

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHADOUN DE TIARET

FACULTES DES SCIENCES APPLIQUEES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

THEME

Elaboration d'un plan de maintenance préventive d'une motopompe

Préparé par : Mr Bouzeboudja ilyes

Devant le jury :

| Nom et prénoms | Grade | Lieu d'exercice | Qualité |
|--------------------|-------|-----------------|------------|
| MAKHFY SOUAD | MCB | UIK | Présidente |
| SAAD MOHAMMED | MAA | UIK | Examineur |
| BOUZOUINI MOHAMMED | MAA | UIK | Encadreur |

I.1 Présentation de l'entreprise :

I.1.1 Historique de NAFTAL : [1]

NAFTAL est une société algérienne, filiale à 100 % de SONATRACH. Elle est chargée de la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien.

Par transfert du monopole et de biens et personnels détenus ou gérés par SONATRACH, le 6 avril 1981 par décret N° 80/101, il est créé une entreprise nationale dénommée « Entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétroliers » par abréviation (E.R.D.P), entreprise socialiste à caractère économique.

Entrée en activité le 1er janvier 1982, elle est chargée de l'industrie du raffinage des hydrocarbures liquides et de la distribution des produits raffinés sur le territoire national. Le 5 février 1983, par décret n°83-112, il est procédé à la modification de la dénomination de l'entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétroliers d'E.R.D.P en NAFTAL.

En date du 25 août 1987, promulgation du décret n°87-190 portant création, par transfert de l'activité raffinage de Naftal, de l'Entreprise nationale de raffinage des produits pétroliers sous le sigle « NAFTEC » ; Naftal est désormais chargée de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers et dérivés.

Le 18 avril 1998, elle change de statut avec la transformation de NAFTAL en société par actions au capital social de 6 650 000 000 DA, filiale à 100 % du holding SONATRACH Valorisation des Hydrocarbures (SVH). Le 29 Juillet 2002 : augmentation du capital social de 6,65 milliards de DA à 15,65 milliards de DA conformément à la résolution de l'AGEX.

I.1.2 Activité :

NAFTAL a pour mission principale, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national. Elle intervient dans les domaines :

- de l'enfûtage GPL.
- de la formulation de bitumes.
- de la distribution, stockage et commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, bitumes, pneumatiques, GPL/carburant, produits spéciaux du transport des produits pétroliers.
- Le rail pour le ravitaillement des dépôts à partir des entrepôts.
- Le cabotage et les pipes, pour l'approvisionnement des entrepôts à partir de raffineries.
- La route pour livraison des clients et le ravitaillement des dépôts non desservis par le rail.

I.1.3 Infrastructures :**I.1.3.1 Infrastructures opérationnelles :**

- 47 dépôts carburants terre.
- 42 Centres et mini-centres GPL.
- 09 Centres vrac GPL.
- 47 Dépôts relais.
- 30 Dépôts aviation.
- 06 Centres marine.
- 15 Centres bitumes.
- 24 Centres lubrifiants & pneumatiques.
- Un Réseau de Transport pipelines d'une longueur de (2 720 km).
- Un Parc roulant de 3 300 unités.
- Un Réseau de stations-service de 674 dont 338 stations-service en gestion directe.

NAFTAL dispose deux (02) centres de formation d'entreprise qui accompagne les plans annuels et pluriannuels de formation.

I.1.4 Produit et service :**I.1.4.1 Professionnel :**

- Aviation
- Marine
- Bitumes
- Produits spéciaux

I.1.4.2 Particulier :

- Carburants.
- GPL.
- Lubrifiants.
- Pneumatiques.
- Sirghaz.
- Stations-service.

I.1.4.3 La macrostructure de NAFTAL :

Dans cette partie, nous trouverons la hiérarchie suivante :

1-Le président directeur général « PDG ».

A ces cotés un conseiller et un directeur de projet central ainsi qu'un chef de projet.

2-Les trois branches principales de la société que sont :

- La branche carburant
- La branche GPL
- La branche commercialisation

Avec des départements aux seins de chaque branche que sont : Administration, finances, ressources humaines, audit, juridique, santé et sécurité, système d'information, communication, maintenance et engineering

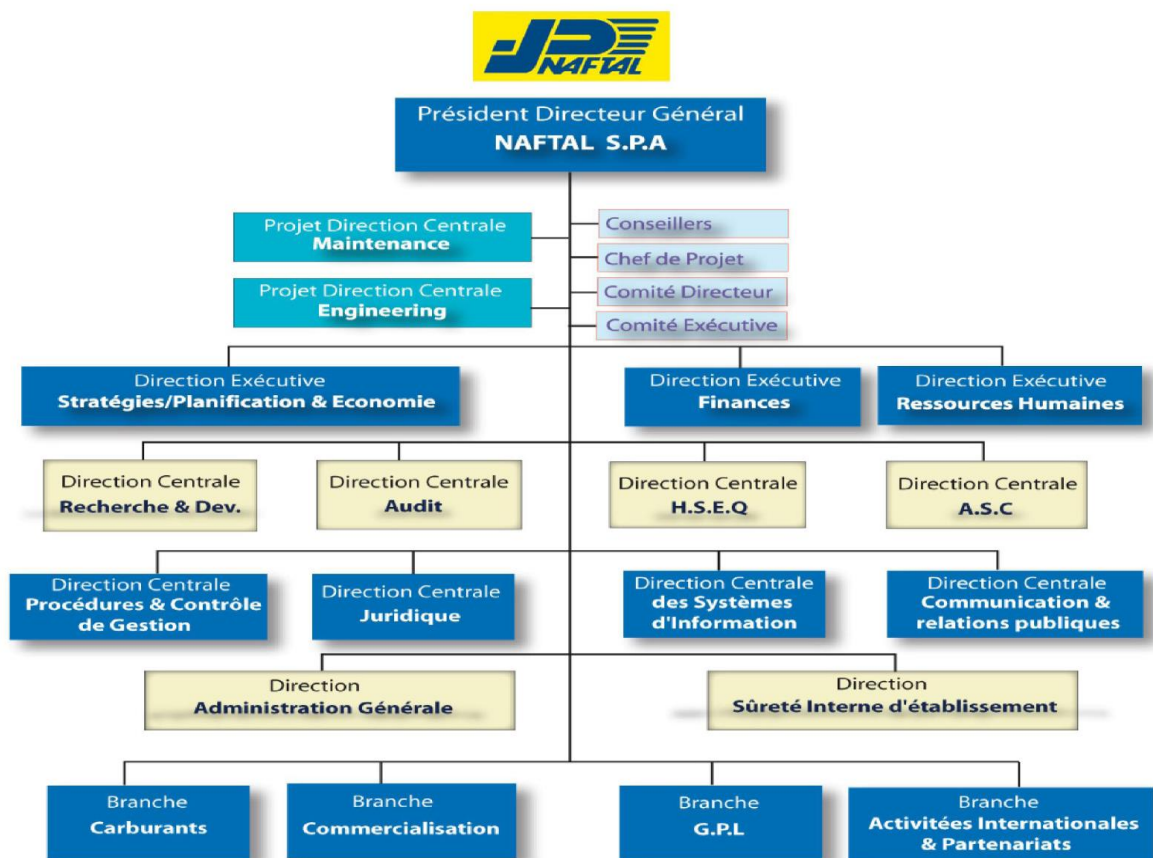


Figure I.1 La macrostructure de NAFTAL [1]

I.2 District GPL TIARET :

Son siège se trouve au chef-lieu de la wilaya chapoté par un directeur secondé par des chefs de département assistés par des chefs de services ou de chef de section. Le district gère deux centres enfuteurs (emplissage) et trois dépôt relais (stockage et distribution).

I.2.1 Organisation du district :

- a) Siège TIARET
- b) Centre – enfuteurs TIARET

- c) Mini centre- enfuteurs TISSEMSILT
- d) Dépôt relais (stockage-distribution).

I.2.1.1 Effectif du district permanent :

382 employés répartis comme suit :

- Cadre 15%.
- Maitrises 25%.
- Exécutions 60%.
- Centre de production et de distribution 250 agents.
- Centre de distribution 66 agents.
- Siege 66 agents.
- La force de vente dans cet effectif représente 15%.

I.2.2 Les moyens du district :

I.2.2.1 Fonction logistique :

Stockage – transport

I.2.2.2 Capacités et moyens de stockage :

Butane Vrac : Centre de Tiaret ...01 sphère de 1000 tonnes.

Centre de Tissemsilt ...03 cigares totalisant 160 tonnes.

Propane Vrac : Centre de Tiaret 02 cigares totalisant 150 tonnes.

I.2.2.3 Transport et moyens :

Le transport se fait par réseau routier, les moyens utilisés sont :

Pour le vrac : citernes de capacité 16 tonnes.

Pour le conditionné : camions et semi-remorques.

La source d'approvisionnement est NAFTEC (ARZEW-BETHIOUA). Le transport est assuré par la flotte NAFTAL à hauteur de 80% en période hivernale (pointe) assisté par des transporteurs privés.

En outre pour parer à d'éventuelles ruptures (intempéries) des districts tels que Blida, Alger, Tlemcen sont approvisionnés directement par pipes.

I.2.3 Zone d'influence du district :

Le district couvre 03 Wilayas :

–Wilaya de Tiaret avec le centre enfuteur de de Tiaret, le dépôt relais de Sougueur et dépôt relais de Frenda.

–Wilaya de Tissemsilt avec le mini centre enfuteur de Tissemsilet. Wilaya de laghouat avec le dépôt relais d'Aflou.

I.2.4 Définition du produit et sa march :

I.2.4.1 Définition :

Les produits commercialisés par NAFTAL sont :

-Butane B13 (bouteille 13kg) :

Produit phare de l'entreprise, le plus important segment du marché utilisé pour le chauffage, la cuisson, ...etc.

–Butane B03 (bouteille 3kg) :

Facile à transporter et utilisé par les clients individuels (étudiant, routier, vacancier, etc...).

–Propane P35 et P11 (bouteille 35Kg-11Kg) :

ciblé, clients artisans (plombier, entreprise, teinturier, etc...).

I.2.4.2 March du produit :

a) Industriel :

Intervient dans les domaines suivants :

- Chauffage, chaudières.
- Etanchéité des terrasses.
- Construction métallique.
- Fonderie métallique.
- Textile, verrerie.

a)Agricole :

Quelques privés l'utilisent pour leurs exploitations d'élevage des viandes blanches.

c) Collectivité et instruments :

Les institutions étatiques : Daïra, wilaya, APC, Ecoles pour les besoins en chauffage, cuisson, production eau chaude.

d) Propane vrac :

Ce gaz est livré en vrac directement par camion-citerne pour les clients dans des citernes de 1750 kg, utilisé autant que la P35 avec des capacités de stockage importante.

e) GPL/C ou sirghaz :

Carburants pour voiture légère, économique, commence à intéresser de plus en plus une clientèle qui cherche à le substituer aux carburants traditionnels ou en faire un carburant complémentaire pour les raisons déjà citées.

I.2.5 Canaux de distribution :

Pour couvrir la totalité du territoire du district, NAFTAL, dispose de plusieurs canaux de distribution ou type de point de vente, on dénombre ainsi :

PVO : point de vente ordinaire capacité de 77B13

PVS : point de ventes structurées ou dépôt de vant de gaz butane, exclusivement consacré a cette activité, d'une capacité de 210 à 560 B13

ASR : aire de stockage et de régulation exclusivement, d'une capacité supérieure à 560B13.

GD : gestion directe, ce sont les infrastructures appartenant à NAFTAL.

GL : gestion libre, ce sont sont des stations dont les infrastructures appartenant a NAFTAL mais la gestion est assurée par des privés.

PVA : Point de vente agréée, ce sont des stations-services appartenant entièrement à des privés.

Pour le transport du produit jusqu'aux points de vente, NAFTAL dispose d'une flotte de camions de différentes capacités. Pour alléger la tache de cette flotte on fait appel à la formule dite auto ravitaillement pour les clients qui ont cette possibilité, ou les revendeurs distributeurs sorte de sous-traitants en service.

