, puisque les premiers travaux de John Holland sur les systèmes adaptatifs remontent à 1962 [18]. L'ouvrage de David Goldberg [19] a largement contribué à les vulgariser.

Un algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des cinq éléments suivants :

1. Un principe de codage de l'élément de population. Cette étape associe à chacun des points de l'espace d'état une structure de données. Elle se place généralement après une phase de modélisation mathématique du problème traité. Le choix du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.
2. Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures. Le choix de la population initiale est important car il peut rendre plus ou moins

rapide la convergence vers l'optimum global. Dans le cas où l'on ne connaît rien du problème à résoudre, il est essentiel que la population initiale soit répartie sur tout le domaine de recherche.

3. Une fonction à optimiser. Celle-ci prend ses valeurs dans $\mathbb{R}^+$ et est appelée *fitness* ou fonction d'évaluation de l'individu. Celle-ci est utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population.
4. Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'état.
5. Des paramètres de dimensionnement : la taille de la population, nombre total de générations ou critère d'arrêt, probabilités d'application des opérateurs de croisement et de mutation.

Le principe général du fonctionnement d'un algorithme génétique est représenté sur La figure suivante

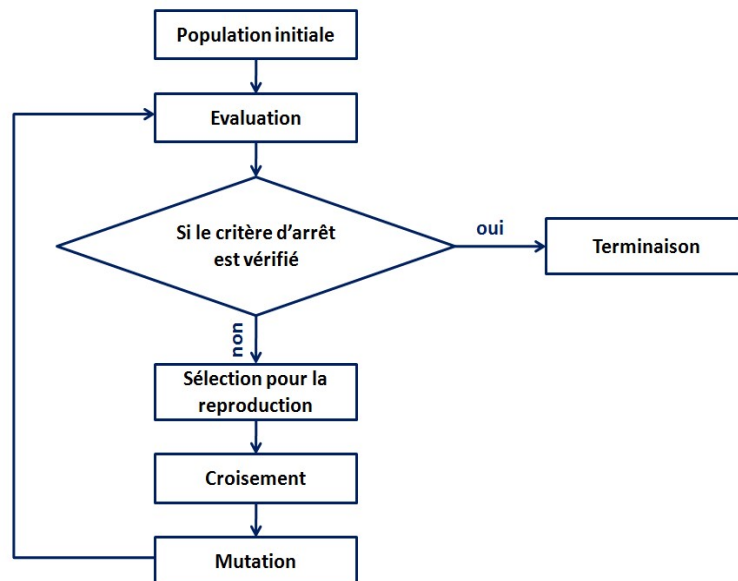


Figure III-3: Principe général d'un algorithme génétique

On commence par engendrer une population d'individus de façon aléatoire. Pour passer d'une génération à la génération suivante, les trois opérations suivantes sont répétées pour tous les éléments de la population ancienne :

Des couples de parents sont sélectionnés en fonction de leurs adaptations. L'opérateur de croisement leur est appliqué avec une probabilité P_c (généralement autour de 0.6) et engendre des couples d'enfants. D'autres éléments parents sont sélectionnés en fonction de leur adaptation. L'opérateur de mutation leur est appliqué avec la probabilité P_m (P_m est généralement très inférieur

à Pc) et engendre des individus mutés. Les enfants et les individus mutés sont ensuite évalués avant insertion dans la nouvelle population (la figure III.3 présente le cas où les enfants et les individus mutés remplacent les parents). Différents critères d'arrêt de l'algorithme peuvent être choisis :

- Le nombre de générations que l'on souhaite exécuter peut être fixé a priori. C'est ce que l'on est tenté de faire lorsque l'on doit trouver une solution dans un temps limité.
- L'algorithme peut être arrêté lorsque la population n'évolue plus ou plus suffisamment rapidement.

II.3.2. Structure de l'algorithme génétique :

Les algorithmes génétiques travaillent par générations successives jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit vérifié. Le codage des paramètres et les opérateurs de sélection, de croisement et de mutation sont présentés en détails.

2.a Codage des données

On distingue deux principaux types de codage : binaire et réel. Certains auteurs n'hésitent pas à faire le parallèle avec la biologie et parlent de génotype en ce qui concerne la représentation binaire d'un individu, et de phénotype pour ce qui est de sa valeur réelle correspondante dans l'espace de recherche. Rappelons que la fonction de décodage la plus simple qui permet la transformation d'une chaîne binaire $A = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ en un nombre entier x s'écrit :

$$x = \sum_{i=1}^n b_i 2^{n-i} \quad \text{III. 1}$$

Exemple : le chromosome $A = \{1, 0, 1, 0\} \rightarrow 1x2^3 + 0x2^2 + 1x2^1 + 0x2^0 = 8 + 2 = 10$

Historiquement, le codage utilisé par les algorithmes génétiques était représenté sous forme de chaînes de bits contenant toute l'information nécessaire à la description d'un point dans l'espace d'état. Ce type de codage a pour intérêt de permettre de créer des opérateurs de croisement et de mutation simples. C'est également en utilisant ce type de codage que les premiers résultats de convergence théorique ont été obtenus. Cependant, ce type de codage n'est pas toujours bon.

Pour des problèmes d'optimisation dans des espaces de grande dimension, le codage binaire peut rapidement devenir mauvais. Généralement, chaque variable est représentée par une partie de la chaîne de bits et la structure du problème n'est pas bien reflétée, l'ordre des variables ayant une importance dans la structure du chromosome, alors qu'il n'en a pas forcément dans la structure du problème.

Les algorithmes génétiques utilisant des vecteurs réels [14] [15] évitent ce problème en conservant les variables du problème dans le codage de l'élément de population, sans passer par le codage binaire intermédiaire. Certains auteurs les appellent RCGA (*Real Coded Genetic Algorithms*) ou la structure du problème est conservée dans le codage. Notons aussi le Codage à l'aide de suite alphabétique, le codage de Gray et le codage sous forme d'arbre.[18]

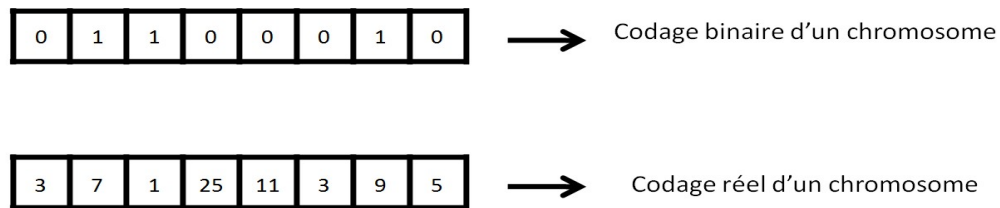


Figure III-4: Codage des données

2.b Génération aléatoire de la population initiale

Plusieurs mécanismes de génération de la population initiale sont utilisés dans la littérature. Le choix de l'initialisation se fera en fonction des connaissances que l'utilisateur a sur le problème. S'il n'a pas d'informations particulières, alors une initialisation aléatoire,[1]et cette méthode amène un concept très utile dans les algorithmes génétiques : la diversité. Plus les individus de la population de départ seront différents les uns des autres, plus nous aurons de chances d'y trouver, non pas la solution parfaite, mais de quoi fabriquer les meilleures solutions possibles[5].

Par ailleurs, cette étape présente un problème principal qui est celui de choix de la taille de la population [1]. La taille de la population initiale est également laissée à l'appréciation du programmeur. Il n'est souvent pas nécessaire d'utiliser des populations démesurées. Une taille de 100 ou 150 individus s'avèrera souvent amplement suffisante, tant pour la qualité des solutions trouvées que pour le temps d'exécution de notre algorithme. Évidemment, ce n'est qu'un ordre de grandeur.

Ensuite, une libre modification permis de la taille de la population initiale en fonction du problème à résoudre si les solutions trouvées ne conviennent pas [5].

2.c La fonction d'adaptation :

La fonction d'adaptation, ou fitness, associe une valeur pour chaque individu. Cette valeur a pour but d'évaluer si un individu est mieux adapté qu'un autre à son environnement [1].

Un élément de population qui viole une contrainte se verra attribuer un mauvais fitness et aura une probabilité forte d'être éliminé par le processus de sélection.

Il peut cependant être intéressant de conserver, tout en les pénalisant, les éléments non admissibles car ils peuvent permettre de générer des éléments admissibles de bonne qualité. Pour de nombreux problèmes, l'optimum est atteint lorsque l'une au moins des contraintes de séparation est saturée, c'est-à-dire sur la frontière de l'espace admissible.

Gérer les contraintes en pénalisant la fonction fitness est difficile, un "dosage" s'impose pour ne pas favoriser la recherche de solutions admissibles au détriment de la recherche de l'optimum ou inversement. Disposant d'une population d'individus non homogène, la diversité de la population doit être entretenue au cours des générations, afin de parcourir le plus largement possible l'espace d'état. C'est le rôle des opérateurs de croisement et de mutation.[19]

Principe de sélection :

A l'inverse d'autres techniques d'optimisation, les algorithmes génétiques ne requièrent pas d'hypothèse particulière sur la régularité de la fonction objective.

L'algorithme génétique n'utilise notamment pas ses dérivées successives, ce qui rend très vaste son domaine d'application. Aucune hypothèse sur la continuité n'est non plus requise. Néanmoins, dans la pratique, les algorithmes génétiques sont sensibles à la régularité des fonctions qu'ils optimisent. Le peu d'hypothèses requises permet de traiter des problèmes très complexes. La fonction à optimiser peut ainsi être le résultat d'une simulation. Par analogie au processus de sélection naturelle, un caractère aléatoire est conféré à la sélection des individus tout en exploitant les valeurs de la fonction d'adaptation [17].

La sélection permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais. On trouve dans la littérature un nombre important de principes de sélection

plus ou moins adaptés aux problèmes qu'ils traitent. Les deux principes de sélection suivants sont les plus couramment utilisés :

- Sélection par roulette (*Roulette wheel selection*);
- Sélection stochastique (*Stochastic remainder without replacement selection*) ;
 - Le principe de sélection par roulette consiste à associer à chaque individu un segment dont la longueur est proportionnelle à son fitness. On reproduit ici le principe de tirage aléatoire utilisé dans les roulettes de casinos avec une structure linéaire. Ces segments sont ensuite concaténés sur un axe que l'on normalise entre 0 et 1. On tire alors un nombre aléatoire de distribution uniforme entre 0 et 1, puis on "regarde" quel est le segment sélectionné. Avec ce système, les grands segments, c'est-à-dire les bons individus, seront plus souvent choisis que les petits. Lorsque la dimension de la population est réduite, il est difficile d'obtenir en pratique l'espérance mathématique de sélection en raison du peu de tirages effectués. Un biais de sélection plus ou moins fort existe suivant la dimension de la population.
 - La sélection stochastique évite ce genre de problème et donne de bons résultats pour nos applications. Décrivons ce principe de sélection :
 - Pour chaque élément i , on calcule le rapport r_i de son fitness sur la moyenne des fitness.
 - Soit $e(r_i)$ la partie entière de r_i : chaque élément est reproduit exactement $e(r_i)$ fois.
 - La sélection par roulette précédemment décrite est appliquée sur les individus affectés des fitness $r_i - e(r_i)$.

Lorsque des populations de faible taille sont utilisées, ce principe de sélection s'avère généralement efficace dans les applications pratiques.

On note aussi d'autres méthodes de sélection tel que :

Sélection par élitisme :

Cette méthode consiste à sélectionner les n individus dont on a besoin pour la nouvelle génération P' en prenant les n meilleurs individus de la population P après l'avoir triée de manière décroissante selon la fonction d'adaptation (fitness) de ses individus. Il est inutile de préciser que cette méthode est encore pire que celle de la loterie biaisée dans le sens où elle amènera à une convergence prématurée encore plus rapidement et surtout de manière encore plus sûre que la méthode de sélection de la loterie biaisée ; en effet, la pression de la sélection est trop forte, la variance nulle et la diversité inexistante [14].

Sélection par tournoi :

Cette méthode n'utilise que des comparaisons entre individus et ne nécessite pas le tri de la population. Elle possède un paramètre, taille du tournoi. Pour sélectionner un individu, on en tire t uniformément dans la population, et on sélectionne le meilleur de ces t individus. Si $t=2$ alors on effectue un tirage avec remise de deux individus de la population, et on les fait "combattre". Celui qui a l'adaptation la plus élevée l'emporte avec une probabilité p comprise entre 0.5 et 1. On répète ce processus n fois de manière à obtenir les n individus de la population qui serviront de parents. Le choix de t permet de faire varier la pression sélective, c'est-à-dire les chances de sélection des plus performants par rapport aux plus faibles [14].

Sélection par rang :

La sélection par rang trie d'abord la population par évaluation. Ensuite, chaque individu se voit associer un rang en fonction de sa position. Ainsi le meilleur individu aura le rang 1, le suivant 2, et ainsi de suite jusqu'au mauvais individu qui aura le rang N , pour une population de N individus. La sélection par rang d'un individu est identique à la sélection par roulette, mais les proportions sont en relation avec le rang plutôt qu'avec la valeur d'évaluation. Avec cette méthode de sélection, tous les individus ont une chance d'être sélectionnés. Cependant, elle conduit à une convergence plus lente vers la bonne solution. Ceci est dû au fait que les meilleurs individus ne diffèrent pas énormément des plus mauvais [14].

Le croisement :

La naissance d'un nouvel individu, nécessite la prise aléatoire d'une partie des gènes de chacun des deux parents. Ce phénomène, issu de la nature est appelé croisement (crossover). Le croisement est le processus de prendre deux parents et de produire à partir d'elles des enfants. Il s'agit d'un processus essentiel pour explorer l'espace des solutions possibles. La littérature définit plusieurs opérateurs de croisement. Ils diffèrent selon le type de codage adapté et la nature du problème traité.

Le croisement binaire :

Ce croisement peut avoir recours à plusieurs types en occurrence :

Croisement en 1-point

C'est le croisement le plus simple et le plus connu dans la littérature. Il consiste à choisir au hasard un point de croisement pour chaque couple de chromosomes. Les sous-chaînes situées après ce point sont par la suite interchangées pour former les fils.

Parent 1	1 0 0 1 0 1 1 0 1
Parent2	0 1 0 1 1 1 0 1 1
Position aleatoire	↑
Enfant 1	1 0 0 1 1 1 0 1 1
Enfant 2	0 1 0 1 0 1 1 0 1

Opérateur de croisement a un point

Croisement en 2-points

Dans ce type de croisement, deux points de coupure sont choisis au hasard et le contenu entre ces points est inter-changé pour former les fils.

Parent1	1 0 0 1 0 1 1 0 1
Parent2	0 1 0 1 1 1 0 1 1
Position aleatoire	↑ ↑
Enfant 1	1 0 0 1 0 1 0 1 1
Enfant 2	0 1 0 1 0 1 0 1 1

Opérateur de croisement a deux points

Croisement en n-points

Ce type de croisement s'énonce par un choix aléatoirement de n-points de coupure pour dissocier chaque parent en n+1 fragments. Pour former un fils, il suffit de concaténer alternativement n+1 sous chaînes à partir des deux parents.

