

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique

THEME

Etude de la fiabilité et application de l'analyse AMDEC à la
pompe alimentaire de la nouvelle centrale à cycle combiné
CAP- DJINET

Présenté par :

LOUNICI Nacereddine
MALLEM Amine

Promotrice :

M^{me}. BAHLOUL.H

Promotion 2023- 2024

Résumé

La maintenance industrielle revêt une importance croissante et constitue désormais une fonction clé des entreprises de production modernes. Notre travail se consacre à l'étude théorique et pratique de la fiabilité des pompes alimentaire de la centrale thermique, en utilisant des outils avancés pour analyser la fiabilité des éléments critiques. Pour concrétiser notre étude, nous avons défini des méthodes graphiques et analytiques afin de déterminer les paramètres critiques utilisés pour évaluer le taux de dégradation de la pompe pour définir le type de maintenance à appliquer. Enfin, nous avons validé notre travail par une étude pratique (AMDEC) en choisissant les composants de la pompe alimentaire. Cette étude nous a permis d'obtenir des résultats conformes à la réalité pratique de l'entreprise, ce qui a eu un impact positif sur la centrale thermique et sera utilisé et suivi par les autres stations en exploitation.

Mots clés : maintenance, fiabilité, pompe alimentaire, Analyse AMDEC, centrale thermique

Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and now constitutes a key function of modern production companies. Our work is dedicated to the theoretical and practical study of the reliability of the feed pumps in the thermal power plant, using advanced tools to analyze the reliability of critical elements. To realize our study, we defined graphical and analytical methods to determine the critical parameters used to evaluate the degradation rate of the pump to define the type of maintenance to be applied. Finally, we validated our work with a practical study (FMEA) by selecting the components of the feed pump. This study allowed us to obtain results consistent with the practical reality of the company, which had a positive impact on the thermal power plant and will be used and followed by other operating stations.

Keys words: maintenance, reliability, feed pump, FMEA analysis, thermal power plant

ملخص

الصيانة الصناعية تكتسب أهمية متزايدة وتشكل الآن وظيفة أساسية في الشركات الإنتاجية الحديثة. يتخصص عملنا في الدراسة النظرية والعملية لموثوقية مضخات التغذية في المحطة الحرارية، باستخدام أدوات متقدمة لتحليل موثوقية العناصر الحيوية. لتحقيق دراستنا، قمنا بتحديد الأساليب البيانية والتحليلية لتحديد المعايير الحيوية المستخدمة لتقييم معدل تدهور المضخة لتحديد نوع الصيانة الواجب تطبيقها.

وأخيراً، قمنا بتأكيد عملنا بدراسة عملية (AMDEC) عن طريق اختيار مكونات مضخة التغذية. مكنتنا هذه الدراسة من الحصول على نتائج تتماشى مع الواقع العملي للشركة، مما كان له تأثير إيجابي على المحطة الحرارية وسيتم استخدامها واتباعها من قبل المحطات الأخرى في التشغيل.

الكلمات المفتاحية: الصيانة، الموثوقية، مضخة التغذية، تحليل امداك، المحطة الحرارية

Remerciements

Le grand remerciement revient à ALLAH qui nous a donné la force, la patience et le courage à réaliser et terminer ce modeste mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Madame BAHLOUL pour nous avoir encadrés durant notre projet de fin d'études et nous conseillé tout le long de notre travail.

Nous remercions notre encadreur

KHOUNI FARID

Et

MALLEM ISMAIL

Et l'ensemble des travailleurs du SONALGAZ pour leur modeste contribution à l'élaboration de ce travail, que la grâce d'ALLAH soit avec vous.

Nous remercions aussi les membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de participer à notre soutenance Nous remercions tous les enseignants, qui ont contribué durant nos études.



Je dédie ce modeste travail à :

*Ma chère mère : Aucun hommage ne pourrait être à la
hauteur de l'amour dont il ne
Cessent de me combler. Toute leur sacrifice et leur prière
pour que j'aie Ce qu'il y'a de mieux dans ce monde.
C'est vous qui avez fait de moi ce que je suis, je ne peux
pas le reconnaître en ces quelques mots. Brièvement,
j'espère être à la hauteur de l'image que vous avez de moi.
Mon père, je veux exprimer mon profond respect et ma
reconnaissance. Ta sagesse, ton exemple et ta force m'ont
guidé(e) et inspiré(e) depuis le début. Tu m'as montré la
valeur du travail acharné, de l'intégrité et de la
persévérance. Tes conseils éclairés, ton soutien constant et
ton amour indéfectible ont été des catalyseurs essentiels de
ma réussite. Ce mémoire est dédié à toi, mon père aimant,
pour ton influence positive dans ma vie.*

*Tous mes amis sans exception, pour leur soutien et leurs
encouragements durant ces années d'études,*

Toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Mallem amine



Je tiens à dédier ce travail.

*A ma très chère mère et à mon très cher père, en
Témoignage et en gratitude de leurs dévouements, de
Leur soutien et prières durant toutes mes années
D'études, de leurs sacrifices illimités, leur réconfort
Moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon
Éducation, mon instruction et pour me permettre
D'atteindre ce but.*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon
Courage, à qui je dois de l'amour et de la
Reconnaissance*

. A toute ma famille,

A mes chères sœurs,

A mes amis

A tous ceux qui m'aiment

Lounici nacereddine

Liste des figures

Figure I 1	Vue de ciel pris par Google Maps de la centrale à CC RAS-DJINET	2
Figure I 2	Vue externe de la centrale à CC RAS-DJINET [2].....	3
Figure I 3	Vue en section d'un cycle combiné [2].	3
Figure I 4	Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale CC de CAP-DJINET	4
Figure I 5	éléments de base de cycle combiné	5
Figure I 6	composants de la turbine à gaz [2].	5
Figure I 7	composants de la chaudière de récupération (HRSG) [2].	7
Figure I 8	vue d'extérieur de la chaudière de récupération.....	7
Figure I 9	composants de la turbine à vapeur SST5-3000 [2].....	8
Figure I 10	Vue d'extérieur de générateur	9
Figure I 11	Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné [2].	11
Figure I 12	Pompe alimentaire	12
Figure I 13	Pompe d'extraction.....	13
Figure I 14	Condenseur.....	14
Figure I 15	éjecteur d'air.....	14
Figure I 16	Transformateur	16
Figure I 17	Salle de commande de la centrale à cycle combiné	17
Figure I 18	Principe de fonctionnement d'un cycle combiné [2].....	18
Figure II 1	Classification des pompes.....	20
Figure II 2	Exemple de pompe engrenage	21
Figure II 3	Exemple de pompe à lobes	21
Figure II 4	Exemple de pompe à vis	22
Figure II 5	Exemple de pompe à palettes.....	22
Figure II 6	Fonctionnement d'une pompe centrifuge	24
Figure II 7	dommages dues à la cavitation de la pompe.....	25
Figure II 8	Pompe alimentaire de la chaudière	27
Figure III 1	Pompe alimentaire	29
Figure III 2	Composants de la pompe alimentaire.....	30
Figure III 3	Processus de pompage de la centrale de cap djinet	31
Figure III 4	Boitier intérieur (séries).....	34
Figure III 5	Boitier intérieur (dégorgement).....	34
Figure III 6	Boitier extérieur.....	35
Figure III 7	Couvercle de pompe [10]	35
Figure III 8	Arbre de pompe	36
Figure III 9	Palier a butée	38
Figure III 10	Palier de douille.....	38
Figure III 11	Accouplement.....	38
Figure III 12	Système d'huile de lubrification.....	39
Figure III 13	Réfrigérant d'huile	41
Figure III 14	Schéma du groupe de pompage.....	42
Figure III 15	Disjoncteur électrique.....	43
Figure III 16	Capture de température	44