I.3 Centre d'emplissage GPL TIARET :

Une station d'emplissage est un lieu où l'on réunit deux éléments, l'un étant le GPL, l'autre les bouteilles de gaz ou l'on mène à bien une procédure relativement simple et d'où ensuite on distribue le résultat comme une unité : une bouteille de gaz correctement remplie et contrôlée. [1]

I.3.1 Qu'est-ce que le GPL :**I.3.1.1 Définition :**

Le GPL est un carbure d'hydrogène au bas point d'ébullition. Sous la pression atmosphérique, il se trouve à l'état gazeux, mais il suffit d'une augmentation relativement modérée de la pression pour qu'il passe à l'état liquide sous un volume d'environ le 1/250 éme de son volume à l'état gazeux. Le GPL est défini comme un mélange de carbures

d'hydrogène qui, sous des températures comprises entre -40°C et $+200^{\circ}\text{C}$ et des pressions allant jusqu'à 25 bars, est très stable.

La caractéristique physique très favorable qui fait que le GPL passe à l'état liquide sous une pression relativement basse en obtenant par là une valeur énergétique élevée rend possible le transport et le stockage de grandes quantités de GPL dans des réservoirs relativement petits et légers.

I.3.1.2 Composition :

Le GPL appartient chimiquement à la série des carbures d'hydrogène $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ et principalement composé de propane (C_3H_8) ou de butane (isobutane et n-butane) (C_4H_{10}) ainsi que de mélanges de ces deux gaz, Comme gaz saturés, ils appartiennent au groupe des paraffines.

Les liaisons non saturées (oléfines) propylène (C_3H_6) et butylène (C_4H_8), eux aussi des GPL, ont avant tout de l'importance comme matière première pour la fabrication de matières de synthèse dans l'industrie pétrochimique.

Les exigences de qualité portant sur le GPL sont fixées dans les normes de divers pays.

I.3.1.3 Extraction :

Le GPL provient de 2 sources générales :

- Les champs pétrolifères et gaziers ou il est séparé comme condensat du gaz naturel ou du pétrole brut pendant le processus de stabilisation.
- Les raffineries ou il est produit durant le raffinage du pétrole brut

Exemples de production du GPL :

- Hydratation des huiles minérales à point d'ébullition bas par traitement avec de l'hydrogène sous pression et haute température.
- Résultat : des carbures et haute température.
- Transformation (réforme) d'essence brute en essence pour moteur sous pression et température élevées à l'aide d'un catalyseur.
- Résultat : des carbures d'hydrogène saturés presque purs.
- Cracking : (craquage) des plus grosses molécules de carbure d'hydrogène sous température élevée en moindres molécules.
- Résultat : des carbures d'hydrogène non saturés

I.3.2 Eléments constitutifs du centre d'emplissage :

I.3.2.1 Hall d'emplissage :

I.3.2.2 Pomperie :

- 6 pompes GPL dont :
- 3 pompes marque SIHI débit de chacune 35m³/h et une 15m³/h
- 2 pompes marque KSB débit de chacune 40m³/h
- 3 Compresseurs de gaz



Figure I.2 Pompe GPL Marque SIHI



Figure I.3 compresseur GPL Marque SIHI

I.3.2.3 Groupe de Réservoirs de stockage :

- 02 réservoirs cylindrique de capacité 300m³
- 01 réservoir sphérique de capacité 2000m³



Figure I.4 réservoir de stockage GPL

I.3.2.4 Dispositifs d'approvisionnement :

- Camion-citerne



Figure I.5 Camion- citerne GPL

- Bras de dépotage : Utilisé et conçu pour les opérations de dépotage des camions citerne transportant le GPL

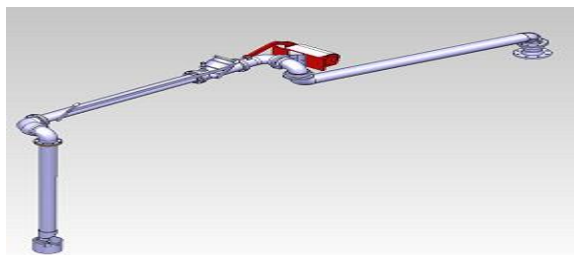


Figure I.6 Bras de Dépotage

I.3.2.5 Pompes d'incendie :

- Electrique
- Diesels
- Réservoir/bassin d'eau d'incendie

I.3.2.6 Installations électrique :

- Tableaux électrique.
- Transformateur.
- Groupe électrogène de secours.

I.3.2.7 Unités de compression d'air :

- 04 Compresseurs.
- Refroidisseurs.
- Séchage de l'air.
- Réservoirs d'air.

I.3.2.8 Alimentation en eau :

- Eau potable
- Eau de production
- Eau d'incendie

I.3.2.9 Bâtiments autres que de production :

- Administration et bureau
- Atelier
- Garages
- Poste de garde

I.3.2.10 Tuyauterie.

- GPL, eau, eau d'incendie.

I.3.2.11 Installation de sécurité :

- Système de surveillance gaz/incendie
- Installation extinction automatique
- Bouches à eau
- Divers équipements

I.3.3 Transfère de GPL :**a) Pompes et compresseurs :**

- toutes station d'emplissage GPL, doit dispose d'installation des pompes et compresseurs.
- Pompe pour remplissage des bouteilles et éventuellement opération de (dé) chargement.
- Compresseurs pour les opérations de (dé)chargement, éventuellement en combinaison avec des pompes.
- Compresseur pour le transfert de GPL entre le réservoir de stockage.
- Compresseur pour la vidange des bouteilles devant être réparé.

I.3.4 Description fonctionnelle de l'emplissage bouteille :

L'opération d'emplissage est effectuée par la machine s'appel carrousel qui contient 24 bascules. Il existe 4 parties principales : introduction l'emplissage, éjection contrôle l'étanchéité. Chaque partie est gérée par un contrôleur s'appel CUC (CRIPLANT UNIVERSEL CONTROLLER).



Figure I.7 carrousel électronique a débit metre massique

I.3.4.1 parties introduction :

1. La bouteille GPL arrive sur le convoyeur à chaîne activant ainsi la cellule photoélectrique B03. A l'arrêt d'accumulation se forme immédiatement devant la bouteille.

2. L'opérateur entre la tare de la bouteille, l'arrêt d'accumulation s'ouvre, et la bouteille continue vers la bascule de pressage. Si la bouteille est en mauvaise condition, ou si le robinet est mauvais ou ne fonctionne pas, l'opérateur donne un signal, et l'éjecteur pousse la bouteille vers convoyeur à rouleaux.

3. La table élévatrice s'élève et la bouteille est tarée. Après un certain temps prédéterminé, la table élévatrice redescend.

5. S'il y a concordance entre la tare lue/encodée et la tare pesée, la bouteille avance vers la position d'introduction.

6. Une fois que la bouteille arrive a la position d'introduction, la cellule photoélectrique B13 est activée, l'arrêt d'introduction se ferme et le contrôleur enregistre qu'une bouteille est prêt à l'entrée et n'attend que la première machine d'emplissage soit en position pour pouvoir entrer.

7. Si la machine est vide, et la tête d'emplissage est en sa position initial, une bouteille est entrée sur la machine d'emplissage.

I.3.4.2 Partie d'emplissage :

La bouteille est sur la machine, l'opérateur place la pince d'emplissage sur la bouteille et appuyé sur le bouton marche du CUC, la machine commence a remplir la bouteille, le poids de la bouteille et contrôlé par un débit mètre massique, quand la bouteille remplie du GPL de poids prédéterminé le CUC donne un signal à la vanne à gaz de coupé.

I.3.4.3 Partie d'éjection :

–A l'arrive de la machine d'emplissage de poste d'éjection, si une bouteille GPL disponible est observée sur la machine d'emplissage, et la tête d'emplissage est situé dans sa position initial la bouteille est éjecté sur le convoyeur a chaine.

–La bouteille GPL est pesée par la bascule de contrôle.

–En cas de sur- ou sous-emplissage de la bouteille GPL, la bouteille GPL est pesée sur le convoyeur d'éjection.

I.3.4.4 Contrôle d'étanchéité de bouteille :

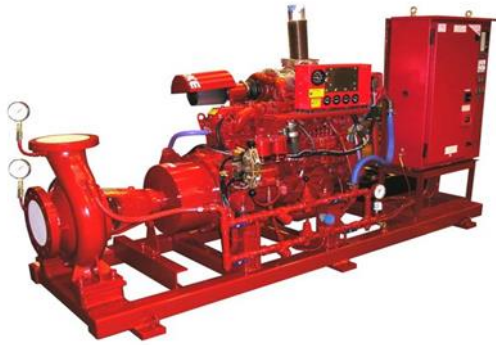
Après le contrôle de poids, la bouteille arrive au poste de détecteur électronique de fuite pour contrôler la fuite au niveau de robinet.



Figure I.8 : banc d'essai

II.1 Définition :

Un groupe motopompe est un ensemble composé d'un moteur électrique ou thermique entraînant une pompe hydraulique. Cet ensemble peut être fixe ou mobile. Il comprend souvent des équipements électroniques ou mécaniques pour la régulation de la pression, du débit ou d'autres paramètres

**Figure II.1** Groupe Motopompe (Diesel)**Figure II.2** Groupe Motopompe (Electrique)**II.2 Éléments constitutifs d'un groupe motopompe :****II.2.1 les pompes :****II.2.1.1 Définition :**

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe.

Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

II.2.1.2 Classification des pompes :

En général les pompe se subdivisent en deux catégories principales, et chacune d'entre elles se subdivisent en d'autre types ou catégories secondaires, selon le schéma suivant :

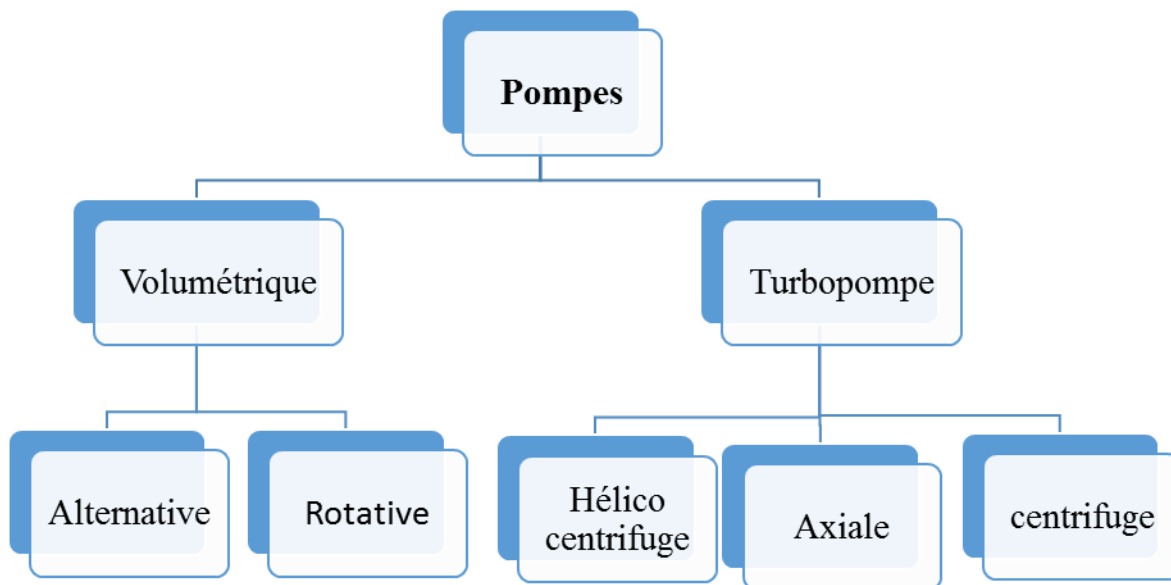


Figure II.3 Classification des pompes

II.2.1.2.1 Les Pompes Volumétriques : [2]

a) Les pompes volumétriques rotatives :

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de la pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. En trouve plusieurs types

a.1) Pompes à engrenages :

a.1.1) Pompes à engrenages extérieurs :

Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elle soit par la disposition, soit par la forme des engrenages.

Dans tous les cas, le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale, ou encore à chevrons. Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme.