Croisement uniforme

Il existe des versions distinctes de ce croisement. La plus connue consiste à définir de manière aléatoirement un masque, c'est-à-dire une chaîne de bits de même longueur que les chromosomes des

parents sur lesquels il sera appliqué. Ce masque est destiné à savoir, pour chaque locus, de quel parent le premier fils devra hériter du gène s'y trouvant ; si face à un locus le masque présente un 1, le fils héritera le gène s'y trouvant du parent1, s'il présente un 0 il en héritera du parent2. La création du fils2 se fait de manière symétrique : si pour un gène donné le masque indique que le fils1 devra recevoir celui-ci du parent1 alors le fils2 le recevra du parent2, et si le fils1 le reçoit du parent2 alors le fils 2 le recevra du parent1, comme le montre la figure.

Parent1	1 0 0 1 0 1 1 0 1
Parent2	0 1 0 1 1 1 0 1 1
Chaine aleatoires de bits	0 1 1 0 1 0 1 0 0
Enfant 1	1 1 0 1 1 1 0 0 1
Enfant 2	0 0 0 1 0 1 1 1 1

Opérateur de croisement uniforme

Figure III-2 : Types de croisement [22]

Le croisement réel :

Le codage réel requiert des opérateurs génétiques spécifiques pour la manipulation des chromosomes. Il est de plusieurs types :

- L'opérateur de Croisement PMX (PartiallyMapped Crossover)

PMX est un opérateur de croisement à deux points de coupure qui définit un segment de même longueur dans chacun des parents P1 et P2. Les segments sont indiqués avec une trame foncée dans la partie (a). Ces segments sont copiés vers les enfants E1 et E2. E1 a hérité du segment de P2 et E2 de P1, comme le montre la partie (b) de la figure.

A partir de l'un de ces segments, on établit à chaque gène une liste de correspondance. Cette liste va servir à placer les gènes redondants et elle est formée de la manière suivante: pour chaque position du segment on note x le gène qui s'y trouve et y celui de l'autre enfant dans la même position. Tant que y est retrouvé ailleurs dans le segment de départ, on note y' son correspondant dans l'autre enfant et on remplace y par y'. Par exemple, le gène correspondant à "1" de E1 est "6" mais ce gène existe aussi dans E1 et son correspondant est

"3". Ainsi dans la liste de correspondance, on note que "1" a pour correspondant "3". La liste complètement formée se trouve à la marge de la partie (b) du schéma.

On procède ensuite au placement des gènes hors segment en les copiant des parents respectifs. Par exemple, copier "1" de P1 dans E1 provoque un conflit puisque ce gène existe déjà. On utilise alors son correspondant dans la liste qui est "3". En procédant de manière itérative, on arrive à former les enfants E1 et E2 illustrés dans la partie (c) de la figure.

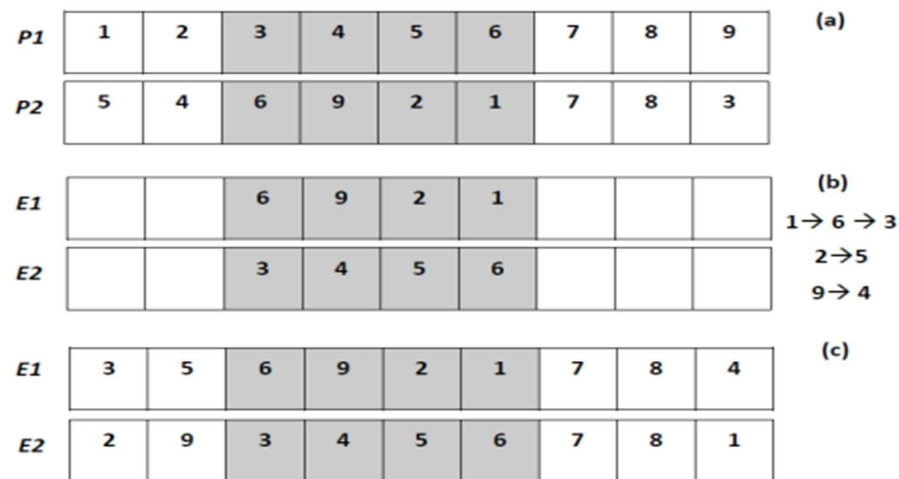


Figure 0-3: Opérateur de croisement PMX

- **L'opérateur de Croisement CX (Cycle Crossover)**

CX est un opérateur qui satisfait la condition suivante: chaque gène d'un enfant provient de l'un des parents à la même position. Les enfants sont donc formés en copiant un gène d'un parent et en éliminant l'autre à la même position puisqu'il va appartenir au deuxième enfant. Une fois que les positions occupées sont copiées par élimination, on a complété un cycle. Les places restantes des deux enfants sont complétées par les parents opposés.

Dans l'exemple présenté dans la figure partie (a), la première position de E1 est attribuée à "1" provenant de P1. Le gène de P2 situé à la même position est "4", il est recherché dans P1 et retrouvé à la quatrième position. Le gène "4" est copié dans E1 et son correspondant "8" est recherché dans P1 et retrouvé à la huitième position. "8" est copié dans E1 à cette même position et son correspondant "3" est recherché dans P1 et retrouvé à la troisième position. "3" est copié dans E1 et son correspondant "2" est recherché dans P1 et retrouvé à la deuxième position. "2" est copié et son correspondant "1" est retrouvé dans P1 à la première position où cette position est déjà occupée dans E1 donc le cycle est terminé. Le cycle de E1 est "1, 4, 8, 3, 2" et de manière analogue, le cycle "4, 1, 2, 3, 8" est formé pour E2.

En dernier lieu, il faut combler les positions vacantes à partir des parents opposés. Par exemple, les gènes "7,6,9" de E1 proviennent de P2. On obtient ainsi les enfants illustrés dans la partie (b) de la figure si dessous.

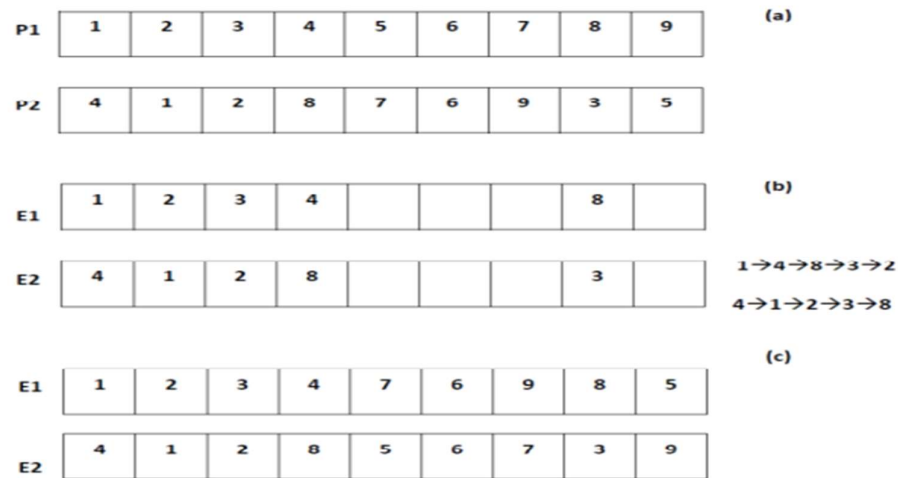


Figure V-4:Opérateur de croisement CX

- **L'opérateur de Croisement OX (Order Crossover)**

OX est un opérateur avec deux points de coupure qui copie le segment formé par ces deux points de coupure dans les deux enfants. Par la suite, il recopie, à partir du deuxième point de coupure ce qui reste des gènes dans l'ordre du parent opposé en évitant les doublons.

La figure si dessous présente un exemple du déroulement du croisement avec l'opérateur OX. Dans la partie (a), un segment est formé par les points de coupure dans les deux parents et ces segments sont copiés tels quels dans les enfants E1 et E2 comme le montre la partie (b).

Enfin, on procède à la copie des gènes situés hors du segment copié. Pour cela, on se place à partir du deuxième point de coupure et on choisit les gènes non redondants provenant du parent opposé. Par exemple, dans la partie (c) de la Figure ?, on essaie de placer le gène "6" de P2 après le deuxième point de coupure dans E1 mais ce gène existe déjà à l'intérieur du segment. Il est donc ignoré et on passe au suivant. Le gène "2" ne présente pas de conflit, il est donc copié et ainsi de suite jusqu'à où on forme les deux enfants E1 et E2 tel qu'elle est illustrée dans la partie (c) de la figure.

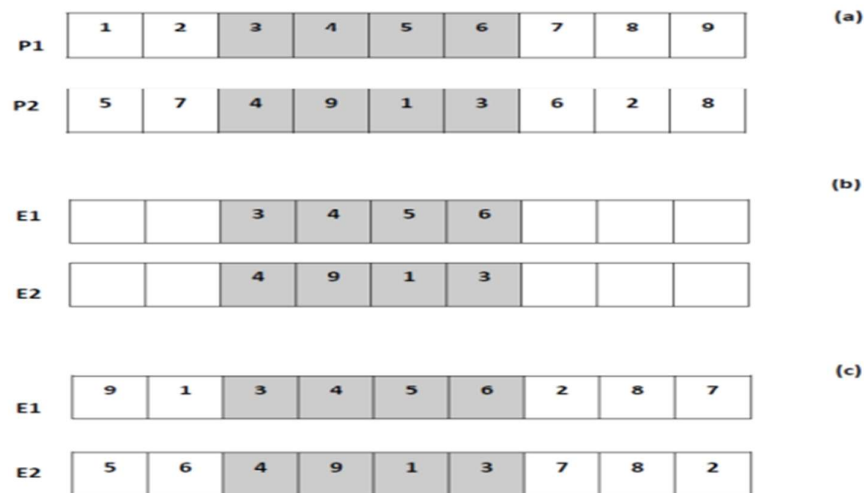


Figure 0-6:Opérateur de croisement OX

La mutation

C'est un processus où un changement mineur de code génétique est appliqué à un individu pour introduire de la diversité et ainsi d'éviter de tomber dans des optimums locaux. Différentes manières de mutation d'un chromosome sont aussi définies dans la littérature.

➤ En codage binaire

Dans un algorithme génétique simple, la mutation en codage binaire est la modification aléatoire occasionnelle (de faible probabilité) de la valeur d'un caractère de la chaîne.

➤ En codage réel

Pour le codage réel, les opérateurs de mutation les plus utilisés sont les suivants :

Mutation par inversion :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et tous les gènes situés entre ces positions sont inversés. la figure montre un exemple de mutation par inversion. L'individu i avant mutation est représenté dans la partie (a) avec le segment formé par les deux positions sélectionnées. L'inversion est effectuée à l'étape (b) afin de produire l'individu i'.

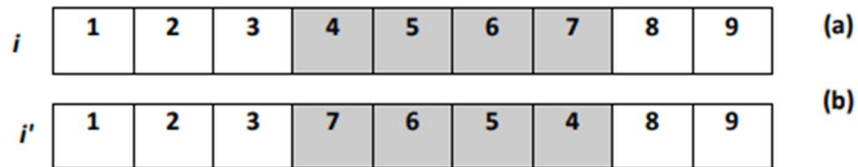


Figure 0-7: Mutation par inversion

Mutation par insertion :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et le gène appartenant à l'une est inséré à l'autre position. Dans la figure parties (a), les gènes "3" et "6" de l'individu i sont sélectionnés. La deuxième étape, illustrée par la partie (b), montre l'insertion de "6" avant "3" et le décalage de tous les autres gènes.

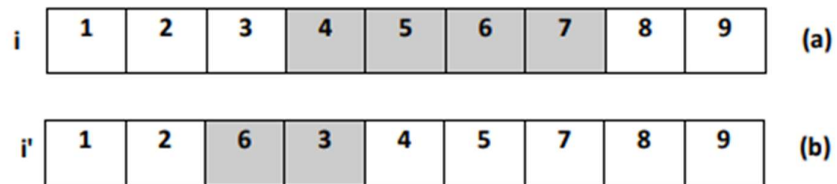


Figure 0-8: Mutation par insertion

Mutation par déplacement :

Une séquence est sélectionnée au hasard et déplacée vers une position elle-même tirée au hasard. Un exemple de mutation par déplacement est illustré à la figure. Dans la partie (a), la séquence "3-4-5-6" est sélectionnée et déplacée à la première position pour former l'individu i' représenté dans la partie (b).

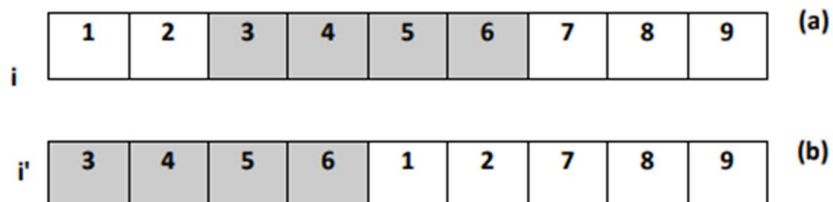
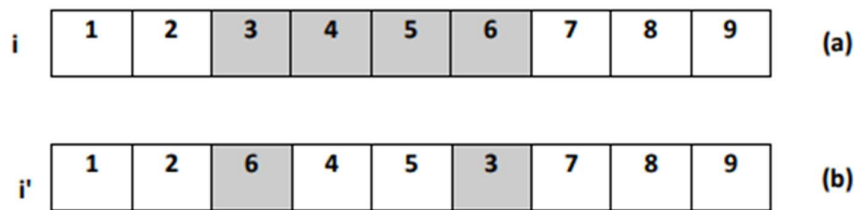


Figure III-9: Mutation par déplacement

Mutation par permutation :

Deux positions sont sélectionnées au hasard et les gènes situés dans ces positions sont permutés. Comme il est illustré à la figure, les éléments "3" et "6" sont sélectionnés dans i (partie (a)) et permutés dans i' (partie (b)).

**Figure 0-10 :Mutation par inversion**

III.5. Conclusion

Avec une méthode de résolution exacte on peut trouver le minimum global de la fonction sous certaines hypothèses comme la convexité et la dérivabilité. En d'autres termes, ces méthodes convergentes très rapidement vers ce minimum si la fonction objective remplit ces hypothèses dans une région locale contenant le minimum désiré et si la configuration initiale est quelque part à l'intérieur de cette région.

Cependant, résolvant des problèmes pratiques où aucune de ces hypothèses ne peut être rendue, les méthodes déterministes convergent souvent vers un des minimums locaux de la fonction objectif. La non disponibilité de ces hypothèses dans le domaine de technique où généralement très peu de connaissances sur le comportement de la fonction objectif sont fournies ; il est donc recommandé de commencer le processus d'optimisation avec des méthodes stochastiques.

