



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والامن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en électromécanique

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine: Sciences et Technologie

Filière : Génie industrielle

Parcours : Master

Spécialité: Maintenance-Fiabilité-Qualité

Thème

Contribution à l'amélioration de la
maintenance prédictive dans l'industrie

Présente et soutenu par :

- BENGANA Aymen
- MANSEUR Ilias Abdel Karim

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Arbi Machiaa		Institut de maintenance et de sécurité industrielle	Président
Charef Djilali		Institut de maintenance et de sécurité industrielle	Examineur
Aouimer Yamina		Institut de maintenance et de sécurité industrielle	Encadreur

Année universitaire : 2023–2024

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Comme nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur madame AOUIMER Yamina qui a cru en nous, Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans votre aide. On vous remercie pour la qualité de votre encadrement exceptionnel, pour votre patience, rigueur et disponibilité durant la préparation de ce mémoire, milles merci madame

Nous remercions chaleureusement les membres de jury qui ont eu l'amabilité d'accepté d'évaluer notre travail.

Un grand merci à tous nos chers maitres durant notre cursus universitaire. Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous nos amis et collègues surtout ceux qui nos apporté un soutien moral.

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

- Ma mère, source d'inspiration et d'espoir, et mon père, modèle et exemplaire, pour m'avoir encouragé, poussé à atteindre l'idéal, et soutenu tout au long de mes études.

- Mes chères sœurs, mes chers frères.

- Toute ma famille, tous mes amis pour leur soutien moral, ainsi que toutes les personnes ayant aidé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire

AYMEN

Dédicace

À ALLAH Le tout puissant, le clément et le miséricordieux, gloire à lui, et à son prophète Mohamed que la paix et le salut éternel soit sur lui et ses disciples. Merci, de m'avoir donné la vie, la santé, et l'inspiration nécessaire pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

- A mon cher PAPA, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect. Son soutien constant a été pour moi une source indéniable de motivation et de réconfort. A ma chère MAMAN, la prunelle de mes yeux, qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

- A mes chères sœurs, je vous remercie pour vos conseils et vos encouragements constants tout au long de mon parcours académique.

-A mon cher frère, HACINE pour leur appui et leur encouragement.

- A tous mes profs durant mon cursus universitaire. Je vous en suis très reconnaissante. A toutes mes camarades de la promotion de 2019. A tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.

ILIAS

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I : Présentation Générale De L'usine Linde Gas Algérie

1.2 Historique de Linde..... 3

1.2 Présence de Linde dans le monde..... 3

1.3 Présentation de Linde Gas Algérie.....4

1.4 Présentation de site Linde gaz sidi bel Abbes.....5

1.5 Définition de l'acétylène.....7

1.6 caractéristique de l'installation.....14

1.7 Stockage et sécurité dans l'usine « Linde Gas ».....14

1.8 Consignes de la sécurité de chaque étape de production.....16

1.9 Conditionnement et remplissage des gazes.....16

CHAPITRE II : La Maintenance Predictive

I. Introduction.....22

2.1 Définition.....22

2.2 Les différents types de maintenance.....23

2.3 La maintenance prédictive.....23

2.4 La relation entre la maintenance et la fiabilité.....26

2.5 Divers outils de la maintenance prédictive.....26

2.6 Avantages de la maintenance prédictive par rapport à la
préventive.....27

2.7 Avantages de la maintenance prédictive pour accroître la productivité
de l'entreprise.....28

2.8 Importance économique de la maintenance prédictive.....28

2.9 Les services de maintenance prédictive en technique de surveillance.....	29
2.10 Conclusion.....	35
CHAPITRE III : Etude de la fiabilité de l'unité acétylène Linde GAS (SBA)	
Introduction.....	37
3 Etude de la fiabilité de l'unité acétylène Linde gas (SBA).....	38
3.1 Classement de TBF calcul $F(t_i)$	40
3.2 Estimation des paramètres de la loi Weibull (η, β, γ).....	40
3.3 Présentation générale de Minitab.....	40
3.4 L'environnement de Minitab.....	41
3.5 Examen de la feuille de travail.....	41
3.6 Représentation graphique des données.....	41
3.7 Etude de la loi de Weibull.....	42
3.8 Calcule fiabilité de l'unité C_2H_2 $R(t)$	46
3.9 La maintenance prédictive proposée sur l'entreprise (LINDE GAS SBA).....	46
Conclusion Générale.....	47
Bibliographie	

***LISTE
DES FIGURES***

Figure 01 : Linde gas a travers le monde.....	04
Figure 02 : Station linde gas algerie.....	04
Figure 03 : Complexe linde gas a sidi bel abbes.....	05
Figure 04 : L'organigramme de site de sidi bel abbes.....	06
Figure 05 : Activite linde gas site de sidi bel abbes.....	07
Figure 06 : La structure de l'acetylene.....	08
Figure 07 : Futs de carbure de calcium.....	08
Figure 08 : La benne.....	08
Figure 09 : La tremie du generateur.....	09
Figure 10 : L'armoire divisionnaire.....	09
Figure 11 : La vis distribution.....	10
Figure 12 : Le motoreducteur.....	10
Figure 13 : Le gazometre.....	11
Figure 14 : Schema de cycle de fabrication.....	14
Figure 15 : Remplissage des bouteilles.....	15
Figure 16 : Citernes mobiles.....	17
Figure 17 : Unite de stockage l'azote liquide.....	17
Figure 18 : Armoire electrique m1.....	18
Figure 19 : Schema procede et conditionnement d'azote ¹⁷	20
Figure 20 : Rechauffeur et soupape de la securite.....	20
Figure 21 : La rampe de remplissage.....	21
Figure 22 : Tableau de remplissage.....	21
Figure 23 : Les differents types de maintenance.....	23
Figure 24 : Representation graphique des amplitudes vibratoire ainsi que leur evolution dans le temps.....	24
Figure 25 : Suivi de l'evolution du defaut par la surveillance predictive.....	24
Figure 26 : La courbe on baignoire.....	25
Figure 27 : L'impact de la maintenance sur la fiabilite des equipements.....	26
Figure 28 : Optimisations de la politique de maintenance.....	29
Figure 29 : Les capteurs de vibrations.....	30
Figure 30 : Technologie d'imagerie thermique.....	31
Figure 30 : Plan de trivector ²⁸	33
Figure 31 : L'appareille de minilab.....	33

Figure 32 : Detecteur a ultrasons.....	34
Figure 33 : Appareil de mesure des vibrations sonores.....	34
Figure 34 : Pistolet de lubrification.....	34
Figure 35 . Ouverture d'une feuille de travaille.....	41
Figure 36 : Analyse de repartition.....	42
Figure 37 : Estimation des donnees.....	43
Figure 38 : Papier de weibull en logiciel minitab.....	44-45
Figure 39 : tableau des specifications 10816 iso.....	47
Figure 40 : identification des points d'installation des capteurs de vibrations.....	48
Figure 41 : transmetteur de vibration.....	48
Figure 42 : les composants de system plc.....	50
Figure 43 : l'appareille c21 lcpu siemenes.....	51
Figure 44 : structure du systeme plc propose.....	52
Figure 45 : l'ordre du programme.....	53
Figure 46 : instruction détalonnage.....	53
Figure 47 : instructions de comparaison.....	54
Figure 48 : tmail pour envoyer un e-mail.....	54

***LISTE
DES TABLEUX***

Tableau 01 : la variation de la pression en fonction de la température.....	13
Tableau 02 : Activité Maintenance du mois de (janvier-février-mars-avril).....	38
Tableau 03 : Activité Maintenance du mois de (mai-juin-juillet-aout).....	38
Tableau 04 : Activité Maintenance du mois de(septembre-octobre-novembre- décembre).....	39
Tableau 05 : Classement de TBF calcul F (ti).....	40

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction Generale :

La maintenance est un élément essentiel de l'industrie, crucial pour la durabilité des machines et des installations mécaniques ainsi que pour l'augmentation de la productivité des unités de production. L'évolution des équipements de production, avec des machines de plus en plus complexes et automatisées, a conduit à une nouvelle perception de l'importance de la fonction maintenance. Cette fonction a considérablement évolué et continue de le faire. La sécurité opérationnelle, l'optimisation des coûts de maintenance et la disponibilité des équipements ont un impact direct sur la compétitivité des unités de production. Les machines modernes, sophistiquées et avancées, nécessitent des stratégies d'entretien adaptées et souvent coûteuses. D'où la nécessité de développer et d'améliorer en permanence les programmes d'entretien.

Le premier chapitre présente un historique détaillé de Linde, décrivant son expansion mondiale et ses acquisitions majeures. Il se concentre ensuite sur la présence et les opérations de Linde Gas en Algérie, notamment à Sidi Bel Abbes, en expliquant le processus de production et de conditionnement de l'acétylène. Les consignes de sécurité et les procédures pour la manipulation et le remplissage des gaz sont également abordées.

Le deuxième chapitre traite l'importance de la maintenance industrielle, en détaillant ses différentes formes, notamment la maintenance corrective, préventive et prédictive. Il met en lumière les objectifs opérationnels et financiers de la maintenance, les outils technologiques utilisés, et les avantages de la maintenance prédictive pour améliorer la productivité et réduire les coûts. Le chapitre conclut sur l'importance croissante de la maintenance prédictive grâce aux avancées technologiques et son potentiel pour optimiser la gestion des actifs industriels.

Le dernier chapitre examine l'évolution de la maintenance industrielle, soulignant son importance accrue dans le contexte des avancées technologiques et des exigences du marché moderne. Il explore la transition des approches traditionnelles vers des stratégies de maintenance prédictive, particulièrement pertinentes pour maintenir la continuité des opérations et réduire les coûts. L'accent est mis sur l'application de technologies telles que les capteurs et les systèmes de contrôle programmés (PLC) pour anticiper les défaillances. Une étude de cas sur l'unité acétylène de Linde Gas SBA illustre l'efficacité de ces techniques en améliorant la fiabilité et la compétitivité des entreprises industrielles.

Chapitre I :
PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE
L'USINE LINDE GAS ALGÉRIE

1.1 Historique de Linde :

L'entreprise est fondée le 21 juin 1879 par Carl Von Linde. Elle ne s'implante aux États-Unis qu'en 1906, après une contestation sur le brevet de liquéfaction de l'air. En 1916, à la suite de l'entrée en guerre des États-Unis, Linde y perd ses activités, lesquelles sont acquises l'année suivante par Union Carbide.

En 1930, l'ingénieur Fränkel améliore le rendement du procédé Linde en substituant aux échangeurs à serpentin des « récupérateurs », échangeurs compacts constitués de feuilles enroulées en bobine, d'un métal thermiquement bon conducteur (cuivre ou aluminium). L'air, d'abord comprimé, est refroidi par échange jusqu'au point d'ébullition : cette étape suffit pour produire en quantité de l'oxygène liquide, mais le gaz doit ensuite être rectifié dans une colonne de distillation pour obtenir de l'azote liquide.

En 1996, Linde acquiert une équipe spécialisée dans les installations de gaz industriels de petites tailles.

En 2000, Linde acquiert l'entreprise suédoise Aga, présente en Europe du Nord et en Amérique du Nord et du Sud, pour l'équivalent de 2,3 milliards de livres sterling.

En 2006, Linde a racheté pour 8,2 milliards de livres la compagnie britannique BOC, spécialisée dans les gaz industriels. Pour financer cette acquisition, la division Manipulation de matériel (chariot élévateur dont Fenwick-Linde, techniques de stockage) a été séparée sous le nom Kion puis vendue pour 4 milliards d'euros à un consortium financier composé de KKR et de Goldman Sachs⁹.

En 2007, Linde acquiert 66 % des parts de l'entreprise algérienne de gaz industriels (ENGI) ; avec un engagement de construire trois unités de production de gaz industriels.¹

1.2 Présence de Linde dans le monde : (3)

The Linde group est une entreprise leader au niveau mondial dans le domaine des gaz industriels et médicaux, avec près de 50 000 salariés dans plus de 120 pays, la stratégie du groupe Linde est basée sur une croissance durable, dynamique est profitable. Les innovations sont au cœur des préoccupations du group et ce à l'effet de fournir à plus d'un million de clients dans le monde entier des solutions adaptées à leurs besoins.

Linde groupe, c'est aussi une attitude responsable face à ses partenaires commerciaux, ses collaborateurs ainsi que face à la société et à l'environnement et ce dans le monde entier, dans chaque domaine d'activité et sur chaque site de production.²

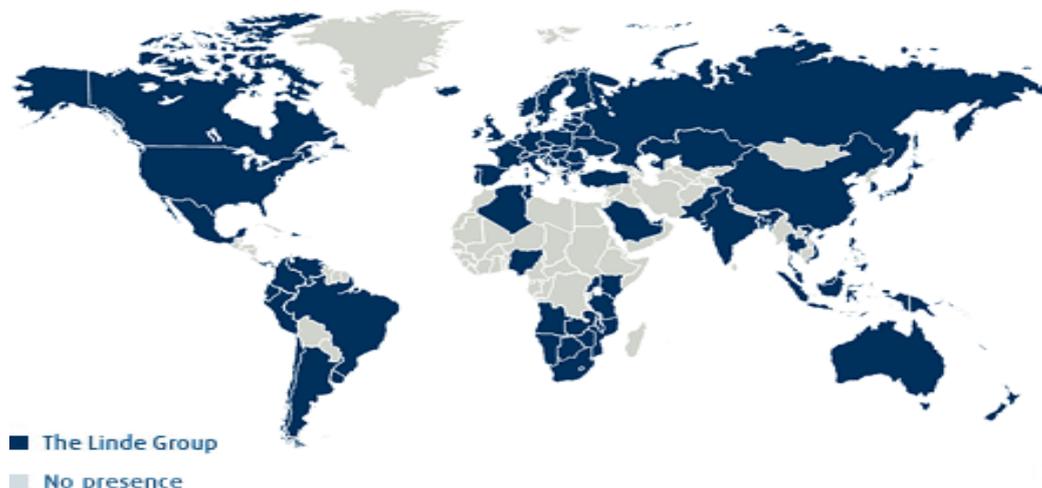


Figure 1. LINDE GAS à travers le monde

1.3 Présentation de Linde Gas Algérie : (3)

Linde Gas Algérie est le fruit d'un partenariat entre The Linde group et le groupe ACS, SPA du ministère de l'industrie et des mines.

Linde Gas Algérie est activement au niveau national avec 11 Unités de production et de conditionnement des gaz industriels et médicaux, renforcés par un réseau de plus d'une cinquantaine de concessionnaires et Agents agréés implantés sur tout le territoire national afin d'assurer une couverture de plus de 80 % du marché Algérien.³

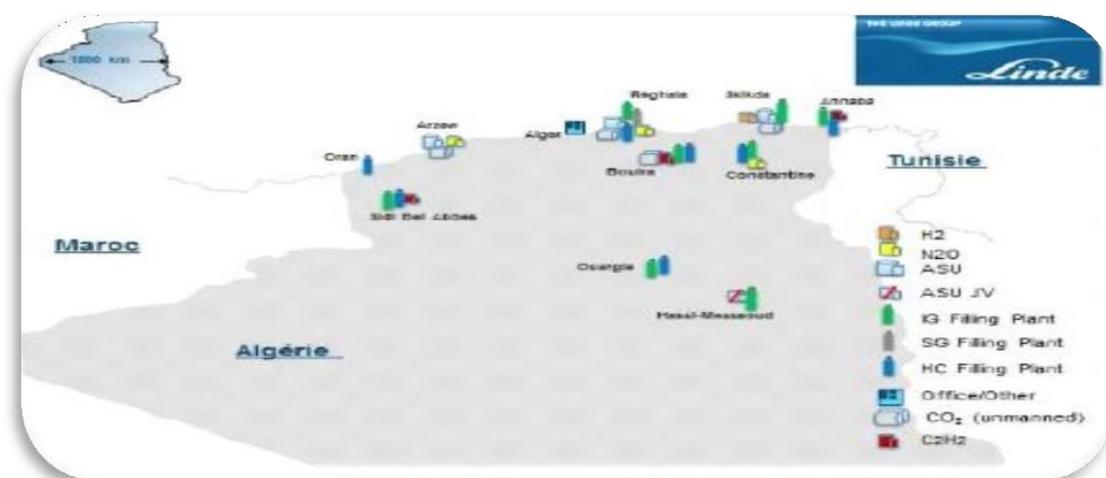


Figure 2. Station Linde Gas Algérie

Installée en 2007 en Algérie, LGA est une unité du groupe Allemand «The Linde Group», spécialisée dans la production, le conditionnement et la distribution des gaz industriels et médicaux.⁴

1.3.1 Mission de Linde Gas Algérie : (3)

A travers une gamme complète en Gaz industriels, Linde Gas Algérie, a pour objectif principal la prise en charge des besoins générés par la multiplication de l'utilisation de ces gaz dans divers secteurs économiques

suisant : santé, industrie, agroalimentaire, hydrocarbures, chimie.

Afin de garantir la qualité, la conformité et la sécurité des produits, Linde Gas Algérie, développe une politique Qualité d'amélioration continue des processus liés à la recherche, à la production, à la traçabilité des emballages et à la distribution des gaz. Cette politique de qualité est confirmée par un Système de Management Intégré, consolidé par les certifications ISO : ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO 22000 pour le management de la sécurité alimentaire, démarche HACCP dans l'agro-alimentaire.

Linde Gas Algérie, se consacre à sa mission principale, celle de garantir la qualité

1.4 Présentation de site Linde gaz sidi bel Abbes :

- Zone industrielle.
- Commune de Sidi Bel Abbes / DAIRA de Sidi Bel Abbes/WILAYA de Sidi Bel Abbes.
- Voisinage immédiat : Nord entreprise Group Chi Ali, Sud : STAB 2000, Est : marché hebdomadaire, Ouest ERWO.

1.4.1 Présentation générale de Linde Gas Algérie (LGA) :



Figure 3. Complexe LINDE GAS à SIDI BEL ABBES

1.4.2 Description de l'environnement de l'organisme :

A. Quatre murs de clôture :

- A l'Est se trouve la route départementale vers TILMOUNI.
- A l'ouest l'entreprise STRAB 2000.
- Au sud un sentier séparant l'unité du marché hebdomadaire de véhicules et de bestiaux.

Au Nord se trouve la route principale de la zone.

B. Surface :

- Total du site : 20010 m².
- Bâtie : 4000 m².