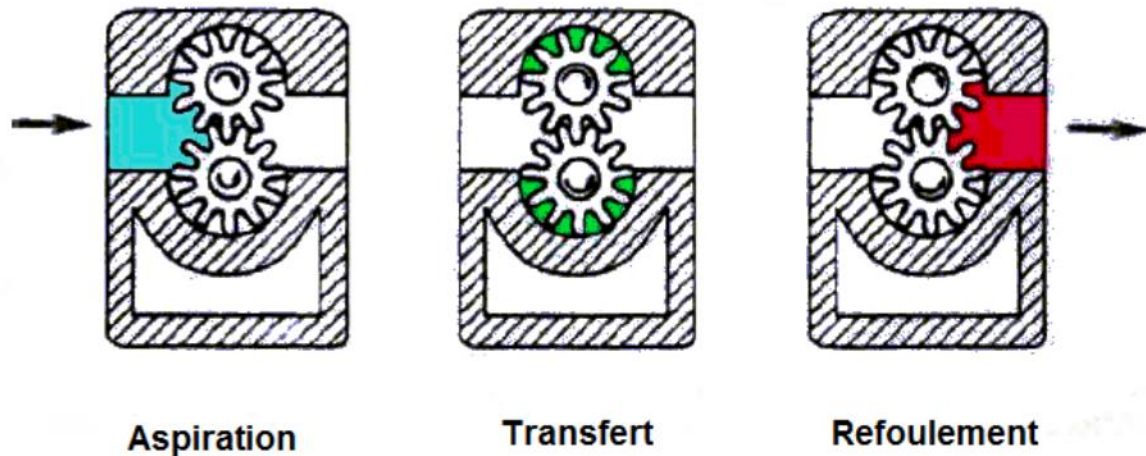


Figure II.4 Pompes à engrenages extérieurs

a.1.2) Pompes à engrenages intérieurs :

Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages.

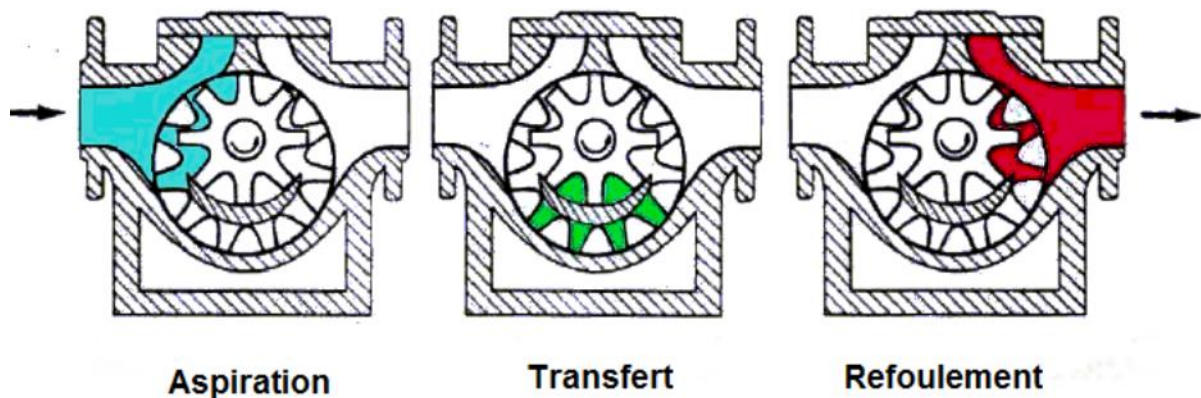


Figure II.5 Pompes à engrenages intérieurs

a.2) Pompes à palettes :

Pompe volumétrique rotatif dans laquelle les volumes sont engendrés par le déplacement des palettes qui glissent dans un rotor excentré tournant dans un corps. [2]



Figure II.6 pompes à palettes

a.3) Pompes à vis :

Une vis centrale motrice entraînant deux vis satellites. Elles ont un fonctionnement silencieux et un écoulement stable, et engendrent des pressions élevées.

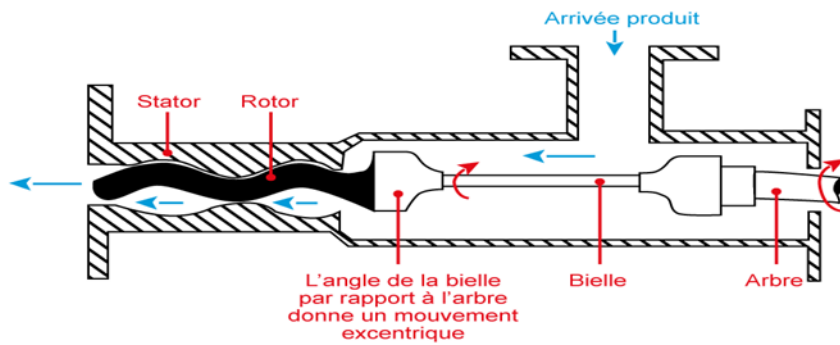


Figure II.7 Pompe à Vis

a.4) pompes à lobes :

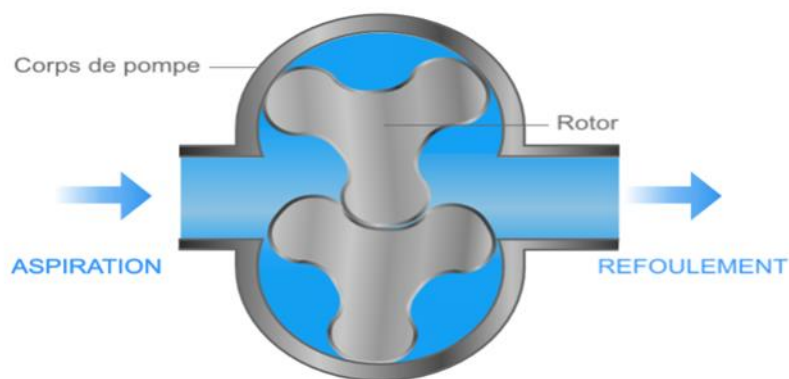


Figure II.8 Pompe à lobes

b) Les pompes volumétriques alternatives :

b.1) Pompes à membranes, ou à soufflets :

Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, Viton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative. [3]

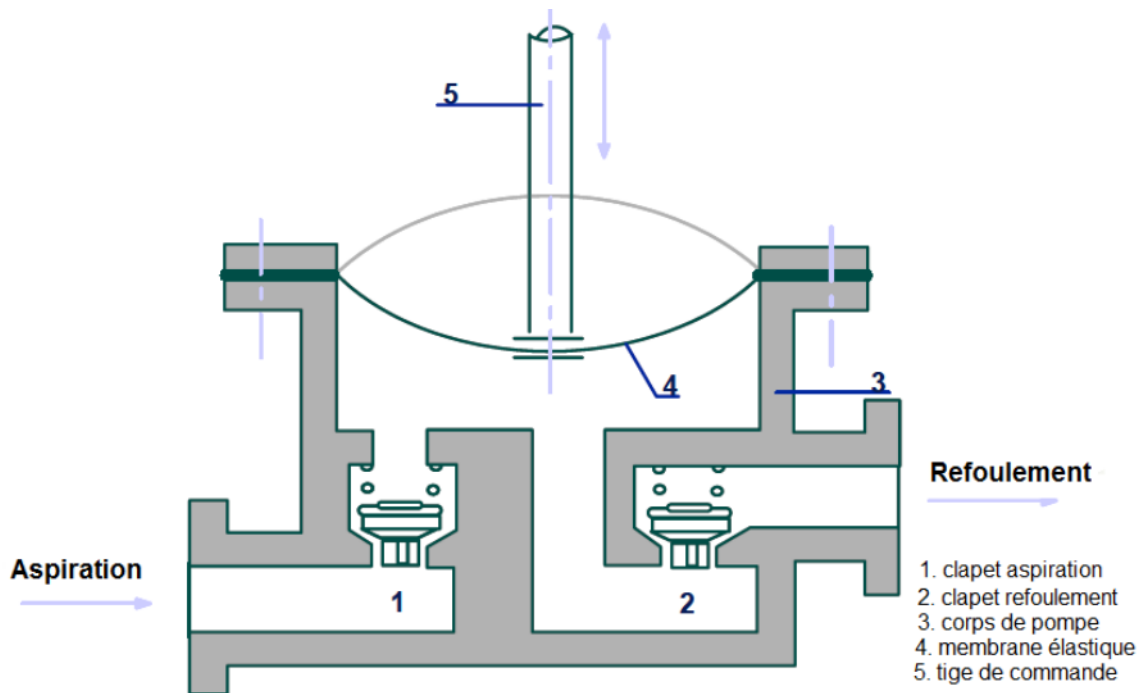


Figure II.9 Pompes à membranes

b.2) Pompes à piston :

Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe [2]

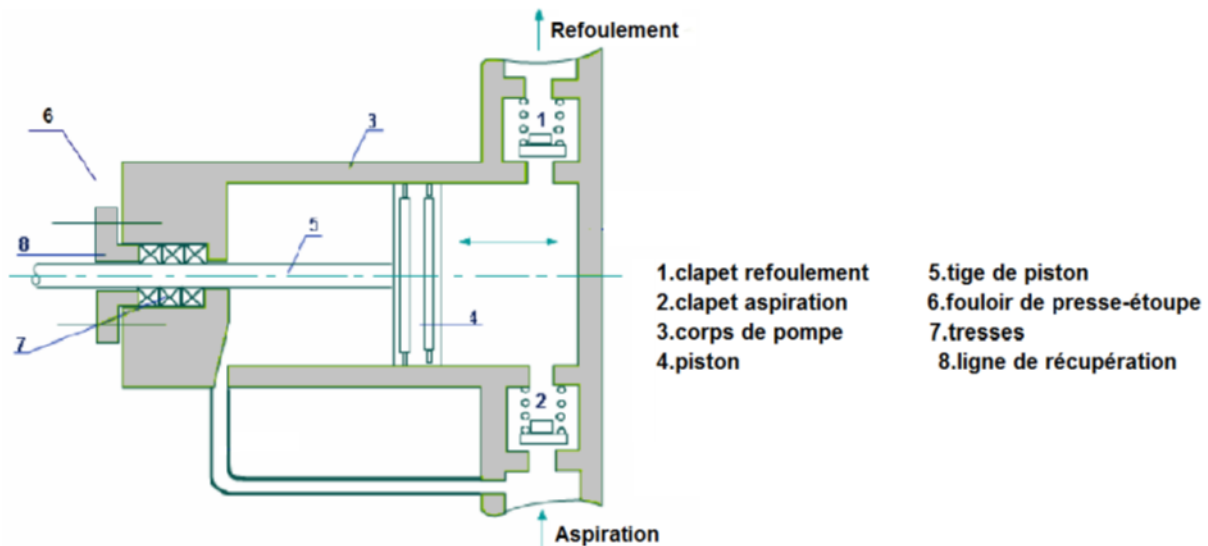


Figure II.10 Pompes à piston

II.2.1.2.2 Turbopompes :

Les turbopompes se composent de deux parties principales :

1. Un rotor qui communique au liquide un mouvement de rotation par l'intermédiaire d'aubes ou d'ailettes et qui est fixé sur un arbre supporté par des paliers et couplé au moteur au moyen d'un dispositif rigide ou flexible.
2. Un corps de pompe dont le rôle est de diriger le liquide en lui donnant un accroissement de pression, comprenant des orifices d'aspiration et de refoulement et ils supportent des paliers et sert d'habitacle pour l'équipage mobile.

On distingue 3 types des roues (impulseur) :

- Axiales
- Centrifuges
- Hélico centrifuge

II.2.1.2.3 Pompe centrifuge :

La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute.

A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice.

Les pompes centrifuges sont destinées à véhiculer les liquides à un débit de refoulement important avec une faible pression comparativement aux pompes volumétriques.

Les principales composantes des pompes centrifuges sont les suivantes :

- Distributeur :

C'est un organe fixe ayant pour rôle la conduite du liquide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de l'impulser, il se réduit à une simple tuyauterie pour les pompes monocellulaire.

-L'impulser (la roue) :

C'est l'âme de la pompe centrifuge, il comporte des aubes ou ailettes, qui grâce à leur interaction avec le liquide véhiculé transforme l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur. L'impulser se compose de le moyeu, bagues d'étanchéité (d'usure), et les flasques.

-Le récupérateur :

C'est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie de la roue et la canalisé vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse désirée.

Le récupérateur se compose en général de deux parties :

-Le diffuseur :

A pour rôle de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression, et ainsi limiter la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charges exagérées.

-La volute :

C'est le collecteur du liquide venant du diffuseur, elle assure la transformation d'énergie cinétique en pression et canalise le liquide vers la section de sortie de la pompe.