Les algorithmes stochastiques présentent un grand avantage par rapport aux méthodes de résolution exacte d'avoir la capacité de trouver l'optimum global, malgré le nombre important d'évaluations. Les méthodes stochastiques les plus favorables sont les algorithmes génétiques, le recuit simulé et la recherche taboue.

chapitre IV :

Résultat de l'optimisation du cas Etudies

Chapitre IV : Résultats d'optimisation du cas étudiés

IV.1 Introduction :

Le principal objectif de toute entreprise est de maximiser ses bénéfices tout en minimisant ses pertes. Ainsi, les entreprises adoptent des stratégies et des politiques de maintenance visant à réduire les coûts de maintenance et à améliorer la disponibilité du système de production à maintenir.

Dans ce chapitre, nous avons utilisé un modèle de politique de maintenance basé sur le concept de réduction de l'âge pour les systèmes multi-composants. L'objectif de cette politique est d'améliorer la disponibilité des systèmes, de réduire la fréquence des défaillances et surtout de minimiser les coûts globaux de maintenance. Elle tient compte des dépendances entre les composants. Des calendriers d'interventions de maintenance préventive optimaux ont été obtenus en utilisant des techniques qui minimisent les coûts liés aux activités de maintenance. La politique de maintenance préventive et la maintenance corrective ont été prises en compte.

Les algorithmes génétiques sont adaptés pour trouver l'optimum d'une fonction contenant de nombreux paramètres interdépendants et non linéaires. Cette capacité les rend utiles dans divers domaines. Dans cette étude, nous avons appliqué cette technique d'optimisation dans le but de minimiser les coûts de la politique de maintenance préventive qui repose sur le concept de réduction de l'âge pour les équipements de l'unité de production une au sein de l'entreprise HUPP Pharma. Le système étudié est composé de 7 machines disposées en série.

IV.2 Présentation du contexte du cas étudiés

IV.2.1. La sélection du système multi composant :

Parmi les diverses recommandations introduites par le groupe HUPP pour identifier le système utilisé dans cette application, nous mettons principalement l'accent sur les suivantes :

- Identifier un système impactant fortement l'économie de l'entreprise
- Identifier un système sur lequel l'entreprise possède une forte expertise interne.
- Choisir des équipements présents dans la majorité des unités de production

En s'appuyant sur ces différentes recommandations, un système composé de 7 composants a été retenu. Les travaux réalisés avec les responsables de service maintenance sur la structure du système, noté RST, ont permis d'établir le diagramme de fiabilité présenté à la figure ci-dessous. Il s'agit d'un système dit série/parallèle.

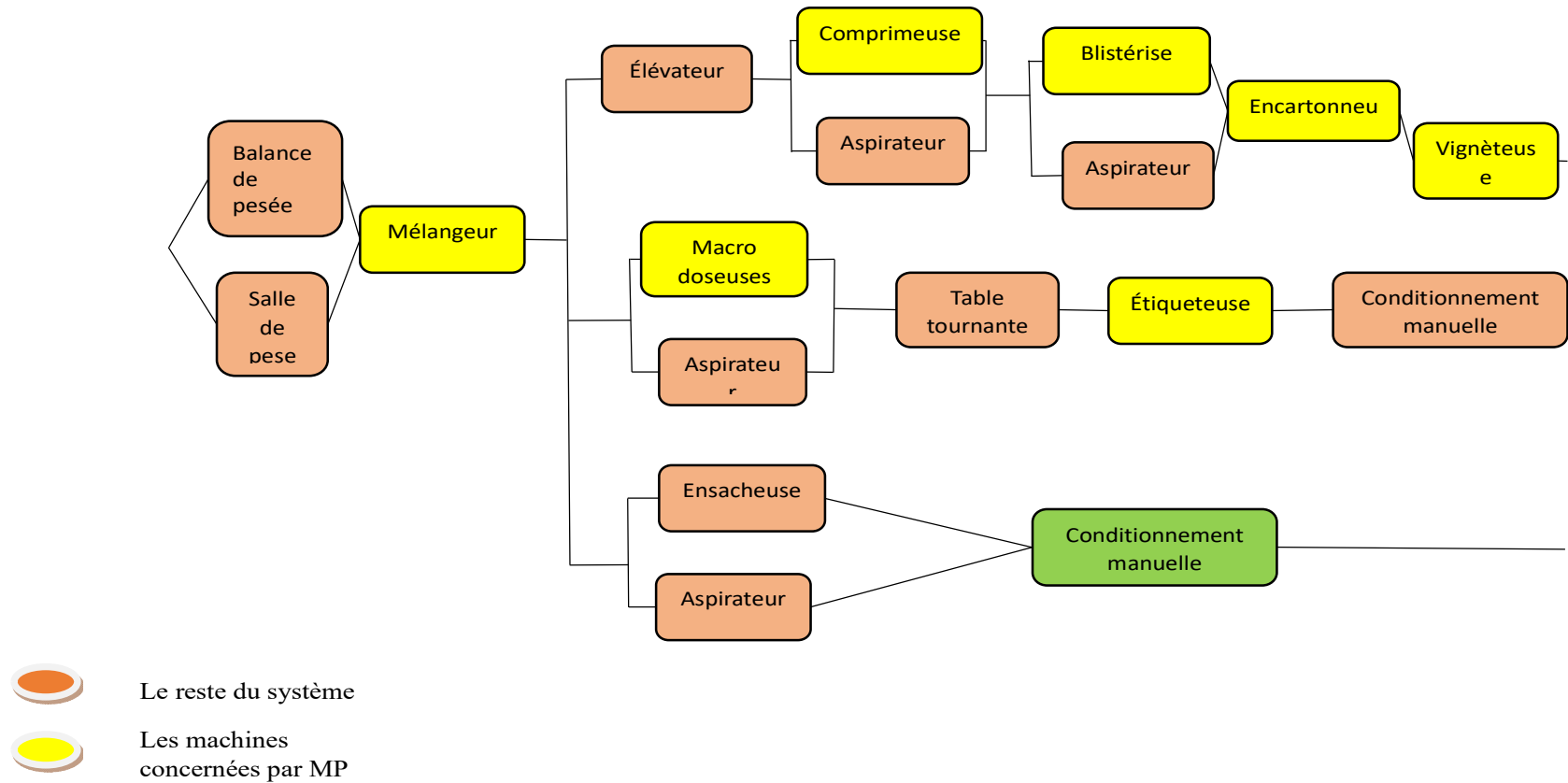


Figure 01 processus de fabrication up1

IV.2.2 Inventaire et traitement des données disponibles :

Avant de faire l'inventaire des données disponibles, il est nécessaire de préciser le cadre exact de notre étude. L'historique des pannes pris convient à l'année 2021-2022 de l'unité de production 1 de l'entreprise HUPP Pharma, de Constantine.

Pour chaque opération de maintenance effectuée sur un équipements , les données suivantes sont disponibles :

- Date de l'opération
- Description de l'opération
- Référence et Quantité de la pièce remplacée
- Coût de remplacement (prix de la pièce)
- Durée de remplacement
- Age de la machine

2.a Détermination des paramètres de WEIBULL :

Le tableau ci-dessous représente les paramètres de Weibull « η », « β » et « γ » de notre études de cas

Tableau IV.1:tableau des paramètres de Weibull du cas étudié

N	Les équipements						
	Mélangeur	Comprimeuse	Blistéreuse	Etuieuse	Étiqueteuse	Macro doseuse	Vignèteuse
1	8	2	16	8	8	8	24
2	24	4	32	16	16	16	40
3	32	4.5	48	24	24	32	104
4	96	5	64	32	22	40	112
5	112	6.25	80	40	32	64	192
6	232	7	96	72	48	72	392
7	8	8	112	88	72	152	492
8	24	11	128	120	96	216	744
9	0	14	144	128	0	632	0
10	0	16	192	144	0	0	0
MTBF	64	30	128	88	32	64	1152
Eta	99.555321	55.4263	135.1363	66.8240	44.22536	6307269.67	373.1749
Beta	0.8532	0.9877	0.8492	0.5979	1.4093	0.6839	0.8281
Gam	0	0	0	0	0	0	0

Exemple de calcul :

i. Cas de la blistéreuse :

Tableau 0 : tableau des TBF "cas de la blistéreuse"

Ran g	TBF	ni	Sum ni	F(t)
1	16	8	8	0.1481 48
2	32	3	11	0.2037 04
3	48	10	21	0.3888 89
4	64	6	27	0.5
5	80	4	31	0.5740 74
6	96	6	37	0.6851 85
7	112	2	39	0.7222 22

8	128	4	43	0.7962 96
9	144	3	46	0.8518 52
10	192	1	47	0.8703 7
11	208	1	48	0.8888 89
12	224	2	50	0.9259 26

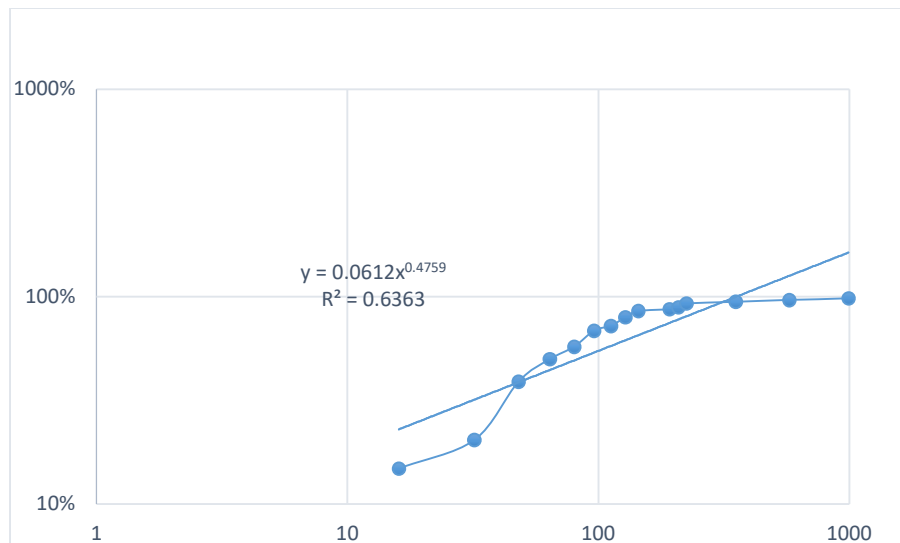


Figure IV-2: représentation des TBF en fonction du temps « blistéreuse »

Les paramètres :

- La corrélation $R = 0.6363 \Rightarrow \gamma = 0$
- L'intersection de la droite de tendance avec la droite $y=63.21\%$ permet d'obtenir la valeur de η :

$$0,0016x^{0.4759} = 63.21 \Rightarrow x = \left(\frac{0.6321}{0.0612} \right)^{\frac{1}{0.4759}}$$

$$\Rightarrow \eta = 135.1363(\text{h})$$

- La valeur de β est la tangente de la droite de tendance de la courbe suivante :

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \times \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)$$

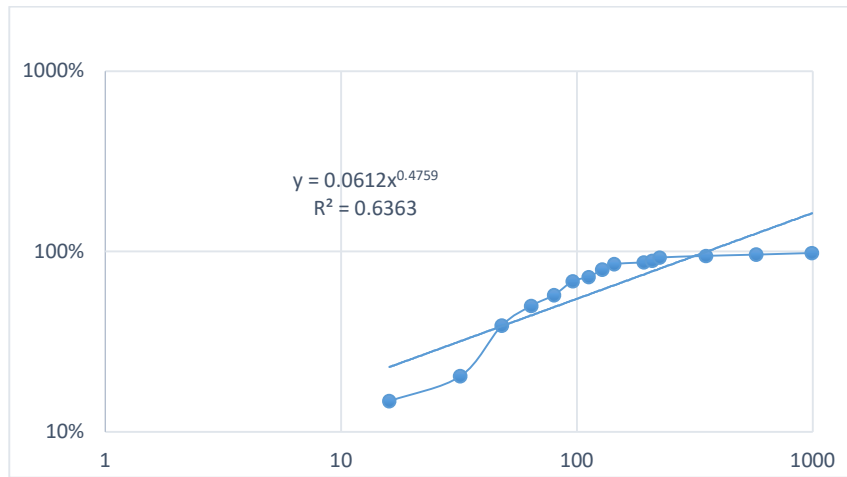


Figure 03:le graphe de beta pour le cas de la "blistéreuse"

On peut constater facilement d'après la figure que $\beta = 0.0612$

Pour faire court voici le tableau final qui contient tous les résultats calculés ;

ii. Cas de « vignèteuse »

Tableau 0 tableau des TBF "vignèteuse"

Rang	TBF	Ni	Sum ni	F(t)
1	24	1	1	0.074468
2	40	1	2	0.180851
3	104	1	3	0.287234
4	112	1	4	0.393617
5	192	1	5	0.5
6	392	1	6	0.606383
7	492	1	7	0.712766
8	744	1	8	0.819149

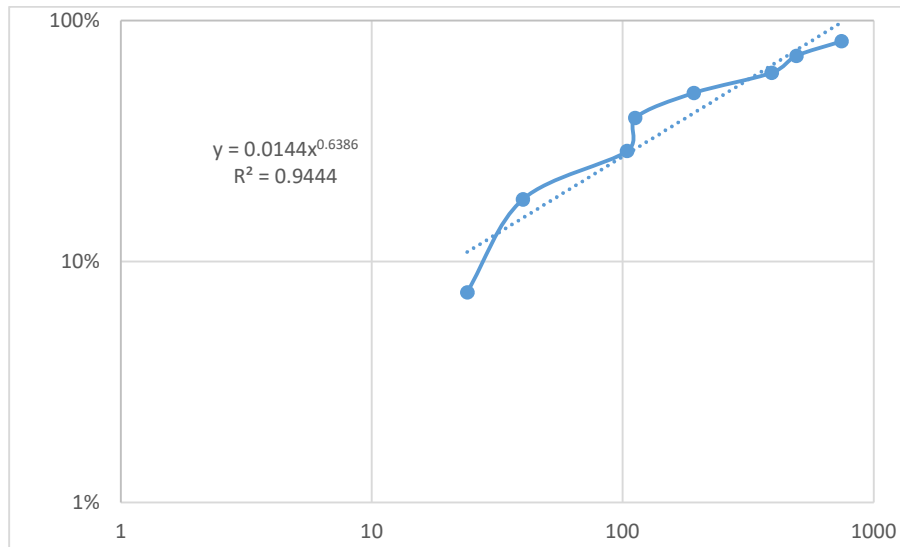


Figure 0-4:représentation des TBF en fonction du temps "vignèteuse"

Les paramètres :

- La corrélation $R = 0.9444 \Rightarrow \gamma = 0$
- L'intersection de la droite de tendance avec la droite $y=63.21\%$ permet d'obtenir la valeur de η :

$$0,0016x^{0.6386} = 63.21 \Rightarrow x = \left(\frac{0.6321}{0.9444}\right)^{\frac{1}{0.6386}}$$

$$\Rightarrow \eta = 373.1749(h)$$

- La valeur de β est la tangente de la droite de tendance de la courbe suivante :

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \times \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)$$