Figure III 17	Capture de pression	45
Figure III 18	Un pressostat à soufflet	46
Figure III 19	transmetteur de pression	46
Figure III 20	Indicateur de pression de type bourdon.....	47
Figure III 21	Capture de vibration	48
Figure III 22	Vanne pneumatique régulatrice	49
Figure III 23	Vanne motorisé d'isolement.....	49
Figure III 24	Type de maintenance	50
Figure IV 1	La courbe de défaillance.....	54
Figure IV 2	Diagramme d'ALLEN PLAIT.....	55
Figure IV 3	: Histogramme de F(i) et R(i)	60
Figure IV 4	Courbe de R(t) en fonction de TBF	60
Figure IV 5	Courbe de F(t) en fonction de TBF	61
Figure IV 6	Nuage des points de TBF en fonction de F(t).....	61
Figure V 1	Etapas des méthodes AMDEC	66

Liste des tableaux

Tableau III 1	Spécification détaillées de la pompe à eau d'alimentation de la chaudière.....	32
Tableau III 2	caractéristiques de la pompe alimentaire	32
Tableau III 3	Classification de la pompe alimentaire	33
Tableau IV 1	Calcul de fiabilité de la pompe alimentaire BFP	59
Tableau IV 2	présentation des résultats	63
Tableau V 1	Définition et cotation de la gravité des effets de la défaillance.....	68
Tableau V 2	Désignation et cotation de la fréquence d'apparition des défaillances.....	68
Tableau V 3	Définition et cotation probabilité de la non- perception de l'existence d'une défaillance	69
Tableau V 4	Grille de la criticité de cotation de la criticité	70
Tableau V 5	présentation de tableau AMDEC.....	71

Table de matières

Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil

I.1	Introduction :	1
I.2	Historique de cycle combiné :	1
I.3	La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité :	1
I.4	Eléments de base de cycle combiné :	5
I.4.1	Turbine à gaz :	5
I.4.2	Chaudière de récupération(HRSG) :	5
I.4.3	Turbine à vapeur :	7
I.4.4	Générateur :	8
I.4.4.1	Réfrigérateur de générateur :	9
I.4.4.2	L'étanchéité :	10
I.5	Les fonctionnements d'élément de base de cycle combiné :	10
I.5.1	Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné :	10
I.5.2	Fonctionnement de la chaudière de récupération :	11
I.5.3	Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné :	11
I.6	Fonctionnement des autres composants mécanique du cycle combiné :	12
I.6.1	Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP :	12
I.6.2	Fonctionnement du système air comprimé-compresseur :	12
I.6.3	Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière :	12
I.6.4	Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat :	13
I.6.5	Fonctionnement du condenseur :	13
I.6.6	Fonctionnement de Gland Stream condenseur :	14
I.6.7	Fonctionnement d'éjection d'air a jet de vapeur :	14
I.6.8	Fonctionnement de la chaudière auxiliaire :	15
I.6.9	Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW) :	15
I.6.10	Fonctionnement des pompes alimentation pour installation de dessalement :	15
I.6.11	Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisé :	15
I.6.12	Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaque):	15
I.6.13	Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout :	15
I.6.14	Fonctionnement du réservoir de stockage d'eau déminée :	15
I.6.15	Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée :	16
I.6.16	Fonctionnement de transformateur :	16
I.7	Salle de commande :	16

19I.8	Principe de production électricité au niveau de la centrale de cycle combiné :.....	17
I.9	Conclusion :.....	18

Chapitre II : Généralités sur les pompes

II.1	Introduction :.....	19
II.2	définition d'une pompe	19
II.3	Rôle d'une pompe	19
II.4	différents types de pompe	19
II.4.1	Pompes volumétrique :	20
II.4.1.1	Pompe volumétriques rotatives :.....	20
II.4.1.2	Les pompes volumétriques alternatives	22
II.4.2	Turbopompe	23
II.5	phénomène de cavitation	24
II.6	Caractéristique des pompes :	25
II.7	Pompe alimentaire :	27
II.8	conclusion.....	27

Chapitre III: description de la pompe alimentaire

III.1	Introduction :	28
III.2	Pompe alimentaire BFP :.....	28
III.2.1	Définition :	28
III.2.2	Description technique :	29
III.2.4	Description de la pompe alimentaire :.....	30
III.2.5	Critères de conception du système	31
III.2.6	Caractéristiques de la pompe alimentaire :	32
III.2.7	Classification de la pompe alimentaire :.....	33
III.2.8	Description de ses composants :	33
III.3	Les systèmes auxiliaires :	39
III.3.1	Système d'huile de lubrification :	39
III.3.2	Système d'étanchéité d'eau :.....	40
III.3.3	Système de refroidissement :	40
III.4	Commande électrique :	42
III.4.1	Disjoncteur :.....	42
III.4.2	Contacteur :.....	43
III.4.3	Relais :	43
III.4.4	Relais thermique :	43

III.4.5	Fusibles :	43
III.5	Chaine d'instrumentation et contrôle :	44
III.5.1	Les capteurs :	44
III.5.2	Vanne de régulation :	48
III.5.2.2	Vanne pneumatique régulatrice :	48
III.5.2.3	Vanne motorisé d'isolement :	49
III.6	Opération de maintenance de la pompe alimentaire BFP :	49
III.6.1	Vérification quotidienne :	50
III.6.2	Vérification annuelle :	50
III.6.3	Inspection périodique :	50
III.7	Conclusion :	51