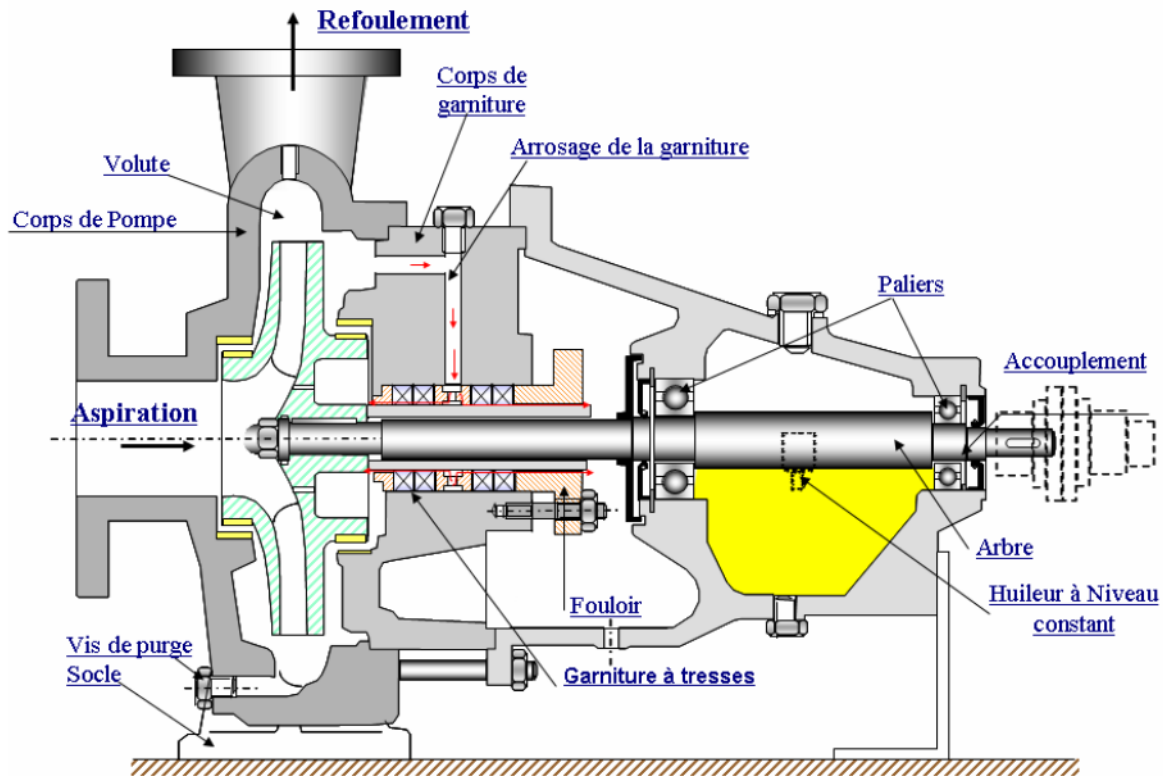


Figure II.11 Pompe centrifuge monocellulaire

a) Utilisation :

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de leur large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme :

- Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles
- Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait)
- Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

b) Principe de fonctionnement :

On peut décomposer le fonctionnement en deux étapes :

b.1) L'aspiration :

Le liquide est aspiré au centre de la roue par une ouverture appelée distributeur dont le rôle est de conduire le fluide depuis la conduite d'aspiration jusqu'à la section d'entrée de la roue. La pompe étant amorcée, c'est à dire pleine de liquide, la vitesse du fluide qui entre

dans la roue augmente et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue et engendre ainsi une aspiration et maintient l'amorçage.

b.2) Le refoulement :

La roue transforme l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie cinétique.

A la sortie de la roue, le fluide se trouve projeté dans la volute dont le but est de collecter le fluide et de le ramener dans la section de sortie.

La section offerte au liquide étant de plus en plus grande, son énergie cinétique se transforme en énergie de pression.

c) Critères de choix d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation. Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont :

- Le débit et la pression désirée.
- La hauteur géométrique.
- Le diamètre de la conduite.

d) Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :**d.1) Avantages :**

- Faible encombrement.
- Bruit négligeable.
- Simplicité de construction.
- Régularité dans le fonctionnement.
- Aptitude au fonctionnement à grande vitesse, donc l'accouplement peut se faire directement avec des moteurs électriques ou des moteurs diesels.

d.2) Inconvénients :

- A faible débit et aux grandes hauteurs de refoulement, le rendement diminue.
- Phénomène de cavitation en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.

II.2.2 Les Moteurs :

II.2.2.1 Moteur thermique :

II.2.2.1.1 Définition d'un moteur thermique :

Le moteur est un organe qui transforme en travail mécanique une source d'énergie qui lui est fournie. Il est dit moteur thermique parce que la source d'énergie est constituée par un combustible. [4]

Dans les moteurs la combustion, peut se faire : [5]

1. A l'extérieur du moteur : on le dénomme alors « moteurs thermique à combustion
2. A l'intérieur du moteur : on le dénomme alors « moteur thermique à combustion interne».

II.2.2.1.2 Le fonctionnement d'un moteur Diesel à 4 temps :

a) Le cycle d'un moteur Diesel à 4 temps : [6]

Le cycle de fonctionnement du moteur Diesel se décompose en quatre temps : admission, compression, détente et échappement. Ce cycle correspond à deux allers retours de piston c'est-à-dire (quatre courses) et deux tours de rotation du vilebrequin

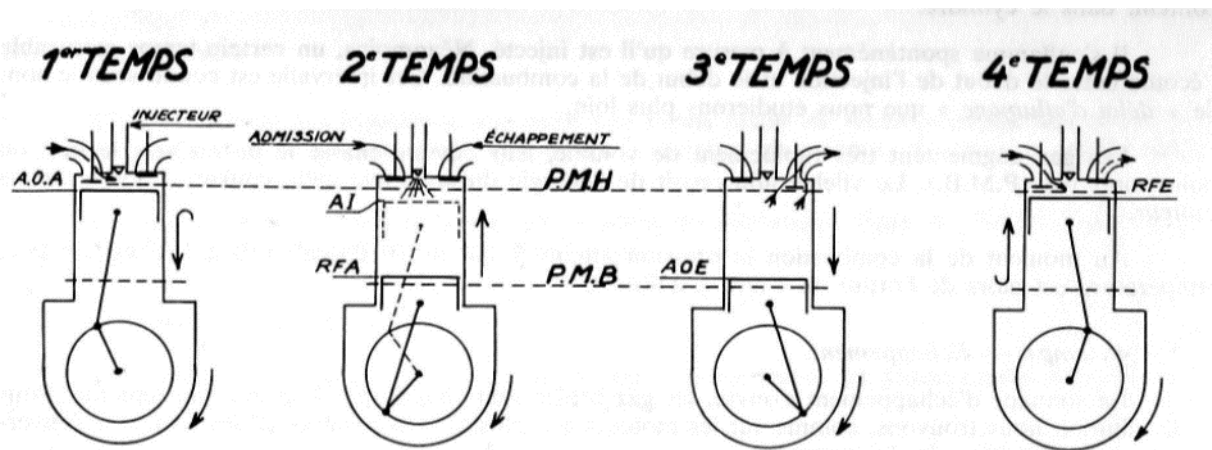


Figure II.12 Le cycle à quatre temps.

1er temps : Admission

Initialement, le piston se trouve au PMH, la soupape d'admission est ouverte et la soupape d'échappement est fermée. Durant sa première course du PMH vers le PMB, le piston crée une dépression. L'air frais est alors aspiré à la pression atmosphérique à travers la soupape d'admission. La phase d'aspiration ou d'admission s'achève par la fermeture de la soupape d'admission lorsque le piston atteint le PMB.

2er temps : Compression

Tout au long de cette étape, les deux soupapes sont fermées, le cylindre est donc hermétiquement clos. Le volume de la chambre de combustion diminue à mesure que le piston se déplace du PMB vers le PMH. L'air admis précédemment est alors comprimé, sa pression et sa température augmentent considérablement.

3er temps : Détente

Le combustible liquide est injecté sous forme de très fines gouttelettes lorsque le piston atteint le PMH (le carburant est parfois injecté avant le PMH. Au contact de l'air chaud comprimé, ce carburant commence à s'évaporer puis s'enflamme spontanément.

La combustion libère l'énergie du carburant. Il en résulte une augmentation de la pression des gaz dans le cylindre. Le piston, sous l'effet de cette pression, est repoussé jusqu'au PMB. C'est pendant cette phase que l'énergie mécanique est transmise à l'arbre moteur via le piston et le système bielle-manivelle. Le troisième temps s'achève lorsque le piston atteint le PMB.

4er temps : Échappement

Le dernier temps correspond à l'échappement des gaz brûlés. La soupape d'échappement est ouverte. Le piston remonte du PMB au PMH et refoule les gaz brûlés. Le cycle moteur est alors bouclé.

b) Le cycle mixte d'un moteur Diesel 4 temps :

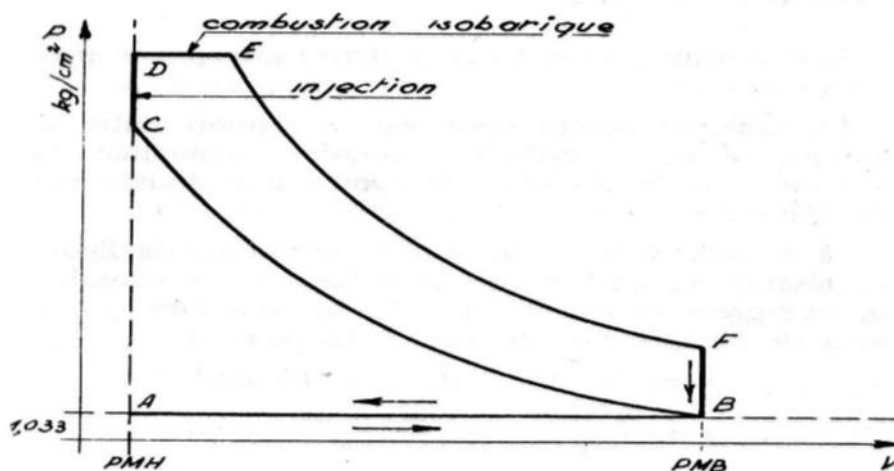


Figure II.13 Cycle mixte d'un moteur Diesel à 4 temps

Le diagramme du cycle mixte ou cycle de Sabathé comprend les phases suivantes :

1er temps. -----Admission d'air AB.

2em temps. -----Compression adiabatique BC.

3em temps. -----Injection et combustion à volume constant et pression variable CD.

Combustion isobare (pression constante, volume variable) DE. Détente adiabatique EF.

4^{em} temps. ----- Échappement. Chute de pression FB, puis évacuation des gaz brûlés BA.

II.2.2.2 Moteur électrique

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les moteurs électriques sont tous réversibles : ils sont capables de produire du courant électrique si on les fait tourner par un moyen mécanique. Un moteur électrique à courant alternatif peut devenir un alternateur, et un moteur électrique à courant continu peut aussi bien être utilisé comme une dynamo (machine dynamoélectrique). C'est pourquoi les spécialistes préfèrent parler de machines électriques.

La plupart des moteurs électriques sont rotatifs, mais il existe aussi des moteurs linéaires.

Parmi les moteurs électriques on trouve le moteur asynchrone qui est un moteur à courant alternatif et aussi c'est le moteur le plus utilisé

II.2.2.2.1 Généralités sur les moteurs asynchrones :

La machine asynchrone est un système dynamique non linéaire. Par conséquent, sa commande nécessite la disponibilité d'un modèle représentant fidèlement son comportement au niveau de ses modes électrique, électromagnétique et mécanique. [7]

II.2.2.2.2 Constitution de la machine asynchrone : [8]

La machine asynchrone, souvent appelée moteur à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source.

a) Le stator

Le stator comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles minces identiques en forme de couronne qui constituent un cylindre vide ; ces tôles sont percées de trous à leur périphérie intérieure. L'alignement de ces trous forme des encoches dans lesquelles on loge un bobinage triphasé. Cette couronne est serrée dans une carcasse en fonte.

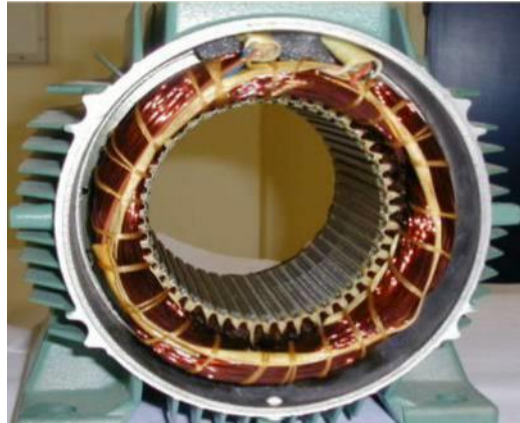


Figure II.14 Le stator

b) Le rotor

Le rotor, monté sur l'arbre moteur se compose d'un cylindre fait de tôles empilées. Des encoches sont percées à la périphérie extérieure destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court de l'ordre de 0,4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotor :

- le rotor à cage d'écureuil
- le rotor bobiné.