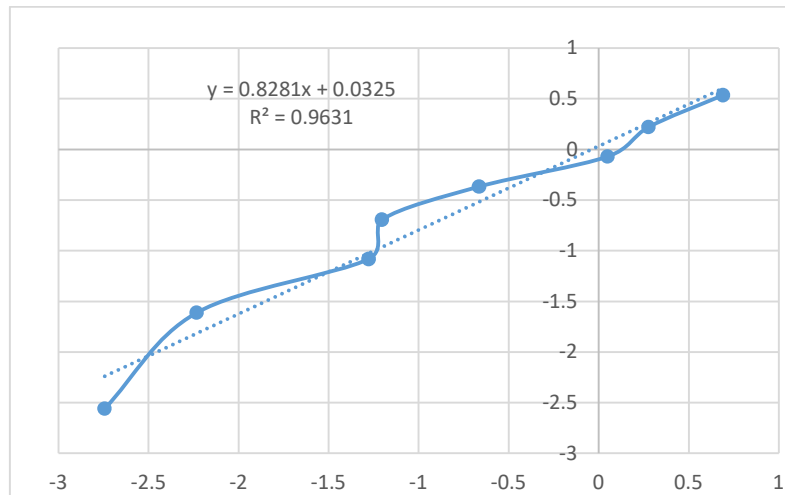


Figure 0-5: le graphe de beta pour le cas de la "vigneteuse"

On peut constater facilement d'après la figure que $\beta = 0.0612$

IV.2.2. Les étapes de l'algorithme :

L'algorithme génétique se réalise suivant les étapes suivantes :

- Etapes une : identification des paramètres
 - le choix de l'estimation initiale $x_0 = [x_{01} \dots x_{0N}]$ (N : la dimension de la variable),
 - Le borne inférieure $L = [l_1 \dots l_N]$, le borne supérieure $u = [U_1 \dots U_n]$,
 - La taille de la population N_p ,
 - Le vecteur $N_b = [N_{b1} \dots N_{bN}]$ qui représente le nombre de bits attribués pour chaque variable x_i .
 - La probabilité de croisement P_c ,
 - La probabilité de mutation P_m , taux de reproduction (η) ($0 < \eta \leq 1$)
 - Le nombre maximal d'itérations $k_{\max} > 0$.
- Étape 2 : Génération aléatoire de la population initiale

On met : $x^0 = x_0$ et $f^0 = f(x^0)$, et on construit de façon aléatoire la population initiale matrice X_1 qui se compose N_p population et qui varie entre les borne l et u , en utilisant la fonction « rand » :

$$X_1(1) = x_0 \text{ et } X_1(k) = l + rand(u - l) \text{ pour } k = 2 : N_p$$

Puis, on code chaque numéro de cette matrice de la population en système binaire par :

$$P_1(n, 1 + \sum_{i=1}^{m-1} N_{bi} : \sum_{i=1}^m N_{bi}) = \frac{(2^{N_{bm}-1})(X_1(n,m)-l(m))}{u(m)-l(m)} \dots \dots (1)$$

pour $n = 1 : N_p$ et $m = 1 : m$

Ou chaque ligne de la matrice de population est représentée par une chaine binaire qui compose un chromosome

➤ Étape 3 : on effectue les opérations suivantes :

- On décode chaque nombre binaire de la matrice en nombre décimal par :

$$X_k(n, m) = \frac{P_k(n, :)(u(m) - l(m))}{2^{N_{bm}} - 1} \text{ IV. 1}$$

Pour $n = 1 : N_p$ et $m = 1 : m$

- On évalue la valeur $f(n)$ de la fonction pour chaque ligne $X_k(n, :) = x(n)$ correspondant à chaque chromosome et de trouver le minimum $f_{min} = f(nb)$ correspondant à $X_k(nb, :) = x(nb)$.
- Si $f_{min} = f(nb) < f^0$ on met $f^0 = f(nb)$ et $x^0 = x(nb)$
- Convertir les valeurs de la fonction aux valeurs fitness par :

$$f_1(n) = \text{Max}_{n=1}^{N_p} \{f(n)\} - f(n) \text{ IV. 2}$$

- Si $\text{Max}_{n=1}^{N_p} \{f(n)\} \approx 0$ alors le programme s'arrête, En déclarant x_0 comme meilleure valeur.
- Sinon, dans le but de faire plus de chromosomes autour de point (nb) , on utilise la formule de reproduction suivante :

$$x(n) \leftarrow x(n) + \eta \frac{(f_1(nb) - f_1(n))}{f_1(nb)} (x(nb) - x(n)) \text{ IV. 3}$$

- Obtention d'une nouvelle population X_{k+1} par $X_{k+1}(n, :) = x(n)$, et on code la population pour reconstruire la nouvelle matrice P_{k+1} par (1)
- On mélange les indices de ligne de la matrice pour l'accouplement aléatoire des chromosomes.
- Avec la probabilité de croisement P_c , on échange une partie de la matrice à partir de quelques nombres de bit aléatoire dans deux chromosomes parent appariés au hasard pour générer deux chromosomes enfant.

- Avec la probabilité de mutation P_m , inverser un bit aléatoire de chaque nombre représenté par les chromosomes pour faire une nouvelle matrice $P(k+1)$.
- Étape 3 : on effectue les opérations suivantes :

- On décode chaque nombre binaire de la matrice en nombre décimal par :

$$X_k(n, m) = \frac{P_k(n, :)(u(m) - l(m))}{2^{N_{bm}} - 1} \text{IV. 4}$$

Pour $n = 1:N_p$ et $m = 1:m$

- On évalue la valeur $f(n)$ de la fonction pour chaque ligne $X_k(n, :) = x(n)$ correspondant à chaque chromosome et de trouver le minimum $f_{min} = f(nb)$ correspondant à $X_k(nb, :) = x(nb)$.
- Si $f_{min} = f(nb) < f^o$ on met $f^o = f(nb)$ et $x^o = x(nb)$
- Convertir les valeurs de la fonction aux valeurs fitness par :

$$f_1(n) = \text{Max}_{n=1}^{N_p} \{f(n)\} - f(n) \text{IV. 5}$$

- Si $\text{Max}_{n=1}^{N_p} \{f(n)\} \approx 0$ alors le programme s'arrête, En déclarant x_0 comme meilleur valeur.
- Sinon, dans le but de faire plus de chromosomes autour de point (nb) , on utilise la formule de reproduction suivante :

$$x(n) \leftarrow x(n) + \eta \frac{(f_1(nb) - f_1(n))}{f_1(nb)} (x(nb) - x(n)) \text{IV. 6}$$

- Obtention d'une nouvelle population X_{k+1} par $X_{k+1}(n, :) = x(n)$, et on code la population pour reconstruire la nouvelle matrice P_{k+1} par (1)
- On mélange les indices de ligne de la matrice pour l'accouplement aléatoire des chromosomes.
- Avec la probabilité de croisement P_c , on échange une partie de la matrice à partir de quelques nombres de bit aléatoire dans deux chromosomes parent appariés au hasard pour générer deux chromosomes enfant.
- Avec la probabilité de mutation P_m , inverser un bit aléatoire de chaque nombre représenté par les chromosomes pour faire une nouvelle matrice $P(k+1)$.

IV.2.3. Identification des paramètres de l'algorithme :

Nous avons utilisé un algorithme génétique classique pour maximiser la fonction objective qui est la durée de vie en unités de coût. La population initiale est générée de manière aléatoire dans les limites de 0 à 3 pour les activités et de 10 à 500 pour les intervalles de MP1.

Le processus commence par la génération d'une population d'individus aléatoires. Pour passer d'une génération à la suivante, trois opérations sont effectuées :

- La sélection, le croisement et la mutation. L'opérateur de croisement est appliqué avec une probabilité de $P_c=0.8$ pour générer des paires d'enfants. L'opérateur de mutation est appliqué avec une probabilité de $P_m=0.002$ pour générer des individus mutés. Les enfants et les individus mutés sont ensuite évalués en utilisant la fonction d'évaluation B_{mj} .

```
Np = 10;% taille de la population
Nb = ones(8,1)*8;      % nombre de bits pour chaque chromosome
Pc = 0.8;               % Probabilité de mutation
Pm = 0.002;             % Probabilité de croisement
eta = 1;                % taux de lecture
kmax = 10;% maximum d'itérations
x01=[ones(7,1)' 80];    %estimation initiale
```

Figure 0-6:Propriétés initiales de l'algorithme

La fonction objective a pour évaluer les activités, l'intervalle et assurer la fiabilité du système au-delà de R_{min} , elle est définie comme :

$$\begin{aligned}
 & \text{If}(R_{s,n}) \leq (R_{min}) \\
 & \quad F_{obj} = 0.01(B_{m,j}^2 R_{s,j}^2) \\
 & \quad \text{else} \\
 & \quad F_{obj} = 10(B_{m,j}^2 R_{s,j}^2) \\
 & \text{end}
 \end{aligned}$$

Figure 0-7:Fonction objective

Où $R_{s,n}$ et R_{min} sont la fiabilité du système à nième étape de MP et le seuil limite de la fiabilité du système respectivement, ici pour notre cas $R_{min}=0.8$.

3.a La fonction du système étudié:

Le système décrit (figIV.1) se compose de 17 équipements, En notant que toute défaillance d'un composant provoque la panne du système.

La fiabilité du système est exprimée par :

$$Rst(t) = Rc(t) * Rft(0) * \left(1 - (1 - Rft(1)) * (1 - Rft(2)) * (1 - Rft(3))\right) \\ * \left(1 - (1 - Rft(4)) * (1 - Rft(5))\right) * Rft(6) * Rft(7) \\ * \left(1 - (1 - Rft(8)) * (1 - Rft(9))\right) * Rft(10) * Rft(11) \\ * \exp(-TauxPS * t) \quad IV.7$$

Où $Rc(t)$ est la fiabilité du reste des composants qui ne sont pas concernés par la politique, la fiabilité de la partie restante du système est distribuée selon la loi exponentielle dont le taux de défaillance est 0.0002.

$$Rc(t) = e^{-0.0002t} \quad IV.8$$

Après avoir effectué la modélisation de la fiabilité dynamique, les détails du calcul des facteurs d'amélioration sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 0:Facteurs d'amélioration m1 pour les composants du système

Composant	Vérification	Lubrification	Nettoyage	Ctrl paramètres	Remplacement	m
Mélangeur	D=0.6 P=0.6 P*D=0.36	D=0.7 P=0.6 P*D=0.42	D=0.4 P=0.4 P*D=0.16	D=0.7 P=0.6 P*D=0.42	D=0.4 P=0.3 P*D=0.12	0.53

Comprimeuse	D=0.7 P=0.6 P*D=0.42	D=0.7 P=0.7 P*D=0.49	D=0.8 P=0.8 P*D=0.64	D=0.6 P=0.4 P*D=0.24	D=0.6 P=0.9 P*D=0.54	0.68
Blistéreuse	D=0.4 P=0,3 P*D=0.12	D=0.5 P=0,4 P*D=0.2	D=0.3 P=0.6 P*D=0.18	D=0.6 P=0.4 P*D=0.24	D=0,4 P=0,5 P*D=0.2	0.43
Etuieuse	D=0.4 P=0.3 P*D=0.12	D=0.4 P=0.2 P*D=0.8	D=0.2 P=0.3 P*D=0.6	D=0.6 P=0.3 P*D=0.18	D=0.3 P=0.5 P*D=0.15	1.15
Vignéteuse	D=0.2 P=0.3 P*D=0.6	D=0.4 P=0.5 P*D=0.2	D=0.6 P=0.3 P*D=0.18	D=0.4 P=0.2 P*D=0.8	D=0.5 P=0.4 P*D=0.2	0.75
Macro doseuse	D=0.7 P=0.5 P*D=0.35	D=0.5 P=0.4 P*D=0.2	D=0.5 P=0.5 P*D=0.25	D=0.6 P=0.4 P*D=0.24	D=0.7 P=0.7 P*D=0.49	0.61
Étiqueteuse	D=0.3 P=0.3 P*D=0.9	D=0.2 P=0.2 P*D=0.4	D=0.1 P=0.2 P*D=0.2	D=0.6 P=0.2 P*D=0.12	D=0.4 P=0.6 P*D=0.24	1.24

Les différents paramètres du cout nécessaires dans le modèle de la politique sont donnés dans le tableau suivant :

TableauIV.5 :tableau des couts de la mnt prv

Les équipements	MTBF(h)	M facteur d'amélioration	Cout p3	Cout p2	Cout p3
Mélangeur	64	0.53	2800	1680	2240
Comprim	152	0.68	2700	1620	2160

euse					
Blistéreus e	128	0.43	1200	720	960
Etuieuse	88	1.15	2000	1200	1600
Vignèteus e	30	0.75	1850	1110	1480
Macro doseuse	64	0.61	2400	1440	1920
Étiqueteu se	32	1.24	3000	1800	2400

- **Le coût d'acquisition du système** est estimé à :

$$C_s = 55000 \text{ KDA}$$

Les coûts des activités MP1 et MP2 pour chaque composant sont calculés à partir de l'activité MP3, selon les formules suivantes :

$$Cp_{1,i} = 0.6 \times Cp_{3,i}$$

$$Cp_{2,i} = 0.8 \times Cp_{3,i}$$

Étant donné le manque de données suffisantes sur les composants du système, le calcul du taux de défaillance initial A_0 et du taux de dégradation A_1 peut être simplifié en résolvant l'équation suivante :

$$\left(\left(\frac{1}{R_1}\right) - 1\right)^2 x^2 + \left(\left(2\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_1}\right) - \left(\frac{1}{R_2} - 1\right)\right)\right)x + \left(\left(\frac{1}{R_1^2}\right) - \left(\frac{1}{R_2}\right)\right) = 0 \quad \text{VI. 7}$$

Où A_0 et A_1 sont calculés par :

$$A_0 = \frac{\log(1 + x_1(1 - R(t_1))) - \log(R(t_1))}{(1 + x_1)t_1} \quad \text{VI. 8}$$

$$A_1 = A_0 x_1 \quad \text{VI. 9}$$

Où :

x_1 : La première racine de l'équation (15)

t_1 : Le temps moyen de bon fonctionnement (MTBF)

- Les A_1 et A_0 pour les différents composants sont calculés et données par le tableau suivant :

Tableau 0 Les paramètres A_0 et A_1 des composants du système

Nom Equipment	Temps	A_0	A_1
Mélangeur	10-35	3.09349603617891 6e-10	0.06481760821456 8
Comprimeuse	10-25	1.69035459239025 8e-06	0.03866185590694 1
Blistéreuse	20-50	3.64429712785290 0e-06	0.00816448604435 6
Etuieuse	10-35	1.23398788675725 6e-	0.01089462458522 2
Vignèteuse	10-35	1.77476472873793 9e-06	0.05999004971719 3
Macro doseuse	10-35	1.69887410653381 7e-08	0.03041905680401 1
Étiqueteuse	10-35	1.16432314614078 5e-08	0.15778662317770 5

VI.1 Résultat et discussion :

Dans la première partie de ce travail, un programme MATLAB a été développée pour maximiser notre fonction objectif B_{mj} (la durée de vie en unités de coût) et optimiser les activités et les intervalles de maintenance préventive pour un système composé de 7 machines (mélangeur, compresseuse, blistéreuse, Etuieuse, étiqueteuse, macro doseuse, vignèteuse) en utilisant la technique des algorithmes génétiques.