C. Effectif :

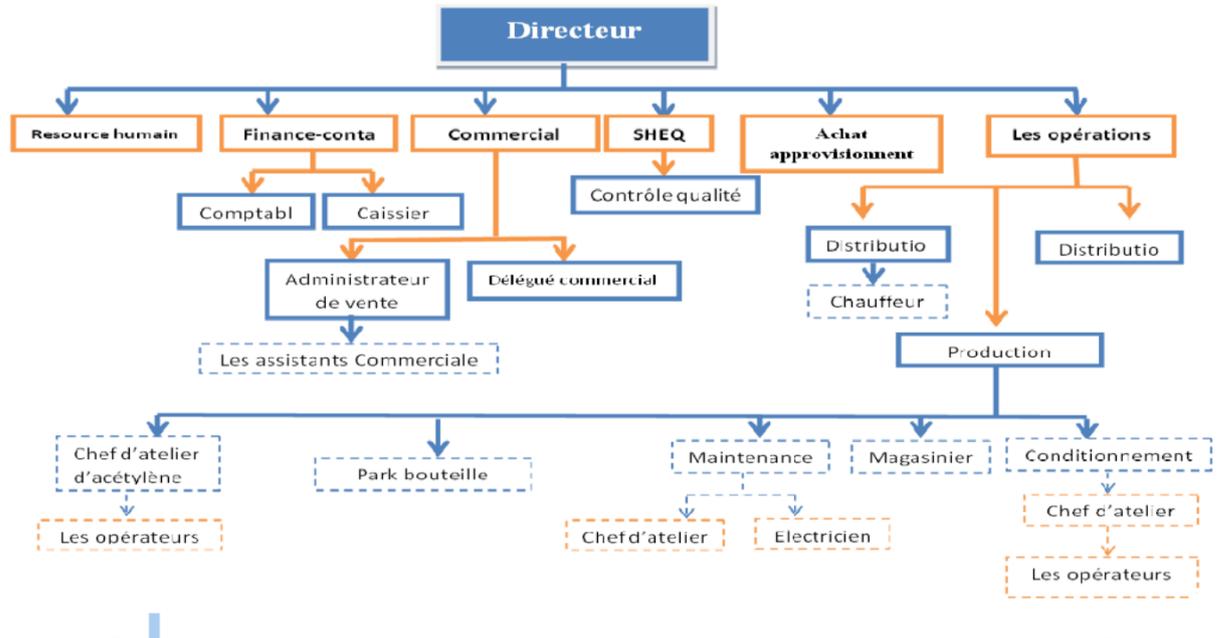


Figure 4. L'organigramme de site de Sidi Bel Abbès

D. Date de création : 2007

E. Activités : Production de C₂H₂ et le conditionnement des bouteilles et leur commercialisation.

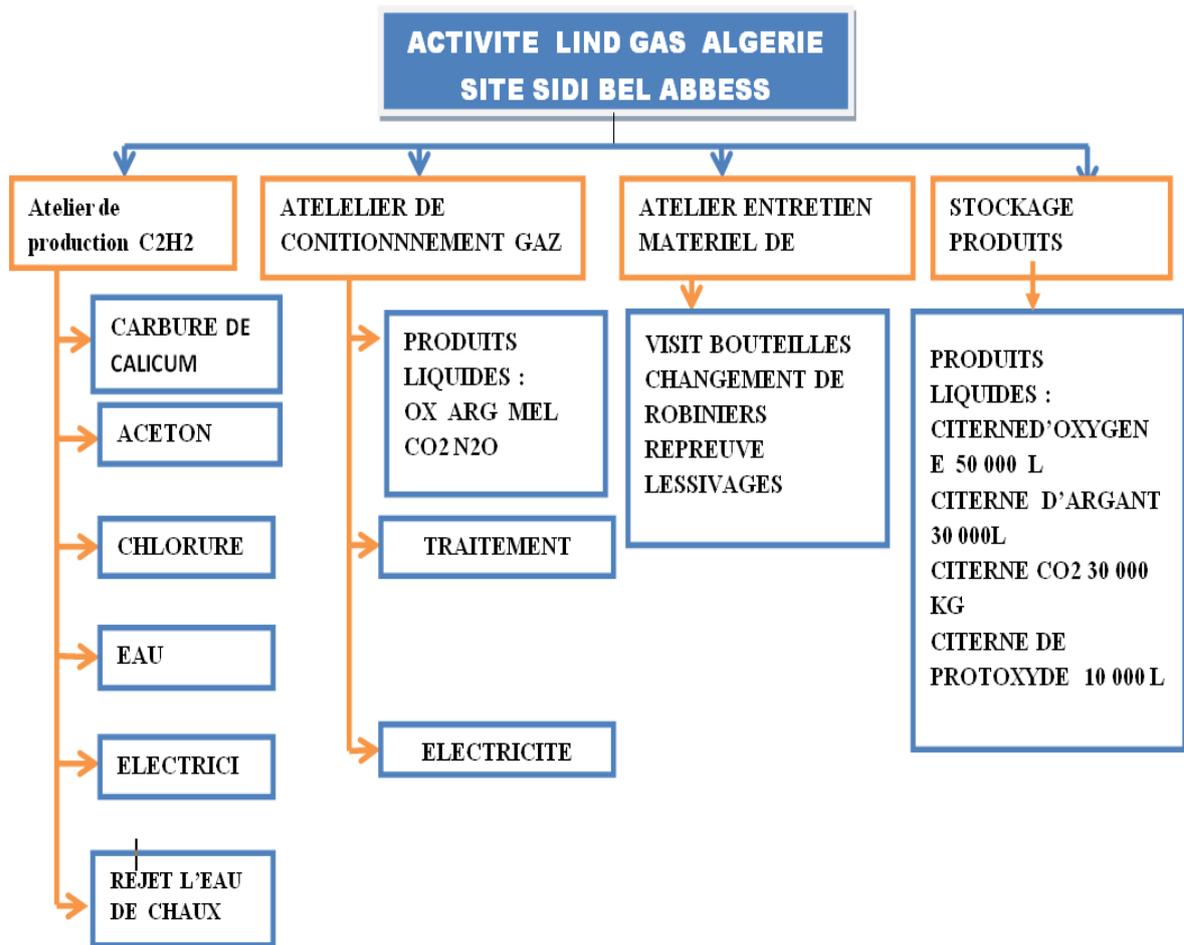


Figure 5. Activité LINDE GAS site de SIDI BEL ABBES

Parmi les taches de linde gas sidi bel abbés, la production de acétylène (C2H2) et conditionnement gaz (Argon, Oxygène ,CO 2,N2O..).

1.5 Définition de l'acétylène :

L'acétylène, ou plus officiellement l'éthyne, est un composé chimique aliphatique. Parmi les hydrocarbures non aromatiques, il est l'alcyne le plus simple. Le gaz acétylène, hautement inflammable, un peu plus léger que l'air et incolore, produit l'une des plus hautes températures de flamme adiabatique (3480 °C).⁶

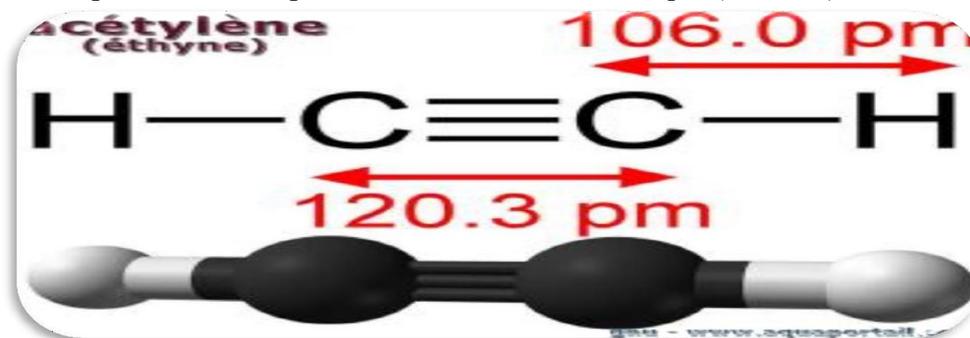


Figure 6. La structure de l'acétylène

1.5.1 Procédé de fabrication de l'acétylène en LINDE GAS :⁷

L'acétylène est produit par la décomposition du carbure de calcium (CaC_2) en présence d'eau (H_2O).

Le carbure de calcium réagit en présence d'eau suivant l'équation :



- C'est-à-dire que 36 g de carbure de calcium avec 64 g d'eau donnent naissance à 26 g d'acétylène et 74 g d'hydroxyde de calcium.

En tenant compte de la qualité du carbure de calcium et de sa granulométrie :

1 kg de carbure produit du 265 à 325 litre d'acétylène et qu'il dégage dans le même temps environ 400 kilocalories

- Dans la première étape de production d'acétylène on ouvre les futs de carbure de calcium (figure 7) de granulométrie 15/80mm et on les verse dans la benne (figure 8), les circuits d'acétylène et les éléments ayant été préalablement inertés à l'azote (qui est une molécule inerte et plus volatile que l'oxygène) pour éviter les petites flammes produites au cours de contacts (entre les pierres et la benne).



Figure 7. Futs de carbure de calcium



Figure 8. La benne

A l'aide de palan pneumatique (à moteur pneumatique) par hisser la benne de chargement et la placer sur la trémie du générateur (figure 9), l'ouverture de la trappe de chargement va provoquer l'ouverture de la vanne d'azote, et une nappe d'azote est établie dans la trémie du générateur. En cas d'absence d'azote à ce point le pressostat arrêtera la rotation de la vis carbure et déclenchera une alarme sonore et lumineuse au niveau de l'armoire divisionnaire (figure 10).

A l'aide de palan pneumatique (à moteur pneumatique) par hisser la benne de chargement et la placer sur la trémie du générateur (figure 9), l'ouverture de la trappe de chargement va provoquer l'ouverture de la vanne d'azote, et une nappe d'azote est établie dans la trémie du générateur. En cas d'absence d'azote à ce point le pressostat arrêtera la rotation de la vis carbure et déclenchera une alarme sonore et lumineuse au niveau de l'armoire divisionnaire (figure 10).



Figure 9. La trémie du générateur



Figure 10. L'armoire divisionnaire

Après transfert du carbure de calcium dans la trémie du générateur, on peut dégager la benne de chargement et refermer la trappe de chargement du générateur.

Dès cet instant la décomposition des morceaux du carbure de calcium qui tombent dans un panier tournant, immerger dans l'eau de la cuve au niveau de générateur (figure11) par la vis de distribution (la vis de carbure est commandée par le motoréducteur électrique antidéflagrant (figure 12), l'entraînement mécanique du panier comporte un agitateur qui brasse en permanence l'eau de décomposition du carbure. En contact de l'eau, le carbure de calcium se décompose en acétylène et en hydroxyde de calcium.



Figure 11. La vis distribution

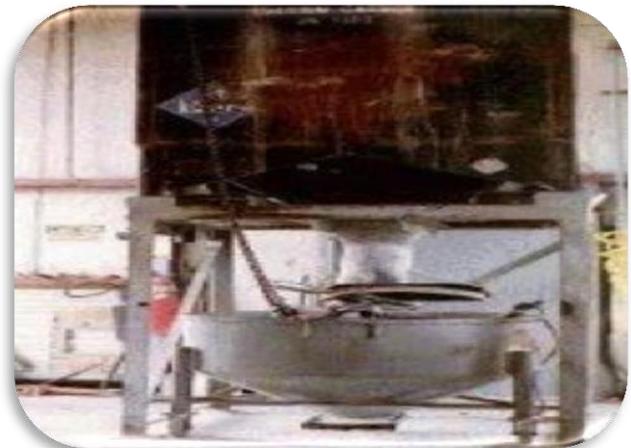


Figure 12. Le motoréducteur

La décomposition du carbure de calcium est une réaction exothermique, c.-à-d. quelle produit une certaine quantité de chaleur en conséquence, cette température.

Pour être au maximum de 80 °C un thermostat arrêtera la rotation de la vis carbure si cette température atteint 85 °C.

Cette augmentation anormale de température peut avoir deux causes :

- Soit un débit d'eau insuffisant

- Soit une température d'eau trop élevée

L'acétylène produit dans la cuve du générateur s'élève à travers le garnissage du laveur et est lavé à contre-courant de l'eau délivrée en pluie par les pulvérisateurs. Ce lavage a pour but de débarrasser l'acétylène des traces de chaux qu'il contient.

La pression dans la cuve du générateur est limitée à 0.035 bar maximum par la hauteur d'eau 350 mm établie dans la soupape hydraulique en cas de surpression l'excès d'acétylène est automatiquement mis à l'air à travers l'indicateur de débit qui permet de visualiser le fonctionnement de la soupape.

gaz en l'appel la garde hydraulique. Après avoir traversé l'intercepteur hydraulique l'acétylène est canalisé vers le gazomètre.

Le gazomètre (figure13) est équipé de 3 contacteurs de niveau enclenchés ou déclenchés par le déplacement de la cloche en fonction du volume d'acétylène en tampon, le contacteur s'enclenche lorsque le volume stocké est très bas 'cloche atteignant son volume tampon minimum admis (environ 2.5 m³) entraîne l'arrêt du compresseur et déclenche une alarme sonore et lumineuse au niveau de l'armoire divisionnaire les 2 autres contacteurs commandent respectivement l'arrêt et la remise en service la vis à carbure du générateur par l'intermédiaire de son motoréducteur. ce sont en fait les contacts de régulation de la production

Un tube d'évacuation d'acétylène à l'atmosphère complète l'équipement du gazomètre qui met à l'air le surplus de débit lorsque le volume stocké atteint 15 m³.⁸

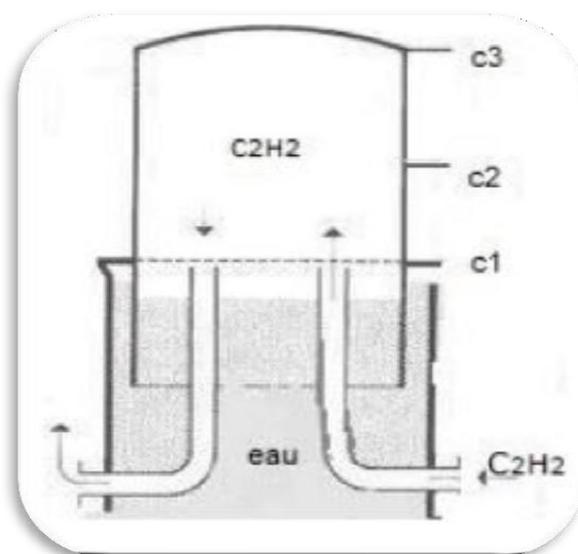


Figure 13. Le gazomètre

En sortie du gazomètre l'acétylène est canalisé vers la colonne de lavage à l'eau (deuxième lavage) et traverse le garnissage de la colonne sur lequel

ruisselle un débit d'eau propre.

Ce lavage a l'eau a pour but d'élimination les traces d'ammoniaque qu'il contient et d'autre part de le refroidir l'acétylène traverse dans la partie haute un garnissage destine à arrêter les particules d'eau entraines par effet vésiculaire la colonne est protégée contre une surpression éventuelle par la soupape hydraulique ayant une garde d'eau de 350 mm.

Après passage dans la colonne de lavage l'acétylène traverse l'échangeur ou elle va être refroidie à contre-courant d'une circulation d'eau. Refroidie dans le groupe à eau froide. La température de l'acétylène est alors lue à un thermomètre.

En sortie de cet échangeur l'acétylène peut être dirigé directement vers le compresseur.

1.5.2 Compression d'acétylène :

Le groupe compression est constitué d'un compresseur et ses réfrigérants, un séparateur, déshuileur et un sécheur.⁹

Les opérations de production d'acétylène sont réalisées sous très basse pression 0.03 Bar environ. Il est donc nécessaire de procéder à la compression de l'acétylène

Pour réaliser son conditionnement en bouteilles.

La compression de l'acétylène exigé, pour pouvoir être effectuée sans danger, que certaines précautions soient prises dans la construction des machines.

1.5.3 Les compresseurs d'acétylène :¹⁰

Les compresseurs d'acétylène sont des compresseurs volumétriques à pistons verticaux.

Bien que l'échauffement de l'acétylène, par la compression adiabatique soit inférieur à celui de l'air, la compression est assurée en plusieurs étages de manière à limiter les rapports de compression à 5 au maximum et à procéder à la réfrigération de l'acétylène entre étages par des réfrigérants à l'eau, de manière à tendre vers une compression isotherme et d'abaisser la température finale.

Les compresseurs d'acétylène sont des machines lentes (60 à 250 t/mn). Toute modification brutale des conditions d'équilibre de ce gaz devant être proscrite.

En effet, il est nécessaire de comprimer l'acétylène à une pression supérieure à la pression autorisée dans les bouteilles pour vaincre la résistance opposée par les solvants à sa dissolution.

La pression d'acétylène disponible à l'aspiration du compresseur est contrôlée par un manomètre à eau et pressostat si cette pression est inférieure à 0.010 bars (100 mm de colonne d'eau).

➤ Le premier étage de compression :

L'acétylène sous basse pression est admis dans de compression ou il est

comprimé jusqu'à la pression de 2 à 2.2 bars traverse le serpentin de réfrigération immergé dans le bac a eau ou il est refroidit au contact de l'eau en circulation d'eau qui est purgée régulièrement par la purge.

➤ **Le deuxième étage de compression :**

L'acétylène est comprimé jusqu'à la pression de 7.8 à 8.2 bars, traverse le serpentin de réfrigération immerge dans le bac a eau après refroidissement l'acétylène traverse le séparateur d'eau ou il va déposer l'eau condensée par le refroidissement.

➤ **Troisième étage de compression :**¹¹

L'acétylène est comprimé a la pression de 25 bar et traverse le serpentin de réfrigération immergé dans le bac a eau donc il refroidit au contact de l'eau en circulation

Le débit traité par le compresseur est en fonction de la vitesse de rotation sélectionnée au niveau de l'armoire électrique de commande du moteur.

En sortie du troisième étage du compresseur et refroidissement, la température étant contrôlée par un thermomètre et la pression par un manomètre qu'il est placé un pressostat chargé de limiter la pression maximale de compression en fonction de la température réglée par le thermostat chargé de limiter la températures minimale à 12 0C le réglage de la limite de compression étant fixe par les valeurs du tableau ci-dessous .

T Ambiante (C°) -	-30	-20	-10	0	+10Et au-dessus
Pression (bar)	8	10	15	20	25

Tableau 1 : la variation de la pression en fonction de la température

1.5.4 Déshuilage-séchage :

Après compression l'acétylène est chargé de trace d'huile de lubrification du compresseur et saturé de vapeur d'eau a la pression et à la température considérée.

Pour éliminer les traces d'huile entrainées, l'acétylène traverse un déshuileur spécifique appelé « déshuileur » ou « séparateur d'huile » par un système de décantation c'est-à-dire que l'huile déposé au fond du déshuileur et l'acétylène sorte au-dessus de déshuileur.

Après déshuilage l'acétylène traverse un sécheur garni de chlorure de calcium qui piège l'humidité de l'acétylène.

Les autres matières adsorbants telles que gel de silice, alumine actives sont formellement interdites pour des raisons de sécurités en présence d'acétylène Ces deux éléments (déshuileur et sécheur) sont disposés à l'intérieur d'un blockhaus (mur en béton armé destiné à la protection du personnel en cas d'accident.

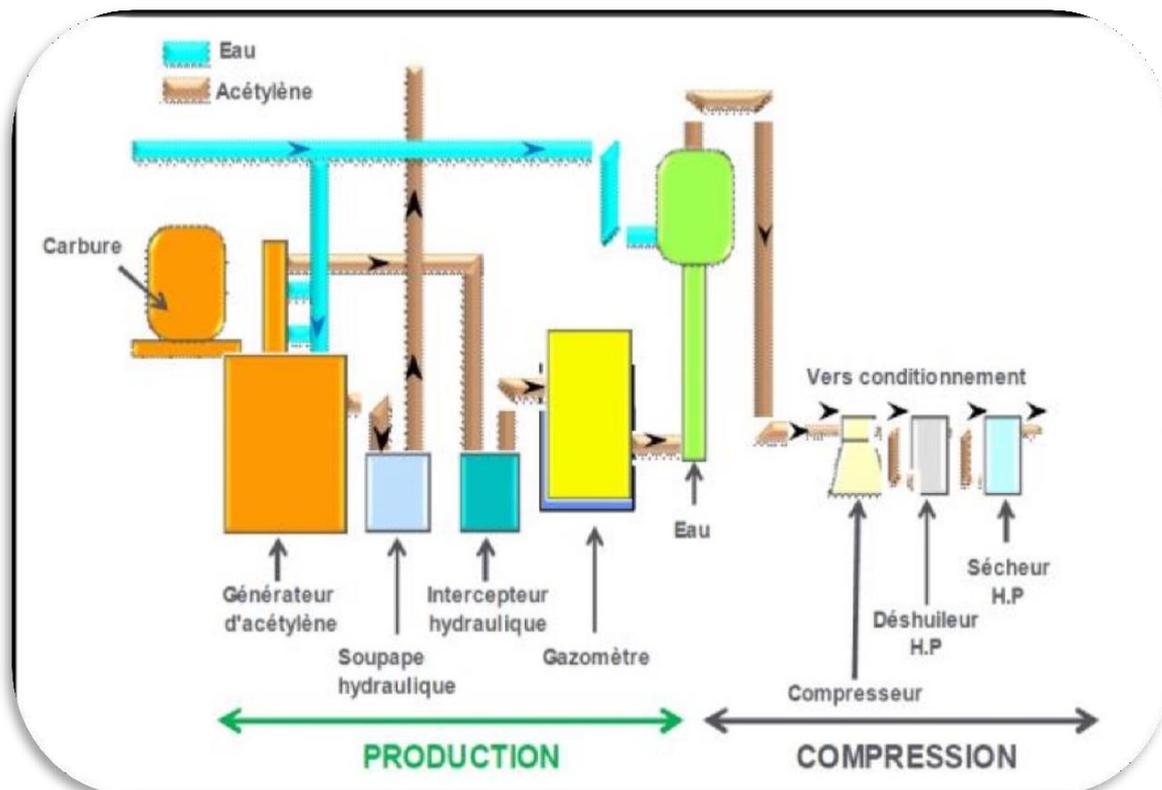


Figure 14. Schéma de cycle de fabrication

1.5.5 conditionnements :¹²

Une installation de fabrication d'acétylène destinée au remplissage de bouteilles est complétée par un certain nombre de rampes de remplissage permettant de remplir un nombre minimum de bouteilles en fonction du débit du compresseur.