1- Le rotor à cage d'écureuil ou rotor en court-circuit (Figure II.15)

L'enroulement du rotor à cage d'écureuil est constituées de barres de cuivre nues introduites dans les encoches ; ces barres sont soudées ou rivées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent. L'ensemble ressemble à une cage d'écureuil d'où le nom de rotor à cage d'écureuil. Dans les moteurs de petite moyenne puissance, les barres et les anneaux sont formés d'un seul bloc d'aluminium coulé.

2- Le rotor bobiné (Figure II.16)

Le rotor bobiné comprend un bobinage triphasé, semblable à celui du stator, placé dans les encoches. Il est composé de trois enroulements raccordés en étoile ; l'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague tournant avec l'arbre. Ces bagues permettent, par l'intermédiaire de trois balais, d'insérer une résistance extérieure en série avec chacun des trois enroulements lors du démarrage du moteur. En fonctionnement normal, les trois balais sont court-circuit



Figure II.15 Rotor a cage

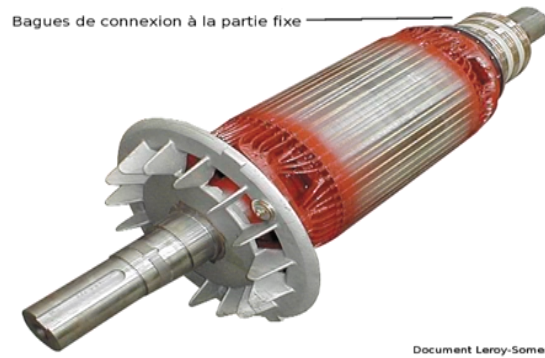


Figure II.16 Rotor bobiné

II.2.2.2.3 Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant [8]

II.2.3 Accouplement

II.2.3.1 Définition

Les accouplements sont des dispositifs qui assurent une liaison entre l'arbre moteur et l'arbre d'une machine, ce qui permet de transmettre la puissance du moteur à la machine concernée. Dans cette fonction :

- Ils offrent la possibilité de dissocier deux arbres lorsqu'il est nécessaire.
- Ils tolèrent les petits défauts d'alignement ou le déplacement des matériels en service

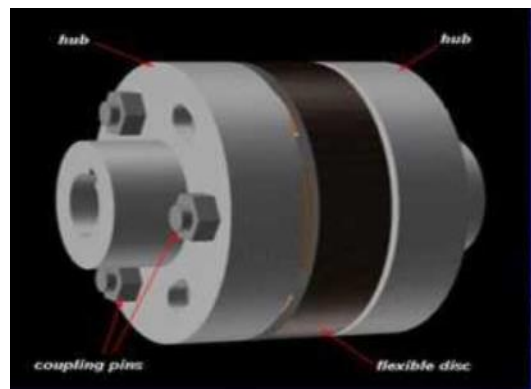


Figure II.17 Accouplement

II.2.3.2 Différents Types d'accouplement

On distingue plusieurs types d'accouplement :

- a) Accouplement mécanique :
 - Accouplement à mâchoires.
 - Accouplement flexacier.
 - Accouplement à pignon.
- b) Accouplement hydraulique
- c) Accouplement magnétique

III.1 Maintenance préventive : [9]

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. La maintenance préventive peut être devisée en :

III.1.1 Maintenance préventive systématique :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. [9]

III.1.2 Maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle correspond à la maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent [9]

III.1.3 Maintenance prévisionnelle :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation de l'entité aux instants futurs. La maintenance prévisionnelle est parfois également appelée maintenance proactive. [9]

III.2 Plan de maintenance préventive : [9] [10] [11]

Le plan de maintenance préventive est un document énonçant les modes opératoires, les ressources et la séquence des activités liées à la maintenance d'un bien. Ce document est établi dans une phase d'analyse et de conception de la maintenance à effectuer sur un matériel. Il rentre totalement dans une démarche de préparation et constitue souvent le cœur du dossier de préparation. Le plan de maintenance d'un bien doit permettre l'organisation de la maintenance du bien et concourir à sa réalisation.

III.2.1 Objectifs :

L'élaboration du plan de maintenance permet d'atteindre les objectifs suivants :

- Garantir une continuité de service
- Garantir un niveau de disponibilité connu à un coût global maîtrisé
- Maintenir une qualité de service contractuelle
- Prévenir les risques

III.3 Outils utilisés pour la mise en œuvre d'une maintenance préventive :

III.3.1 Définition de l'AMDEC : [12] [13]

C'est un outil d'analyse qui permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de la fiabilité en vue d'abaisser le coût global. Elle est régie par la norme NF X 60-510.

Cette méthode conçue pour l'aéronautique américaine en 1960 : est devenue aujourd'hui :

- Réglementaire dans les études de sûreté des industries « à risque » (aérospatial, nucléaire, chimie),
- Contractuelle (pour les fournisseurs automobiles par exemple).

III.3.2 Les types d'AMDEC :

III.3.2.1 AMDEC produit : [14]

Analyse de la conception d'un produit pour améliorer sa qualité et sa fiabilité. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique AMDEC composants.

III.3.2.2 AMDEC processus :

Analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de fabrication du produit. Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus.

Elle peut être utilisée pour les postes de travail.

III.3.2.3 AMDEC moyen :

Analyse de la conception et /ou de l'exploitation des équipements de production pour améliorer leur disponibilité. Elle s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.

III.3.3 Les étapes de l'analyse AMDEC :

III.3.3.1 Initialisation :

Dans cette étape on va faire une :

- Définition du système à étudier
- Définition de la phase de fonctionnement
- Définition des objectifs à atteindre
- Constitution du groupe de travail
- Etablissement du planning
- Mise au point des supports de l'étude

III.3.3.2 Décomposition fonctionnelle :

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer. C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Donc on va découper notre système en blocs fonctionnels, sous une forme arborescente, selon autant de niveaux que nécessaire et définir le niveau d'étude et les éléments à traiter correspondants. Ce découpage permet de situer les éléments étudiés dans la structure générale du système.

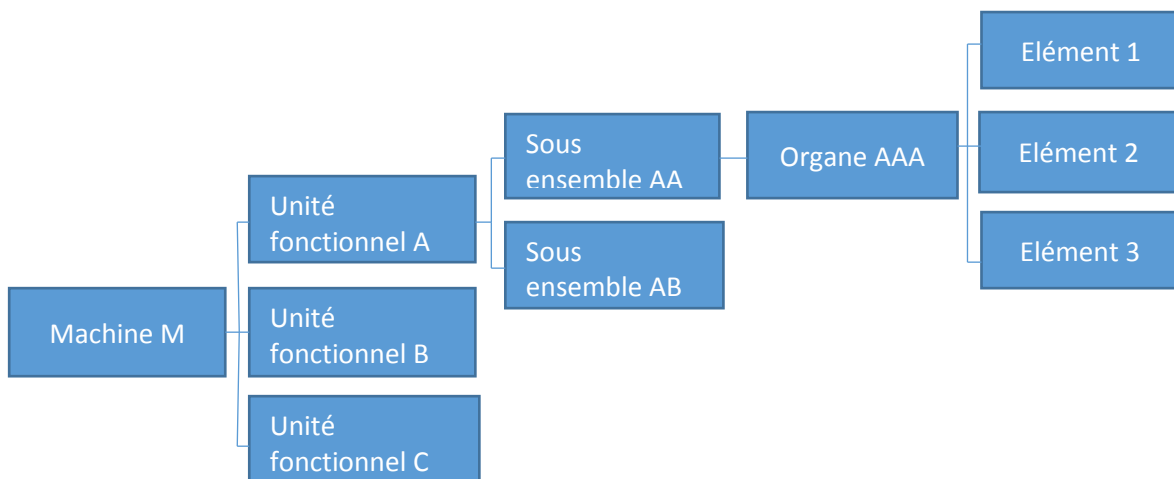


Figure III.1 Exemple de découpage d'un système

Après le découpage on va identifier les fonctions des sous-ensembles et les éléments

III.3.3.3 Analyse AMDEC :

Elle consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés de la machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier

Cette étape est à mener élément par élément.

III.3.3.3.1 Identification des Modes de défaillance :

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de chaque élément. Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser,
- **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,
- **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances
- **Fonction intempestive** : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

| Modes de défaillances | Composants électriques et électromécaniques | Composants hydrauliques | Composants mécaniques |
|-----------------------|---|---|----------------------------------|
| Plus de fonction | - composant défectueux | - composant défectueux - circuit coupé ou bouché | - rupture - blocage, grippage |
| Pas de fonction | - composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés | - connexions / raccords débranchés | |
| Fonction dégradée | - dérive des caractéristiques | -mauvaise étanchéité - usure | - désolidarisation - jeu |
| Fonction intempestive | - perturbations (parasites) | - perturbations (coups de bélier) | |

Tableau III.1. Exemples des modes des défaillances

III.3.3.3.2 Rechercher les effets de la défaillance :

L'effet d'une défaillance est, par définition, la conséquence subie par l'utilisateur. Il est associé au couple mode-cause de la défaillance et correspond à la perception finale de celle-ci. Il dépend du point de vue AMDEC que l'on adopte :

- Effets sur la qualité du produit.
- Effets sur la productivité.
- Effets sur les coûts de la maintenance.
- Effets sur la sécurité des opérateurs et de l'environnement.

Un effet peut lui-même devenir la cause d'un autre mode de défaillance

III.3.3.3.3 Rechercher les causes de défaillance :

Il existe 3 types de causes amenant le mode de défaillance :

- Causes internes au matériel
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,
- Causes externes dues à la main d'œuvre.

| Causes de défaillance | Composants électriques et électromécaniques | Composants hydrauliques | Composants mécaniques |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Causes internes matériel | - vieillissement - composant HS (mort subite) | - vieillissement - composant HS - fuites | - contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface |
| Causes externes Milieu exploitation | - pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques, etc. | - température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier | - température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs |
| Causes externes Main d'œuvre | - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manqué d'énergie | - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie | - conception - fabrication (pour les composants fabriqués) - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation |

Tableau III.2. Les causes de défaillance.

III.3.3.4 Evaluation de la Criticité :

La criticité est une évaluation quantitative du risque constitué par l'analyse du scénario mode cause-effet-détection de défaillance. La criticité est alors évaluée à partir de la combinaison de trois facteurs :

- La gravité de l'effet. (G)
- La fréquence d'apparition du couple mode-cause. (F)

- La non détection. (N)

$$C=G \times F \times N$$

| Valeurs de G | Critère |
|--------------|---------------------------|
| 1 | Pas d'arrêt de production |
| 2 | Défaillance par trimestre |
| 3 | Défaillance par mois |
| 4 | Défaillance par semaine |

Tableau III.3. Impact de défaillance sur le produit ou l'outil de production.

| Valeurs de F | Probabilité d'apparition de la défaillance |
|--------------|--|
| 1 | Défaillance par an |
| 2 | Défaillance par trimestre |
| 3 | Défaillance par mois |
| 4 | Défaillance par semaine |

Tableau III.4. Probabilité d'apparition d'une défaillance.

| Valeurs de N | Critère |
|--------------|--|
| 1 | Signe avant-coureur de la défaillance que l'opérateur pourra éviter par une action préventive ou alerte automatique d'incident |
| 2 | Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a un risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur |
| 3 | Le signe avant-coureur de la défaillance n'est pas facilement décelable |
| 4 | Il n'existe aucun signe avant-coureur de la défaillance |

Tableau III.5. Probabilité de la non détection d'une défaillance.