Chapitre IV:Fiabilité de la pompe alimentaire BFP

IV.1	Introduction :	52
IV.2	La Fiabilité :	52
IV.3	Objectif de la fiabilité	52
IV.4	Type de fiabilité :	52
IV.5	Caractéristiques de fiabilité :	53
IV.6	Indicateur de fiabilité et MTBF :	53
IV.6.1	Taux de défaillance (λ):	53
IV.6.2	Moyenne des temps de bon fonctionnement(MTBF):	53
IV.6.3	Approximation de la fréquence cumulée F(i) :	54
IV.6.4	La courbe de défaillance :	54
IV.7	La loi de WEI BULL :	55
IV.7.1	Calcul mathématique :	56
IV.8	La maintenabilité :	57
IV.8.1	Calcul de la maintenabilité :	58
IV.9	Disponibilité :	58
IV.9.1	Quantification de la disponibilité :	58
IV.10	Calcul de fiabilité, disponibilité et maintenabilité :	59
IV.11	Conclusion :	63

Chapitre V : Analyse AMDEC de la pompe alimentaire BFP

V.1	Introduction	64
V.2	Définition de l'AMDEC	64
V.5	Les avantages et les inconvénients de l'AMDEC	65

V.6	Les types de la méthode AMDEC	65
V.8	Présentation du tableau d'AMDEC	71
V.9	Tableau AMDEC de la pompe alimentaire de la nouvelle centrale	71
V.9.1	Suivi	73
V.9.2	Synthèse	73
V.10	Conclusion.....	73

Introduction générale

La production de l'énergie électrique implique diverses chaînes énergétiques qui se déroulent dans des installations industrielles connues sous le nom de centrales électriques :

L'industrie de la production d'électricité est l'une des industries les plus sollicitées et les plus bénéfiques à l'échelle mondiale, que ce soit pour l'électricité domestique ou industrielle, avec un réseau de production d'électricité qui couvre presque tous les continents. Afin de résoudre ce problème, l'Algérie développe ses investissements dans le domaine de l'énergie en utilisant des ressources matérielles et humaines pour étendre son exploitation à l'échelle nationale. La Société nationale de l'électricité et du gaz (SONELGAZ) est actuellement responsable de la production, du transport, de la distribution, de l'engineering et des travaux de réalisation de certains projets d'électricité et de gaz sur le territoire national, dans le but de répondre régulièrement, de manière sûre et permanente à la demande de la clientèle énorme.

Différentes centrales électriques qu'elle possède utilisent deux types de turbines, à vapeur ou à gaz.

Chaque composant d'une installation industrielle est exposé à des processus de dégradation causés par les conditions de fonctionnement et/ou l'environnement : usure, fatigue, vieillissement, altérations physico-chimiques variées.

Devant les pannes qui en découlent, on se limite à effectuer une maintenance corrective, mais malheureusement, cela ne permet pas d'éviter les conséquences des pannes que l'on subit. Un comportement plus agressif implique la mise en place d'une maintenance préventive visant à réduire, voire à éviter ces pannes, mais cela entraîne le risque de dépenses excessives et d'indisponibilités inutiles, et c'est sur ce point que nous réfléchissons. La plupart des sociétés ne disposent actuellement d'aucun outil permettant d'évaluer la stratégie de maintenance optimale qui permet de diminuer les coûts des pannes en maintenant le niveau de disponibilité estimé par le service de production.

Afin de bien définir ce problème et de l'analyser de manière méthodique afin d'en trouver une résolution efficace, il est essentiel de connaître son contexte.

C'est la raison pour laquelle il a été identifié l'importance d'améliorer le service de maintenance et la sécurité de ses équipements afin de contrôler les risques et planifier toutes sortes d'interventions (préventives, conditionnelles, systématiques). Face à l'efficacité de la

méthode AMDEC machine, nous avons décidé de l'utiliser sur les équipements ayant un temps d'arrêt élevé. Parmi ces équipements, la pompe alimentaire a été choisie pour notre étude.

Notre but de recherche consiste à étudier la fiabilité et à analyser les défaillances d'une pompe alimentaire à l'aide de la méthode AMDEC. En général, l'analyse des défaillances est l'un des moyens employés pour surveiller le bon fonctionnement des machines.

Elle est organisée en cinq chapitres, ainsi qu'une introduction et une conclusion :

- ✓ Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil
- ✓ Chapitre II : Généralités sur les pompes
- ✓ Chapitre III : Description de la pompe alimentaire BFP
- ✓ Chapitre IV : Etude la fiabilité de la pompe alimentaire BFP
- ✓ Chapitre V : consacre à une méthode d'analyse des défaillances de l'équipement par méthode AMDEC pour proposer des solutions et termine notre étude par une conclusion générale

Chapitre I
Présentation de
l'organisme d'accueil

I.1 Introduction :

En Algérie, la consommation d'électricité continue de croître, avec une augmentation annuelle d'environ 5%. Pour faire face à cette augmentation de la demande, il est nécessaire de construire des centrales électriques. Plusieurs centrales à cycle combiné, gaz et vapeur ont été mises en place en Algérie, dont la centrale à cycle combiné de Ras-Djinet.

I.2 Historique de cycle combiné :

Les cycles combinés avec récupération de la chaleur, qui emploient la chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz, ont été rendus faisables par augmentation du transfert thermique latéral par l'utilisation des tubes aillés. Les chaudières à tubes aillés ont été mises en service en 1959. Depuis 1960, le type de récupérateur de chaleur du cycle combiné est devenu dominant. Son application initiale était dans des applications de puissance et de chaleur là où son rapport de puissance à la chaleur était favorable dans beaucoup de processus chimiques et pétrochimiques.

Un nombre réduit de récupérateur de chaleur des cycles combiné ont été installés dans les centrales de production d'électricité dans les années 1960. Quand les turbines à gaz dont la capacité est plus de 50 MW ont été introduites dans les années 70 les expériences des récupérateurs de chaleur des cycles combinés ont rapidement augmenté dans les applications des compagnies d'électricité. Les années 80 et le début des années 90 ont apporté un grand nombre de systèmes utilisant le gaz naturel comme combustible (installations de production de puissance et de production de puissance et chaleur (cogénération)).

Les installations de puissance seule utilisent l'extraction minimale de vapeur pour le chauffage d'eau d'alimentation. Les systèmes de cogénération utilisent la vapeur d'échappement des turbines à vapeur dans d'autres processus. Quelques cycles combinés par cogénération exportent la vapeur directement du HRSG [1].

I.3 La centrale à cycle combiné de la production de l'électricité :

• Situation :

La centrale à cycle combiné de CAP-DJINET est une entreprise destinée à la production de l'énergie électrique, elle est située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de CAP-DJINET, dans la wilaya de BOUMERDES. C'est la surface la plus idéale grâce à son large espace et sa proximité de l'eau de mer et pour ses conditions du Sous-sol favorables, qui ne

nécessitent pas de fondations profondes. En plus de sa situation à proximité des consommateurs importants, elle est située notamment dans la zone industrielle Rouïba- Reghaia.