L'installation de conditionnement est complétée par des rampes de décharge permettant la vérification des bouteilles venant en remplissage un ou plusieurs postes de rédosage de l'acétone des bouteilles avant leur remplissage.

1.6 Caractéristique de l'installation :

L'installation est capable de produire dans la condition de garantie :

- 96 m³ /h (aux conditions d'aspiration du compresseur) de l'acétylène.
- Autre condition contractuelle :
 - Temps de remplissage : >7 heures
 - Consommation d'eau : 5 m³ /h (moyenne)
 - Consommation électrique : 1 kWh/m³ de C₂H₂

1.7 Stockage et sécurité dans l'usine « Linde Gas » :¹³

1.7.1 Stockage :

L'acétylène n'est pas comprimé dans des cylindrique creux comme l'oxygène, l'argon, l'azote, etc.... mais est dissous dans l'acétone qui imprègne une matière poreuse qui garnit l'intérieur des bouteilles.

En conséquence avant de procéder au remplissage d'une bouteille il est nécessaire de s'assurer d'une part de l'état du garnissage de matière poreuse et d'autre part de la quantité d'acétone encore contenue dans la bouteille.

1.7.2 Remplissages bouteilles :

La dissolution de l'acétylène dans l'acétone provoque une réaction exothermique et le temps de remplissage ne doit pas être trop rapide. Pour le débit normal de l'installation de 96 m³ /h et pour obtenir un temps de remplissage d'environ 7 heures il est nécessaire de remplir 150 bouteilles à la fois.

Ces 150 bouteilles préalablement conditionnées par radotage-jaugeage sont raccordées à l'aide des flexibles à étiers aux prises à de 5 rampes. 20 de ces bouteilles ont été pesées et leur tare notée à la craie sur le corps. Ces bouteilles sont installées sur les prises de rampe équipées de robinet d'arrêt. Ces robinets d'arrêt permettent en cours de remplissage de vérifier la charge des bouteilles témoin par pesage en les isolants de la rampe.

Chaque rampe est isolée, par demi-rampe, du circuit de distribution et protégée par un arrêt d'explosion capable d'un débit de 50m³ /h, chaque prise de flexible est protégée par un arrêt d'explosion, capable d'un débit de 4 m³ /h

Des robinets permettent de décompresser chaque demi-rampe en récupérant l'acétylène au niveau du gazomètre. Il y a des autres robinets de purge sont utilisés pour l'inertie de l'azote des rampes.

Les extrémités de purge de chaque demi-rampe sont protégées par des arrêts d'explosion capable d'un débit de 15 m³ /h.

Chaque rampe est équipée d'un dispositif d'arrosage par pulvérisateurs, cet arrosage à un débit d'environ 5 m³ /h par rampe permet d'évacuer les calories produites par la dissolution exothermique de l'acétylène dans le solvant. Cette eau est collectée par caniveau en maçonnerie et recycle à la fosse à eau propre.

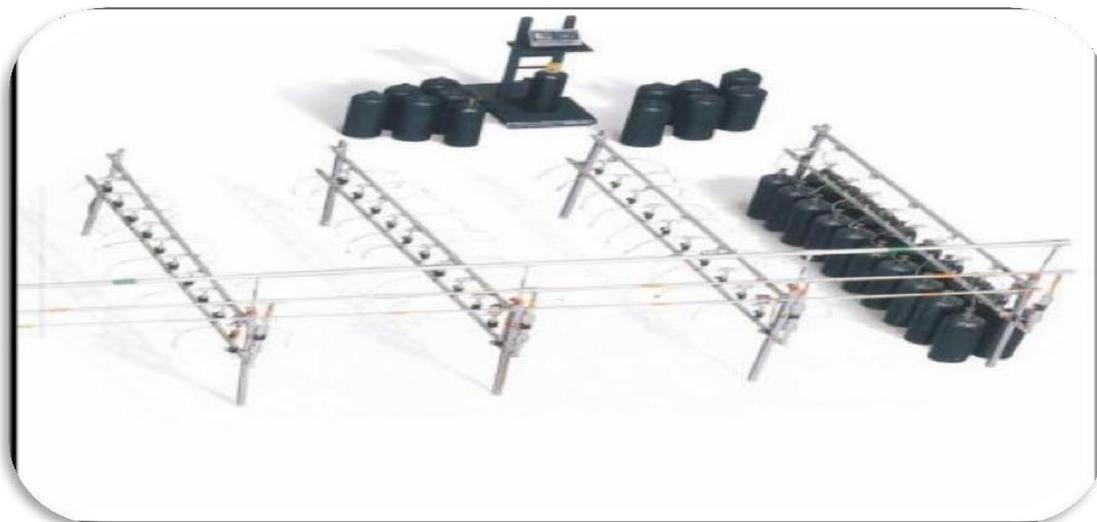


Figure 15. Remplissage des bouteilles

1.8 Consignes de la sécurité de chaque étape de production :¹⁴

1.8.1 Consignes relatives à la manutention de carbure de calcium :

- Les fûts ne doivent être ouverts que dans la salle des générateurs et l'ouverture des fûts ne se fera qu'à l'aide de burins en bronze.
- Il est interdit de jeter à l'égout des morceaux ou des poussières de carbure imparfaitement décomposés.

1.8.2 Consignes relatives à la conduite des générateurs :

- Le conducteur des générateurs doit avoir les yeux protégés par une visière et les mains par des gants pendant qu'il fait écouler de la benne dans la trémie, le carbure.
- Il doit veiller à la bonne aération du local.
- Pour déboucher une tuyauterie obstruée, il doit utiliser l'azote ou l'eau (oxygène et l'air comprimé sont interdits).
- Pendant le fonctionnement du générateur, il doit surveiller l'écoulement du lait de chaux. L'absence de toute fuite, et le maintien de la température de l'eau au-dessus de 85°C.
- Pour prévoir toute interruption accidentelle d'arrivée d'azote dans le circuit de sécurité, celui-ci doit être alimenté en permanence avec un cadre d'azote en réserve. Lorsqu'un cadre de la centrale d'azote vide, il doit être remplacé par un cadre plein.

1.8.3 Consignes relatives à la compression :

- En cas de dépression à l'aspiration du compresseur, il y a lieu de localiser l'obstruction vraie semblable à l'aide d'un manomètre à eau branché successivement aux différents points du circuit.
- La température au dernier étage du compresseur ne doit pas dépasser 70°C.
- Il faut purger les séparateurs d'huile et les sécheurs toutes les ½ heures.

1.8.4 Consignes relatives au remplissage des bouteilles :¹⁵

- ✓ Les dispositifs d'arrêt d'explosion et tous les autres organes de sécurité doivent être contrôlés périodiquement car ils ne peuvent jouer leur rôle que s'ils sont en bon état.
- ✓ Tous les robinets et toutes les vannes doivent être manœuvrés lentement et progressivement, afin de limiter les risques d'inflammation de l'acétylène par friction en cas de passage rapide.
- ✓ Pour un débit de 100 m³/h obligation de remplir 150 bouteilles à la fois.
Pour un débit de 70 m³ obligation de remplir 120 bouteilles à la fois.

1.9 Conditionnement et remplissage des gazes :

L'usine reçoit les gaz de l'air et les gaz carboniques dans un état liquide à travers des citernes mobiles venant de l'usine d'Arzew située à 100 km de Sidi Bel Abbès, les gaz produits sont généralement oxygène, azote, argon, protoxyde d'azote et dioxyde de carbone qui sont conditionnés et vendus à leur tour. Seul l'acétylène est produit dans l'usine.



Figure 16. Citernes mobiles

1.9.1 Procède conditionnement et remplissage d'azote :

Une fois que l'azote liquéfié (-196 C°) est rempli dans les réservoirs, il est poussé par un moteur triphasé (M1) vers le réchauffeur, où il est refroidi jusqu'à la température à laquelle l'azote devient gazeux, et de là il va à l'unité de remplissage.



Figure 17. Unité de stockage l'azote liquide.

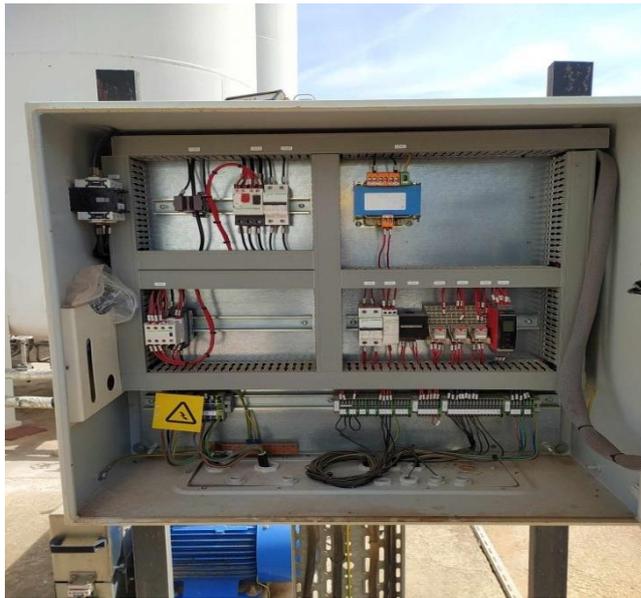
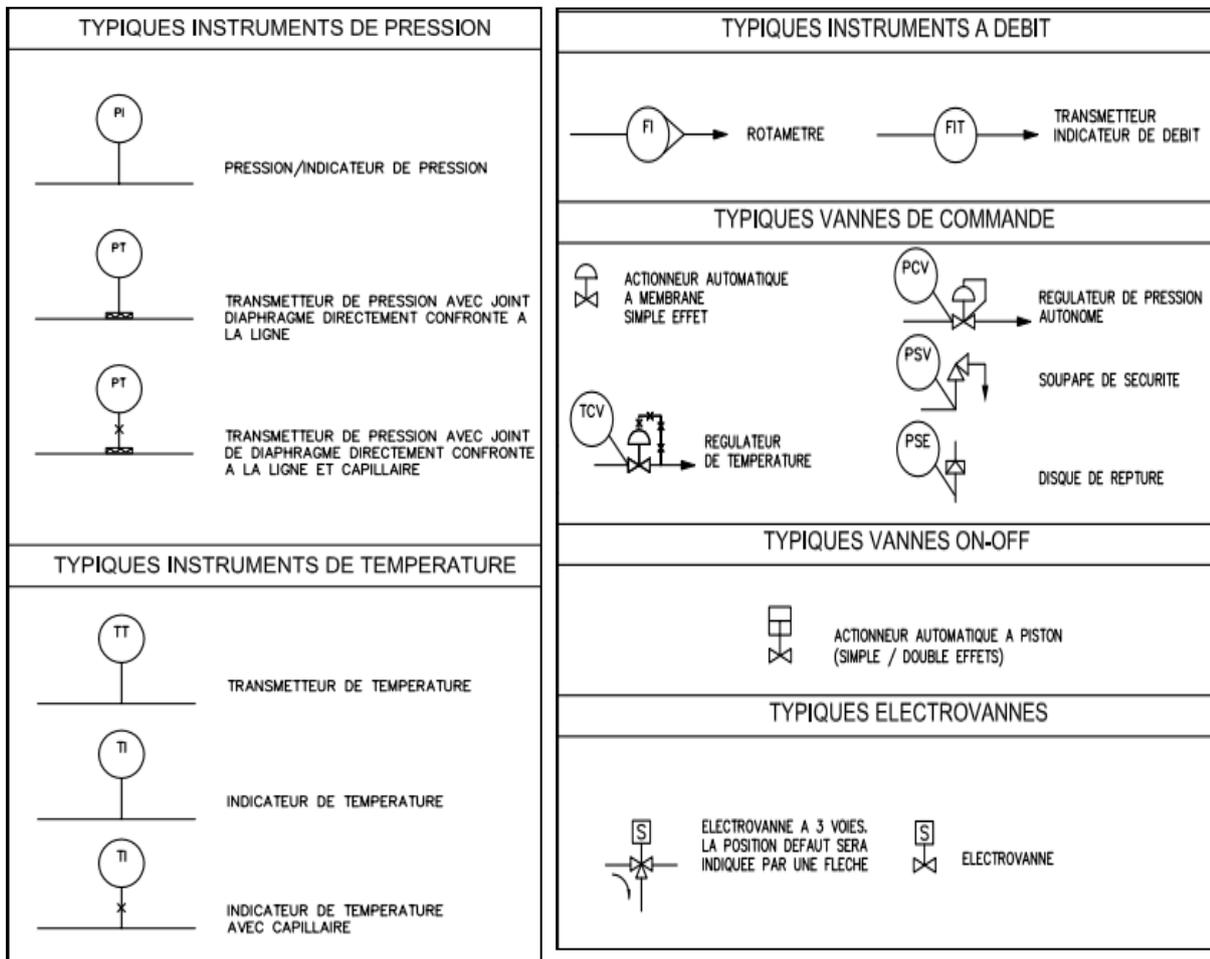


Figure 18. Armoire électrique M1.

1.9.2 Schéma procède et conditionnement d'azote :

Symbol et légende : 16



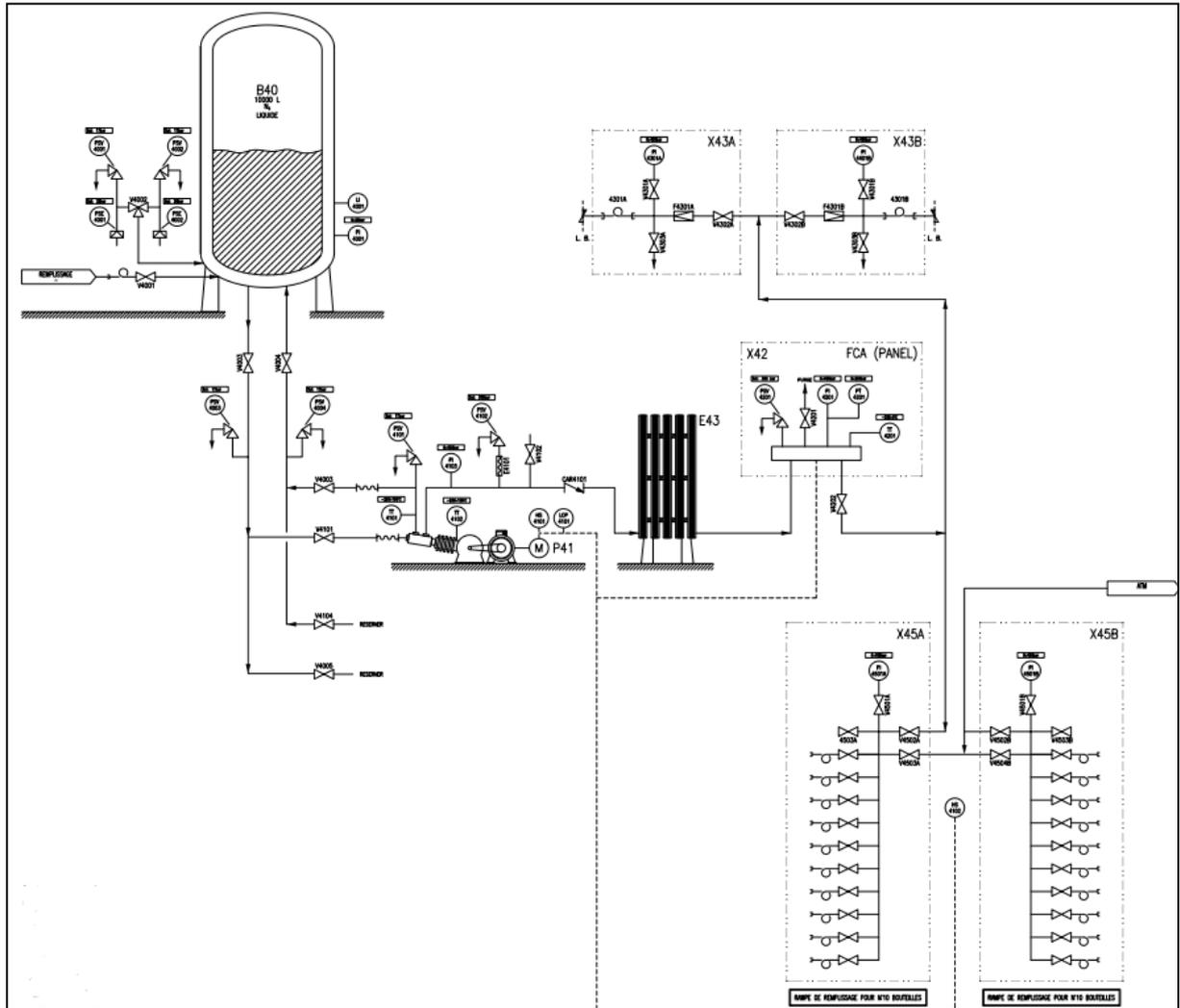


Figure 19. Schéma procède et conditionnement d'azote ¹⁷

1.9.3 Le réchauffeur :

Elle est responsable de la transformation de l'azote de l'état liquide à l'état gazeux



Figure 20. Réchauffeur et soupape de la sécurité

- Lorsque le protoxyde d'azote (gaz) arrive à l'unité de remplissage, l'ouvrier remplit les bouteilles en fonction des conditions de température de l'unité.