Le programme MATLAB est conçu pour un intervalle de maintenance préventive variable, ce qui signifie que la périodicité est la même à chaque étape de maintenance préventive. Le tableau ci dessous présente l'exécution du programme pour 10 intervalles de maintenance préventive.

Tableau 0:Echéancier optimal de MP (Tp variable ; Bd=0.2066, cycle de vie : 21000(h))

°	Intervalle (Tp)	Temps de MP	Contenu de maintenance	La vie en unité de cout (Bmj)	La durée de prolongé (Tj)
	1632	1632	[1 2 2 1 1 1 2 1632]	2*e-6	1239
	1920	3552	[1 1 1 1 1 1 1 1920]	2.67*e-6	1390
	1968	5520	[1 1 1 2 1 2 1 1968]	2.67*e-6	1420
	2160	7680	[3 2 1 1 1 2 1 2160]	2.87*e-6	1764
	2256	9936	[1 3 2 1 1 2 1 2256]	3.05*e-6	1956
	2352	12288	[1 1 1 3 1 1 1 2352]	3.3*e-6	2184
	2160	14448	[2 1 1 1 1 2 1 2160]	2.89*e-6	1596
	2208	16656	[1 1 1 1 1 1 1 2208]	3.27*e-6	1776
	1968	18624	[1 1 3 1 1 1 1 1968]	1.91*e-6	804
0	2376	21000	[1 1 1 2 1 1 3 2376]	3.49*e-6	2652

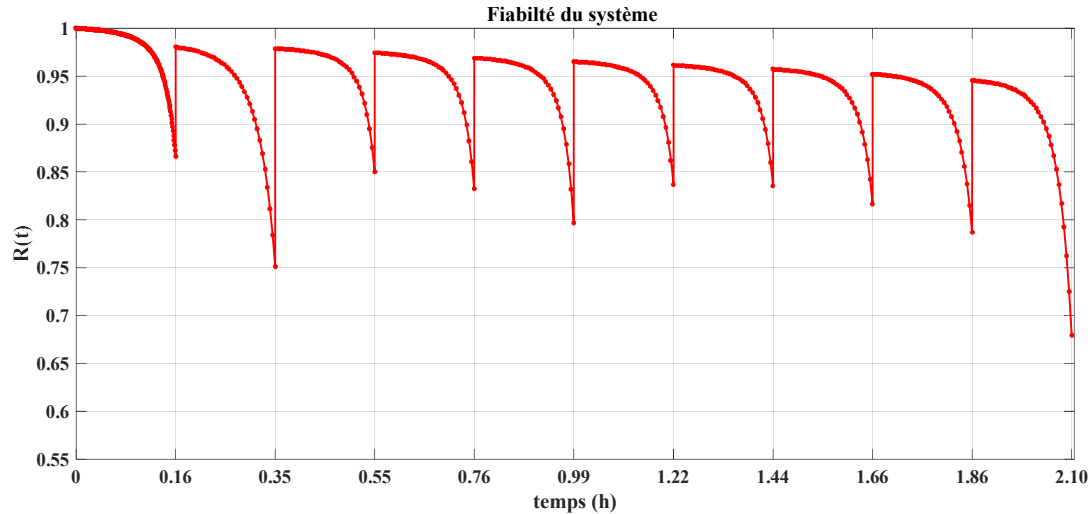


Figure 08: fiabilité de l'unité de prouction1

Après l'exécution du programme sous MATLAB, nous avons obtenu 6 intervalles de MP, où chaque étape de MP possède son propre intervalle T_p . Ces résultats ont validé plusieurs hypothèses et confirmé l'efficacité de notre approche.

Tout d'abord, l'hypothèse selon laquelle la durée de vie en unités de coût $B_{m,j}$ diminue progressivement à chaque étape de MP a été confirmée. Lorsque $B_{m,j}$ d'une étape de MP tombe en dessous de la valeur B_d , cela indique que le système n'est plus rentable à entretenir, et un changement du système devient plus avantageux.

De plus, notre deuxième hypothèse selon laquelle le changement de l'intervalle de maintenance préventive à chaque étape permet d'optimiser la périodicité et de gérer efficacement l'état de fonctionnement de chaque composant a été vérifiée. Les intervalles d'intervention préventive sont établis en fonction de l'état de chaque composant, afin d'assurer une meilleure fiabilité du système et de maximiser sa durée de vie en unités de coût.

Cet échéancier de MP spécifique, nous permet de planifier 6 étapes de maintenance, assurant une durée de vie du système de 21000 h heures (soit 2 ans et 5 mois). Cette planification est cruciale pour maintenir la fiabilité du système au-dessus de la valeur critique R_{min} de 0.8, sur une période de deux ans et demis.

IV.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a choisi de mettre la lumière sur le modèle de la politique de maintenance périodique avec remplacement pour des systèmes multi-composants, qui se base sur le concept de réduction de l'âge, car cette politique présente une remarquable efficacité en matière de réduction du taux de défaillance, par conséquent, le coût global de la maintenance. Cette politique nous permettait non seulement de minimiser le coût engendré par la maintenance, mais aussi de mettre en œuvre un échéancier de maintenance préventive qui assure le bon fonctionnement des composants du système étudié.

Globalement, on constate une efficacité de la méthode des algorithmes génétique. Ce type de technique est totalement adapté à l'utilisation dans le domaine d'optimisation en cherchant à minimiser une fonction quelconque et à plusieurs variables ce qui est démontré par les résultats satisfaisants fournis par cette méthode dans le cas étudié dans ce quatrième chapitre.

chapitre V

Mise en œuvre d'une GMAO pour l'entreprise HUPP Pharma

Chapitre V Mise en œuvre d'une GMAO pour l'entreprise HUPP pharma

V.1 Introduction :

À ce stade du processus, les cas d'utilisation ont été clairement définis, le problème a été analysé en profondeur et nous avons élaboré une conception adaptée aux besoins de l'application. Nous sommes maintenant prêts à passer à la phase de mise en œuvre.

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord la manière dont nous avons mis en ligne et validé notre application. Ensuite, nous survolerons les langages que nous avons utilisés pour sa réalisation. Comme un langage de programmation est étroitement lié aux outils et logiciels de programmation, nous donnerons une brève description de chacun d'entre eux.

Au final, nous aborderons les interfaces que nous avons développées.

V.2 Outils et langage de programmation :

V.2.4. Python :

Python est le langage de programmation open source le plus largement utilisé par les informaticiens. Il a connu une popularité croissante en tant que choix privilégié pour la gestion d'infrastructure, l'analyse de données et le développement de logiciels.

L'une des raisons principales de sa popularité est que Python permet aux développeurs de se concentrer davantage sur ce qu'ils font plutôt que sur la manière dont ils le font. Contrairement à certains langages plus anciens, Python élimine les contraintes de syntaxe complexes, ce qui permet aux développeurs de coder plus rapidement et plus efficacement.

Grâce à sa simplicité et à sa syntaxe claire, Python permet aux développeurs de traduire leurs idées en code fonctionnel plus rapidement que dans d'autres langages. Cette productivité accrue est un avantage précieux, car elle permet aux développeurs de consacrer davantage de temps à la résolution de problèmes et à l'innovation, plutôt qu'à des tâches fastidieuses liées à la syntaxe du langage.

En résumé, Python offre une expérience de développement plus fluide, permettant aux développeurs de créer du code de manière rapide et efficace, tout en se concentrant sur la résolution de problèmes et la création de solutions innovantes.

V.2.5. Visual studio code :

VS code est un éditeur de code open-source développé par Microsoft supportant un très grand nombre de langages grâce à des extensions.

Les fonctionnalités proposées par VS code sont nombreuses, en retrouve notamment :

- La prise en charge de plusieurs centaines de langage de programmation, tel que C, C++, CSS, HTML, Java, JavaScript, JSON, PHP, Python, Type Script...
- IntelliSense, une fonction de complétion intelligente du code.
- Un débogueur intégré, pour accélérer votre boucle d'édition, de compilation et de suppression des bugs.
- Une interface d'édition, qui intègre des raccourcis clavier, des sélections multiples, un enregistrement automatique de travail, une fonction rechercher/remplacer, le formatage du code source...
- Peek, une fonction qui permet de parcourir rapidement le code source et de naviguer entre les fichiers.
- Les commandes Git intégrées ainsi que la gestion du control des sources.

V.2.6. MySQL :

MySQL est un système de gestion de base de données relationnelle open source largement utilisé. Il est populaire pour sa facilité d'utilisation, sa performance élevée et sa fiabilité. MySQL est compatible avec plusieurs systèmes d'exploitation, ce qui le rend polyvalent et adaptable à différents environnements de développement.

MySQL offre une large gamme de fonctionnalités, notamment la prise en charge du langage SQL (Structure Query Language) pour la création, la modification et la récupération des données. Il prend également en charge les transactions ACID (Atomicité, Cohérence, Isolation, Durabilité) pour garantir l'intégrité des données.

MySQL est utilisé dans de nombreux domaines, tels que le développement web, les applications d'entreprise, les sites e-commerce, les systèmes de gestion de contenu (CMS), et

bien plus encore. Il est souvent associé à des langages de programmation tels que Python, PHP, Java, ou encore des Framework comme Django et Lagrave, pour faciliter l'interaction avec la base de données.

MySQL est disponible en différentes éditions, notamment MySQL Community Edition (gratuite et open source) et MySQL Enterprise Edition (avec des fonctionnalités avancées et un support technique). Il dispose également de nombreuses extensions et plugins pour étendre ses fonctionnalités et répondre aux besoins spécifiques des applications.

En résumé, MySQL est un système de gestion de base de données relationnelle populaire et fiable, utilisé dans de nombreux domaines. Il offre des fonctionnalités avancées, une performance élevée et une compatibilité avec diverses plateformes de développement

V.2.7. Environnement WampServer :

WampServer (anciennement WAMP5) est une plateforme de développement Web, permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. WampServer n'est pas en soi un logiciel, mais un environnement comprenant deux serveurs (Apache et MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi que PHPMyAdmin pour l'administration web des bases MySQL. Il dispose d'une interface d'administration permettant de gérer et d'administrer ses serveurs au travers d'un tray icône (icône près de l'horloge de Windows). Le serveur web « Apache » [23] est l'un des serveurs les plus réponsus sur internet et il est basé sur le protocole HTTP. L'objectif est de fournir, à un maximum de personnes et d'organisations, une plate-forme solide pour réaliser des tests et des applications de productions, son grand avantage est le fait qu'il fonctionne sur de nombreux systèmes d'exploitation dont Microsoft Windows, Linux, MySQL et PHP sont respectivement un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) et un langage impératif orienté objet.

V.3 Structure de l'application :

La structuration du logiciel consiste à bâtir l'architecture globale en organisant les différentes informations.

Après avoir interrogé le responsable maintenance de « Hupp pharma » pour leur souhait concernant la structure, il nous a donné une liberté, à condition qu'il soit fonctionnel et simple à utiliser.

Il s'agit dans un premier temps, de faire l'inventaire des contenus de logiciel, et de les regrouper par thématique afin de constituer des rubriques.

Dès lors que les principales rubriques sont identifiées, il nous a fallu alors déterminer leur organisation et leur découpage en sous-rubriques.

Schématiquement, nous aurons la « figure 5.1 » qui représente la structure de notre logiciel :

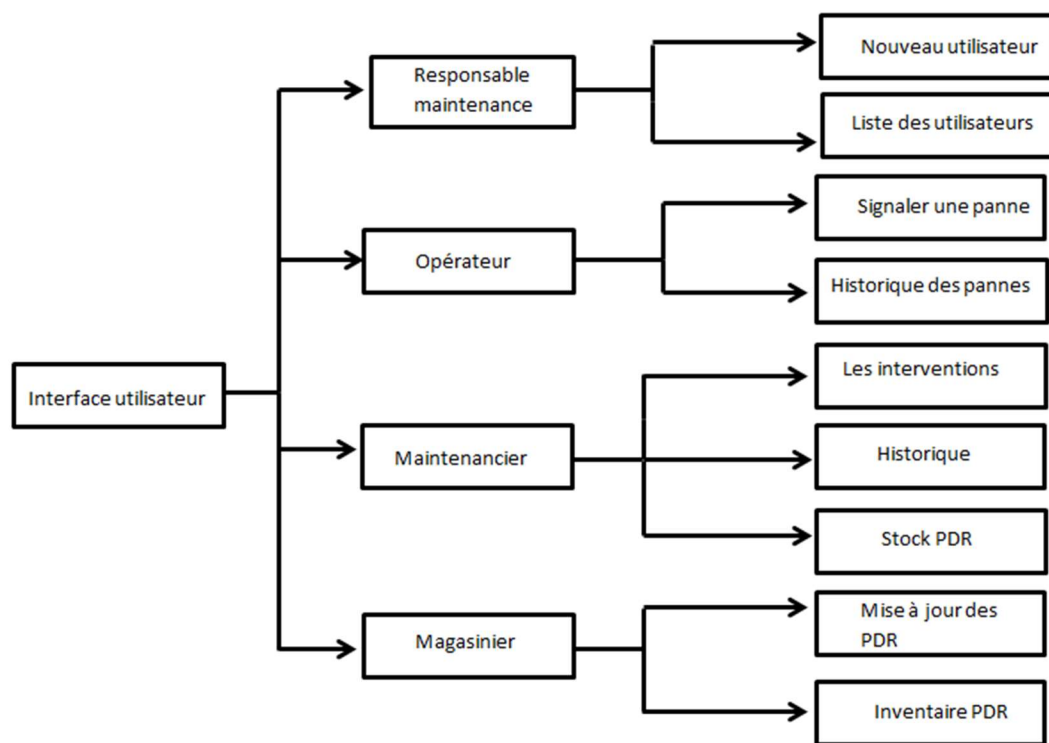


Figure 0-1:structure de logiciel

V.2.8. Présentation des interfaces de logiciel :

Nous allons présenter, dans ce qui suit, quelques exemples représentatifs de l'interface de notre logiciel.

Interface d'authentification :

Dans cette interface l'utilisateur fait entrer

- Nom d'utilisateur
- Mot de passe

On cas d'erreur un message d'erreur s'affichera :

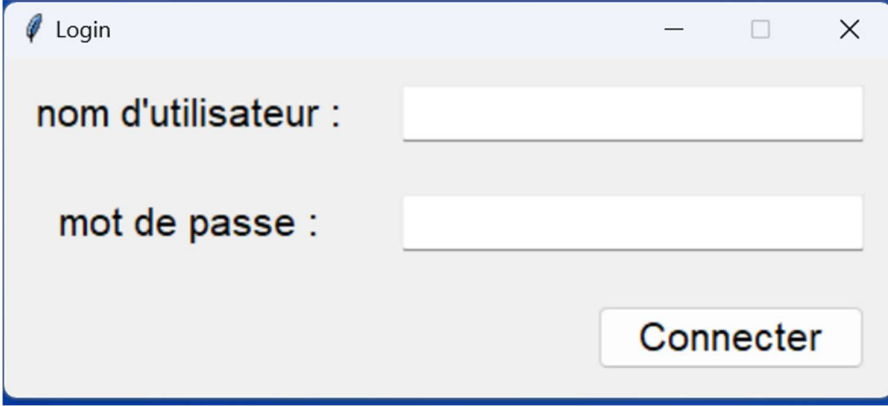
The image shows a web browser window titled "Login". Inside the window, there are two input fields. The first field is labeled "nom d'utilisateur :" and the second field is labeled "mot de passe :". Below these fields is a button labeled "Connecter". The window has a standard title bar with a minimize button, a maximize button, and a close button.