Figure I 1 Vue de ciel pris par Google Maps de la centrale à CC RAS-DJINET

Caractéristique :

La centrale de CAP-DJINET se compose principalement de trois (3) modules de la centrale électrique à cycle combiné à arbre-simple, ainsi que les systèmes qui supportent l'équilibre de la centrale. Chaque module a une turbine à gaz (modèle : SIEMENSSGT5-4000F), une chaudière de récupération (HRSG) associé, une turbine à vapeur (Modèle : SIEMENSSST5- 3000 H-IL) et un générateur commun refroidi par hydrogène (Modèle : SIEMENS SGEN5- 2000 H) situé sur le même arbre entre la turbine à gaz (GT) et la turbine à vapeur (ST). Les turbines à gaz sont conçues pour brûler le gaz naturel comme lecombustible de base et le carburant diesel comme le combustible de secours [2].



Figure I 2 Vue externe de la centrale à CC RAS-DJINET [2].

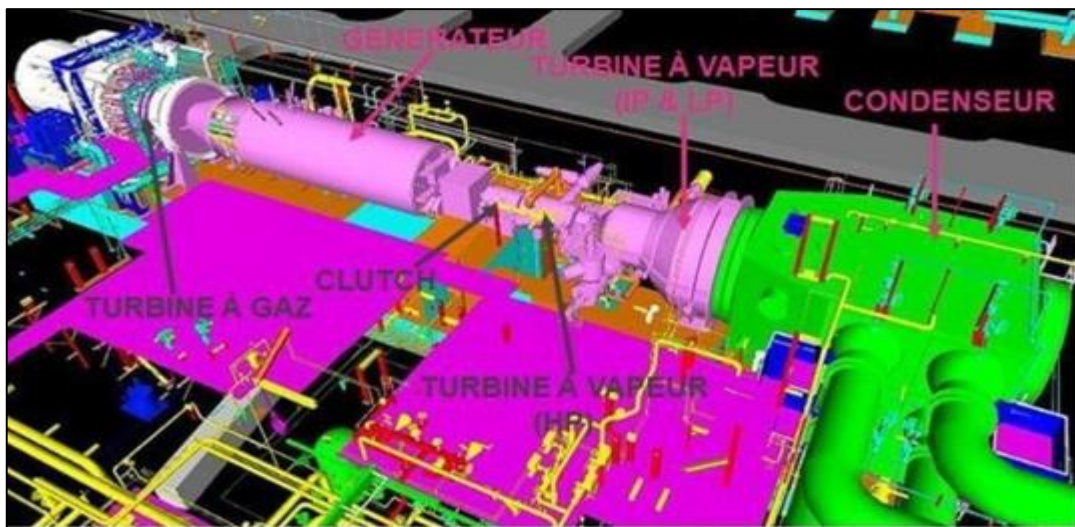


Figure I 3 Vue en section d'un cycle combiné [2].

Les principaux composants mécaniques du cycle combiné de la nouvelle centrale deCAP-DJINET sont (figure I.4) :

- Turbine à gaz
- Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG)
- Turbine à vapeur
- Vannes de by-pass HP, IP et LP

- Système d'air comprimé–Pompes d'eau d'alimentation de la chaudière (BFP)
- Pompes d'extraction de condensat (CEP)
- Condenseur
- Gland Stream Condenser (GSC)
- Éjecteur d'air à jet de vapeur
- Chaudière auxiliaire
- Pompes de circulation d'eau
- Pompes d'alimentation usine de dessalement
- Pompes d'eau de refroidissement déminéralisée
- Échangeur de chaleur CCW (Type de plaque)
- Station d'alimentation en gaz naturel–Réservoirs de stockage de mazout
- Réservoir de stockage d'eau DM
- Réservoir de stockage d'eau dessalée

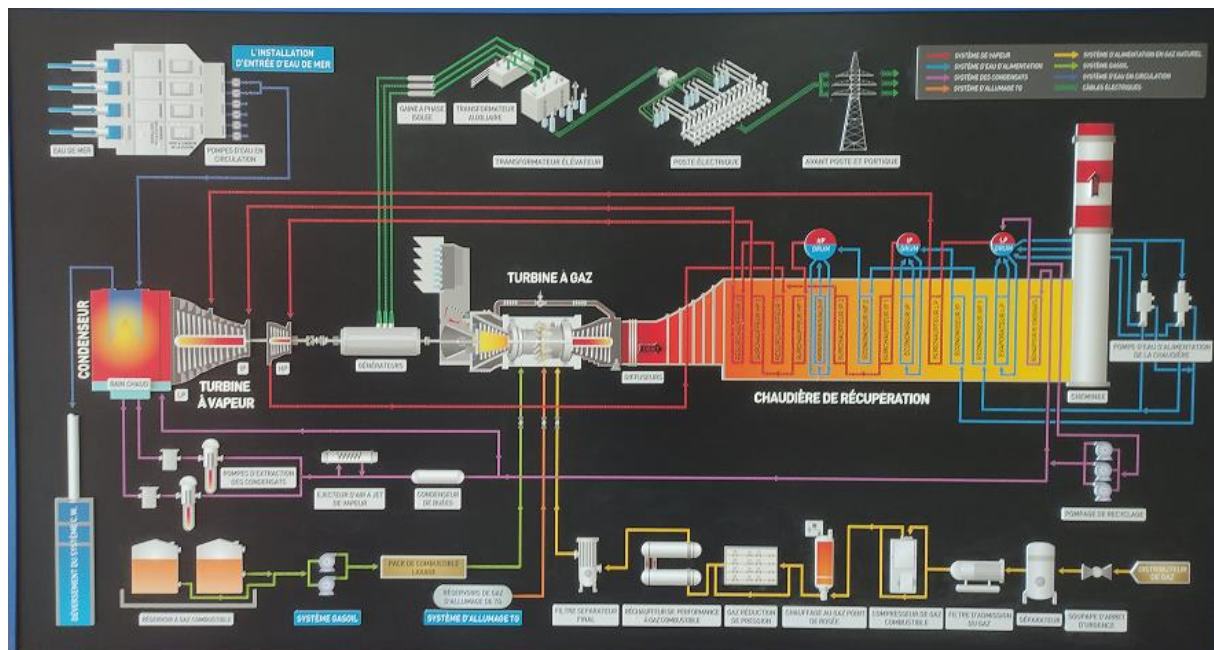


Figure I 4 Cycle de fonctionnement de la nouvelle centrale CC de CAP-DJINET

I.4 Éléments de base de cycle combiné :