L'indice de criticité, qui vise à évaluer le niveau de risque associé à la fonctionnalité d'un équipement permet de décider l'action à entreprendre. Cet indice est déterminé par :

| Niveau de Criticité | Les actions engagées |
|--|--|
| $1 \leq C < 12$ Criticité négligeable | Aucune modification de conception |
| $12 \leq C < 16$ Criticité moyenne | Amélioration de la disponibilité des équipements par une maintenance systématique. |
| $16 \leq C < 20$ Criticité élevée | Surveillance particulière par maintenance préventive conditionnelle. |
| $20 \leq C < 80$ Criticité interdite | Remise en cause complète de la conception |

Tableau III.6. Echelle de criticité

III.3.3.4 Synthèse :

- **Hierarchisation des défaillances :** hiérarchiser les défaillances selon les niveaux atteints par les critères de criticité, avant ou après les actions correctives. On peut classer les défaillances entre elles, selon leurs niveaux respectifs de fréquence, gravité, probabilité de non détection ou encore selon leur niveau de criticité. On peut utiliser des représentations graphiques (histogrammes).
- **Liste des points critiques :** effectuer la liste des points critiques de la machine. Cette liste permet de recenser les points faibles de la machine et les éléments les plus critiques pour le bon fonctionnement du système.
- **Liste des recommandations :** établir la liste ordonnée des actions proposées. Cette liste permet de recenser, voire de classer par ordre de priorité, les actions préconisées. Un plan d'action peut être établi et des responsables désignés. On utilise souvent une grille d'aide à la décision dans laquelle on peut faire apparaître les critères de coût ou de difficulté de mise en place des actions à entreprendre. Il faut agir en priorité sur les causes par des actions de prévention. Le critère de coût n'apparaît qu'à ce stade de l'analyse.

III.3.4 Analyse Pareto :

III.3.4.1 Initialisation : [15]

L'outil « Pareto » a pour but de sélectionner, dans une population, les sujets les plus Représentatifs en regard d'un critère mesurable. Généralement cette sélection sera effectuée pour simplifier l'étude d'un problème en ne retenant que les éléments les plus significatifs. Afin d'améliorer la disponibilité technique, il est naturel de se focaliser sur les pannes de la machine les plus pénalisantes en terme d'arrêt. Ceci réduira considérablement le champ d'investigation tout en garantissant l'atteinte des performances. Pour cela on va mener une analyse PARETO.

L'analyse de Pareto ou méthode des 20/80, ou méthode ABC permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent. En effet, on construit un tableau classifiant les pannes selon un critère bien choisi.

III.3.4.2 Résultats de l'Analyse PARETO :

A partir de l'analyse PARETO on détermine les classes des pannes comme suit :

- **Classe A** : 20% des causes responsables de 80% de l'effet.
- **Classe B** : 30% des causes responsables de 15% de l'effet.
- **Classe C** : 50% des causes responsables de 5% de l'effet.

III.3.4.3 Démarche de l'analyse PARETO :

Pour faire une analyse PARETO il faut suivre la démarche suivante :

- 1-Historique
- 2- Définition des éléments et des critères.
- 3- Collecte des valeurs du critère et classement par ordre décroissant.
- 4- Cumul des valeurs du critère pour les éléments à classer.
- 5- Calcul des pourcentages des valeurs cumulées.
- 6- Tracer la courbe et fixer les seuils des classes A, B, C.

IV.1 Présentation de la motopompe ingersoll :

La motopompe ingersoll est une motopompe d'incendie composée d'une pompe centrifuge horizontale Multicellulaire de type P6X185E liée avec un moteur diesel par un accouplement de type flexible (en acier) avec pièce d'espacement et équipé d'un carter de protection robuste



Figure IV.1 Motopompe d'incendie ingersoll [1]

Ce groupe motopompe possède les équipements suivants :

- Dispositifs de commande manuels et automatiques
- Dispositifs de protection et de signalisation des défauts
- Système de démarrage
- Tuyauteries et instruments nécessaires

IV.1.1 Description générale de la fourniture liée au moteur :

Le Moteur diesel possède les équipements principaux suivants :

- Un système de lubrification avec accessoires
- Un système de refroidissement en circuit fermé, avec radiateur, ventilateur, et accessoires
- Un Contrôleur local avec instrumentation
- Un régulateur de vitesse
- Un réservoir de fuel a remplissage manuelle avec accessoires
- Un collecteur d'échappement avec flexible et tuyauterie

- Un Filtres à l'admission d'air
- Un système de démarrage électrique avec 2 jeux de batteries
- Tous les patins anti-vibration nécessaires

IV.1.2 Les caractéristiques techniques de la motopompe ingersoll :

IV.1.2.1 Moteur diesel de la pompe :

- Fabricant du moteur : cummins
- Série : 64827
- vitesse nominale : 1500tr/min
- nombre de cylindre : 6
- cycle : 4
- type de lubrifiant : chiffa 40
- longueur : 1375mm
- largeur : 690mm
- hauteur 764mm

IV.1.2.2 Caractéristique de la pompe :

- Produit traité : eau
- Nombres d'étages : 5
- Température de pompage : 20 C,
- Hauteur différentielle (HMT) :738 m,
- Débit nominale : 500 m³/h,
- Pression d'aspiration : 6 Bar,
- Vitesse : 3560 t/min,

IV.2 Application de l'analyse PARETO et AMDEC :

Dans cette partie on va étudier l'historique de la motopompe ingersoll et analyser son historique de panne puis faire sa décomposition et réaliser Son AMDEC pour élaborer un plan de maintenance préventif

IV.2.1 Exploitation de l'historique :

L'historique de panne (motopompe d'incendie ingersoll) ; Le traitement des données de l'historique passe par :

- Le calcul des Temps d'arrêt (TA) suite à des pannes répétitives qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des Temps techniques de réparation (TTR).

IV.2.2 Historique de la motopompe : [1]

| Date d'arrêt | Date de démarrage | TTR (h) | TA(h) | Action Corrective |
|--------------|-------------------|---------|-------|---|
| 04\10\2001 | 04\10\2001 | 02 | 03 | Vidange+changement des filtres (air, huile) |
| 17\08\2003 | 17\08\2003 | 02 | 03 | Vidange+changement des filtres (air, huile) |
| 06\11\2006 | 07\11\2006 | 11 | 21 | Réparation de fuite sur garniture mécanique |
| 17\06\2006 | 17\06\2006 | 07 | 10 | Réparation accouplement |
| 07\05\2008 | 07\05\2008 | 02 | 03 | Changement de bague d'étanchéité |
| 11\09\2009 | 15\09\2009 | 35 | 90 | Réparation du palier avant |
| 07\10\2009 | 08\10\2009 | 14 | 20 | Fuite sur garniture mécanique |
| 24\11\2009 | 26\11\2009 | 32 | 50 | changement des roulements |
| 12\04\2010 | 12\04\2010 | 03 | 05 | Changement courroie |
| 06\05\2010 | 06\05\2010 | 02 | 04 | Vidange+changement des filtres (air, huile) |
| 15\11\2011 | 20\11\2011 | 75 | 90 | changement de bague de frottement |
| 28\02\2012 | 01\01\2013 | 15 | 19 | Réparation de fuite sur garniture mécanique |
| 23\04\2013 | 04\05\2013 | 200 | 275 | Rectification du vilebrequin |
| 05\06\2013 | 07\06\2013 | 18 | 30 | Changement de la pompe d'injection |
| 10\03\2015 | 10\03\2015 | 9 | 10 | Changement d'accouplement |

| | | | | |
|------------|------------|-----|-----|---|
| 15\09\2015 | 16\09\2015 | 10 | 20 | Réparation de fuite sur garniture mécanique |
| 28\12\2015 | 30\12\2015 | 40 | 32 | changement de clapet anti retour |
| 21\02\2016 | 27\02\2016 | 50 | 110 | Changement du palier avant |
| 09\08\2016 | 09\08\2016 | 211 | 290 | changement des impulseurs |
| 06\12\2016 | 08\12\2016 | 30 | 50 | changement des roulements |

Tableau IV.1 Historique de la motopompe

IV.2.3 L'application Pratique des méthodes d'analyse :

IV.2.3.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto)» :

Pour l'application de la méthode ABC, il faut en premier lieu faire un classement des pannes par ordre décroissant des heures d'arrêt puis procéder à l'établissement d'un graphe de Pareto.

| Equipement | Temps d'arrêt (h) | Cumul TA (h) | % Cumul TA | % des équipements cumul |
|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|
| Impulser vilebrequin | 290 | 290 | 25 | 8.3 |
| palier avant | 275 | 565 | 50 | 16.6 |
| roulement | 200 | 765 | 68 | 25 |
| Bague de frottement | 100 | 865 | 77 | 33 |
| Garniture mécanique | 90 | 955 | 85 | 41.6 |
| Clapet anti retour | 60 | 1015 | 90.3 | 50 |
| Pompe d'injection | 40 | 1055 | 93.9 | 58.33 |
| accouplement | 30 | 1085 | 96.6 | 66.77 |
| filtres (air, huile) | 20 | 1105 | 98.4 | 75 |
| courroie | 10 | 1115 | 99.2 | 83 |
| bague d'étanchéité | 5 | 1120 | 99.7 | 91.66 |
| | 3 | 1123 | 100 | 100 |

Tableau IV.2 Analyse PARETO

IV.2.3.2 Diagramme de PARETO :

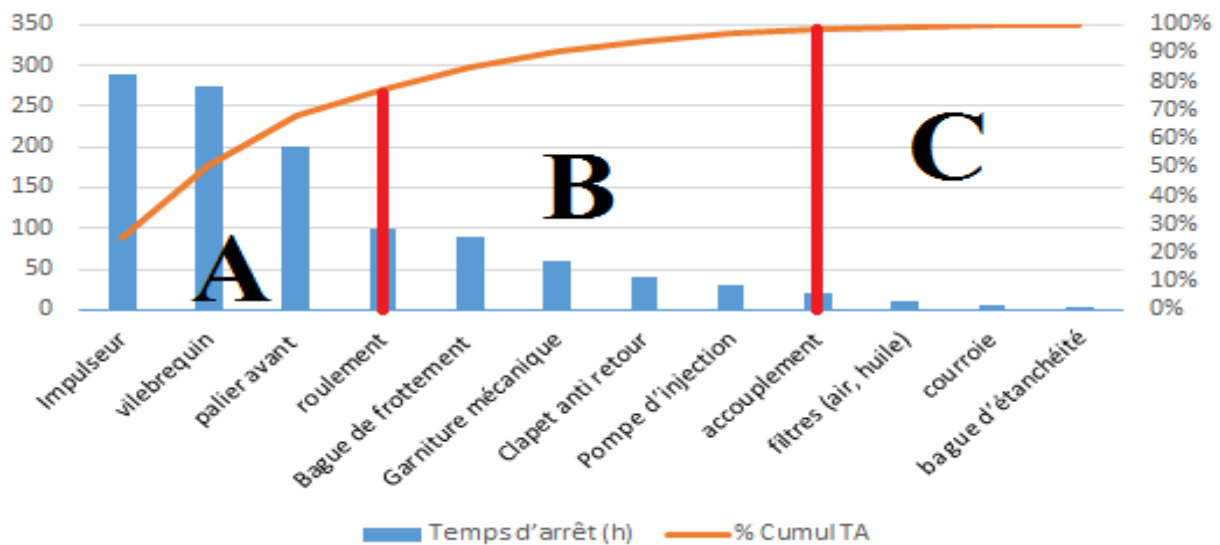


Figure IV.2 : Diagramme de PARETO

IV.2.3.3.3 Interprétation des résultats :

La zone A : Nous montre que 33% des équipements cumul occasionnent 77% de TA Cumul Il s'agit des équipements suivants (imulseur, vibrequin, palier avant, roulement) donc une attention particulière devrait être réservée à cette zone

La zone B : indique que 42% des équipements sont à l' origine de 21.4% des temps d'arrêts il s'agit de bague de frottement, garniture mécanique, clapet anti retour, pompe d'injection, l'accouplement

La zone C : constitué de filtres (air, huile), courroie, bague d'étanchéité représente 25% des équipements mais occasionnant seulement 1.6% des temps d'arrêts

IV.2.4 Méthodes d'analyse prévisionnelle AMDEC :

IV.2.4.1 Initialisation d'étude :

Système étudié : machine « Motopompe ingersoll ».