Figure 21. La rampe de remplissage

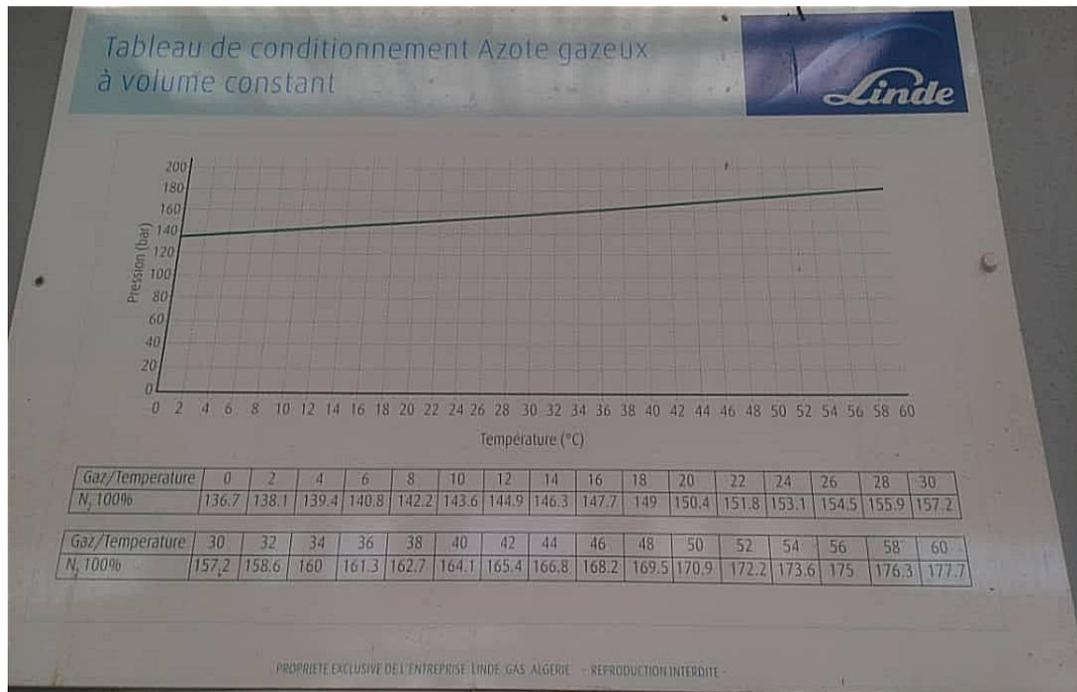
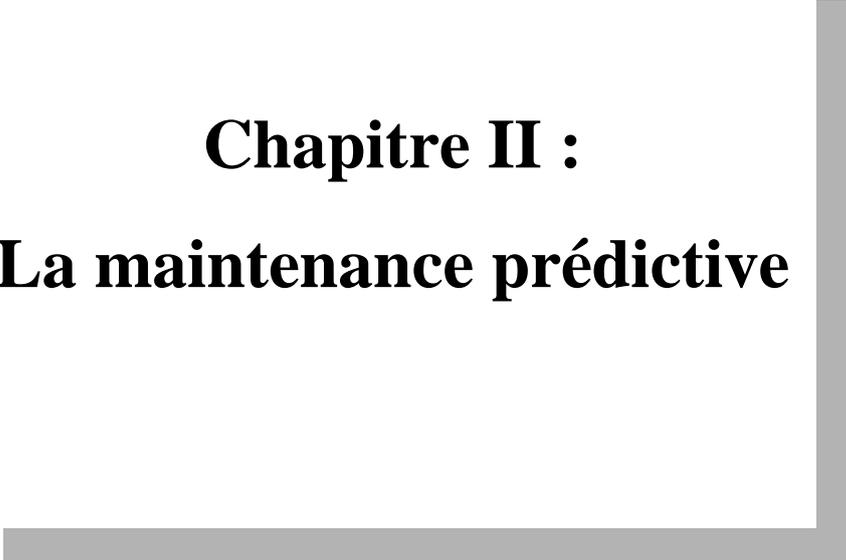


Figure 22. Tableau de remplissage

Chapitre II :

La maintenance prédictive



I. Introduction :

L'entretien joue un rôle essentiel dans le domaine industriel, tant sur le plan technologique que sur le plan économique. Grâce à cela, la disponibilité des machines industrielles augmente et leur cycle de vie est prolongé. En particulier, elle contribue à éviter les incidents et les accidents, et surtout à garantir la sécurité des individus et des biens.

Au départ, l'entretien industriel impliquait la réalisation d'opérations telles que le dépannage, la réparation, le graissage, le contrôle, Toutes ces opérations garantissent la préservation du potentiel du matériel afin de garantir une production efficace et de qualité.

Par la suite, au fil du temps et de l'évolution industrielle, la maintenance a connu une évolution significative grâce à l'utilisation d'outils technologiques tels que les systèmes d'acquisition de données, les logiciels de gestion de bases de données, ainsi que la technologie sans fil, notamment les réseaux de capteurs intelligents. Qui offre une précieuse assistance pour prévenir les pannes et prédire le temps restant de fonctionnement d'un équipement en marche.

2.1 Définition :

La norme ISO 9000 définit la maintenance comme "l'ensemble des actions techniques, administratives et managériales au cours du cycle de vie d'un bien, visant à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise" ISO 9000 :2015. Cette définition englobe deux types principaux de maintenance : la maintenance préventive, qui consiste en des actions planifiées visant à prévenir les défaillances et à maintenir les performances, et la maintenance corrective, qui intervient lorsqu'une défaillance survient et nécessite une intervention pour rétablir le bon fonctionnement du bien ¹⁶.

2.1 Les objectifs de la maintenance :

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise est de garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué¹⁷

La maintenance doit réaliser principalement deux types d'objectifs :

2.1.1 Les objectifs Opérationnels :

- Dans un état acceptable.
- Assurer la disponibilité maximale des installations à un prix raisonnable.
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment.
- Penser à assurer une performance sûre et efficace à tout moment.
- Obtenir un rendement maximum pendant les prochaines années.
- Maintenir une installation d'une propreté absolue.

2.1.2 Les objectifs de coût :

- Réduire au maximum les dépenses de la maintenance.
- Maximiser les profits.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget

2.2 Les différents types de maintenance :

La maintenance corrective et la maintenance préventive sont deux approches courantes de la gestion de la maintenance. La maintenance corrective intervient en cas de panne ou de dysfonctionnement, tandis que la maintenance préventive vise à anticiper les pannes en effectuant des activités de maintenance planifiées comme illustré dans la figure 23. Chaque approche a ses avantages et ses limites, et une combinaison des deux peuvent être utilisée pour optimiser la gestion de la maintenance en fonction des besoins de chaque entreprise.¹⁸

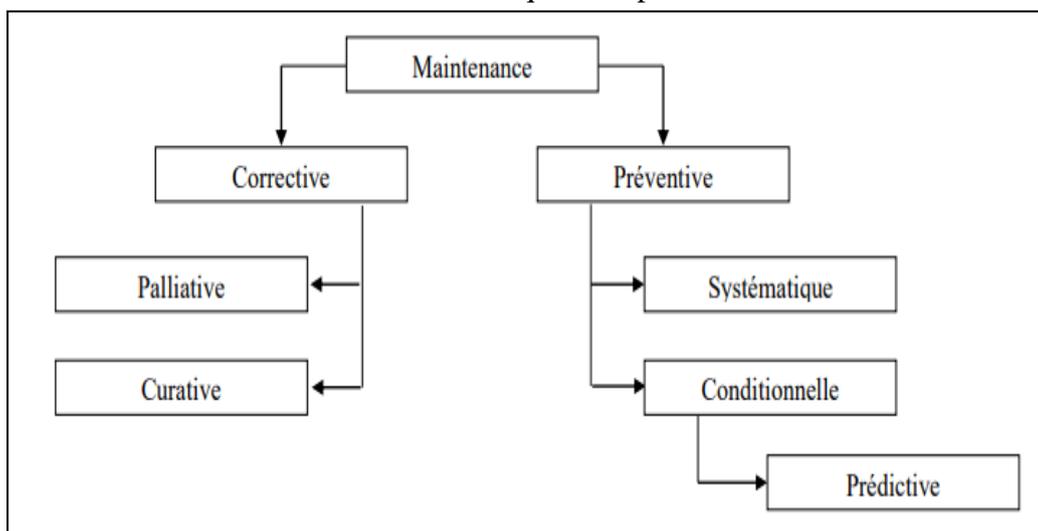


Figure 23. Les différents types de maintenance

2.3 La maintenance prédictive :

2.3.1 Définition :

La maintenance prédictive est définie comme une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, Permettant de retarder et de planifier les interventions. En maintenance prédictive, l'évolution des indicateurs de surveillance doit être suivie dans le temps afin d'en tirer des prévisions. La décision d'intervention et son degré d'urgence reposent sur l'identification préalable du, ou des fautes et sur l'estimation de leur gravité. Elle diffère de la maintenance conditionnelle par l'action d'extrapolation de la tendance analysée. Ceci lui permet de passer de l'état constaté à l'état prévisible.¹⁹

2.3.2 Les trois phases pratiques de la maintenance prédictive :

La maintenance prédictive a la capacité de détecter rapidement les anomalies sans démonter la machine, de prévenir les pannes et de planifier les réparations le plus tard possible figure 24, en tenant compte des exigences de production, cette capacité fait de la maintenance prédictive une technique efficace qui permet une augmentation significative de la productivité. En d'autres termes, l'intervention se produit uniquement en cas de nécessité, après avoir établi un diagnostic préalable et programmé la réparation.

La pratique de la maintenance prédictive comporte 3 phases :

- La détection du défaut qui se développe → analyse du signal
- L'établissement d'un diagnostic → diagnostic machine

- La notion de fiabilité d'un système → courbe baignoire

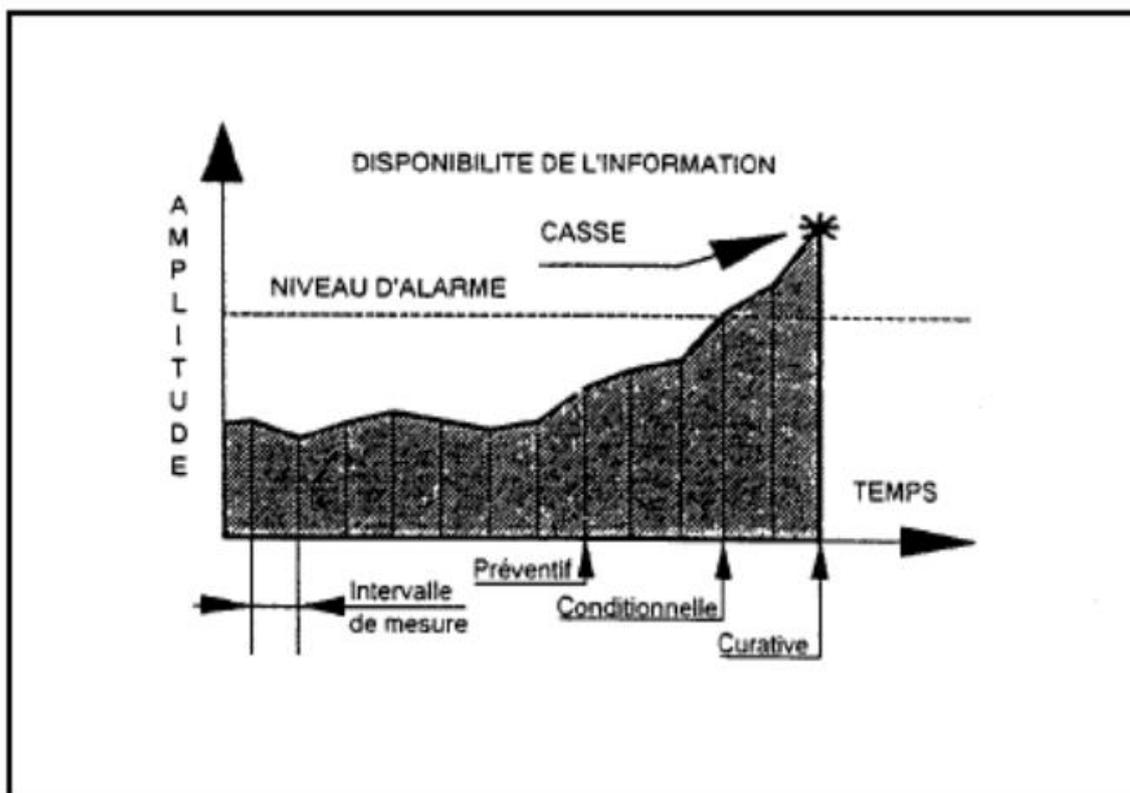


Figure 24. Représentation graphique des amplitudes vibratoire ainsi que leur évolution dans le temps

2.3.3 La détection du défaut qui se développe :

Lors de la mise en service de chaque équipement, les principales caractéristiques de base des appareils sont enregistrées, notamment la signature vibratoire (paramètre crucial pour les machines tournantes) et divers paramètres de fonctionnement tels que la température, l'usure et les performances. Ces caractéristiques ou signatures serviront de référence pour suivre, par comparaison, l'évolution de tout défaut éventuel à l'avenir.

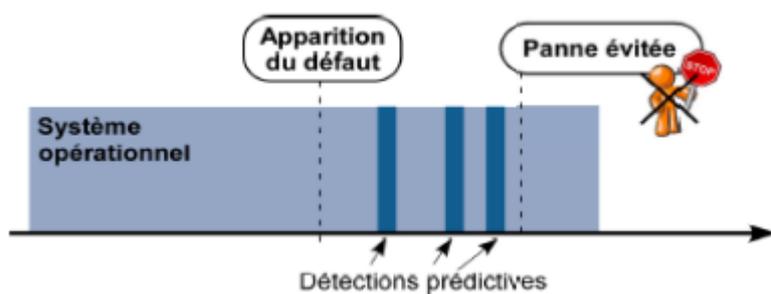


Figure 25. Suivi de l'évolution du défaut par la surveillance prédictive²⁰

2.3.4 L'établissement d'un diagnostic :

Une fois qu'une anomalie est repérée par les outils spécifiques, en ce qui concerne l'analyse des paramètres, un diagnostic sera établi sur l'origine et la gravité du défaut

observé.

2.3.5 La notion de fiabilité d'un système :

La fiabilité d'un système s'exprime par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée ²¹. La norme AFNOR définit la défaillance comme une altération ou une cessation d'un bien à accomplir une fonction requise. La durée de vie d'un système est une mesure de la quantité de service rendu, sa défaillance puisse survenir à n'importe quel moment, et Il est souvent difficile de caractériser cette dernière. Ce qui suit qu'un système est considéré défaillant ou hors d'usage s'il n'est pas en mesure de réaliser la fonction pour laquelle il a été conçu. La défaillance d'un équipement peut être caractérisée par un taux appelé taux de panne. Ce taux est aussi appelé taux de défaillance, taux de hasard ou taux de mortalité. Il représente également la vitesse d'arrivée de la panne²².

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t}$$

Avec :

$\lambda(t)$: taux de panne

$N(t)$: Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t.

$N(t + \Delta t)$: Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t + Δt .

Si nous représentons le taux de panne en fonction du temps, nous obtenons une courbe appelée « en baignoire » qui est divisée en 3 parties

La première (1) La période de mortalité infantile, également connue sous le nom de taux de panne, désigne une phase où le taux de défaillance est initial, mais tend à diminuer par la suite. Cette période correspond au rodage des systèmes mécaniques ou au processus de « déverminage ».

La deuxième (2) Cette section représente essentiellement la durée de vie utile, caractérisée par une stabilité du taux de panne.

La dernière partie (3) Le vieillissement ou l'usure est la phase où le composant commence à vieillir, et le taux de défaillance augmente progressivement avec le temps. Cette évolution est souvent représentée par la « courbe en baignoire », comme illustré dans la Figure 26.

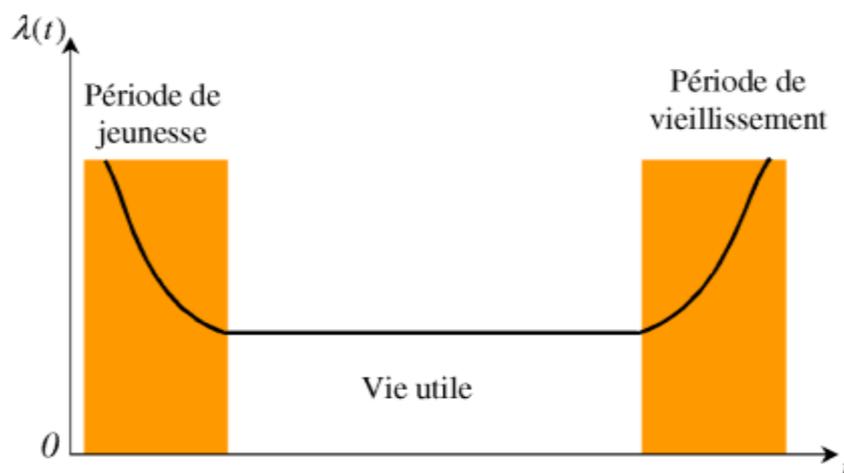


Figure 26. La courbe en baignoire

Il est important de noter que la fiabilité diminue en fonction de l'utilisation de l'équipement. Elle est liée au taux de panne $\lambda(t)$ par la relation suivante :

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)dx\right)$$

(t) : est la durée de la mission considérée.

2.4 La relation entre la maintenance et la fiabilité :

La figure.27 illustre la contribution des différents types de maintenance à la fonction de fiabilité (R(t)) et à la durée de vie utile de l'équipement. Il est évident qu'une réduction du taux de panne $\lambda(t)$ améliore la fonction de fiabilité R(t). C'est dans cette perspective que la maintenance améliorative (prédictive) a été mise en place. En revanche, la maintenance préventive, dans toutes ses variantes, vise à ramener le taux de panne à son niveau le plus bas en remplaçant les composants usés, sans améliorer les caractéristiques intrinsèques de l'équipement.

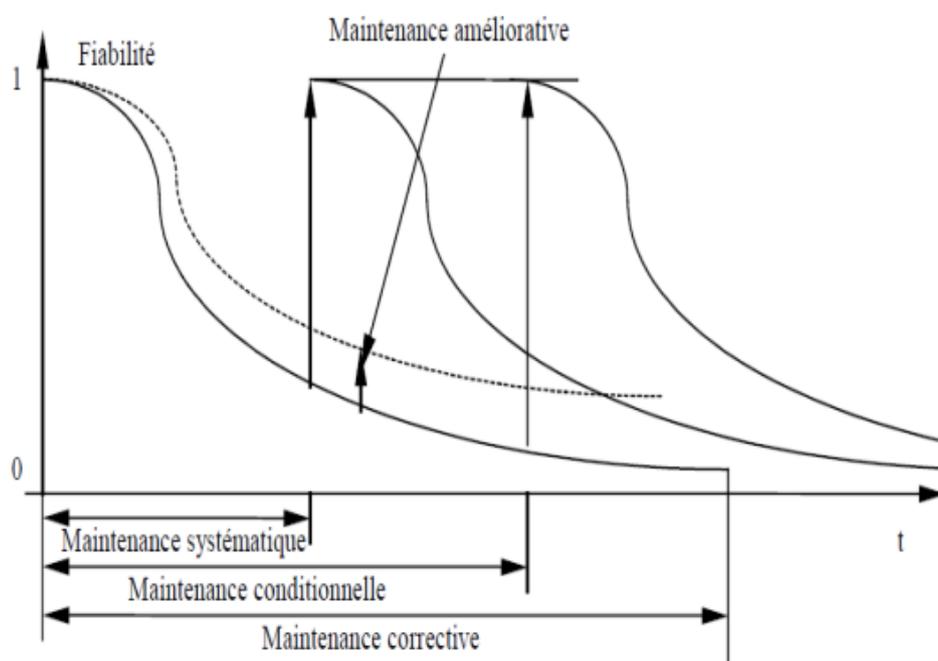


Figure 27. L'impact de la maintenance sur la fiabilité des équipements

2.5 Divers outils de la maintenance prédictive :

La maintenance prédictive utilise divers outils pour optimiser la gestion des équipements industriels. Voici quelques-uns de ces outils ²³:

a. La GMAO (gestion de la maintenance assistée par ordinateur) : C'est un logiciel conçu pour planifier, suivre et gérer efficacement les activités de maintenance. Il simplifie la gestion des demandes d'intervention, l'organisation des tâches et la gestion des stocks de pièces de rechange.

b. L'IOT (Internet Industriel des Objets) : Cette technologie permet de recueillir des données à partir de capteurs installés sur les machines et de les transmettre vers des plateformes Cloud. Cela permet d'analyser les données en temps réel, de détecter

les anomalies et de prendre des décisions basées sur des informations précises. En outre, l'IIOT facilite l'interconnexion des équipements, améliorant ainsi leur communication.

c. Picomto : est une solution de digitalisation des instructions de travail. De plus, Picomto a mis au point un interrupteur connecté intelligent nommé Check Start, qui améliore l'efficacité des équipements. Cet interrupteur permet de surveiller les machines et d'envoyer des alertes en cas de dysfonctionnement.

d. Utilisation d'un PC portable, d'une tablette ou même d'un smartphone connecté à Internet : pour obtenir des données précises sur la « santé » et le rendement des équipements, ainsi que pour recevoir des alertes en cas de dysfonctionnement détecté. Cela permet de se trouver loin du lieu de production tout en ayant la possibilité de régler divers paramètres, tels que les seuils d'alerte.

e. Les domaines de l'intelligence artificielle : Aujourd'hui, grâce à des capteurs, il est possible de surveiller les différents composants d'une machine. Les données collectées sont ensuite interprétées par une application informatique, permettant de prendre des décisions de manière automatique. Par exemple, les capteurs peuvent mesurer:

- La température de l'équipement par imagerie infrarouge
- La viscosité du lubrifiant
- Les états de pression pour le flux de fluide et d'air
- La fréquence de vibration pour détecter la fragilité structurelle, le désalignement, les problèmes de roulement etc...