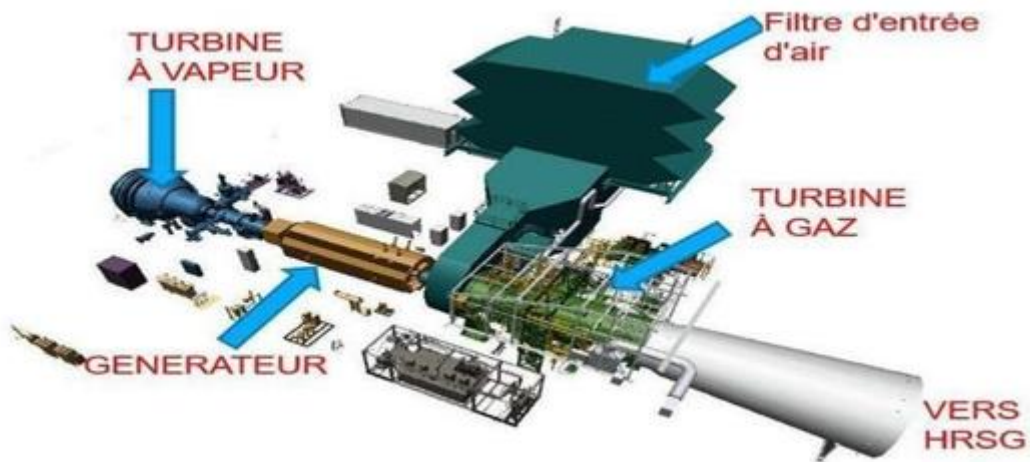


Figure I 5 éléments de base de cycle combiné

I.4.1 Turbine à gaz :

Les composants d'une turbine à gaz comprennent un système d'air d'admission, un compresseur, un système de combustion, une turbine, un système d'échappement et un générateur, comme le montre le schéma ci-dessous :

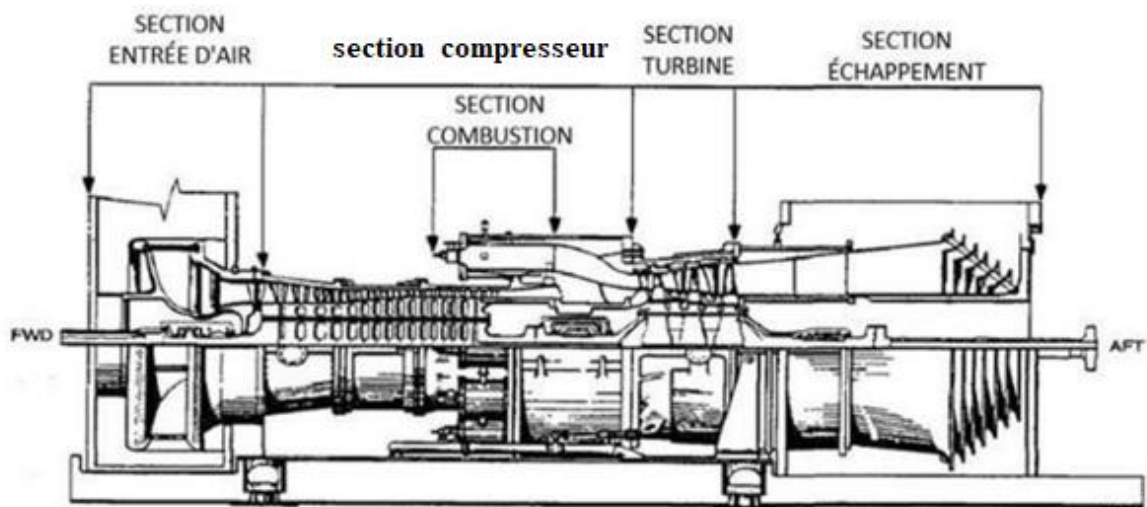


Figure I 6 composants de la turbine à gaz [2].

I.4.2 Chaudière de récupération(HRSG) :

Le ballon vapeur est conçu pour séparer le mélange de vapeur et d'eau pour fournir de la vapeur saturée à la surchauffeur et pour absorber les à-coups de l'évaporateur pendant les transitoires de démarrage et de fonctionnement.

- Sections économiseur pour chaque niveau de pression (HP, IP et BP)

La fonction principale de la section économiseur du HSRG est de préchauffer l'eau de

condensation (pour économiseur LP) ou bien l'eau d'alimentation (pour économiseur IP et économiseur HP)

- Sections évaporateur pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP)

L'eau de condensation traversant la section économiseur entre dans le ballon vapeur et est répartie sur toute la longueur du ballon par un collecteur de distribution où il se mélange à l'eau saturée revenant de la section évaporateur. L'eau saturée est extraite du fond du ballon vapeur LP et traverse la section de l'évaporateur par le processus de circulation naturelle.

- L'eau saturée entre dans le collecteur situé au fond de l'évaporateur et s'écoule vers le haut par évaporation dans les tubes de l'évaporateur. La section évaporateur fonctionne essentiellement à température constante.
- Sections surchauffeur pour chaque niveau de pression (LP, IP et HP)
- La vapeur saturée est extraite du ballon vapeur vers le collecteur d'entrée de la surchauffeur, puis s'écoule à travers la structure grillagée des tubes à ailettes vers le collecteur de sortie. Le débit de vapeur est à courant du débit des gaz d'échappement. La section surchauffeur élève la température de la vapeur depuis la température de Saturation jusqu'à une température de surchauffe conforme aux exigences de la turbine à vapeur basse pression.
- Section réchauffeur (pour la section IP)

La fonction principale de la section réchauffeur est de chauffer la vapeur de réchauffage à froid (CRH) jusqu'à la température de vapeur de réchauffage à chaud (HRH).

- Dégazeur intégral ballon LP

Le dégazeur a pour fonction d'éliminer les gaz non condensables comme l'O₂ et le CO₂ des condensats lors du remplissage initial de la chaudière et du démarrage de l'installation. Il fait partie intégrante du ballon basse pression (LP). Le ballon LP agit comme un réservoir de stockage pour le dégazeur.

- Cheminée HSRG avec silencieux

La cheminée du HRSG et son silencieux sont fournis pour acheminer les gaz d'échappement de la turbine à gaz depuis la sortie du HRSG vers l'atmosphère. Des ports d'échantillonnage sont fournis dans la cheminée pour les contrôles d'émission. Les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz font du bruit. De ce fait, un silencieux est fourni

afin de réduire le bruit en sortie de cheminée.