Objectifs à atteindre : Amélioration des performances de la machine

IV.2.4.2 Décomposition de la machine :

Pour mieux comprendre le fonctionnement de la machine et appliquer la méthode AMDEC sur cette dernière nous allons la décomposer :

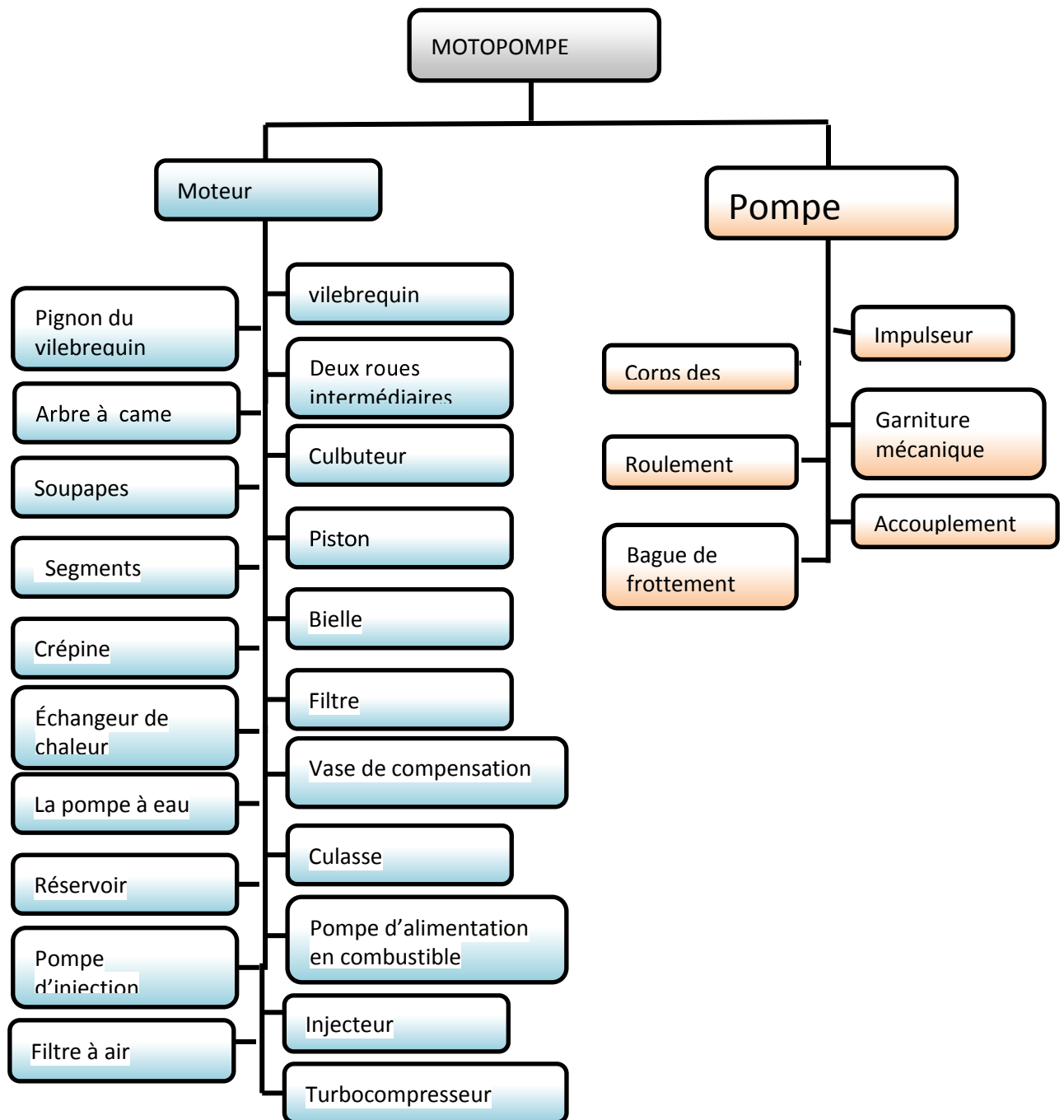


Figure IV.3 Décomposition de la motopompe

IV.2.4.3 Création du tableau AMDEC :

A la suite de la décomposition de la machine en élément et sous-élément il nous faut passer à la phase d'analyse AMDEC. Les tableaux suivants représentent le récapitulatif de cette analyse :

| Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|-------------|-----------|---|---|----|--|
| Système : Motopompe | | | | | | | | | | |
| Sous système : pompe | | | | | | | | | | |
| Élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause de défaillance | Effet de défaillance | Détection | Criticité | | | | Action corrective |
| | | | | | | F | G | N | C | |
| impulseur | -Transmis un liquide de la zone d'aspiration vers la zone de refoulement en augmentant sa pression. | -Erosion du matériau (perçage des aubes) | -Pression à l'aspiration faible pompage | -Cavitation -Chut des performances des pompes -Vibration | -Non visuel | 1 | 4 | 3 | 12 | Changement des impulseurs. |
| Corps des paliers | -Reçoit les roulements est conçu pour permettre leur lubrification et éventuellement leur refroidissement | -Déformation -Usure | -Haute température -Frottement | -Bouchage de circuit d'eau -Manque de lubrifiant | -Non visuel | 2 | 3 | 3 | 8 | Nettoyage, débouchage de circuit d'eau Changement d'huile |
| Garniture mécanique | -Assurant l'étanchéité entre partie mobile et fixe de la pompe | -Déformation des joints | -Usure -vibrations | -Fuite du produit transporté | -Visuel | 2 | 3 | 3 | 18 | Changement des garnitures mécaniques |
| Roulement | -Guider un assemblage en rotation | -Fatigue -Détérioration | -Default d'alignement des arbres | -Augmentation des vibrations | -Non Visuel | 2 | 3 | 3 | 18 | Changement des roulements |
| Accouplement moteur /pompe | -Effectuer une liaison entre moteur et pompe | -Usure | -Mauvaise liaison | Haut vibration | -Visuel - | 2 | 3 | 3 | 12 | Réalignement des arbres Changement de l'accouplement |
| Bague de frottement | -Diminuer les frottements entre la partie mobile et la partie fixe | -Usure | -Fatigue -Usure | -Blocage ou diminution de vitesse -Augmentation des vibrations | -Non visuel | 3 | 2 | 2 | 12 | Changement d'huile Changement des bagues |

Tableau IV.3 AMDEC de la pompe

| Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|-----------------------------|-----------|---|---|----|---|
| Système : Motopompe | | | | | | | | | | |
| Sous système : moteur | | | | | | | | | | |
| Élément | Fonction | Mode de défaillance | Cause de défaillance | Effet de défaillance | Détection | Criticité | | | | Action corrective |
| | | | | | | F | G | N | C | |
| Vilebrequin | -Transformer le mouvement de translation en mouvement de rotation | -Usure au niveau du coussinet et maneton - Fissures - Grippage | -Frottement - Chute de pression d'huile de graissage - Défaillance de pompe à l'huile - Dégradation d'huile - L'arrêt du moteur pour une longue durée | -Vibration et jeu - Endommagement du maneton et le coussinet de la bielle | - Analyse d'huile -Bruit | 1 | 4 | 4 | 16 | - Changer les coussinets usés - Rectification du vilebrequin |
| Pignon de vilebrequin | -Transmettre le mouvement de rotation vers les deux roues intermédiaires | -Usure des dents par la fatigue - Cisaillement des dents | -Fatigue mécanique -Mauvaise lubrification - Mauvais dimensionnement - Les vibrations | - Mauvais contacte - Jeux entre dents - Mauvais rendement | -Analyse d'huile -Bruit | 1 | 4 | 4 | 16 | -Échange du pignon |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|---|---|---|--|----------|----------|----------|-----------|--|
| <p>Deux roues intermédiaires</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Transmettre le mouvement vers l'arbre à came - Entraîner la pompe d'alimentation en combustible et la pompe à eau | <ul style="list-style-type: none"> - Usure des dents par la fatigue - La rupture des dents | <ul style="list-style-type: none"> - Fatigue mécanique - Mauvaise lubrification - Les vibrations - Surcharges - Mauvais dimensionnement - Dégradation d'huile | <ul style="list-style-type: none"> - Vibration - Jeux - Mauvais rendement du moteur | <ul style="list-style-type: none"> - Analyse d'huile - Bruit | <p>1</p> | <p>4</p> | <p>4</p> | <p>16</p> | <p>- Changer les roues</p> |
| <p>Arbre à came</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Commande l'ouverture des soupapes et la pompe d'injection par l'intermédiaire | <ul style="list-style-type: none"> - Usure des dents au niveau de pignon - Usure des cames - Usure de coussinets | <ul style="list-style-type: none"> - Fatigue - Frottement - Dégradation d'huile | <ul style="list-style-type: none"> - Mauvais entraînement - Vibration - Jeu - Baisse de rendement | <ul style="list-style-type: none"> - Bruit au niveau de la culasse - Analyse d'huile | <p>1</p> | <p>4</p> | <p>4</p> | <p>16</p> | <p>- Changer le pignon de l'arbre à came et les coussinets</p> |
| <p>Culbuteur</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Transmettre la poussée des cames pour ouvrir les soupapes | <ul style="list-style-type: none"> - L'usure par la fatigue | <ul style="list-style-type: none"> - Frottement - Contraintes alternées - Mauvais graissage | <ul style="list-style-type: none"> - Jeu insuffisant peut occasionner une perte de compression ce qui risque d'engendrer une détérioration rapide du siège de soupape - Si le jeu est trop important, le moteur devient bruyant | <ul style="list-style-type: none"> - Bruit - Analyse d'huile | <p>1</p> | <p>4</p> | <p>4</p> | <p>16</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Si l'usure n'est pas sévère on rattrape le jeu par un réglage - Changer les culbuteurs s'il y a une forte usure |

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|--|---|--|---|---|---|----|--|
| soupapes | -Permettant l'entre des gaz frais dans le cylindre et l'évacuation des gaz brûlés vers l'extérieur | -Usure au niveau siège et guide soupape -Endommagement de la tige soupape | - Frottement - Mauvais refroidissement | - Jeu des soupapes - Perte de compression | -Perte de puissance - Difficulté au démarrage | 1 | 4 | 4 | 16 | - Régler le jeu soupape - Changer les soupapes |
| Piston | -Transmet la poussée des gaz au vilebrequin par l'intermédiaire | - Grippage | -Le moteur n'a pas fonctionné pendant une langue durée | - Déformation de la chemise | -Le moteur démarre difficilement | 1 | 4 | 4 | 16 | -Ne jamais laisser le moteur en arrêt pendant une langue durée |
| segments | - Il assure l'étanchéité et évite le passage d'huile vers la chambre de combustion | -Usure | -Frottement d'huile moteur | -Passage des gaz de combustion vers le carter -Passage d'huile de graissage vers la chambre de combustion - Diminution de niveau d'huile moteur | -Perte de puissance La fumée noire | 1 | 4 | 2 | 8 | -Changer les segments |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|---|---|---|---|----|--|
| Bielle | -Permet de transformer le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin | -Usure au niveau de la bague de pied liée à l'axe du piston -Usure des coussinets au niveau de la tête de bielle qui tourne sur le maneton du vilebrequin | - Chute de pression de l'huile de graissage -Dégradation d'huile - Surrégime | -Jeu et vibration | - Analyse d'huile de graissage | 1 | 4 | 4 | 16 | -Changer les coussinets et les bagues |
| Crépine | -Filtrer l'eau de mer aspirée par la pompe | -Bouchage - Corrosion | - Les impuretés dans l'eau de mer | -Diminution de débit -Cavitation de la pompe | -Quantité de débit refoulé -Vibration | 2 | 3 | 3 | 18 | -Nettoyer ou changer la crépine |
| Filtre | -Filtrer l'eau de mer | -Bouchage | -Les impuretés dans l'eau de mer - Les particules d'usure | -Diminution de débit - Mauvais refroidissement | -Moteur surchauffe | 2 | 2 | 3 | 12 | -Nettoyer et changer le filtre périodiquement |
| Échangeur de chaleur | -Refroidir l'eau douce qui circule dans le moteur | - La corrosion - Fuites - Bouchage | - L'eau de mer - Les joints - Les particules d'usure | - Dégradation de l'échangeur - Mauvaise circulation de l'eau douce dans l'échangeur - Elévation de température du moteur | -Analyse l'eau de mer -Visuel Thermomètre | 1 | 5 | 3 | 15 | -Nettoyer l'échangeur Echanger si trop encrassé |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|--|---|---|--|---|---|---|----|---|
| Vase de compensation | - Compenser le manque de l'eau douce qui circule à l'intérieur | - Fissure et les fuites | - Fatigue | - Diminution de la quantité d'eau douce dans le moteur | - Visuel | 1 | 2 | 1 | 2 | - Changer la bouteille |
| La pompe à eau | - Faire circuler l'eau douce dans le moteur | - Usure de coussinet - Les fuites - Rouille | - Mauvais serrage - Joint d'étanchéité use ou déformé - Dégradation de l'eau douce | - Elévation de température du moteur - Diminution de la pression de | - Bruit - Visuel | 1 | 5 | 3 | 15 | - Entretenir la pompe - Vidanger et changer l'eau |
| Culasse | - Assure la fermeture des cylindres et contient un réseau de conduits d'eau et huile pour refroidir les injecteurs et les soupapes | - Fissures - Déformation | - Température des gaz d'échappement élève - Mauvais refroidissement - Desserrage des boulons | - Elévation de la température du moteur - Fuite d'eau et des gaz - Vibration | - Indicateur de température - Bruit | 1 | 5 | 3 | 15 | - Contrôler le niveau l'eau de refroidissement - Contrôler l'état de la pompe - Contrôler les boulons de la culasse |
| Réservoir | - Stocker le combustible | - Corrosion | - Réservoir est vide | - Salir le combustible | - Visuel | 1 | 1 | 1 | 1 | - Faire le plein |
| Pompe d'alimentation en combustible | - Alimenter le moteur par le combustible | - Usure au niveau des dents de la d'entraînement - Cavitation - Fuites | - Frottement - Mauvaise lubrification - Bouchage de préfiltre - Fatigue du joint - Desserrage des boulons | - Mauvais entrainement de la pompe - Le moteur ne peut pas atteindre sans régime | - Bruit - Visuel | 1 | 4 | 4 | 16 | - Contrôler et entretenir la pompe |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|--|---|---|---|----|--|
| Pompe d'injection | -Injecter le combustible sous une pression vers les injecteurs | -Déréglage (retarde et l'avance) - les fuites -Grippage | -La présence des impuretés dans le combustible -La fatigue des joints -L'arrêt du moteur pour une longue durée | -Le moteur ne peut atteindre son régime nominal -Augmentation de la consommation du carburant -Augmentation la température des gaz d'échappement | -La fumée noire à l'échappement -Démarrage difficile | 1 | 4 | 4 | 16 | - Réglage - Changer la pompe d'injection |
| injecteur | -Diriger et pulvériser une quantité mesurée de carburant dans la chambre de combustion | - Boucher - Déréglage - La fermeture défectueuse de l'aiguille -Rouille | - Des impuretés dans le carburant, eau - Des résidus de combustion - La présence d'eau dans le combustible | - Régime du moteur instable - Jet déformé - Mauvaise combustion - Difficulté au démarrage | - Gaz d'échappement noir Une différence de bruit -Manque de puissance | 1 | 4 | 4 | 16 | -Contrôler la pulvérisation de l'injecteur -Remplacer s'ils sont endommagés |
| Filtre à air | -Débarrasser l'air entrant dans le circuit de ces éventuelles particules | -Bouchage | -Les impuretés | -Diminution de la quantité d'air | -Le moteur devient bruyant | 2 | 3 | 2 | 12 | -Changer le filtre air périodiquement |