2.6 Avantages de la maintenance prédictive par rapport à la préventive :

La maintenance préventive est une méthode qui consiste à entretenir les équipements par le biais de vérifications régulières. Les stratégies de maintenance préventive incluent:

- Les contrôles de routine
- Les mesures et ajustements
- Les changements d'huile et la lubrification
- Le remplacement des pièces

Elle intervient pour identifier et remplacer systématiquement les composants endommagés. Il est crucial de déterminer le moment idéal pour effectuer cette opération. Étant donné qu'il est impossible de prévoir à l'avance quelle pièce va s'user, des inspections périodiques sont nécessaires. Celles-ci impliquent de la main-d'œuvre, l'arrêt de la machine et engendrent des coûts. Parfois, une pièce peut être remplacée par précaution alors qu'elle fonctionne encore parfaitement. Des études ont montré que dans 30 % des cas, la maintenance préventive est inutile et peut même causer des problèmes supplémentaires.

A) La maintenance prédictive offre plusieurs avantages :

- Réduction des interruptions des machines pour des opérations de maintenance.
- Diminution du nombre de pannes.
- Amélioration de la planification des interventions.
- Meilleure préparation des équipes d'intervention.

- Amélioration des échanges entre les professionnels de maintenance et les équipes de production.
- Meilleure anticipation et gestion des besoins en pièces détachées des équipements .²⁴

B) La maintenance prédictive représente un changement de paradigme, passant d'une approche de flux poussé à une logique de flux tiré. Dans ce système, le fournisseur n'intervient que lorsque les signaux émis par une machine indiquent une panne probable à court terme. Ainsi, c'est l'état réel de l'actif qui détermine le moment de l'intervention, et non un calendrier théorique. Grâce à la maintenance prédictive, il est possible d'anticiper les pannes machines tout en minimisant les coûts des opérations de maintenance, le stock de pièces, le temps d'interruption des services, les heures supplémentaires et augmenter la durée de vie utile des machines, la productivité et les profits. ²⁵

2.7 Avantages de la maintenance prédictive pour accroître la productivité de l'entreprise :

- Amélioration du taux de rendement global (TRG) des équipements.
- Réduction des coûts de réparation et d'intervention.
- Amélioration de la qualité du produit fini avec une meilleure prédictibilité.
- Accroissement du retour sur investissement grâce à la maintenance prédictive qui rationalise les processus et génère des économies de coûts et de temps.
- Les coûts liés au placement des capteurs sont environ dix fois moins élevés que ceux d'une maintenance préventive classique.

2.7.1 Inconvénients :

- Complexe à mettre en place et coûteuse.

2.8 Importance économique de la maintenance prédictive :

L'utilisation continue d'une installation, même dans des conditions normales, entraîne un processus de vieillissement du matériel. Maintenir cette installation en bon état est essentiel pour garantir son bon fonctionnement et éviter tout risque pour la sécurité des personnes. Cela permet de réduire à la fois les coûts et les incidents, comme illustré dans la figure 28 . Cependant, un excès de maintenance préventive peut entraîner une augmentation des coûts. L'objectif de cette section est de mettre en évidence les principaux facteurs économiques justifiant l'installation d'un système de détection des défauts sur les machines.

Tout d'abord, les bénéfices attendus de l'utilisation d'un système de surveillance sont discutés. Certains de ces bénéfices sont difficiles à estimer en termes monétaires mais représentent néanmoins un avantage important pour l'entreprise.

Ensuite, les différents coûts associés aux arrêts de production non planifiés sont présentés.

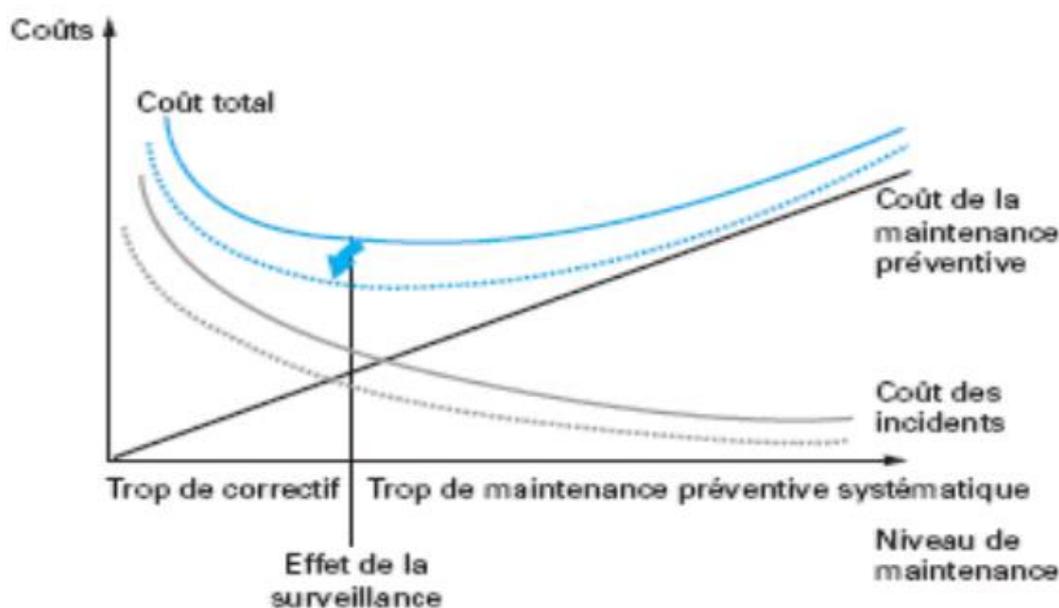


Figure 28. Optimisations de la politique de maintenance

2.9 Les services de maintenance prédictive en technique de surveillance :

Couvrent plus que le simple contrôle des vibrations. En effet, la maintenance prédictive englobe également la surveillance d'équipements par le biais de techniques qui n'impliquent ni arrêt de production ni démontage, telles que :

- L'analyse vibratoire
- Thermographie par infrarouge.
- Le contrôle ultrasonique.
- L'analyse des huiles

Toutes ces technologies sont non destructives et non intrusives.

2.9.1 Les capteurs de vibration :

Sont des instruments cruciaux pour surveiller le mouvement oscillatoire des structures et des machines²⁶. Ils fournissent des indications précieuses sur l'état de fonctionnement des moteurs et des équipements mécaniques. Les techniciens s'appuient souvent sur la détection tactile pour vérifier la présence de vibrations dans les machines, ce qui peut être un indicateur de leur bon fonctionnement.

Les vibrations jouent un rôle essentiel dans la détection précoce des anomalies. Par exemple, les conducteurs automobiles peuvent percevoir des défaillances mécaniques grâce aux vibrations ressenties dans le volant, ce qui peut prévenir des accidents graves. De même, dans les moteurs et les machines électriques, des niveaux de vibrations anormaux peuvent signaler des pannes imminentes ou la fin de leur durée de vie utile, nécessitant ainsi une maintenance préventive pour éviter des dommages coûteux.²⁷

Les machines sont constituées de multiples composants, chacun générant des motifs

distincts de vibrations. Le toucher humain seul devient inefficace pour évaluer avec précision l'étendue et l'intensité des vibrations dans chaque partie. C'est pourquoi il est indispensable d'installer des capteurs de vibrations sur différentes parties des machines pour obtenir des mesures précises et en temps réel.

La figure 29 illustre divers types de capteurs de vibrations et leurs applications dans différents domaines industriels. En utilisant ces capteurs, les ingénieurs et les techniciens peuvent surveiller de manière proactive l'état de santé des équipements et prendre des mesures de maintenance appropriées pour éviter les pannes coûteuses et les temps d'arrêt imprévus.



Figure 29. Les capteurs de vibrations

2.9.2 Thermographie :

L'imagerie thermique désigne le processus par lequel les photographies sont produites utilisant la chaleur infrarouge²⁸.

La technologie d'imagerie thermique repose sur le principe que tout objet émet un rayonnement infrarouge invisible à l'œil nu à des températures supérieures au zéro absolu (-273°C). Ce rayonnement infrarouge est proportionnel à la température de l'objet et permet de créer une image thermique qui reflète les variations de température. Cette image montre les dimensions et l'intensité du rayonnement infrarouge émis par l'objet²⁷. Où les parties les plus chaudes de la couleur rouge

s'approchent Augmenter vers le blanc. La figure 30 montre le dispositif de caméra infrarouge et quelques images thermiques prises de certains raccords électriques.

La technologie d'imagerie thermique détecte toute modification de la chaleur des points de la machine résultant d'une défaillance technique afin qu'elle soit traitée avant que la défaillance ne se produise. Par exemple, le courant électrique dans les plaques de distribution électrique génère une chaleur élevée soit parce que les connexions se détendent ou s'usent à la suite de son introduction. Ici, l'image thermique aide à détecter ce déséquilibre avant qu'il ne provoque une panne électrique ou un incendie à l'intérieur des peintures²⁷. De même, les moteurs électriques sont chauffés par friction causée par un manque de viscosité ou de fuite d'huile.

En cas de maintenance prédictive, le rapport d'images thermiques est un document très précieux qui est en conséquence associé à d'autres documents de différentes techniques de maintenance²⁸. En plus de la nécessité d'images de référence thermique spéciales, lorsque les machines sont utilisées dans leurs premières vies dans le but de les comparer avec le reste des images prises plus tard, qui est la douleur qui aide à localiser le déséquilibre.



Image thermique d'un circuit électrique



Une image thermique d'un groupe de fusibles montrant un défaut de connexion



Caméra thermique infrarouge

Figure 30. Technologie d'imagerie thermique

2.9.3 Tribologie :

La science du frottement est définie comme la science qui s'intéresse à l'étude des surfaces de contact dans leur mouvement relatif et est considérée comme le frottement, la lubrification et la corrosion de l'atmosphère la plus importante que cette science traite, Ce qui à son tour est essentiel dans tout système mécanique et ses effets négatifs sont d'énormes coûts dans les installations industrielles.²⁹

Le frottement affecte considérablement la mécanique des machines et, s'il existe, conduit à l'arrêt des machines. Les coûts de lubrification comprennent les achats de lubrifiants tels que les huiles minérales en plus de leurs méthodes de stockage, de filtrage et de processus liés à l'injection de points de friction dans les machines. D'autre part, la corrosion est l'allergie qui prédit la fin de la vie d'usinage des machines et la nécessité de les remplacer.

Les trois aspects interagissent les uns avec les autres dans une interconnexion inséparable et la tâche d'un programme scientifique de friction réussi est d'aborder les effets des trois éléments du point de vue de leur coût global pour l'entreprise.²⁹

L'analyse d'huile est l'une des techniques de friction les plus importantes et l'une des plus largement utilisées dans toutes les stratégies de maintenance qui sont encore utilisées aujourd'hui. La plupart des techniciens et des responsables de la maintenance de toute installation remplacent et éliminent l'huile usagée sans avoir à l'analyser malgré l'importance de cela pour indiquer l'état de la machine et prédire l'heure du dysfonctionnement.

L'analyse d'huile sur les lubrifiants vise à détecter à la fois la santé de l'huile neuve ou usagée ainsi que la sécurité de la machine. Lorsque des contaminants ou des objets métalliques sont observés dans l'huile analysée, nous pouvons prédire qu'il y a un problème avec la machine et donc prendre des mesures immédiates pour corriger la cause fondamentale du dysfonctionnement et travailler sur son non-développement. L'analyse est également un indicateur de pratiques de fonctionnement incorrectes par les responsables de l'exploitation de la machine, telles que le mauvais nettoyage de la machine avec de l'eau qui conduit à l'entrée d'eau dans la machine. L'analyse du pétrole est divisée en trois grandes catégories de²⁹ :

- **Chimie** : se concentre sur l'analyse de l'état physique et chimique actuel de l'huile, en plus de la détermination de la durée de vie productive restante, et détermine ainsi l'aptitude de l'huile actuelle à être utilisée et, ce faisant, doit remplacer ou ajouter d'autres matériaux.
- **Contamination** : Afin d'assurer la propreté de l'huile et exempt de substances contaminées telles que l'eau, le déclencheur qui a conduit à la contamination est recherché et s'il y a une fuite à l'intérieur des machines comme dans la voiture lorsqu'un dysfonctionnement est détecté conduisant au mélange de l'huile avec l'eau à l'intérieur
- **Corrosion** : Cette analyse détermine que l'huile est exempte de toute particule résultant de la corrosion mécanique ou de toute autre dégradation des surfaces internes de la machine et montre la gravité et la gravité de la corrosion.

Les trois catégories d'analyse sont représentées dans un tableau standard au nom duquel il détermine la qualité et la viabilité de l'huile et son impact sur l'instrument tout en réglant les niveaux d'alarme pour chaque catégorie comme indiqué sur la figure 31

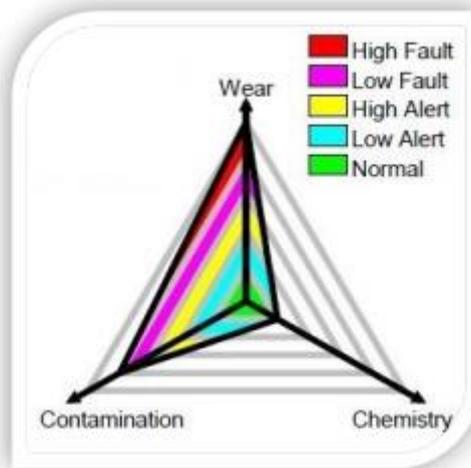


Figure 30. Plan de trivector²⁸

De nombreuses entreprises fournissent des services d'analyse d'huile en utilisant des laboratoires spécialisés et peuvent posséder leurs propres installations de laboratoire pour être analysées sur place, puis doivent acheter l'équipement nécessaire pour l'échantillonnage et l'analyse d'huile. La figure 31 montre un modèle pour le dispositif d'analyse d'huile :



Figure 31. L'appareille de minilab

2.9.4 Le contrôle ultrasonique :

Les ondes ultrasonores sont des ondes sonores qui possèdent des fréquences au-dessus des limites auditives humaines qui dépassent la valeur de KHz 20. Cela signifie que ces ondes ne peuvent être entendues par l'oreille humaine que si elles peuvent utiliser des dispositifs spéciaux qui peuvent être convertis en sons audibles.³⁰

Le détecteur d'ondes ultrasonores dispose d'un ensemble de filtres qui filtrent les ondes ultrasonores pour se débarrasser des ondes aléatoires qui représentent le bruit, puis transformer ces ondes ultrasonores comme le montre la figure (32) Soit aux ondes qui peuvent être entendues à travers les écouteurs équipés de l'appareil, soit pour mesurer la puissance des ondes et les afficher sur un écran numérique avec la possibilité de les stocker dans l'appareil.

La technologie d'analyse par ultrasons nous permet d'entendre les premiers signes de défaillance de la machine grâce à notre application de plusieurs façons dementionner³⁰ :



Figure 32. Détecteur à ultrasons

- **Surveillance des vibrations acoustiques** : Particulièrement utilisée pour détecter l'état de rhumatologie rotative dans les machines car ces sphères métalliques roulantes produisent des ondes ultrasonores émettrices de frottement dont l'énergie varie selon leur condition technique, Les récifs nouveaux et en bon état de fonctionnement ont une capacité acoustique inférieure à celle des récifs ayant des longueurs d'onde d'énergie plus élevées en raison de la corrosion ou de la dégradation et du manque de lubrifiant. Ainsi, l'observation des ondes ultrasonores nous permet d'identifier les périodes de lubrification appropriées et de prédire quand la phase de corrosion des récifs est perturbée dès sa création. La figure 33 montre le sismomètre sonore

- **Pistolet de lubrification** : l'énergie des ondes ultrasonores change dans la partie mécanique de la machine en fonction de l'état de l'huile et est aux niveaux les plus bas lorsque la couche de lubrification est bonne et augmente progressivement à mesure que la détérioration de cette couche augmente, pour que le rugissement du son émis par elle augmente. Le pistolet de lubrification est un dispositif par lequel le lubrifiant est pompé dans les parties mécaniques du moteur où le matériau n'est pas contrôlé par la quantité du moteur. Le pistolet est équipé d'un appareil de mesure à ultrasons afin que l'agent responsable du processus de lubrification puisse injecter progressivement le matériau et surveiller les niveaux sonores émis par les machines pour arrêter le processus lorsque le matériau atteint le niveau approprié sans endommager le moteur. La figure 34 montre un modèle du pistolet lubrifiant.



Figure 33. Appareil de mesure des vibrations sonores



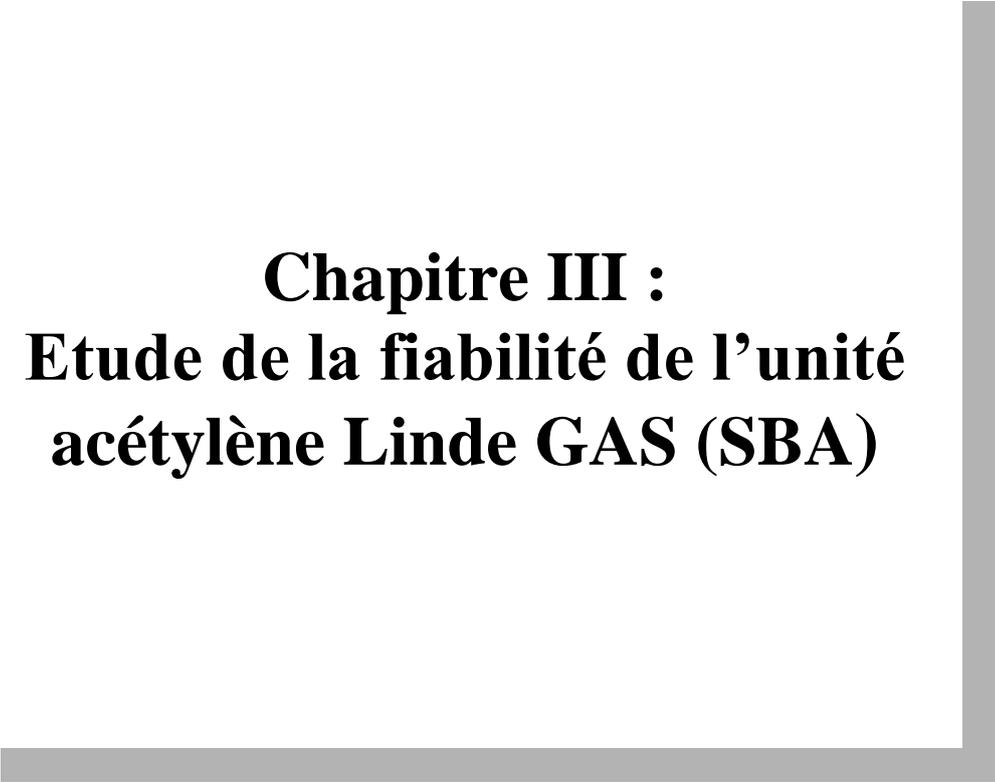
Figure 34. Pistolet de lubrification

2.10 Conclusion :

Dans ce secteur, les progrès sont constamment réalisés afin que l'industrie à venir puisse réellement diminuer le temps d'arrêt de ses moyens de production. L'utilisation de technologies de pointe, telles que les capteurs intelligents, la réalité virtuelle, la télédétection laser, permet de réaliser des relevés en 3D d'équipements difficiles d'accès, tels que des capteurs à UV, d'autres à infrarouge ou encore des drones, offre un service de maintenance de qualité. Ces avancées sont liées aux avancées dans le domaine du stockage, du transfert et du traitement d'informations, afin de créer des systèmes plus fiables et plus efficaces.