Figure 0-2:interface d'ethentification

Espace du responsable maintenance (Admin) :

Dans cette espace, lorsque le RM est connecté au logiciel, il peut choisir :

- La rubrique de création d'un nouvel utilisateur qui contient les champs suivants :
[Nom et prénom, Nom d'utilisateur, Mot de passe, Rôle].

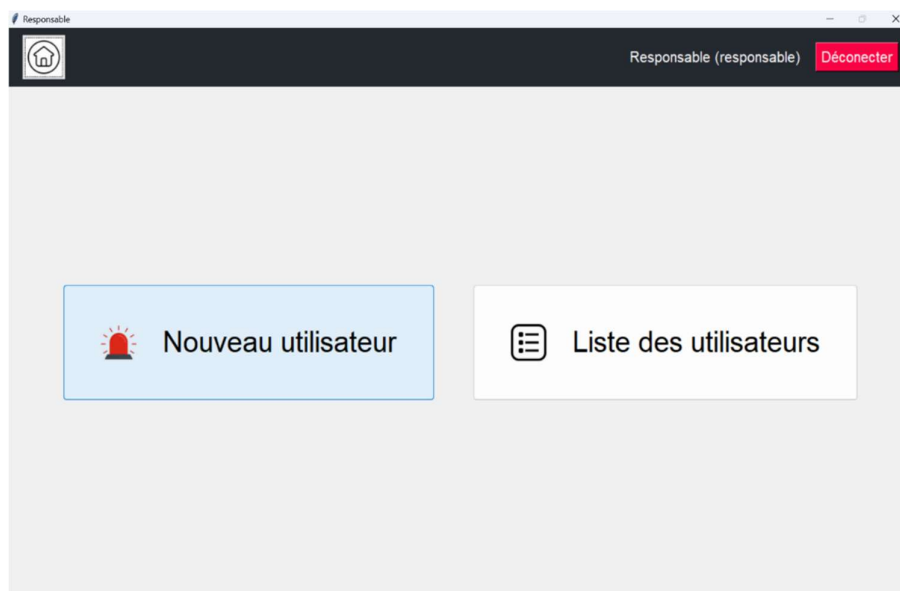
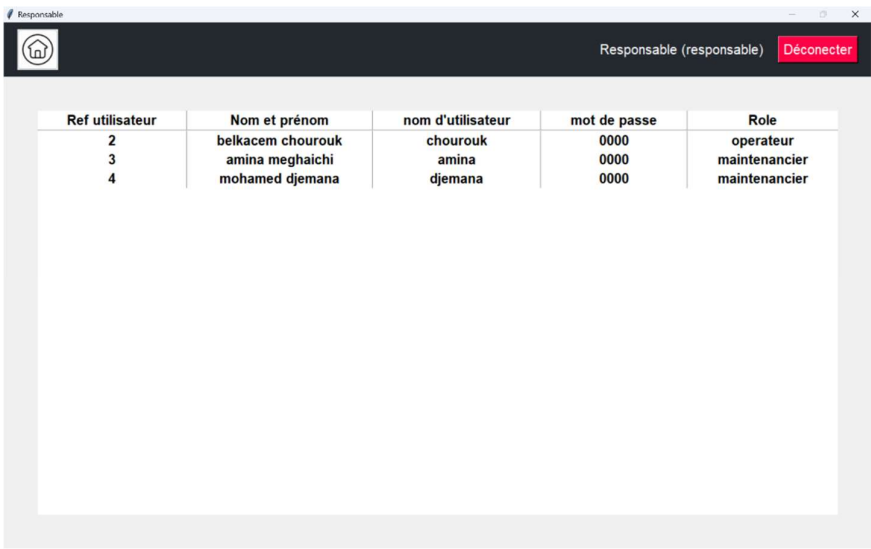


Figure 0-3:interface de responsable

A screenshot of the same web application interface, but now showing the form for adding a new user. The header bar remains the same. The main content area contains the following fields: 'Nom et prénom :' with the value 'mohammed djemana', 'Nom d'utilisateur' : with the value 'djemana', 'Mot de passe :' with the value '****', and 'Role :' with a dropdown menu showing 'maintenancier'. Below these fields is a blue 'Ajouter' button.

Figure 0-4:formulaire de nouveau utilisateur

- Consulter la liste de tous les utilisateurs qui contient les champs suivants :
[Référence utilisateur, Nom et prénom, Nom d'utilisateur, Mot de passe, Rôle].



The screenshot shows a web application window titled 'Responsable'. The header bar is dark with a home icon on the left and the text 'Responsable (responsable)' and a red 'Déconnecter' button on the right. The main content area displays a table with five columns: 'Ref utilisateur', 'Nom et prénom', 'nom d'utilisateur', 'mot de passe', and 'Role'. The table contains three rows of user data.

Ref utilisateur	Nom et prénom	nom d'utilisateur	mot de passe	Role
2	belkacem chourouk	chourouk	0000	operateur
3	amina meggaichi	amina	0000	maintenancier
4	mohamed djemana	djemana	0000	maintenancier

Figure 0-5:liste des utilisateurs

Espace de l’opérateur machine :

Cette espace est réservée pour l’opérateur machine qui peut faire ;

- Une demande d’intervention sur terrain, contient les champs suivants :

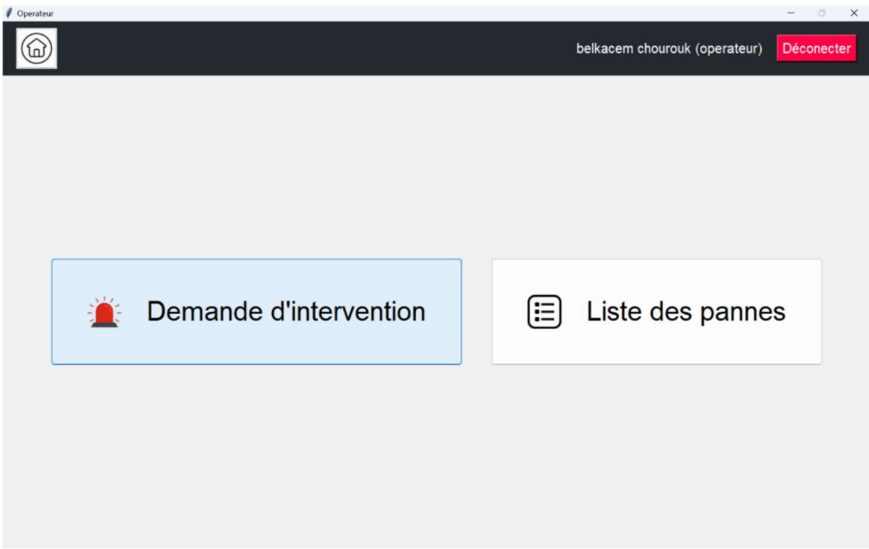


Figure V-6:interface operateur

L’entreprise est divisée selon des unités de production et des zones techniques définie dans l’interface suivante :

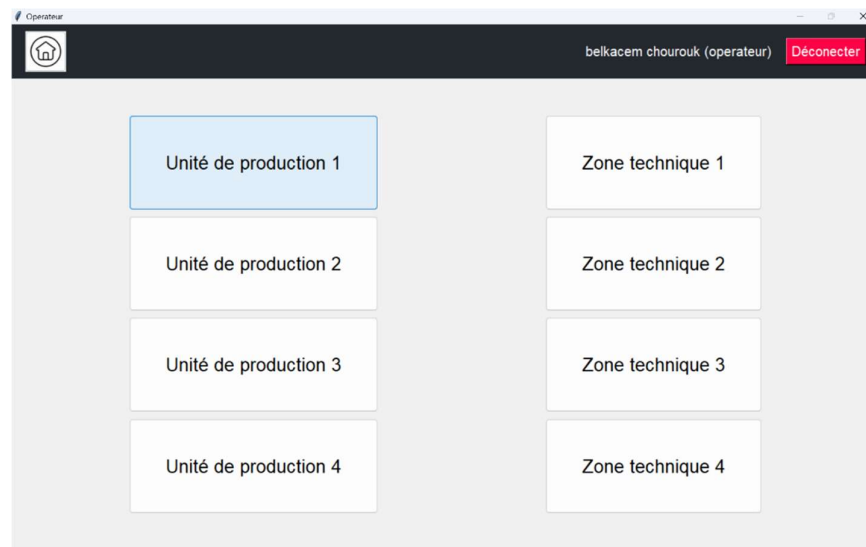


Figure 0-7: liste des unités

On suggère que la panne a eu lieu dans l'étiqueteuse

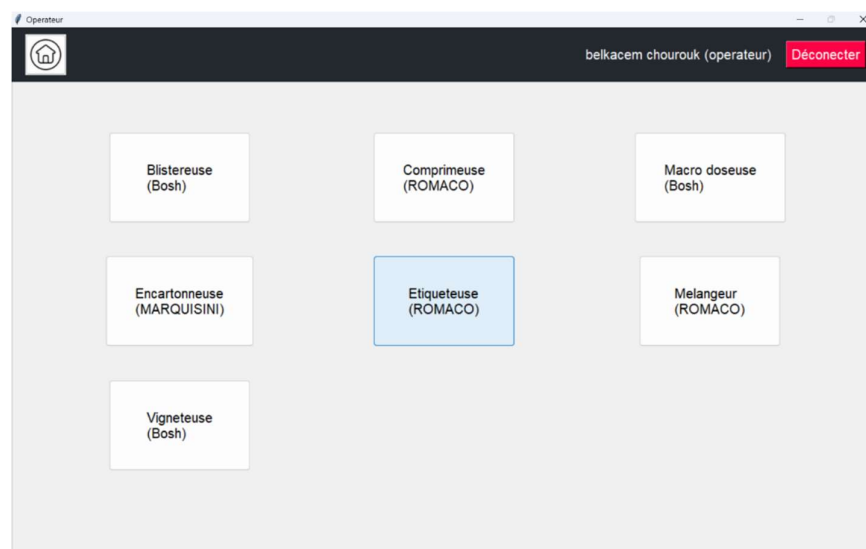


Figure 0-8: liste des machines

L’opérateur déclare la panne comme suit :

The screenshot shows a web application window titled "Opérateur". The header bar is dark with a home icon on the left, the user name "belkacem chourouk (operateur)" in the center, and a red "Déconnecter" button on the right. The main content area has a light gray background. It displays machine details: "Ref machine : D12E88", "Designation : Etiqueteuse", "Marque : ROMACO", and "Ref local : D12L35". Below this is a large text input field containing the text "probleme electrique". At the bottom center is a blue "Submit" button.

Figure 0-9: interface pour signaler une panne

La panne sera ajoutée automatiquement à la liste des pannes qui est considérée comme une fenêtre commune entre l’opérateur et le maintenicien

The screenshot shows a web application window titled "Maintenance". The header bar is dark with a home icon on the right, the user name "belkacem chourouk (operateur)" in the center, and a red "Déconnecter" button on the left. The main content area has a light gray background and contains a table with the following data:

Ref local	Ref machine	Designation	temps de rdpport
D12L35	D12E88	Etiqueteuse	2023-08-04 12:31:24
D12L34	D12E03	Comprimense	2023-08-04 12:31:28
D12L35	D12E88	Etiqueteuse	2023-08-03 12:14:34

Figure 0-10: liste des pannes signalées

Espace du maintenancier :

Cette interface est réservée pour le maintenicien responsable sur l’unité de production qui peut consulter et modifier ;

- La liste des pannes contient les champs suivants :
[Référence local, Référence machine, Désignation, temps de rapport, Opérateur].

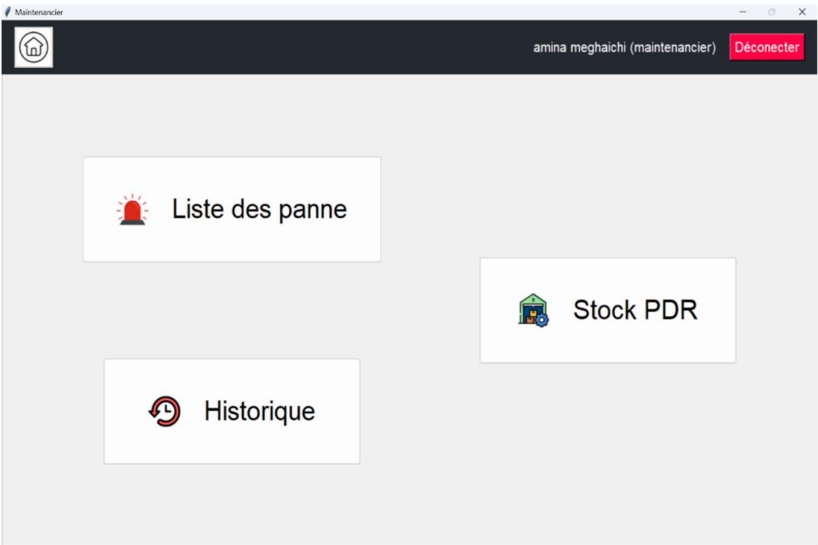


Figure 0-11: interface maintenancier

Ref local	Ref machine	Désignation	temps de rapport	user	
D12L25	D12E08	Blistereuse	2023-06-01 12:31:21	chourouk	details
D12L21	D12E03	Comprimeuse	2023-06-01 15:21:56	chourouk	details
D12L35	D12E88	Etiqueteuse	2023-06-03 12:14:34	chourouk	details

Figure V-12: : liste des pannes signalés (maintenancier)

- Un stock PDR contient les champs suivants :
[ID PDR, Désignation, Spécification, Genre, Type, Machine, Quantité].