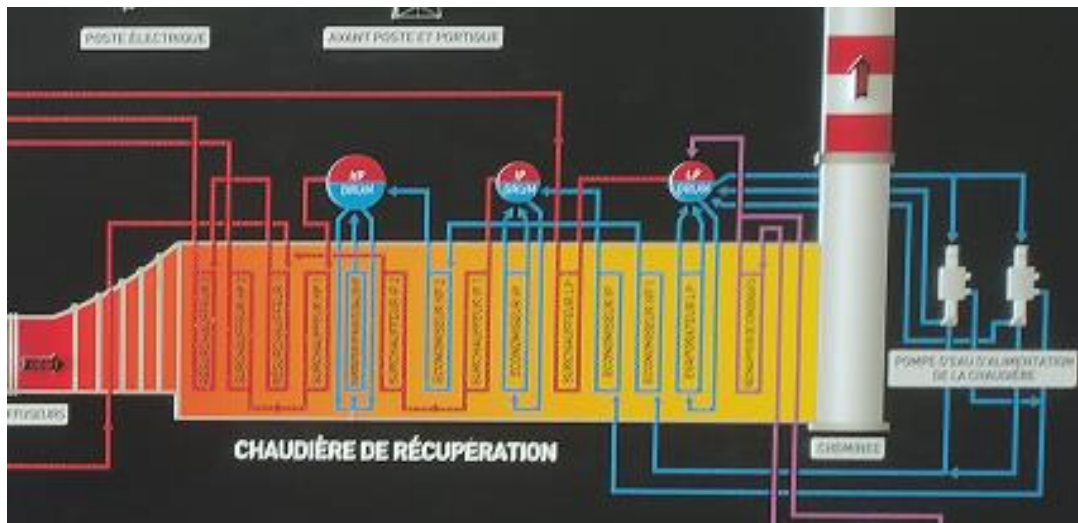


Figure I 7 composants de la chaudière de récupération (HRSG) [2].



Figure I 8 vue d'extérieur de la chaudière de récupération

I.4.3 Turbine à vapeur :

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec une turbine à vapeur (modèle Siemens SST5-3000) ainsi que tous les accessoires nécessaires. La turbine à vapeur se compose d'un cylindre HP et d'un cylindre IP/LP à écoulement direct.

La vapeur d'échappement sortant de la turbine à vapeur sera condensée dans le condenseur refroidi eau. La turbine HP est de construction à simple flux et à double paroi avec un porte-lame fixe et un carter externe. Elle est munie d'une vanne d'arrêt et de contrôle de vapeur principale, soudée, soutenue par des supports supplémentaires. Le carter extérieure est de type cylindrique.

Le carter extérieur IP/LP est divisé en deux sections, la section du carter d'entrée moulé et la section du carter d'échappement soudé. Les deux sections sont divisées horizontalement. Les demi- carters sont boulonnés ensemble par des boulons d'assemblage. Les sections d'entrée et d'échappement sont également boulonnées ensemble.

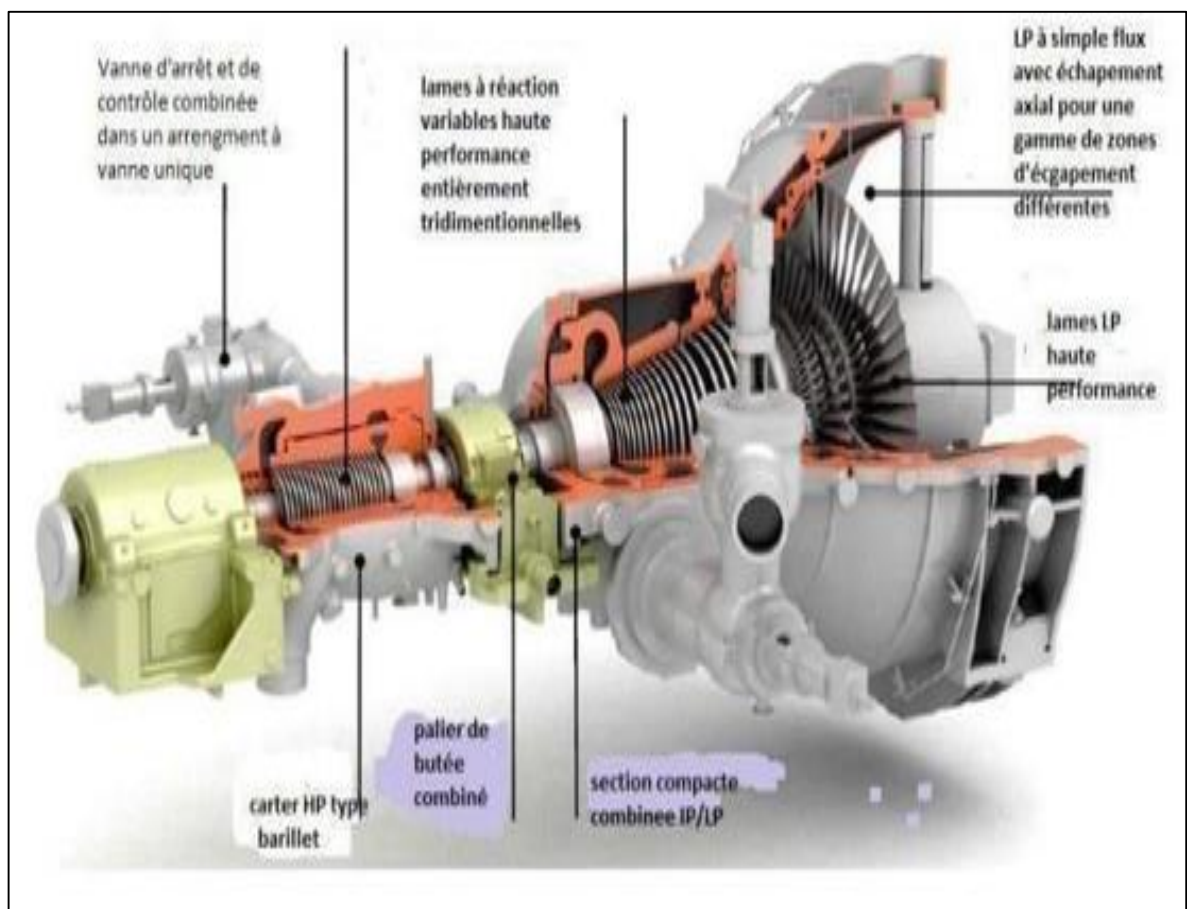


Figure I 9 composants de la turbine à vapeur SST5-3000 [2].

I.4.4 Générateur :

Le générateur est le principal élément électrique de la centrale électrique. Sa capacité consiste à évacuer le courant de la sortie de la turbine à gaz (turbine à gaz + turbine à vapeur) à laquelle il est relié sans dépasser la température maximale autorisée par la norme appropriée dans toute la plage de température ambiante du site

Ce générateur à un seul arbre a été employé dans ce projet. Il est relié à la turbine à gaz à l'une de ses extrémités et à la turbine à vapeur à l'autre de ses extrémités.



Figure I 10 Vue d'extérieur de générateur

I.4.4.1 Réfrigérateur de générateur :

Le rôle de l'installation est d'assurer le refroidissement du rotor ; du circuit magnétique du stator et des organes frontaux de serrages de l'alternateur. L'hydrogène a été choisi pour ses propriétés physiques supérieures à l'air.