Bien que ces derniers présentent un certain avantage en ce qui concerne la maintenance corrective, ils sont généralement davantage axés sur l'amélioration de la maintenance préventive. On cherche à étudier ces systèmes afin d'aider les entreprises à éviter les défaillances qui entraînent des arrêts, mais à les prévoir grâce à une interprétation efficace des informations enregistrées par les capteurs. Ces dispositifs sont utilisés pour signaler aux techniciens les vibrations, les jeux mécaniques, la qualité des fluides (huiles) ou encore les niveaux de températures qui se rapprochent des seuils critiques, au-delà desquels la machine risque de se détériorer. De nos jours, il est plus aisé de mettre en place l'entretien prédictif, de le mettre en œuvre avec les techniciens d'entretien et, enfin, de le rendre plus rentable pour nos machines critiques. En utilisant des données fiables, les machines fonctionnent à leur maximum. Ce chapitre nous a permis de prendre conscience de l'importance croissante de la maintenance prédictive dans la gestion efficace des actifs industriels. À travers notre projet de fin d'études, nous avons l'intention de se concentrer sur l'application de la maintenance prédictive et d'explorer comment les modèles de machine learning peuvent améliorer l'efficacité et la fiabilité de cette approche.

Chapitre III :
Etude de la fiabilité de l'unité
acétylène Linde GAS (SBA)



Introduction

Depuis le début de la révolution industrielle, la maintenance est considérée comme secondaire, En d'autres termes, gardez les machines en état de fonctionnement jusqu'au début du dysfonctionnement et arrêtez les machines partiellement ou complètement L'intérêt était de pouvoir mener à bien un processus de rapprochement, que l'on pourrait appeler "entretien ambulatoire", Axé uniquement sur le processus de productivité et sur le produit .¹

Les avancées rapides et constantes, surtout dans le domaine de l'industrie et de la production, ont fortement encouragé les innovateurs à développer des stratégies de maintenance et à concevoir des solutions de rechange adaptées pour répondre aux exigences de production. Leur objectif est de prolonger la durée de vie des machines autant que possible et d'éviter les interruptions soudaines de la production en effectuant des opérations de maintenance périodique à des intervalles précis, assurant ainsi la continuité des opérations.

Les transformations rapides des marchés commerciaux observées dans les contrats récents ont entraîné des bouleversements significatifs dans les pratiques traditionnelles de maintenance. Avec l'ouverture accrue des marchés commerciaux et la transcendance des frontières nationales, de nombreux concurrents ont émergé, ce qui a conduit à des changements sur une longue période. La pression pour répondre aux demandes des clients plus rapidement s'est intensifiée, nécessitant une fiabilité accrue des lignes de production afin de garantir un fonctionnement sans heurts et une réponse agile aux besoins du marché.

La rivalité accrue a suscité des inquiétudes parmi de nombreux acteurs du marché qui cherchent à maintenir leur avantage concurrentiel. Ils se concentrent notamment sur la réduction des prix de leurs produits en minimisant les coûts de production tout en préservant la qualité. L'importance de la maintenance et des techniques utilisées a été soulignée dans de nombreuses analyses et initiatives économiques, mettant en lumière des coûts élevés et parfois sous-exploités. Ces inefficacités sont perçues comme une utilisation inefficace des ressources financières et sont considérées comme l'une des principales raisons de l'augmentation des coûts des produits.²

La montée de la maintenance prédictive découle de diverses innovations visant à remédier à cette lacune. Dans le domaine industriel, elle vise à maintenir les équipements et les chaînes de production tout en réduisant les pannes, ce qui renforce la réputation de l'entreprise en termes de satisfaction client et permet de minimiser les interruptions. Parallèlement, elle permet de réduire les coûts et la charge de travail associés à la maintenance, contribuant ainsi à la baisse des coûts de production et au renforcement de l'avantage concurrentiel de l'entreprise. Un large éventail de méthodes scientifiques, basées sur l'analyse de l'état technique des machines, est employé, en utilisant divers capteurs et dispositifs de connexion pour évaluer la fiabilité des équipements et anticiper les besoins de maintenance avant toute panne soudaine.

Les progrès technologiques dans le domaine de l'automatisation des lignes de production et l'avènement des systèmes de contrôle automatisés programmés PLC ont favorisé une adoption plus répandue de la maintenance prédictive. Les systèmes PLC ont permis aux superviseurs de maintenance d'usine de prendre des décisions éclairées en offrant une lecture automatisée des capteurs utilisés à une vitesse élevée, ce qui leur permet de surveiller de près et en continu l'état des machines. Avec l'avènement des systèmes SCADA, qui offrent la possibilité de stocker, d'analyser et d'afficher des données sur diverses interfaces homme-machine telles que des écrans de contrôle et des ordinateurs, de nombreuses usines ont vu la nécessité de passer à une approche de

maintenance prédictive.

En 2016, lors du Forum Économique Mondial de Davos, le concept de la quatrième révolution industrielle a été introduit, marquant une nouvelle ère caractérisée par des avancées majeures dans les domaines des communications, de l'Internet, du Cloud Computing et de la capacité de stockage de données massives. Cette révolution a été un catalyseur pour le passage de la maintenance prédictive à un niveau plus avancé, en raison de la nécessité croissante d'analyser de vastes quantités de données pour prendre des décisions éclairées. De nombreux sites web et services basés sur le cloud ont émergé, spécialisés dans le stockage et l'analyse des données en temps réel, permettant aux superviseurs d'être alertés de la nécessité de maintenance via des notifications par e-mail ou des applications mobiles. Cette diversité technologique a entraîné une transformation qualitative dans le domaine de l'industrie, rendant la maintenance prédictive essentielle et intégrée pour renforcer l'avantage concurrentiel des entreprises.³

La question persiste quant à l'inspiration qui peut émerger dans notre réflexion. Quelle est la position de nos secteurs industriels algériens en matière de maintenance prédictive ? Les technologies de pointe sont-elles mises en œuvre pour gérer les procédures d'entretien dans nos installations industrielles ? Malheureusement, les données montrent qu'il y a peu d'adoption du plan de maintenance prédictive dans les entreprises industrielles, à l'exception de rares cas dans certaines entreprises privées. La plupart des installations dépendent principalement de l'approche réactive, retardant parfois les réparations en raison de difficultés à obtenir certains matériaux de remplacement et pièces pour l'ancien équipement.

3. Etude de la fiabilité de l'unité acétylène Linde gas (SBA)

Les tableaux suivant représente l'historique des pannes et les activités de maintenance de l'unité acétylène sur une période d'une année pendant 3 trimestre :

Atelier	SEH	Élément	Travaux effectués	DATE	T.h.Tr	TA
C2H2	N101	GENERATEUR C2H2	Contrôle et réglage tension chaine	16/01/2023	4	6
	N104	COMPRESSEUR C2H2	Contrôle des fuites et vibration	09/04/2023	6	8
	N106	RAMPES REMPLISSAGE	Contrôle instrumentations	28/02/2023	4	5
	N108	CIRCUIT EAU DE CHAUX	Contrôle pression pompes	22/03/2023	2	3
	N109	CIRCUIT EAU DAPPOINT				
	N111	CIRCUIT	Nettoyage et contrôle			

		INCENDIE	filtre Philips	13/02/2023	1	2
	N115	ENTRETIEN BOUEILLES	Nettoyage des vannes			

Tableau 02 : Activité Maintenance du (janvier-février-mars-avril)

Atelier	SEH	Elément	Travaux effectués	DATE	T.h.Tr	TA
C2H2	N101	GENERATEUR C2H2	Graissage de chaine	05/08/2023	5	7
			Déséquilibre de l'arbre moteur	18/05/2023	3	6
	N104	COMPRESSEUR C2H2	Changement port fusible	19/08/2023	3	4
	N106	RAMPES REMPLISSAGE	Serrage et fuite	27/07/2023	1	2
	N108	CIRCUIT EAU DE CHAUX	Fissuration	10/06/2023	1	3
	N109	CIRCUIT EAU DAPPOINT	Remplacement flotteur électrique	20/07/2023	1	2
	N111	CIRCUIT INCENDIE				
	N115	ENTRETIEN BOUEILLES	Graissage des étages de réduction	23/06/2023	1	2

Tableau 03 : Activité Maintenance du (mai-juin-juillet-aout)

Atelier	SEH	Elément	Travaux effectués	DATE	T.h.Tr	TA
C2H2	N101	GENERATEUR C2H2	Alignement l'arbre de réducteur	12/12/2023	½ h	1
	N104	COMPRESSEUR C2H2	Changement de vilebrequin et piston	14/10/2023	4	6
	N106	RAMPES REMPLISSAGE	Changement les flexibles	28/11/2023	6	8
	N108	CIRCUIT EAU DE CHAUX	Soufflage moteur et changement de relais thermique	03/09/2023	1	3
	N109	CIRCUIT EAU DAPPOINT				

	N111	CIRCUIT INCENDIE				
	N115	ENTRETIEN BOUEILLES	Contrôle et changement grilles de protection	30/09/2023	2	3

Tableau 04. Activité Maintenance du (septembre-octobre-novembre-décembre)

3.1 Classement de TBF calcul F (ti) :

N°	TBF (h)	N	$\sum n_i$	F (ti)	F (ti) %
1	166	1	1	0.0172	1.72
2	209	1	2	0.0977	9.77
3	310	1	3	0.1551	15.51
4	330	1	4	0.2126	21.26
5	332	1	5	0.2701	27.01
6	335	1	6	0.3275	32.75
7	355	1	7	0.3850	38.5
8	357	1	8	0.4425	44.25
9	378	1	9	0.5	50
10	424	1	10	0.5574	55.74
11	525	1	11	0.6149	61.49
12	552	1	12	0.6724	67.24
13	645	1	13	0.7298	72.98
14	646	1	14	0.7873	78.73
15	670	1	15	0.8448	84.48
16	932	1	16	0.9022	90.22
17	1072	1	17	0.9597	95.97

Tableau 05. Classement de TBF calcul F (ti)

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(i) calculés par la méthode des rangs médians $F = (\sum ni - 0.3) / (N + 0.4)$ (dans notre cas $N = 17 < 20$) pour trace la courbe de Wei Bull :

3.2 Estimation des paramètres de la loi Weibull (η, β, γ) :

Nous avons utilisé le logiciel Minitab pour simplifier le calcul des paramètres de la distribution de Weibull.

3.3 Présentation générale de Minitab :

Minitab est un logiciel propriétaire commercial de statistiques. Il est développé par Minitab,

Inc. pour le système d'exploitation Windows.

Minitab nous permet d'accomplir plusieurs tâches :

- Analyser des données à l'aide de graphiques et présenter des résultats
- Réaliser des analyses statistiques

- Faire une évaluation de la qualité
- Concevoir un plan d'expériences
- Utiliser des raccourcis en vue d'automatiser les analyses futures
- Explorer des données avec graphique
- Calculer la fiabilité par différentes méthodes et la représenter graphiquement

3.4 L'environnement de Minitab

Dans, Minitab au démarrage, vous êtes accueilli par deux fenêtres principales :

1. La fenêtre Session, où les résultats de vos analyses sont présentés sous forme de texte.
2. La fenêtre Données, qui ressemble à une feuille de calcul et vous permet d'ouvrir plusieurs feuilles de travail dans des fenêtres distinctes.

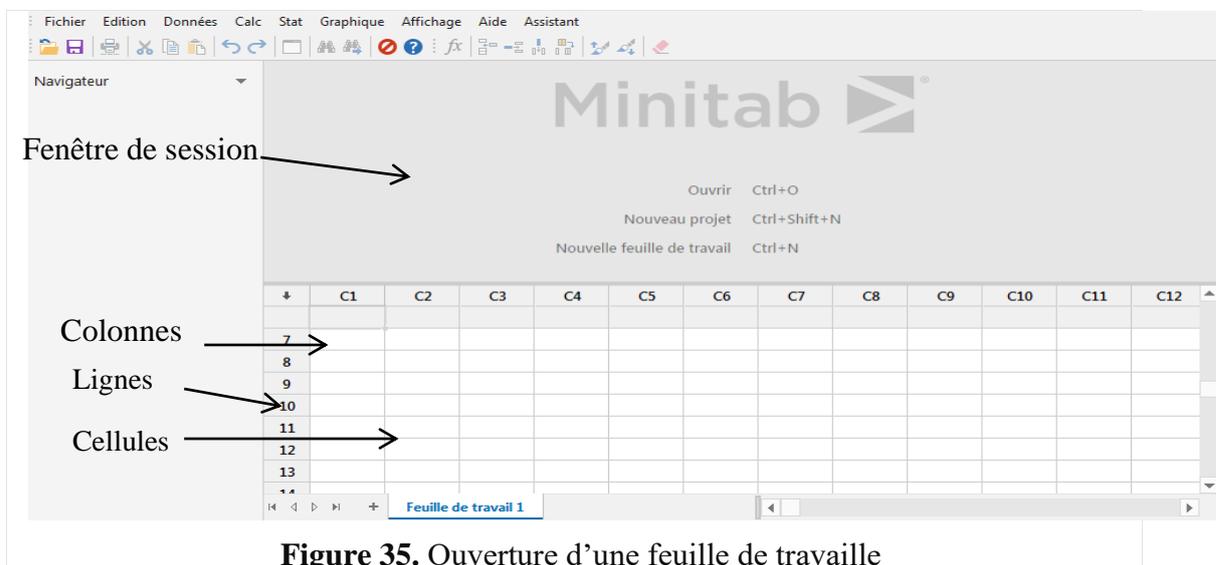


Figure 35. Ouverture d'une feuille de travail

3.5 Examen de la feuille de travail :

Les données sont disposées en colonnes, souvent appelées variables, avec leur numéro et leur nom en tête de chaque colonne. Chaque ligne de la feuille de travail correspond à un enregistrement. Dans "Minitab", on trouve trois types de données acceptées : les données numériques, textuelles et les données de date/heure, tous représentés dans cette feuille de travail.

3.6 Représentation graphique des données :

Avant de procéder à une analyse statistique, il est possible d'explorer les données et d'évaluer les relations entre les variables en utilisant des graphiques. De plus, l'utilisation de graphiques permet de résumer les données et facilite l'interprétation des résultats statistiques. Les graphiques de Minitab sont accessibles via les menus Graphique et Statistique. De nombreux outils statistiques incluent également des graphiques intégrés, qui aident à interpréter les résultats et à évaluer la validité des hypothèses statistiques.

Les graphiques de Minitab comprennent les fonctionnalités suivantes :

- Galeries picturales pour vous aider à choisir le type de graphique.
- Flexibilité dans la personnalisation des graphiques.
- Éléments graphiques que vous pouvez modifier.
- Option de mise à jour automatique des graphiques.

3.7 Etude de la loi de Weibull :

Le déroulement de l'étude passe par les étapes suivantes :

Etape 1 :

- Remplissage des données sur la feuille de travail.
- Sélectionnez Stat > Fiabilité/Survie > Analyse de répartition (troncature à droite) > Analyse de répartition paramétriques.

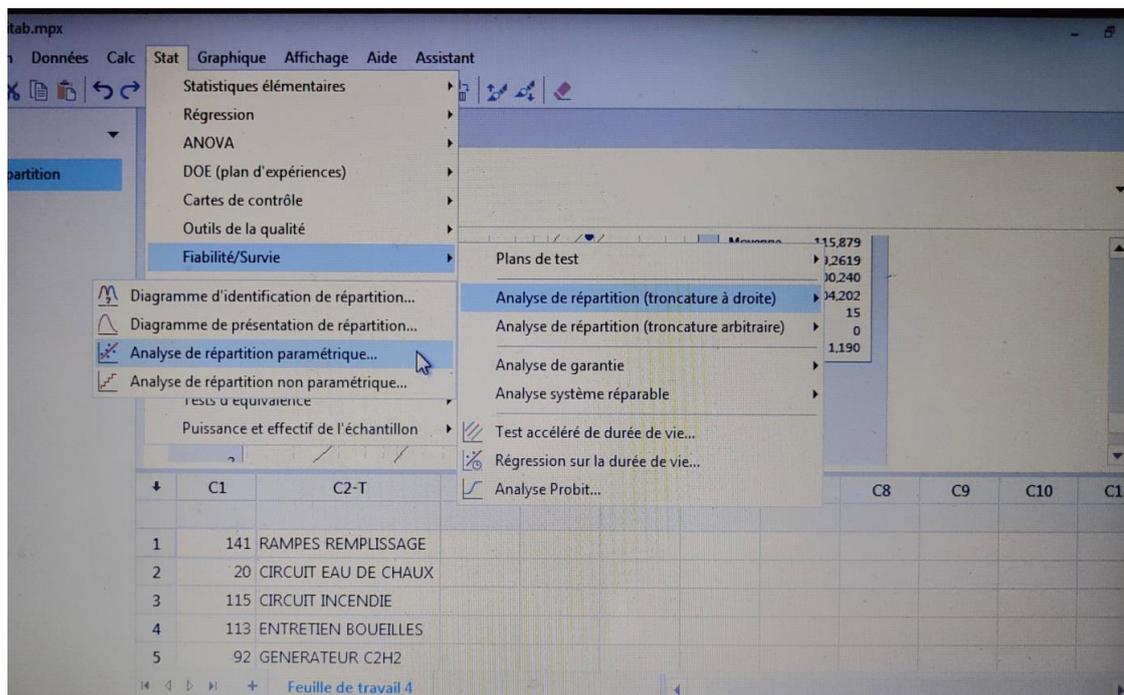


Figure 36. Analyse de répartition

Etape 2 :

- Cliquer sur C1 puis cliquer sur sélectionner, TBF sera afficher dans la case « variables ».
- Choisi Weibull de la liste de loi de distribution.
- Cliquer sur « ok ».

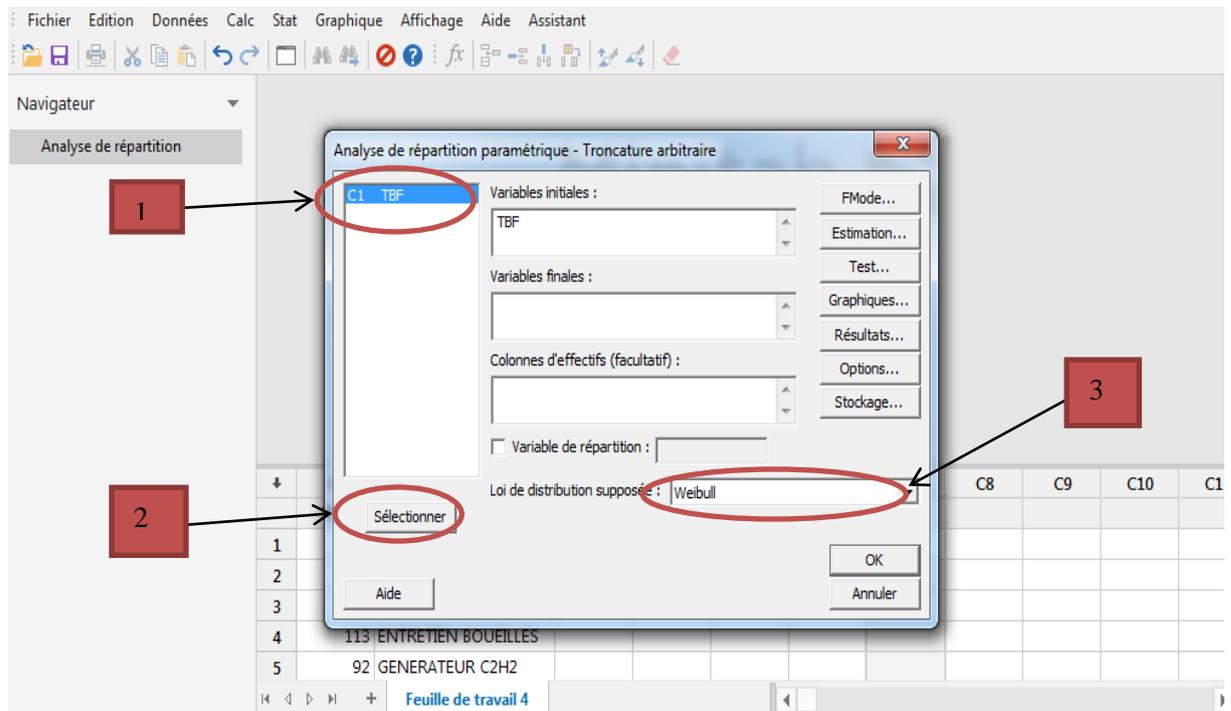


Figure 37. Estimation des données

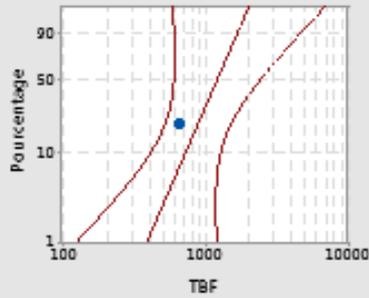
On déduit les paramètres : β (forme), η (échelle) et γ (troncateur) par notre logiciel Minitab.