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---|--|--|---------------------|---|---|---|----|---|
| Turbocompresseur | -Augmenter le taux de remplissage | <ul style="list-style-type: none"> -Fissure et brulure les ailettes de la turbine - Cassure de l'arbre - Cassure des ailettes de la turbine - Usure des ailettes - Usure des bagues d'étanchéité -Grippage - Cassure des ailettes de la roue | <ul style="list-style-type: none"> - Haute température des gaz d'échappement - Les grandes vitesses de rotation - Défaut d'équilibrage -Frottement -Mauvais graissage | <ul style="list-style-type: none"> - Mauvais entrainement de la turbine - L'arrêt du compresseur - Bruit -Fuite d'huile de graissage | -Perte de puissance | 2 | 3 | 2 | 12 | <ul style="list-style-type: none"> - Vérifier la conduite de graissage - Contrôler l'état du turbocompresseur |
|------------------|-----------------------------------|---|--|--|---------------------|---|---|---|----|---|

Tableau IV.4 AMDEC de moteur

IV.2.4.4 Tableau récapitulatif

A partir du tableau AMDEC et l'échelle de criticité (chapitre 3 / Tableau III.4) on a considéré 3 niveaux de criticité selon le tableau suivant :

| Niveaux de criticité | Elements | Actions engagées |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| 1 ≤ C < 12 | Vase de compensation | Aucune modification de conception |
| | Reservoir | |
| | Segments | |
| 12 ≤ C < 16 | Accouplement | Amelioration de la disponibilité des équipements par une maintenance préventive systématique |
| | Bague de frottement | |
| | Impulseur | |
| | Segments | |
| | Échangeur de chaleur | |
| | La pompe | |
| | Culasse | |
| | Filtre à air | |
| 16 ≤ C < 20 | Turbocompresseur | Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle |
| | Piston | |
| | Corps des paliers | |
| | Garniture mécanique | |
| | Roulement | |
| | Vilebrequin | |
| | Pignon de vilebrequin | |
| | Deux roues intermédiaires | |
| | Arbre à came | |
| | Culbuteur | |
| | Soupapes | |
| | Piston | |
| | Bielle | |
| | Crépine | |
| | Pompe d'alimentation en combustible | |
| Pompe d'injection | | |
| Injecteur | | |

Tableau IV.5 Niveau de la criticité.

IV.3 Plan de maintenance préventive de la Motopompe ingersoll :

IV.3.1 partie moteur :

| Période | Partie concernée | Opération |
|------------------------------|--|---|
| Tout les jours | Circuit de lancement à air comprimé | -Vidanger l'eau de la bouteille d'air -Contrôler la pression de la bouteille d'air |
| | Circuit de lubrification | -Contrôler le niveau d'huile dans le carter -Vérifier l'absence de fuite -Contrôler la pression de l'huile |
| | Circuit de refroidissement | -Contrôler le niveau liquide de refroidissement -Vérifier l'absence de fuite -Contrôle visuel des câbles de la pompe électrique |
| | Circuit d'alimentation en combustible | -Contrôler le niveau de combustible -Contrôler l'évacuation des fuites -Vérifier l'absence de fuites dans les conduites |
| | Moteur | -Noter les heures de service |
| | Les paramètres de fonctionnement | -Vérifier la température des gaz d'échappement -Vérifier la pression de l'air suralimenté -Contrôler la température du liquide de refroidissement |
| | Circuit d'alimentation en air | -Contrôler l'état du filtre à air |
| chaque 50 h ou 6 mois | moteur | -Marche d'essai plus de 30 Min et -Contrôler les valeurs de fonctionnement |
| | Circuit de refroidissement | -Changer le filtre de l'eau -Contrôler l'état de la pompe électrique -Contrôler et nettoyer la crépine |
| | Circuit d'alimentation en combustible | -Changer le filtre et le préfiltre |
| | Circuit de lubrification | -Changer huile moteur -Analysé l'huile pour détecter les premiers symptômes de l'usure anormale d'un organe en étudiant les particules d'usures générées par les frottements des pièces en contact |
| | Circuit d'alimentation | -Changer le filtre à air |

| | en air | |
|--------------------------------|--|---|
| Chaque 150 h ou 12 mois | Circuit de refroidissement | -Vidanger et changer l'eau douce -Vidanger et nettoyer le réservoir d'eau -Démonter et contrôler la pompe à eau -Contrôler l'état de l'échangeur |
| | Roulements | -Changements des roulements |
| | Circuit d'alimentation en combustible | -Contrôler la tringlerie -Démonter les injecteurs et contrôler la pression d'injection -Contrôler la pompe d'injection -Vidanger et nettoyer le réservoir du combustible -Révision des vannes |
| | Lubrification | -Lubrifier les roulements de la pompe électrique et de la génératrice -Graisser le pignon du lanceur et la couronne du volant |
| | Circuit de distribution | -Contrôler le jeu de soupape -Contrôle visuel de toutes les roues dentées -Contrôle le système de lubrification des roues dentées |
| | Boulons | -Contrôler tous les assemblages boulonnés. |
| | Circuit de lancement à air comprime | -Contrôler le démarreur et le détendeur -Révision des vannes |
| Chaque 300 h ou 24 mois | Circuit distribution | -Démonter les soupapes, contrôler les culbuteurs, guide et sièges de soupapes, contrôler le passage d'eau de refroidissement dans la culasse et l'état du joint de culasse -Contrôle visuel des cames et mesurer le jeu de paliers de l'arbre à cames -Démonter et contrôler tous les pistons et les segments, mesurer les jeux, contrôler les paliers d'axes de pistons, relever les jeux de paliers, contrôler visuellement la portée du coussinet de tête de piston si défectueuse -Contrôler la portée des paliers de têtes de bielles |
| | Circuit d'alimentation en combustible | -Démonter et contrôler la pompe d'alimentation en combustible -Démonter et contrôler tous les pompes d'injection |
| | Circuit d'alimentation en air | -Contrôler les organes du turbo (la turbine, compresseur, arbre) -Contrôler le canal d'admission et d'échappement -Contrôler le système de lubrification -Contrôler l'échangeur |

Tableau IV.6 : Plan de maintenance du moteur thermique

IV.3.2 Partie Pompe centrifuge :

| Période | Partie concerné | Opération |
|------------------------------------|--------------------------------|---|
| Chaque 50 h ou 6mois | Corps des paliers | -Vérification de température -Vérification d'huile |
| Chaque 150 h ou 12 mois | Garniture mécanique | -Vérification des fuites |
| | Corps des paliers | -Changement d'huile -Vérification de bruit et de vibration -Nettoyage, débouchage circuit d'eau |
| | Roulements | -Lubrification des roulements |
| | Accouplement | -Contrôle l'alignement des arbres |
| | Bague de frottement | -Changement d'huile |
| Chaque 300 h ou 24 mois | Garniture mécanique | -Changement de garniture mécanique |
| | Roulements | -Changement des roulements |
| | Impulseur | -Vérification de cavitation |
| | Bague de frottement | -Changement des bagues |

Tableau IV.7 : plan de maintenance de la pompe centrifuge

Conclusion générale :

Le travail effectué m'a permis en premier lieu de me familiariser avec l'univers de l'industrie, le monde du travail et les différents aspects que ces derniers peuvent dévoiler. Le déroulement du projet, m'a offert l'opportunité de découvrir de quoi est fait réellement un processus de maintenance préventive,

Je rappelle que mon projet de fin d'étude avait pour objectif de réaliser le plan de Maintenance préventive de la machine «motopompe» et de définir les pièces de rechange ainsi que les actions préventives.

Pour répondre à cet objectif j'ai procédé à plusieurs analyses et recherches en se basant sur les dossiers techniques et l'historique de la machine, l'expérience du service maintenance sans oublier la formation que j'ai pris pour établir un plan de maintenance préventive.

A la fin de cette étude, on peut préconiser avec les recommandations suivantes :

- Il faut respecter les instructions de la maintenance systématique telles que les remplacements des pièces défectueuses selon les périodicités recommandées par le constructeur.
- Faire l'étude AMDEC systématiquement.
- Former le personnel de service maintenance à l'AMDEC.

Cependant, le travail que j'ai réalisé se présente comme des propositions d'amélioration au sein de l'entreprise pour une application future.

En dernier, j'espère que le travail réalisé ait une grande utilité dans le cadre du développement de l'entreprise à l'avenir, notamment pour l'audit de suivi de la certification qualité de l'organisation

Bibliographie

[1] Documentation fournit par NAFTAL

[02] "Les Pompes", Total Support De Formation : Exp-Pr-Eq070 Révision 0.1,

Dernière Révision : 13/04/2007

[03] Bernard, Techniques D'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques Pour Liquides, Paris

[04] GUSTAVE MAILLARD, technologie de l'automobile moteur 4 Temps et 2 Temps, paris Delachaux et Nestlé spes 1980.

[05] ; Emilian Koller, machines thermiques, Dunod paris 2005

[06] : DIDIER JOLIVER, le moteur Diesel, chotard et Associés, Editeurs 1991.

[07] Total support de formation exp-Pr-Eq150-Fr 0.2, "Générateurs et moteurs électriques 2007.

[08] Jean-Pierre Caron, "Modélisation et commande de la machine asynchrone", vol. 7, 1995

[09] AFNOR : « Recueil des normes françaises », X06, X50, X60.

[10] Jean Héng. Pratique de la maintenance. Edition DUNOD

[11] <http://hubertfaigner.com/strategies-de-maintenance-la-maintenance-preventive>

[12] <http://hubertfaigner.com/strategies-de-maintenance-defaillances-et-pannes>

[13] Guide De La Maintenance Daniel Boitel Et Claude Hazard Edition Nathan 1990

[14] AMDEC - guide pratique g. landy mars 2011 édition AFNOR

[15] pareto <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/six-sigma/les-outils-de-la-qualite/180-diagramme-de-pareto>