- Sa densité est quatorze fois inférieure à l'air
- Sa conductivité thermique est sept fois plus grande
- Son coefficient de convection est une fois et demi plus grand
- L'hydrogène empêche la formation d'ozone, d'où un vieillissement des isolants retardé, l'hydrogène pur ne brûle pas. Le risque de créer un mélange détonant est éliminé en maintenant un taux de pureté $> 98\%$
- L'éventuelle fuite s'échappe à l'air libre
- Le silence de fonctionnement est notablement amélioré

La circulation du gaz est assurée par deux ventilateurs montés sur l'arbre principal à chaque extrémité de celui-ci (voir croquis). Le circuit magnétique est subdivisé en 85 paquets de tôles séparés par des événements de 8 à 10 mm de largeur dans lesquels circule le gaz. La réfrigération de l'hydrogène est assurée par quatre réfrigérants internes à la machine, alimentés en eau.

La température normale du gaz chaud est de 60°C avec une limite à 70°C ce qui correspond à une température stator de 70° . La différence H_2 chaud / H_2 froid est de l'ordre de 20° . Le refroidissement du rotor est de type direct.

L'humidité contenue dans l'hydrogène utilisé pour refroidir l'alternateur est éliminée dans un sécheur.

La pression nominale d'hydrogène est de 3,5 bars relatifs. Le débit est de 45m³/s La circulation du gaz s'effectue en circuit fermé à l'intérieure de la carcasse [3].

I.4.4.2 L'étanchéité :

La carcasse et les paliers sont conçus pour être étanches au gaz. L'étanchéité au niveau de l'arbre est assurée par un système d'anneau comportant une gorge dans laquelle sont logées deux bagues composées chacune de quatre segments. L'huile arrive sous pression, traverse les jeux entre les bagues et l'arbre et s'échappe en deux flux de part et d'autre du joint, séparant ainsi la partie H₂ et la partie en air.

Le débit d'huile côté H₂ est récupéré et dégazé par pulvérisation sous vide. La circulation du fluide est assurée par deux motos pompes alimentées en alternatif. Une seule assurant le débit Une troisième pompe alimentée sur batterie assure le troisième secours [3] (voir croquis du joint).

I.5 Les fonctionnements d'élément de base de cycle combiné :

I.5.1 Fonctionnement de la turbine à gaz en mode cycle combiné :

Quand la turbine à gaz est mise en marche, l'air ambiant est aspiré à travers le système d'air d'admission où il est filtré et puis dirigé vers l'entrée du compresseur. L'air est comprimé par le compresseur et dirigé vers le système de combustion. À l'intérieur du système de combustion, l'air est mélangé au carburant (gaz naturel ou mazout ou les deux ou un autre carburant) et le mélange est allumé. Les gaz de combustion chauffés et comprimés circulent en suite vers la turbine. Les gaz de combustible se dilatent au fur et à mesure qu'ils circulent à travers la turbine, induisant sa rotation. La turbine rotative actionne le compresseur et les équipements accessoires avec un excès d'énergie disponible pour produire une puissance d'arbre qui actionne le générateur électrique. Les gaz sortant de la turbine s'échappent dans l'atmosphère et sont dirigés vers l'équipement de récupération de chaleur à travers un système d'échappement [2].

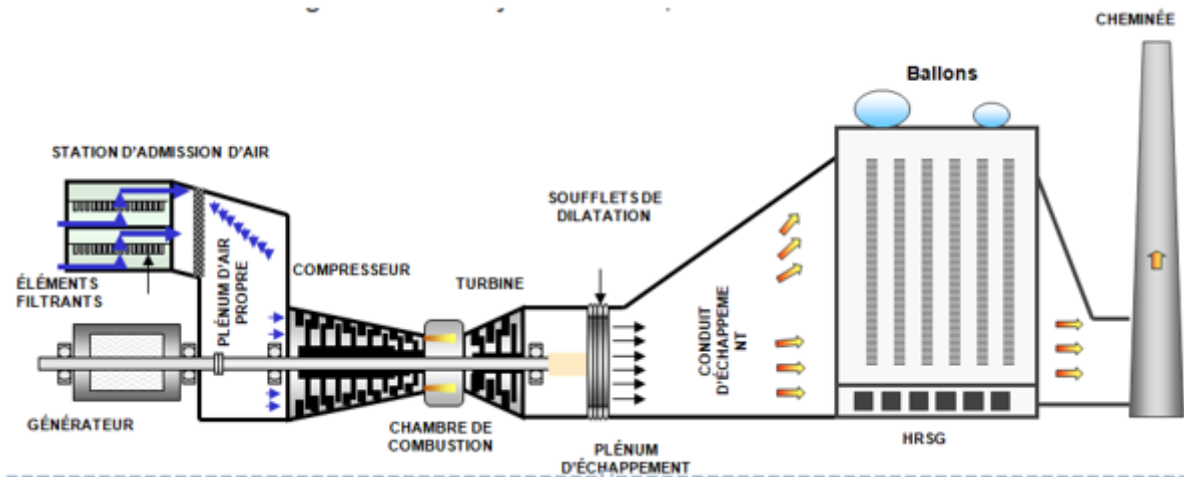


Figure I 11 Schéma de turbine à gaz en mode cycle combiné [2].

I.5.2 Fonctionnement de la chaudière de récupération :

La chambre de combustion annulaire est située entre le compresseur et la turbine ; C'est une (HRSG) à débit horizontal sans postcombustion qui produira la vapeur échauffée à trois niveaux de pression.

Le condensat est fourni à l'économiseur à basse pression (BP) par les pompes d'extraction du condensat. Le dés aérateur est intégré au ballon de la section à basse pression (BP).

La fonction principale du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG) est de générer la quantité et la qualité nécessaires de vapeur en utilisant la chaleur rejetée par les gaz d'échappement du turbogénérateur à gaz (GTG) qui est ensuite transportée à la turbine à vapeur pour générer de l'électricité.

Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est fourni avec un générateur de vapeur à récupération de chaleur (HSRG) ainsi que tous les accessoires nécessaires [2].

I.5.3 Fonctionnement de la turbine à vapeur en mode cycle combiné :

La turbine à vapeur est un des matériels stratégiques des installations de production d'énergie électrique. Les cycles des turbines à vapeur utilisent un fluide compressible, qui change d'état au cours du cycle. Le changement d'état de la vapeur génère des variations importantes de l'enthalpie qui permet de transformer de grandes quantités de chaleur en travail. Dans une turbine la vapeur est d'étendue de façon continue dans un système de roues à aubes. Cette propriété permet de fonctionner avec des débits importants et de pousser la détente sans l'effet de troncature, comme dans les machines alternatives [2]

I.6 Fonctionnement des autres composants mécanique du cycle combiné :

I.6.1 Fonctionnement des vannes de by-pass HP, IP et LP :

La fonction de la vanne de by-pass est de dévier la vapeur vers la conduite de réchauffage à froid (CRH) ou à chaud (HRH) et de maintenir le HRSG en fonctionnement pendant le démarrage ou l'arrêt de la turbine à vapeur, ou pendant d'autres état parti culiers.