Diag. probab. de TBF

Données complètes - Estimations de MaxV

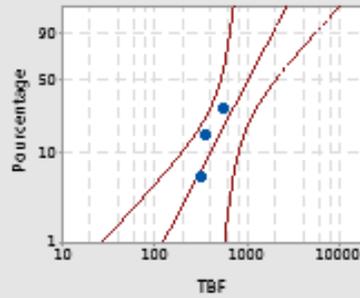
Mode déf. = CIRCUIT EAU DAPPOINT

Weibull IC à - 95%



Mode déf. = CIRCUIT EAU DE CHAUX

Weibull IC à - 95%



Modedéf. = CIRCUIT EAU DAPPOINT

Forme Echelle

3,69847 1345,38

Modedéf. = CIRCUIT EAU DE CHAUX

Forme Echelle

1,99306 1265,81

Modedéf. = CIRCUIT INCENDIE/ENTRETIEN BOUEILLES

Forme Echelle

3,92405 1310,82

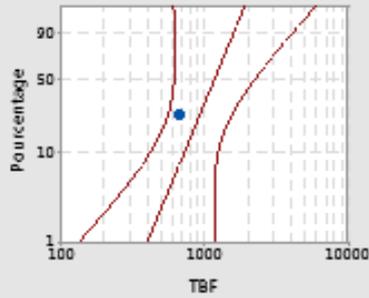
Mode déf. = COMPRESSEUR C2H2

Forme Echelle

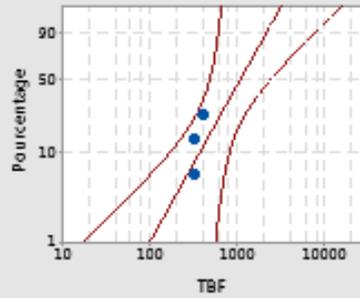
1,77220 1376,39

de déf. = CIRCUIT INCENDIE/ENTRETIEN BOUEILLES Mode déf. = COMPRESSEUR C2H2

Weibull IC à - 95%



Weibull IC à - 95%

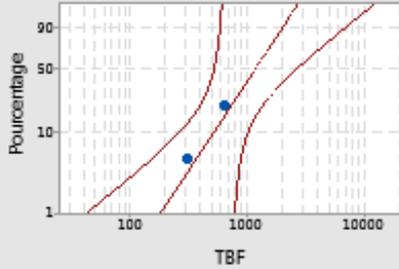


Diag. probab. de TBF

Données complètes - Estimations de MaxV

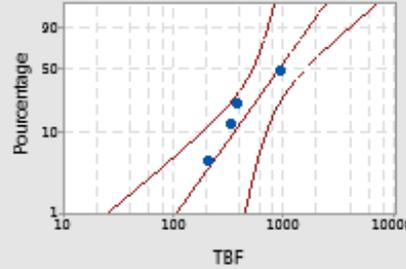
Mode déf. = ENTRETIEN BOUEILLES

Weibull IC à - 95%



Mode déf. = GENERATEUR C2H2

Weibull IC à - 95%



Mode déf. = ENTRETIEN BOUEILLES

Forme Echelle

2,26470 1404,79

Mode déf. = GENERATEUR C2H2

Forme Echelle

1,97191 1101,66

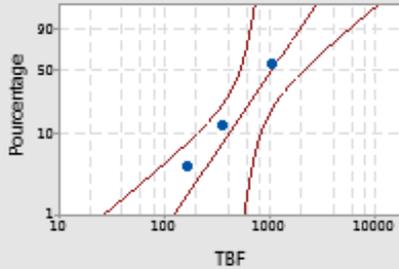
Mode déf. = RAMPES REMPLISSAGE

Forme Echelle

1,98287 1270,05

Mode déf. = RAMPES REMPLISSAGE

Weibull IC à - 95%



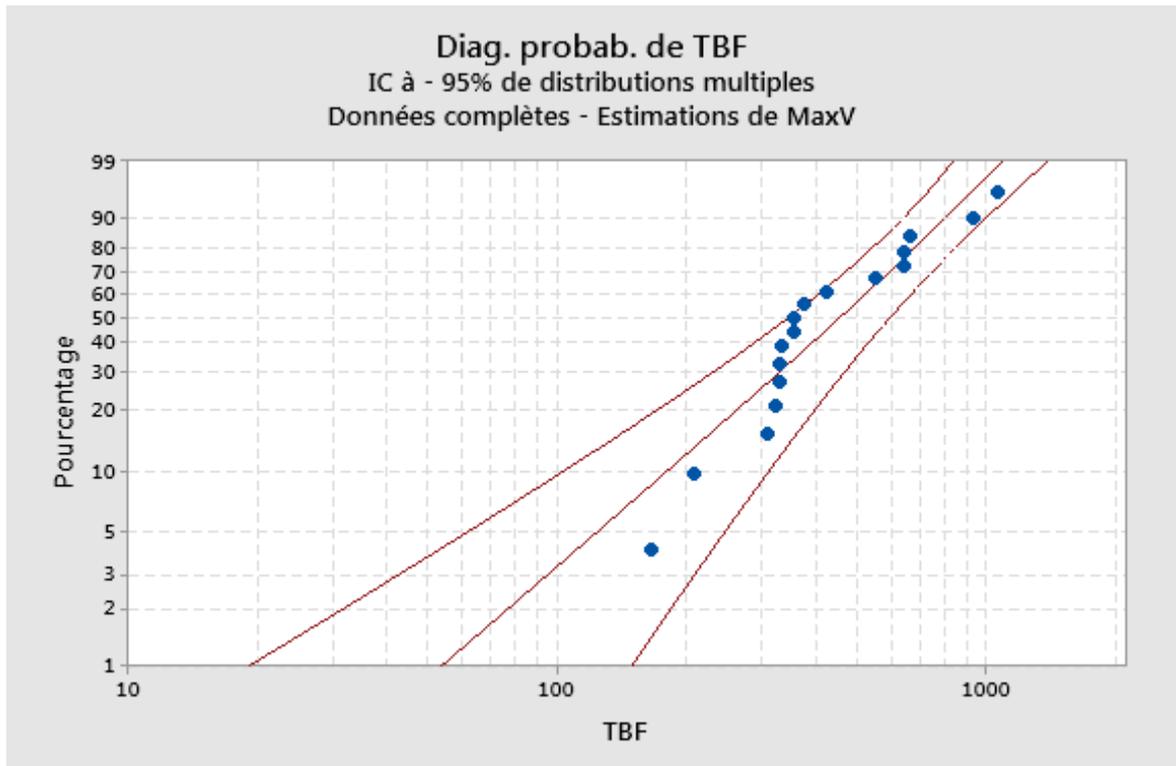


Figure 38. Papier de Weibull en logiciel Minitab

Commentaire :

On a remarqué β supérieur à 1, le taux de défaillance augmente avec le temps

3.8 Calcule fiabilité de l'unité C2H2 R(t) :

$R(t)_{\text{générateur}} : e^{-(t/\eta)^\beta} \beta=0.82$

$R(t)_{\text{compresseur}} = 0.86$

$R(t)_{\text{rampes remplissage}} = 0.88$

$R(t)_{\text{circuit eau de chaux}} = 0.92$

$R(t)_{\text{circuit eau d'appoint}} = 0.97$

$R(t)_{\text{circuit incendie}} = 0.98$

$R(t)_{\text{entretien bouteilles}} = 0.94$

➤ **Remarque :**

Lorsque l'équipement est en série donc la fiabilité totale : $R(t)_{\text{générateur}} \times R(t)_{\text{compresseur}} \times R(t)_{\text{rampes remplissage}} \times R(t)_{\text{circuit eau de chaux}} \times R(t)_{\text{circuit eau d'appoint}} \times R(t)_{\text{circuit incendie}} \times R(t)_{\text{entretien bouteilles}} = 0.51 = 51\%$

➤ **51% de fiabilité :** Le système a une chance sur deux de fonctionner sans panne pendant une année complète.

➤ **Impact des pannes :** Si une panne se produit, elle peut entraîner une interruption de la production, affecter les délais de livraison, et entraîner des coûts de réparation.

Planification : L'usine doit planifier des activités de maintenance régulières et être

prête à intervenir rapidement en cas de panne. Il peut être utile de prévoir des pièces de rechange et des équipes de réparation disponibles à tout moment

Conclusion

Une fiabilité de 0.51 pendant une année indique un équilibre précaire entre le fonctionnement sans panne et le risque de défaillance. Pour des systèmes critiques ou des environnements où les pannes sont coûteuses ou dangereuses, des efforts pour améliorer cette fiabilité sont nécessaires. Les actions peuvent inclure des interventions de maintenance plus fréquentes, des améliorations de conception, et une surveillance accrue pour prévenir les défaillances.

3.9 La maintenance prédictive proposée sur l'entreprise (LINDE GAS SBA) :

Nous avons remarqué que la plupart des perturbations qui se produisent dans l'entreprise tombent sur les moteurs, alors nous avons suggéré ce genre de maintenance prédictive (Les capteurs de vibrations).

La solution proposée est basée sur l'utilisation de techniques de vibration pour lire l'état réel des différents moteurs de l'entreprise, puis les analyser et les comparer avec des valeurs standard selon les règles méthodologie d'application de la maintenance prédictive présentée dans la figure en s'appuyant sur le tableau de valeurs standard 10816ISO

Machine		Class I Petites Machines	Class II Machines Moyennes	Class III Grosse Fondation Rigide	Class IV Grosse Fondation Souple
	po/s	mm/s			
Vélocité de la vibration V ms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71			
	0.04	1.12		Bon	
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		Satisfaisant	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		Insatisfaisant	
	0.44	11.20			
	0.70	18.00		Inacceptable	
	0.71	28.00			
1.10	45.00				

Figure 39 : Tableau des spécifications 10816 ISO

Avant de commencer le processus de lecture des valeurs de vibration du moteur, nous devons commencer à localiser les points sur lesquels les capteurs de vibration doivent être installés afin d'obtenir une lecture plus fiable des valeurs de vitesse de vibration. Les fabricants de capteurs de vibrations fournissent un certain nombre de conseils dans leur manuel d'utilisation par lesquels ils montrent les meilleurs emplacements sur lesquels les capteurs peuvent être installés. La figure (40) montre les points proposés (cercle rouge) pour stabiliser les capteurs conformément au manuel d'utilisation de Sensors IMI. Le manuel comprend également de nombreuses explications montrant le positionnement des capteurs pour de nombreux moteurs différents tels que les pompes....

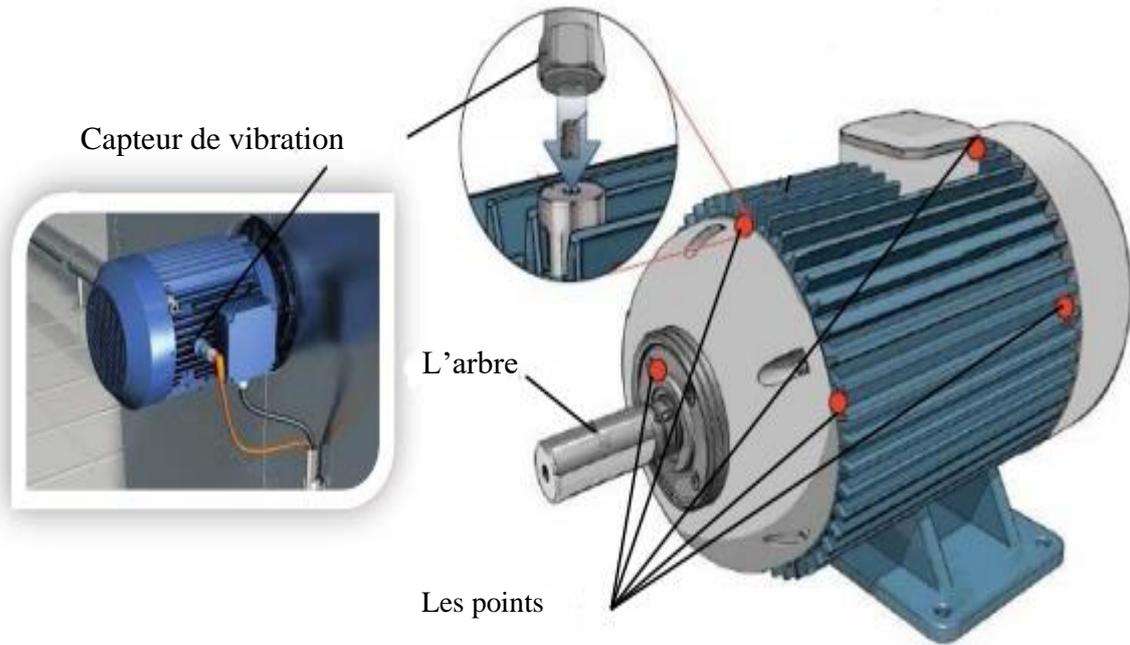


Figure 40 : Identification des points d'installation des capteurs de vibrations

Après avoir stabilisé les capteurs, la prochaine étape consiste à les connecter à leurs propres émetteurs qui convertissent le signal électrique relativement faible généré par le capteur de vibration en un signal électrique plus puissant de 4 à 20 mA en fonction de la valeur générée par le capteur. Les écrans d'analyseur de vibrations ou le système PLC sont connectés au signal de sortie de l'émetteur, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.

La figure (41) illustre le processus de conversion d'une sortie sensible d'excitation à un signal électrique à l'aide d'un émetteur de stimulation.

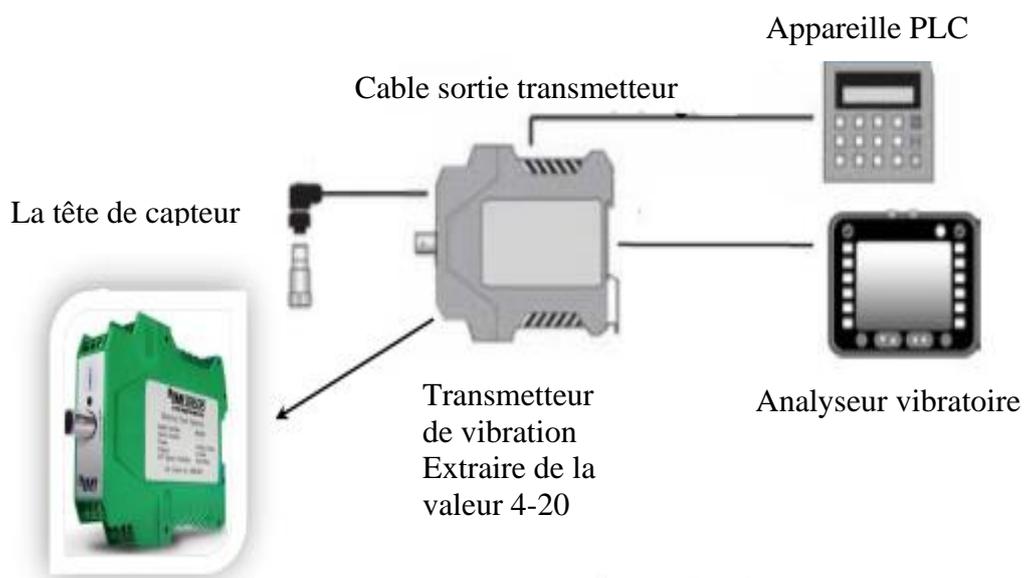


Figure 41 : Transmetteur de vibration

À l'issue de cette phase, nous aurons obtenu un indice réel et fiable de la vitesse du moteur, représenté par un signal électrique qui oscille dans le champ (4-20 mA) (on peut en profiter et l'analyser en utilisant plusieurs façons que nous suggérerons dans la section suivante de cette recherche).

3.9.1 Utilisation de systèmes de contrôle programmés PLC :

Les technologies les plus couramment employées dans l'industrie des lignes de production sont les contrôles automatiques programmés. Ils offrent une capacité et une rapidité adéquates pour gérer un large éventail de sensations, en plus de la prise de décision rapide et de la douleur qui se reflète parfaitement dans la fréquence de production. Au fil du temps, les PLC ont connu une évolution et ont pu mettre à jour leurs technologies afin de devenir un moteur du développement technique, notamment dans le domaine des réseaux câblés et des câbles, et plus spécifiquement du réseau Internet, grâce à de nombreuses applications et instructions. Le système PLC joue un rôle essentiel dans cette étude en étant capable de prédire les mouvements des individus. Le système PLC est composé des composants suivants :

- **Unité d'intervention** : Les signaux provenant de divers périphériques d'entrée, comme les sensibilités et les touches, sont recueillis par cette unité, qui les transforme en valeurs numériques et logiques qui peuvent être traitées dans le système.
- **Unité centrale de traitement** : La fonction de cette unité consiste à lire les valeurs présentes dans l'unité d'entrée et à exécuter les instructions contenues dans le logiciel de stockage d'une unité de mémoire. Cela génère un ensemble de décisions qui sont converties en commandes qui sont envoyées à l'une des unités d'enregistrement.
- **L'unité de sortie** : Le processeur lui envoie les commandes, qu'il convertit en signaux électriques, qui lui permettent d'allumer et d'arrêter les divers moteurs tels que les moteurs, les ampoules, les lampes, etc.
- **Unité de mémoire** : Selon le type et la nature de l'unité de mémoire, le programme que le programmeur du système a écrit est conservé dans cette unité pour être transféré au processeur au début du système.
- **Unité de fourniture de puissance** : Il transforme une tension de 220 volts en un ensemble d'efforts continus DC qui sont utilisés pour alimenter les éléments du système.

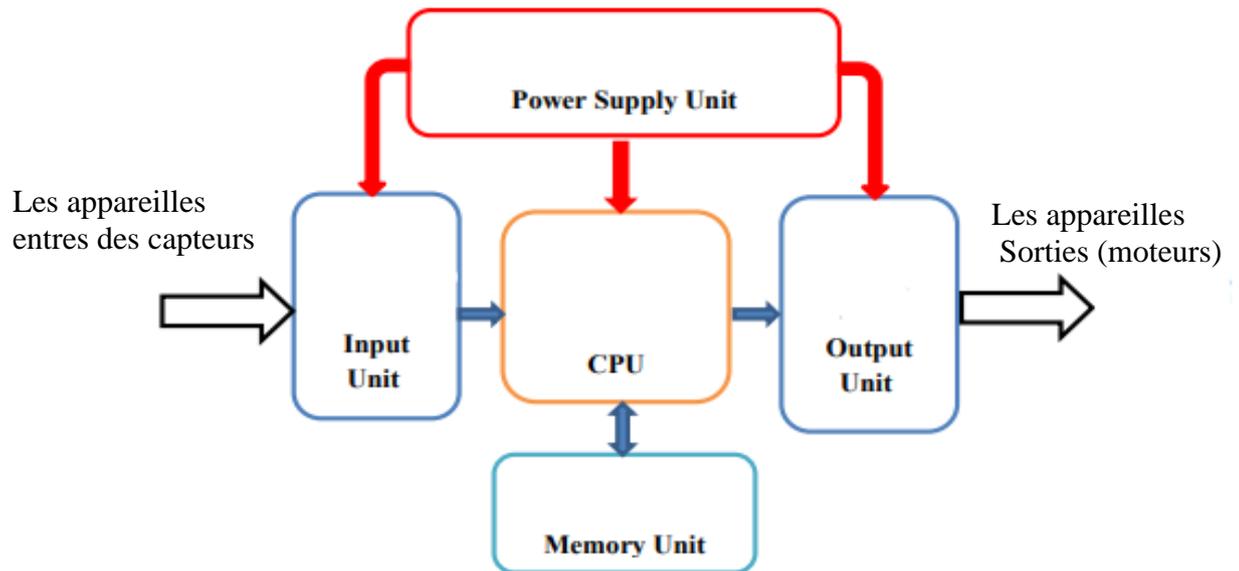


Figure 42 : Les composants de system PLC

Pour plusieurs raisons essentielles, cette étude recommande l'utilisation d'un système PLC de production de la société allemande SIEMENS, de type CPU S7-1200C1211 :

- La vitesse d'exécution appropriée pour le processeur central C1211 CPU est de 0,08 μ s par session.
- L'unité CPU est équipée de 6 entrées numériques DI et de 4 interfaces numériques DQ.
- Il contient également deux entrées de synchronisation intégrées à 2 AI, ce qui nous donne un coût supplémentaire pour l'achat d'un crochet pour le logiciel d'interface similaire.
- Une interface intégrée qui supporte les protocoles IP/TCP et SNMP, qui sont considérés comme indispensables pour connecter le système à Internet et envoyer des courriels.
- Prix abordable où le coût d'une unité de CPU avec toutes les caractéristiques atteint 200 \$.