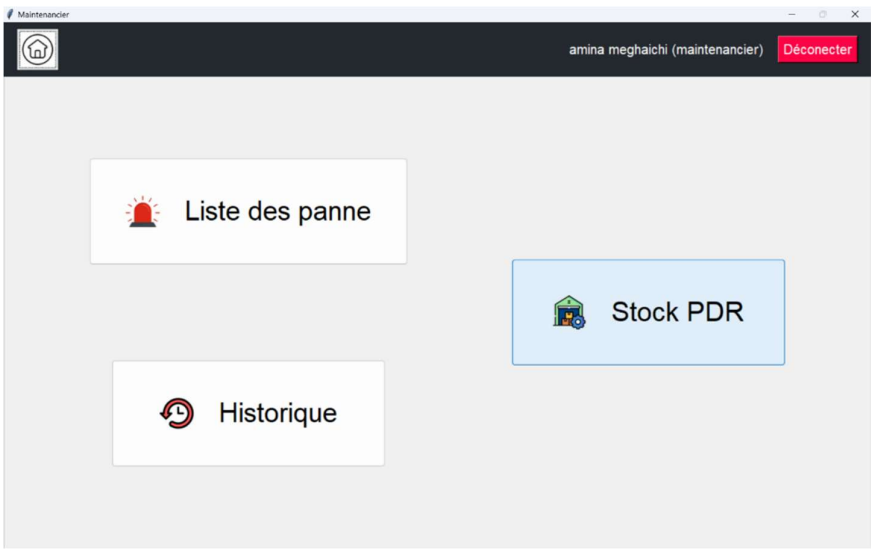


Figure 0-13: liste des stock PDR

ID PDR	Designation	Specification	Genre	Type	Machine	auantité ^
1	Mp teflon	8X600X600	consommable	mecanique	D12E03	2
2	Photo cellule	19G18	pdr	mecanique	D12E44	3
3	Reverts	1bt	consommable	mecanique	D12L26	1
4	Ressort	1bt	consommable	mecanique	D12E05	2
5	Cornier blanche	en aluminuim	pdr	mecanique	D12E06	3
6	Cable souple	300X2,5	consommable	electrique	D12E40	4
7	Sonde de flux électronique	EE75 VTB	pdr	electronique	D12E30	2
8	Thermometre a resistance	TR10C19	pdr	mecanique	D12E08	3
9	Arrache clou		outillage	mecanique	D12E88	5
10	Ram pour camera		pdr	electronique	D12E08	4
11	Joint torique		consommable	mecanique	D12E03	2
12	Dosing disk	size 2	pdr	mecanique	D12E04	10
13	Cone de remplissage		pdr	mecanique	D12E03	7
14	tourne vis testeur		outillage			4
15	escabo en inox		outillage		D12E24	1
16	jeux de brosse metalique		outillage			3
17	ventilateur pour moteur electrique		pdr	mecanique	D12L14	2
18	roulement		pdr	mecanique	D12L26	10
19	Carte alimentation	24v d6	pdr	electrique	D12E09	2

Figure 0-14: liste des pièces de rechange

- Un historique contient les champs suivants :
- [Machine, problème, Résolution, Type de panne, Les PDR utilisées].



Machine	Problème	Resolution	Type de panne	les PDR utilisés
Blistereuse	probleme de sertissage	ajustement de bras de sertissage	mécanique	
Etiqueteuse	probleme capteur	reglage de la sensibilité des capteurs	électrique	

Figure 0-15: historique des pannes

V.4 Conclusion :

Quelle que soit l'activité de l'entreprise, le service de maintenance industrielle a pour objectif de maintenir tous les équipements en bon état de fonctionnement. Cela garantit de meilleures conditions de travail, la disponibilité des équipements, le confort des employés, leur sécurité, tout en minimisant les coûts de maintenance. Les économistes considèrent généralement la maintenance comme une perte d'argent.

La dernière partie de ce chapitre était dédiée à la navigation dans l'application. Elle a pour objet de présenter l'environnement logiciel et matériel de réalisation. Elle a été clôturée par l'exposition des captures décrivant quelques interfaces de notre application.

Conclusion Générale

Dans le contexte actuel, où les demandes évoluent rapidement, la concurrence est intense et les exigences de maintenance sont élevées, il devient de plus en plus difficile de maintenir des performances optimales en utilisant des techniques obsolètes. Par conséquent, il est essentiel d'adopter la numérisation des systèmes et de se concentrer sur la recherche en optimisation de la maintenance. Dans cette optique, il est recommandé d'utiliser des algorithmes et des heuristiques qui prennent en compte les aspects dynamiques et stochastiques des affaires actuelles.

Les stratégies de maintenance adoptées visent principalement à réduire les coûts des opérations de maintenance et à améliorer la disponibilité du système de production à entretenir. À cet effet, il est crucial de minimiser les temps d'arrêt, ce qui peut être réalisé grâce à l'utilisation de logiciels de gestion facilitant l'exécution des tâches répétitives et la diffusion des informations entre les différents services.

Dans cette étude, nous avons travaillé sur la conception et la réalisation d'un logiciel de gestion de maintenance qui intègre des algorithmes génétiques dédiés à l'optimisation des tâches préventives. Nous avons d'abord réalisé une étude paramétrique pour évaluer l'impact des paramètres de Weibull sur le coût de la politique de maintenance préventive de remplacement en bloc. Ensuite, nous avons mis en œuvre une politique de maintenance préventive périodique basée sur le concept de réduction de l'âge, qui s'est avérée très efficace pour réduire le coût global de la maintenance.

Cette politique, basée sur le concept de réduction de l'âge, présente une grande efficacité pour prolonger la durée de vie des différents composants du système étudié. Elle permet non seulement de minimiser les coûts liés à la maintenance, mais aussi de mettre en place un calendrier de maintenance préventive garantissant le bon fonctionnement des composants du système étudié.

Pour conclure et en raison de l'efficacité de cette politique, nous envisageons de l'intégrer dans notre logiciel de GMAO afin de le rendre encore plus performant.

Références Bibliographiques

[1] AFNOR, French Standards NF X60-500, "Terminologie relative à la Fiabilité - Maintenabilité - Disponibilité", (1988)

[2] Bench-Capon, T. J., & Coenen, F. (1991). PRACTICAL APPLICATION OF KBS TO LAW: THE CRUCIAL ROLE OF MAINTENANCE. *KONINKLIJKE VERMANDE BV, LELYSTAD uitgeverssinds 1750*, 5.

[3] SALAH, O. (2018). *UTILISATION DE LA GMAO POUR LA PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila).

[4] Muron, O. (1980). Evaluation de politiques de maintenance pour un système complexe. *RAIRO-Operations Research*, 14(3), 265-282.

[5] Karmi, Y. 2016. Optimisation de la maintenance préventive par les algorithmes génétiques des turbocompresseurs de l'unité d'ammoniac "Fertial". Mémoire de master non publié, Université Badji Mokhtar-Annaba, Annaba

[6] Bris, R., Châtelet, E., & Yalaoui, F. (2003). New method to minimize the preventive maintenance cost of series-parallel systems. *Reliability engineering & system safety*, 82(3), 247-255.

[7] DE, I. P. D. S. Modélisation des paramètres de la sûreté de fonctionnement par des fonctions de Transfert: Application à la disponibilité.

[8] Kaffel, H. (2001). *La maintenance distribuée: concept, évaluation et mise en œuvre* (Doctoral dissertation, Université Laval).

[9] Cabarbaye, A., & Laulheret, R. (2005). Evaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes dynamiques par modélisation récursive. *Proc. QUALITA*.

[10] Thyron, P. (1964). Les lois exponentielles composées. *Association Royale des Actuaire Belges Bulletin*, 62, 35-44.

[11] Lesobre, R. (2015). *Modélisation et optimisation de la maintenance et de la surveillance des systèmes multi-composants-Applications à la maintenance et à la conception de véhicules industriels* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes). [page 31]

[12] Ferignac, P. (1962). Test de Kolmogorov-Smirnov sur la validité d'une fonction de distribution. *Revue de statistique appliquée*, 10(4), 13-14.

[13] Levitin, G., & Lisnianski, A. (2000). Optimization of imperfect preventive maintenance for multi-state systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 67(2), 193-203.

Références Bibliographiques

[14] Blum, C., Roli, A., & Alba, E. (2005). An introduction to metaheuristic techniques. *ParallelMetaheuristics: A New Class of Algorithms*, 47, 1.

[15] Loubiere, P. (2016). *Amélioration des métaheuristiques d'optimisation à l'aide de l'analyse de sensibilité* (Doctoral dissertation, Paris Est).

[16] Taillard, E. D. (2002). Principes d'implémentation des métaheuristiques. *Optimisation approchée en recherche opérationnelle*, 57-79

[17] Petrowski, A., & Hamida, S. B. (2014). Les algorithmes évolutionnaires.

[18] Vallée, T., & Yildizoğlu, M. (2004). Présentation des algorithmes génétiques et de leurs applications en économie. *Revue d'économie politique*, 711-745.

[19] Durand, N. (2004). *Algorithmes Génétiques et autres méthodes d'optimisation appliqués à la gestion de trafic aérien* (Doctoral dissertation, INPT).

[20] Park, D.H., Jung, G.M., Yum, J.K., 2000, "Cost minimization for periodic maintenance policy of a system subject to slow degradation", *Reliability Engineering and System Safety*, 68(2):105-112.

[21] G. S. Fishman "Monte Carlo, concepts, Algorithms and Applications" Springer-Verlag, New York, 1997.

[22] Samrout, M., Châtelet, E., Kouta, R., Chebbo, N., 2009, "Optimization of maintenance policy using the proportional hazard model", *Reliability Engineering and System Safety*, 94 (1): 44-52.

[23] Dekker, R., 1996, "Applications of maintenance optimization models: A review and analysis", *Reliability Engineering and System Safety*, 51(3):229-240.

Annex 1 : Annex des algorithmes

Programme d'exécution de l'algorithme génétique pour optimiser les activités et l'intervalle de politique de maintenance préventive de réduction de l'âge :

L'algorithme génétique

```

Editor - C:\Users\chour\OneDrive\Desktop\Algo_gen7machine7\Algo_gen7machine7\Algo_genetic_p3_test.m
Algo_genetic_p3_test.m x opt_Gene_VTPV_test.m x genetic.m x sym.m x crb_fia.m x Untitled.m x +
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ALGORITHME GENETIQUE POLITIQUE I %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  clear all
3  close all
4  clc
5  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%p%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6  format longEng
7  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
8  Np = 10; % taille de la population
9  Nb = ones(8,1)*8; % nombre de bits pour chaque chromosome
10 Pc = 0.8; % Probabilité de mutation
11 Pm = 0.002; % Probability de croisement
12 eta = 1; % learning rate
13 kmax = 10; % maximum d'itérations
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15 x01=[ones(7,1)' 80]; % estimation initiale
16 l=[ones(7,1) '*0 8 ]; % borne inférieur
17 u=[ones(7,1) '*3 350]; % borne supérieur
18 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

La Fonction de l'algorithme génétique :

```

Editor - C:\Users\chour\OneDrive\Desktop\Algo_gen7machine7\Algo_gen7machine7\opt_Gene_VTPV_test.m
Algo_genetic_p3_test.m x opt_Gene_VTPV_test.m x genetic.m x sym.m x crb_fia.m x Untitled.m x +
1 function [VC] = opt_Gene_VTPV_test(opt)
2 n=7;% nbre d'équipements
3 x=sym('x');
4 format shortEng
5 A0=[3.093496036178916e-10 1.690354592390258e-06 3.644297127852900e-06 1.233987886757256e-04 1.7747647287379
6 A1=[0.064817608214568 0.038661855906941 0.008164486044356 0.010894624585222 0.0599990049717193 0.03041905680
7 mi=[0.43 0.53 0.68 1.15 1.24 0.75 0.61];
8 KT=[ones(n,1)'];
9 alpha=0.8;
10 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
11 PT(1,1:8)=[1 2 2 1 1 1 2 68];
12 PT(2,1:8)=[1 1 1 1 1 1 1 80];
13 PT(3,1:8)=[1 1 1 1 1 1 1 80];
14 PT(4,1:8)=[3 2 1 1 1 2 1 90];
15 PT(5,1:8)=[1 3 2 1 1 2 1 94];
16 PT(6,1:8)=[1 1 1 3 1 1 1 98];
17 PT(7,1:8)=[2 1 1 1 1 2 1 90];
18 PT(8,1:8)=[1 1 1 1 1 1 1 92];

```

Annex2 :Test de validation de (KOLMOGOROV- SMIRNOV) :

Cas du Blistéreuse :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

Annex

TBF	R(t)	Fe(t)
16	0,8493	0,1506
32	041	959
48	0,7450	0,2549
64	8749	1251
80	0,6602	0,3397
96	0748	9252
112	0,5885	0,4114
128	4705	5295
144	0,5269	0,4730
160	2519	7481
176	0,4733	0,5266
192	1908	8092
208	0,4263	0,5736
224	0587	9413
240	0,3848	0,6151
256	2247	7753
272	0,3480	0,6519
288	4235	5765
304	0,2598	0,7401
320	899	101
336	0,2363	0,7636
352	8954	1046
368	0,2152	0,7847
384	4958	5042
400	0,1049	0,8950
416	1387	8613
432	0,0325	0,9674
448	3936	6064
464	0,0043	0,9956
480	6196	3804

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
-----	-------	-------	---

Annex

16	0,1481	0,1506	0,0025
32	4815	959	4775
48	0,2037	0,2549	0,0512
64	037	1251	088
80	0,3888	0,3397	0,0490
96	8889	9252	9637
112	0,5	0,4114	0,0885
128	0,5740	5295	4705
144	7407	0,4730	0,1009
192	0,6851	7481	9927
208	8519	0,5266	0,1585
224	192	8092	0427
352	0,7222	0,5736	0,1485
576	2222	9413	2809
992	0,7962	0,6151	0,1811
	963	7753	1876
	0,8518	0,6519	0,1998
	5185	5765	942
	0,8703	0,7401	0,1302
	7037	101	6027
	0,8888	0,7636	0,1252
	8889	1046	7843
	0,9259	0,7847	0,1411
	2593	5042	7551
	0,9444	0,8950	0,0493
	4444	8613	5832
	0,9629	0,9674	0,0044
	6296	6064	9768
	0,9814	0,9956	0,0141
	8148	3804	5655

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,\max} = 0,1998942$;

Donc : $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

Cas du macro-doseuse :➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
8	0,819402355	0,18059
16	0,726164955	7645
32	0,59807608	0,27383
40	0,549478478	5045
64	0,437889393	0,40192
72	0,408582985	392
152	0,224909551	0,45052
216	0,149960234	1522
632	0,01917848	0,56211
		0607
		0,59141
		7015
		0,77509
		0449
		0,85003
		9766
		0,98082
		152

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
8	0,155	0,1805	0,0254
16	1724	9764	2523
32	0,270	0,2738	0,0037
40	1149	3505	201
64	0,5	0,4019	0,0980
72	0,614	2392	7608
152	9425	0,4505	0,1644
216	0,729	2152	2101
632	8851	0,5621	0,1677
	0,787	1061	7445
	3563		

Annex

	0,844 8276	0,5914 1702	0,1959 3931
	0,902 2989	0,7750 9045	0,0697 3714
	0,959 7701	0,8500 3977	0,0522 5908
		0,9808 2152	0,0210 5141

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,\max} = 0,19593931$;

Donc : $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

Cas du compresseur :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
2	0,9631	0,0368
4	0883	9117
4,5	0,9281	0,0718
5	7081	2919
6,25	0,9196	0,0803
7	7444	2556
8	0,9112	0,0887
11	6731	3269
14	0,8906	0,1093
16	2626	7374
17	0,8784	0,1215
22,25	9125	0875
22,5	0,8625	0,1374
23,5	9205	0795
	0,8167	0,1832
	2822	7178

Annex

24	0,7734	0,2265
29	4628	5372
29,5	0,7459	0,2540
30	3478	6522
31	0,7325	0,2674
32	6385	3615
39,5	0,6663	0,3336
40	3279	6721
47,75	0,6633	0,3366
48	3771	6229
55,5	0,6514	0,3485
55,75	9539	0461
56	0,6456	0,3543
64	5604	4396
72	0,5901	0,4098
73	3573	6427
88	0,5848	0,4151
91,5	5983	4017
111	0,5796	0,4203
296	3218	6782
496	0,5693	0,4306
	1976	8024
	0,5591	0,4408
	948	052
	0,4888	0,5111
	8219	1781
	0,4845	0,5154
	2789	7211
	0,4218	0,5781
	584	416
	0,4199	0,5800
	7982	2018
	0,3673	0,6326
	9658	0342
	0,3657	0,6342
	6353	3647
	0,3641	0,6358
	3784	6216
	0,3158	0,6841

Annex

	0017	9983
	0,2739	0,7260
	392	608
	0,2691	0,7308
	1663	8337
	0,2062	0,7937
	447	553
	0,1938	0,8061
	4555	5445
	0,1372	0,8627
	947	053
	0,0053	0,9946
	4547	5453
	0,0001	0,9998
	6479	3521

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
2	0,0196	0,0368	0,0172
4	0784	9117	8333
4,5	0,0588	0,0718	0,0130
5	2353	2919	0567
6,25	0,0784	0,0803	0,0018
7	3137	2556	9419
8	0,0980	0,0887	0,0093
11	3922	3269	0653
14	0,1176	0,1093	0,0082
16	4706	7374	7332
17	0,1568	0,1215	0,0353
22,25	6275	0875	5399
22,5	0,2156	0,1374	0,0782
23,5	8627	0795	7833
24	0,2352	0,1832	0,0520
29	9412	7178	2234
	0,2549	0,2265	0,0283
	0196	5372	4824

Annex

29,5	0,3137	0,2540	0,0596
30	2549	6522	6027
31	0,3333	0,2674	0,0658
32	3333	3615	9718
39,5	0,3529	0,3336	0,0192
40	4118	6721	7397
47,75	0,3725	0,3366	0,0358
48	4902	6229	8673
55,5	0,3921	0,3485	0,0436
55,75	5686	0461	5225
56	0,4705	0,3543	0,1162
64	8824	4396	4428
72	0,4901	0,4098	0,0803
73	9608	6427	3181
88	0,5098	0,4151	0,0946
91,5	0392	4017	6375
111	0,5294	0,4203	0,1090
296	1176	6782	4394
496	0,5490	0,4306	0,1183
	1961	8024	3937
	0,5686	0,4408	0,1278
	2745	052	2225
	0,5882	0,5111	0,0771
	3529	1781	1748
	0,6274	0,5154	0,1119
	5098	7211	7887
	0,6470	0,5781	0,0689
	5882	416	1722
	0,6862	0,5800	0,1062
	7451	2018	5433
	0,7058	0,6326	0,0732
	8235	0342	7893
	0,7254	0,6342	0,0912
	902	3647	5373
	0,7450	0,6358	0,1092
	9804	6216	3588
	0,8039	0,6841	0,1197
	2157	9983	2173
	0,8431	0,7260	0,1170

	3725	608	7645
	0,8627	0,7308	0,1318
	451	8337	6173
	0,8823	0,7937	0,0885
	5294	553	9764
	0,9019	0,8061	0,0958
	6078	5445	0634
	0,9411	0,8627	0,0784
	7647	053	7117
	0,9607	0,9946	0,0338
	8431	5453	7021
	0,9803	0,9998	0,0194
	9216	3521	4305

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,\max} = 0,13186173$;

Donc : $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

c) Cas du l'encartonneuse :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
8	0,7401	0,2598
16	4859	5141
24	0,6164	0,3835
32	3771	6229
80	0,5279	0,4720
88	727	273
96	0,4593	0,5406
104	8947	1053
112	0,2328	0,7671
	8022	1978

Annex

	0,2110 7132	0,7889 2868
	0,1918 3723	0,8081 6277
	0,1747 8846	0,8252 1154
	0,1596 1036	0,8403 8964

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	$F_i(t)$	$F_e(t)$	D
8	0,3051	0,2598	0,0453
16	9481	5141	4339
24	0,3701	0,3835	0,0134
32	2987	6229	3242
80	0,5649	0,4720	0,0929
88	3506	273	0777
96	0,6298	0,5406	0,0892
104	7013	1053	596
112	0,6948	0,7671	0,0723
	0519	1978	1459
	0,7597	0,7889	0,0291
	4026	2868	8842
	0,8246	0,8081	0,0165
	7532	6277	1255
	0,8896	0,8252	0,0643
	1039	1154	9885
	0,9545	0,8403	0,1141
	4545	8964	5581

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,max} = 0,11415581$;

Annex

Donc : $D_{n,max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admis

Cas de l'étiqueteuse :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
8	0,9140	0,0859
16	7547	2453
24	0,7877	0,2122
32	0774	9226
48	0,6553	0,3446
72	6776	3224
96	0,5305	0,4694
	6327	3673
	0,3255	0,6744
	1365	8635
	0,1370	0,8629
	4579	5421
	0,0507	0,9492
	3919	6081

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
8	0,061	0,0859	0,0245
16	4035	2453	2102
24	0,324	0,2122	0,1122
32	5614	9226	6914
48	0,5	0,3446	0,1553
72	0,675	3224	6776
96	4386	0,4694	0,2060
	0,763		

Annex

	1579	3673	0186
	0,850	0,6744	0,0886
	8772	8635	7154
	0,938	0,8629	0,0120
	5965	5421	7702
		0,9492	0,0106
		6081	6432

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,\max} = 0,20600186$;

Donc : $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

Cas du mélangeur :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
8	0,8901	0,1098
24	6328	3672
32	0,7429	0,2570
96	9768	0232
112	0,6840	0,3159
232	6376	3624
	0,3792	0,6207
	9177	0823
	0,3309	0,6690
	7331	2669
	0,1276	0,8723
	8471	1529

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
8	0,109	0,1098	0,0004
24	375	3672	6172
32	0,265	0,2570	0,0086
96	625	0232	2268
112	0,421	0,3159	0,1059
232	875	3624	3876
	0,578	0,6207	0,0425
	125	0823	8323
	0,734	0,6690	0,0653
	375	2669	4831
	0,890	0,8723	0,0183
	625	1529	0971

Pour les matériels industriel on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,max} = 0,10593876$;

Donc : $D_{n,max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

Cas du Etuieuse :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
8	0,7549	0,2450
16	6778	3222
24	0,6534	0,3465
32	9642	0358

Annex

40	0,5815	0,4184
72	1005	8995
88	0,5252	0,4747
120	5283	4717
128	0,4791	0,5208
144	3447	6553
216	0,3514	0,6485
272	7555	2445
488	0,3076	0,6923
	1528	8472
	0,2419	0,7580
	299	701
	0,2287	0,7712
	9304	0696
	0,2054	0,7945
	5034	4966
	0,1330	0,8669
	9311	0689
	0,0987	0,9012
	9224	0776
	0,0375	0,9624
	1325	8675

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
8	0,25	0,2450	0,0049
16	0,2857	3222	6778
24	1429	0,3465	0,0607
32	0,5	0358	893
40	0,6428	0,4184	0,0815
72	5714	8995	1005
88	0,6785	0,4747	0,1681
120	7143	4717	0998
	0,7142	0,5208	0,1577

Annex

128	8571	6553	059
144	0,75	0,6485	0,0657
216	0,7857	2445	6126
272	1429	0,6923	0,0576
488	0,8214	8472	1528
	2857	0,7580	0,0276
	0,8571	701	4418
	4286	0,7712	0,0502
	0,8928	0696	2161
	5714	0,7945	0,0625
	0,9285	4966	932
	7143	0,8669	0,0259
	0,9642	0689	5025
	8571	0,9012	0,0273
		0776	6367
		0,9624	0,0017
		8675	9896

Pour les matériels industriels on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,\max} = 0,16810998$;

Donc : $D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admis

Cas du vignèteuse :

➤ Calcule de $F(t)$ « la fonction de répartition réelle»

TBF	R(t)	Fe(t)
24	0,9020	0,0979
40	5956	4044
104	0,8544	0,1455
112	0545	9455

Annex

192	0,7067	0,2932
392	0642	9358
492	0,6913	0,3086
744	4882	5118
	0,5617	0,4382
	1097	8903
	0,3528	0,6471
	9087	0913
	0,2844	0,7155
	4013	5987
	0,1702	0,8297
	1112	8888

➤ Calcule de $D_{n,max}$

TBF	Fi(t)	Fe(t)	D
24	0,0744	0,0979	0,0234
40	6809	4044	7236
104	0,1808	0,1455	0,0352
112	5106	9455	5652
192	0,2872	0,2932	0,0060
392	3404	9358	5954
492	0,3936	0,3086	0,0849
744	1702	5118	6584
	0,5	0,4382	0,0617
		8903	1097
	0,6063		
	8298	0,6471	0,0407
	0,7127	0913	2615
	6596	0,7155	0,0027
	0,8191	5987	9391
	4894	0,8297	0,0106
		8888	3994

Pour les matériels industriel on prend un risque d'erreur $\alpha = 0.05$;

D'après le tableau (voir annexe 3) : $D_{n,\alpha} = 0,294$;

Et d'après le tableau VII.3 : $D_{n,max} = 0,08496584$;

Donc : $D_{n,max} < D_{n,\alpha}$;

Par conséquent, l'hypothèse d'un modèle de Weibull est admise

Le diagramme d'activité :

Annex 2 : les Longages de modélisation UML

Le langage de modélisation unifié regroupe plusieurs sous-catégories de diagrammes, notamment les diagrammes de structure, les diagrammes d'interaction et les diagrammes comportementaux. Les diagrammes d'activités, ainsi que les diagrammes de cas d'utilisation et d'états-transitions sont considérés comme des diagrammes comportementaux, car ils décrivent ce qui doit arriver dans le système modélisé.

Les parties prenantes ont de nombreux problèmes à gérer ; il est donc important de communiquer avec clarté et concision. Dans une entreprise, les diagrammes d'activités aident les différents intervenants – côté commercial et côté développement – à collaborer pour comprendre un même procédé et un même comportement. Vous utiliserez un ensemble de symboles spécialisés – y compris ceux que l'on emploie pour commencer, terminer, fusionner ou recevoir des étapes dans le flux – pour faire un diagramme d'activités, ce que nous étudierons plus en détail dans ce guide du diagramme d'activités [1].

Le diagramme de classe :

Définition:

Le diagramme de classe, qui fait partie des diagrammes UML les plus pertinents pour la modélisation orientée objet, offre une description claire de la structure interne d'un système. Il permet de modéliser les classes, les attributs, les opérations et les relations entre les objets. Ce diagramme fournit une représentation abstraite des objets du système qui collaboreront pour accomplir les cas d'utilisation. Il s'agit d'une vue statique, excluant les aspects temporels du comportement du système.

Les classes :

Une classe représente un ensemble d'objets qui partagent des caractéristiques communes (attributs), des actions similaires (opérations ou méthodes) et des relations avec d'autres objets (associations et agrégations) [1].

Annex

Les attributs :

Un attribut représente une définition de données pour une instance d'un discriminant. Un attribut décrit un intervalle de valeurs pour cette définition de données. Un discriminant peut avoir un nombre quelconque d'attributs ou aucun [1].

le diagramme de classe :

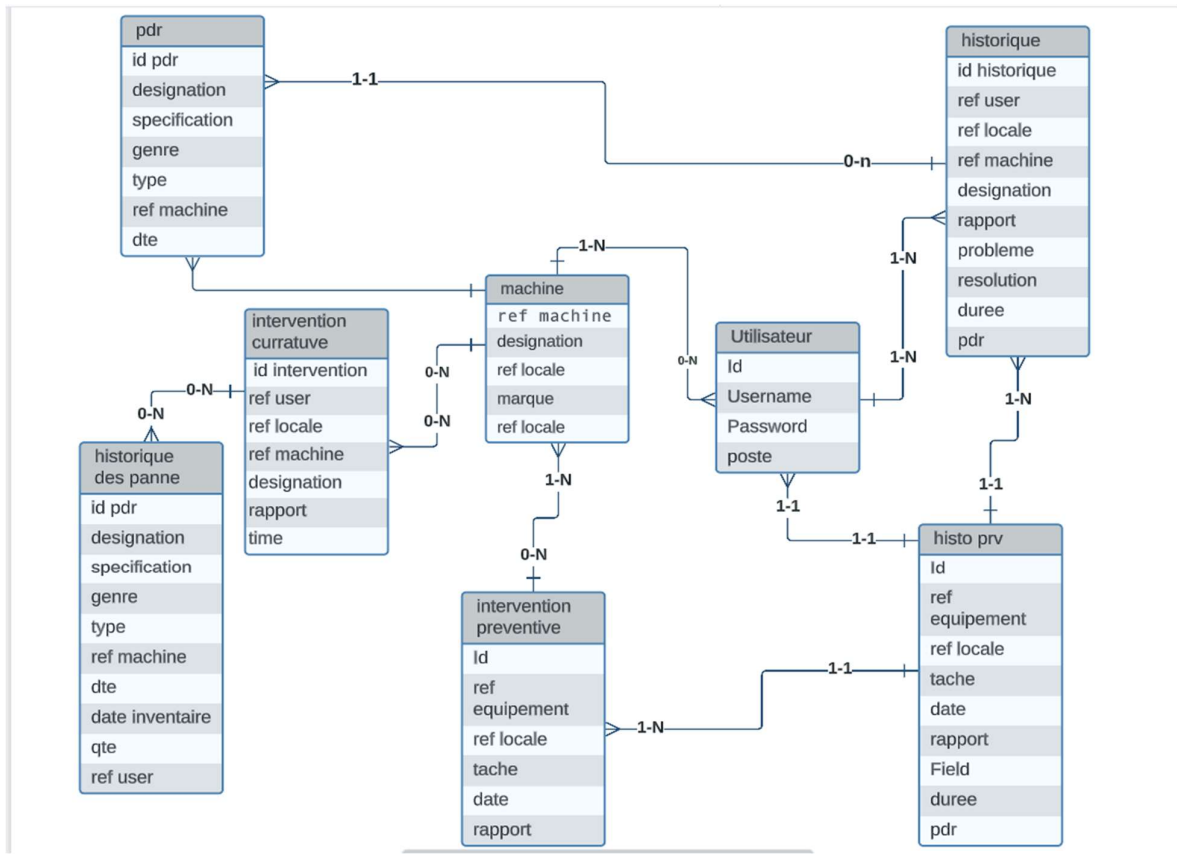


Figure: diagramme de classe