La figure (43) affiche l'unité de traitement CPU C1211 SIEMENES :

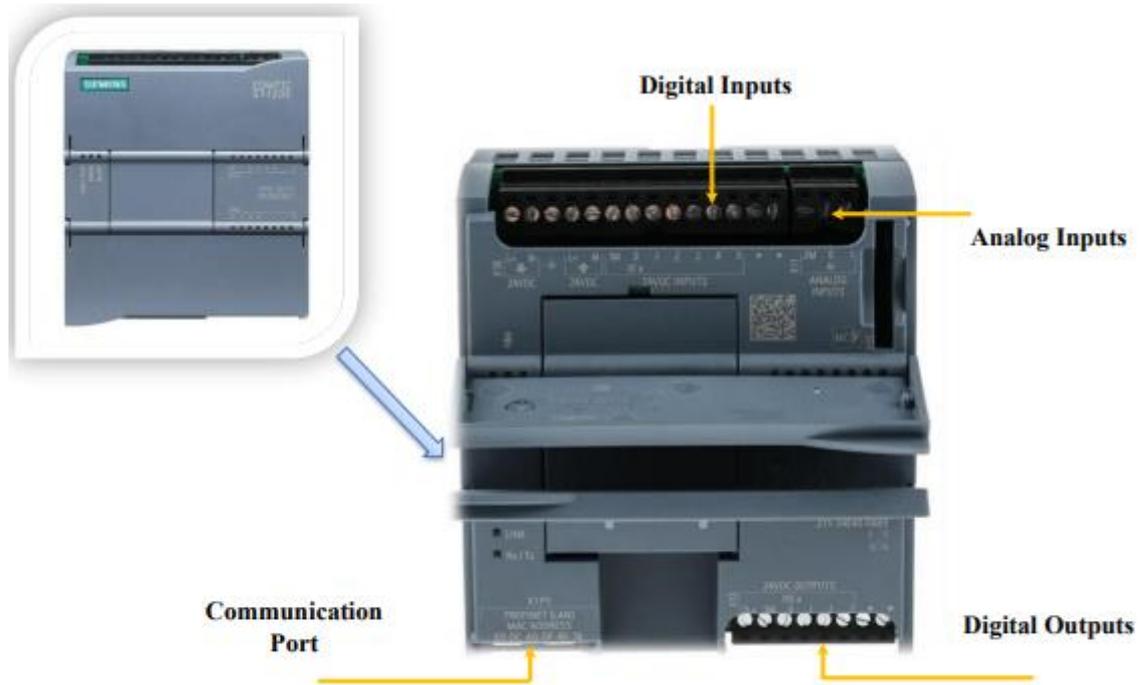


Figure 43 : l'appareille C211CPU SIEMENES

Cependant, sans un programme permettant de définir les objectifs et les résultats souhaités par le système, le PLC est considéré comme sans valeur. En général, ce programme est

Rédigé par une personne compétente ayant une expérience technique dans ce domaine. Bien que les principes fondamentaux de la programmation des appareils PLC soient similaires entre les différentes entreprises qui les fabriquent, chaque entreprise possède un logiciel distinct. Juste sans autre chose.

Les instructions spécifiques au PLC proposé dans cette recherche sont rédigées à l'aide du programme 15.0V 7STEP SIEMENS. Ce programme se distingue par sa flexibilité dans le traitement et le contenu d'un grand nombre d'instructions nécessaires à tout projet en cours. De plus, il est capable de construire, gérer et exporter des bases de données. De plus, il comprend une instruction spéciale pour la connexion avec les réseaux câblés et sans fil de divers types. Le programmeur d'expérimentation et de test sur ordinateur est inclus dans le logiciel de simulation avant d'être transféré au PLC.

Nous allons sélectionner un moteur qui peut atteindre la limite de 8Kw, c'est-à-dire qu'il est de taille. D'après l'ISO 108611, il peut être utilisé pour illustrer la structure du système PLC proposé dans la figure :

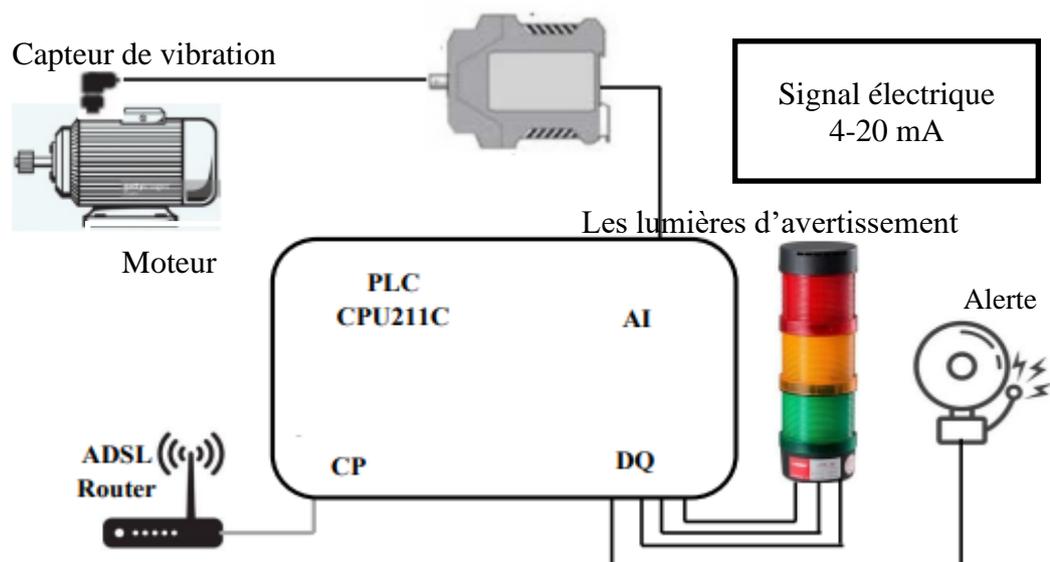


Figure 44 : Structure du système PLC proposé

Afin de mettre en place le système précédent pour accomplir ses tâches en anticipant les pannes du moteur, il est nécessaire de le programmer. Le PLC donne les consignes requises

Pour mettre en œuvre la méthodologie de maintenance prévisionnelle conformément au tableau.

La figure (45) indique l'ordre du programme requis :

Les éléments suivants définissent les aides employées pour la réalisation de la logistique :

- La lecture à une vitesse excitante est réalisée en ressentant une sensation de tension sur le moteur.
- La valeur de sensibilité indiquée par l'expéditeur est convertie en un signal électrique variable dans le domaine mA4-20.
- Le signal électrique reçu par l'IA sur le PLC est converti en une valeur numérique de type approprié dans le champ $[+32,767...-32,768]$ par l'IA.
- La fonction du capteur de sensibilité est de mesurer les zones de lecture dans les limites autorisées. Par exemple, la vitesse du moteur configuré selon le tableau de spécification ISO varie de 45 mm/sec à 0,28 mm/sec.

Il est donc nécessaire de déterminer la valeur correcte obtenue lors de la phase précédente en divisant la valeur numérique de type réel par dix, de manière à ce qu'elle soit à la fois au minimum 0,28 et au maximum 45.

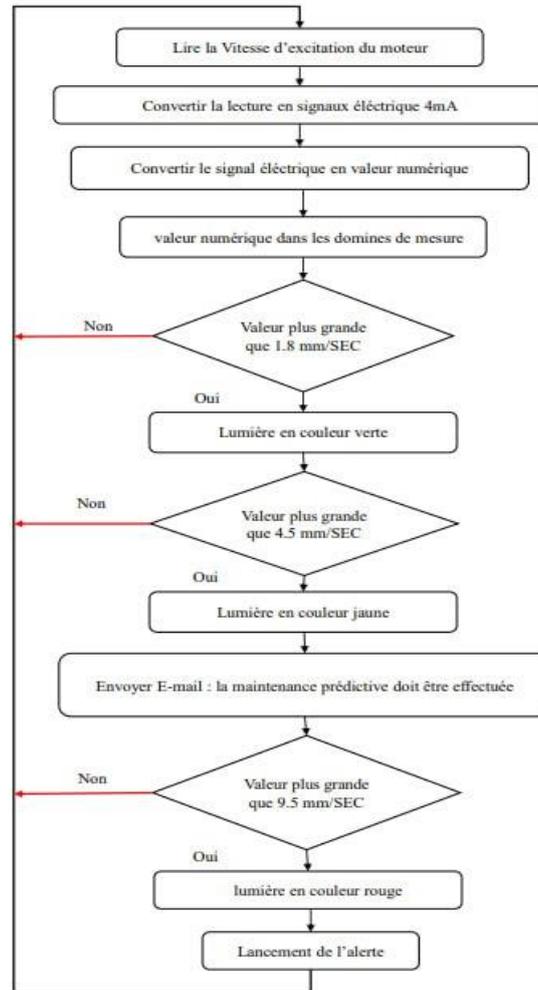


Figure 45 : l'ordre du programme

Le processus de transfert du logiciel PLC est effectué à l'aide de deux formations : Il s'agit de SCALE_X et NORM_X dans le Programme step-7.

Le commentaire X_NORM transforme le nombre exact de l'entrée symbolique en nombre réel, puis transfère la valeur obtenue à la formule X_SCALE, qui transforme la valeur en une valeur correspondant au minimum MIN et au maximum MAX du champ de mesure la figure (46) illustre la manière dont les sens sont transmis. L'examen est réalisé en suivant le programme établi après avoir suivi la procédure.

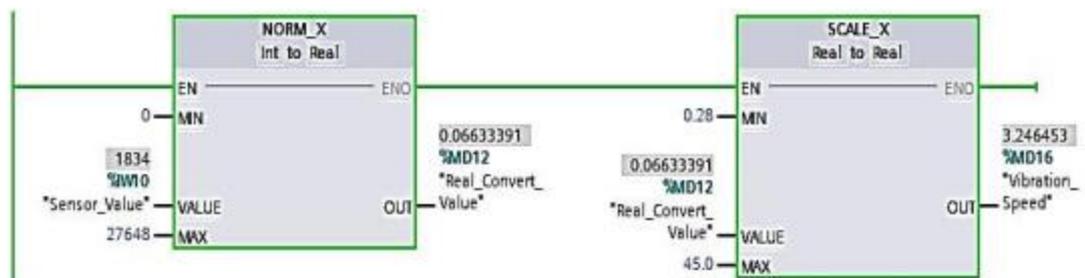


Figure 46 : instruction détalonnage

Veillez noter que la valeur numérique de la sensation d'excitation 1834 =

Value_Sensor est équivalente après l'exécution des instructions de vitesse d'Excitation à la valeur

$$\text{Sec/mm}3,246 = \text{Speed_V}$$

• réalise une comparaison entre la valeur corrigée de la vitesse d'excitation et les trois valeurs normales en utilisant un ensemble d'instructions de comparaison qui activera la sortie lors de la réalisation de la condition de comparaison, comme illustré dans la figure :



Figure 47 : Instructions de comparaison

Dans la figure précédente, on a comparé la valeur du secret d'excitation obtenu lors de la phase précédente à la valeur de 1,8 - la limite de séparation à laquelle un avertissement lumineux sera

Envoyé à l'utilisateur - que nous pouvons observer à travers le processus d'imagerie en allumant la lumière verte.

Au sein du programme -7Step, la formation C_TMAIL est exclusivement conçue pour l'envoi de courriels. Seuls les paramètres requis pour effectuer l'apprentissage sont indiqués par le logiciel, tels que l'adresse e-mail et le formulaire du message, comme indiqué dans la figure

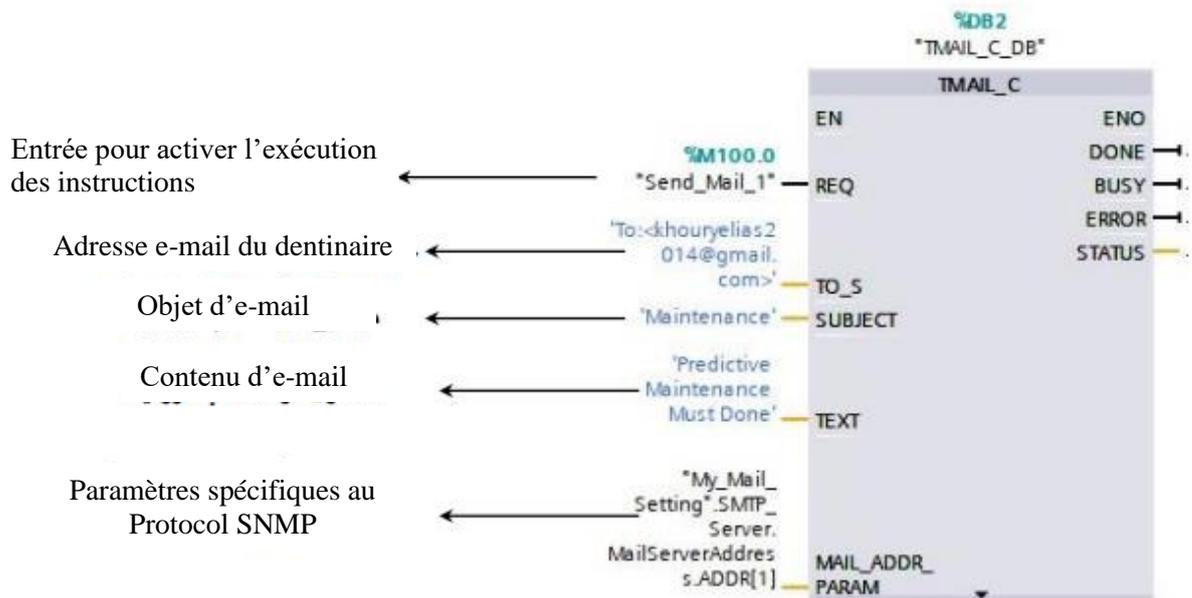


Figure 48 : TMAIL pour envoyer un e-mail

Il est essentiel de se conformer aux règles et aux paramètres de commentaire lors de l'utilisation d'un commentaire précédent, tels que l'ajout de "<>" dans le courrier électronique, ainsi que le fait que le contenu du message ne doit pas dépasser 240 lettres.

Il est également important de souligner que l'application n'est disponible que dans les réseaux d'établissements privés.

Après avoir modifié certains paramètres de ces services, il est possible d'accéder à Internet via un serveur proxy afin d'envoyer des e-mails vers des serveurs de messagerie externes tels que Gmail.

Le système PLC peut servir à la prédiction de la maintenance. Gérer les systèmes sensibles au chantage de manière efficace, ainsi que la possibilité d'envoyer des e-mails et d'alerter l'utilisateur de diverses manières, tout cela à un prix abordable.

CONCLUSION

GENERALE

L'importance grandissante de la maintenance prédictive dans les environnements industriels contemporains a été soulignée dans ce mémoire, notamment à travers l'analyse du cas de l'entreprise Linde Gas SBA. L'examen approfondi des méthodes de maintenance actuelles a mis en évidence une grande dépendance envers l'approche réactive, marquée par des interruptions de production inattendues et des frais élevés liés à la réparation des équipements défectueux.

On a suggéré d'adopter la maintenance prédictive comme une solution efficace afin d'améliorer la fiabilité opérationnelle et de diminuer les dépenses budgétaires à long terme. Grâce à l'utilisation de capteurs de vibration et de systèmes de contrôle programmés (PLC), cette méthode permet de surveiller en temps réel l'état des équipements essentiels. L'incorporation de ces technologies permet non seulement de prévoir les éventuelles pannes, mais également d'améliorer les performances.

Bibliographie

Bibliographie :

¹ <https://fr.wikipedia.org>

² <https://www.djazagro.com/presse/communiqués-de-nos-exposants/linde-gas-algerie-spa>

³ <https://www.djazagro.com/presse/communiqués-de-nos-exposants/linde-gas-algerie-spa>

⁴ https://www.memoireonline.com/01/20/11455/m_elaboration-dune-nouvelle-methodologie-detude

⁵ <https://www.djazagro.com/presse/communiqués-de-nos-exposants/linde-gas-algerie-spa>

⁶ <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/7553/acetylene>

⁷ document d'entreprise

⁸ document d'entreprise

⁹ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹⁰ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹¹ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹² manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹³ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹⁴ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹⁵ manuel d'utilisation et d'entretien d'acétylène

¹⁶ e burton swanson. The dimensions of maintenance. In proceedings of the 2nd international conference on software engineering, pages 492–497, 1976.

¹⁷ houda el aoufir and driss bouami. Maintenance des équipements de production : les enjeux de la maîtrise des coûts. Revue française de gestion industrielle, 23(3) :71–86, 2004.

¹⁸ e burton swanson. The dimensions of maintenance. In proceedings of the 2nd

international conference on software engineering, pages 492–497, 1976.

¹⁹ rachid noureddine, "implémentation de la maintenance prédictive dans les systèmes de production ", université d'oran 2 mohamed ben ahmed 2008.

²⁰ st-marseille m. And lapointe j.b., la gestion des équipements vers l'entretien préventif, association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques, bibliothèque nationale du québec, 1997

²¹ afnor.

²² monchy

²³ kabouche abdallah. Techniques de maintenance prédictive pour l'amélioration de la disponibilité des installations. Phd thesis, université de annaba-badji mokhtar, 2007.

²⁴<https://www.appvizer.fr/magazine/operations/gmao/maintenance-predictive-definition>

²⁵ selon r. Keith mobley

²⁶ girdhar, p. And scheffer, c. (2004) machinery vibration analysis & predictive Maintenance. 1st edition, uk: elsevier.

²⁷ sullivan, g.p., pugh, r., melendez, a.p., hunt,w.d. (2002). Operation & Maintenance best practices: a guide to achieving operational efficiency. Usa: U.s.department of energy .

²⁸ levitt, j. (2011) complete guide to preventive and predictive maintenance. 2nd Edition, usa: industrial press inc.

²⁹ garvey, r. And fogel, g.(1998) " converting tribology based condition monitoring into measurable maintenance results ", computational systems inc.

³³ rienstra, a. And hall, j.(2010) " ultrasonic detection: applying acoustic vibration monitoring to predictive maintenance ", sdt north america .

BIBLIOGRAPHIE

³⁴ thomas, d.s and weiss, b.a. (2020). "economics of manufacturing machinery maintenance ", national institute of standards and technology

³⁵ poor, p. And zenisek, d. And basel, j. (2019) "historical overview of maintenance management " , industrial engineering and operations management .

³⁶ trojan, f. And marcal, .r.f. (2017) " proposal of maintenance –types classification to clarify maintenance concepts in production and operations management " , journal of business and economics, volume 8, no.7, pp.560-572