Le système de by-pass se compose d'une vanne d'arrêt de vapeur, d'une vanne de conditionnement de vapeur et d'une vanne de régulation de température pour chaque niveau [2].

I.6.2 Fonctionnement du système air comprimé-compresseur :

Il s'agit de compresseurs d'air à vis sans fin, sans huile, à moteur, équipés d'un filtre d'aspiration, de refroidisseurs d'air et des instruments requis. Les compresseurs sont robustes et élaborés pour assurer un fonctionnement continu et intermittent, qu'ils soient à pleine ou à faible capacité.

I.6.3 Fonctionnement des pompes d'alimentation en eau de la chaudière :

La fonction des pompes d'alimentation en eau de la chaudière est de fournir de l'eau du ballon LP, à la section économiseur haute pression (HP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur et, par un étage intermédiaire, à la section économiseur pression intermédiaire (IP) du générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG). Les pompes d'alimentation en eau de la chaudière fournissent également de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour le système de by-pass HP et de l'eau de pulvérisation désurchauffeur pour la surchauffeur HP [2].



Figure I 12 Pompe alimentaire

I.6.4 Fonctionnement des pompes d'extraction de condensat :

La fonction des pompes d'extraction de condensat est d'effectuer ce qui suit :

- Maintenir le niveau du puits du condenseur à son niveau normal en extrayant les condensats du puits du condenseur et fournir de l'eau de condensation au dégazeur en passant par l'économiseur LP.
- Fournir de l'eau pulvérisée désurchauffer pour le système de by-pass IP et LP, la station auxiliaire de réduction de pression de vapeur et de désurchauffe (PRDS) et d'autres auxiliaires De la turbine à vapeur, et fournir aussi de l'eau d'étanchéité aux vannes pour empêcher l'entrée d'air dans le système [2].



Figure I 13 Pompe d'extraction

I.6.5 Fonctionnement du condenseur :

La fonction du condenseur axial refroidi à l'eau est de condenser la vapeur d'échappement de la turbine à vapeur et/ou du système de by-pass de vapeur à haute pression (HP), pression intermédiaire (IP) et basse pression (LP).

Le condenseur reçoit la vapeur d'échappement de la turbine dans le sens horizontal. Il est équipé d'une soupape de dépression, de transmetteurs de pression, de transmetteurs de température et de transmetteurs de niveau pour la protection du condenseur et de la turbine.



Figure I 14 Condenseur

I.6.6 Fonctionnement de Gland Stream condenseur :

Le Gland Stream Condenseur a pour objectif de recueillir le condensat de la vapeur évacuée par les joints d'étanchéité de l'arbre. Le refroidissement du « Gland Stream Condenseur » se fait grâce aux condensats issus des pompes d'extraction de condensat.

I.6.7 Fonctionnement d'éjection d'air a jet de vapeur :

L'éjecteur d'air à jet de vapeur a pour fonction d'évacuer l'air et les autres gaz non condensables du condenseur en fonctionnement normal. L'éjecteur d'air à jet de vapeur doit être alimenté par la vapeur motrice provenant du collecteur auxiliaire.

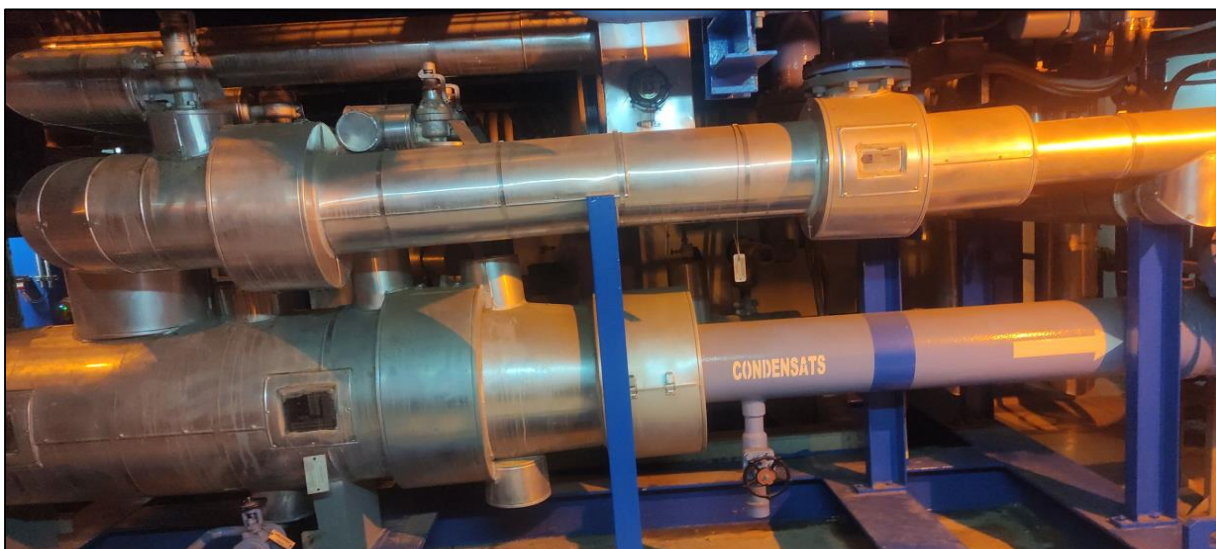


Figure I 15 éjecteur d'air

I.6.8 Fonctionnement de la chaudière auxiliaire :

La fonction principale de la chaudière auxiliaire consiste à assurer la fourniture de vapeur auxiliaire lors du démarrage et du fonctionnement à faible charge de l'installation. Elle doit également assurer l'étanchéité de la turbine du presse-étoupe et de l'usine de dessalement.

I.6.9 Fonctionnement des pompes de circulation d'eau (CW) :

Les pompes de circulation d'eau ont pour principale fonction d'alimenter le condenseur à eau de mer en eau froide afin d'absorber la chaleur du cycle. Les pompes de circulation d'eau sont équipées de vannes papillon motorisées sur chaque ligne de refoulement. Chaque module de la centrale à cycle combiné (CCPP) est équipé de deux pompes de circulation d'eau (2 x 50%).

I.6.10 Fonctionnement des pompes alimentation pour installation de dessalement :

La principale fonction des pompes d'alimentation consiste à fournir de l'eau à l'usine de dessalement.

I.6.11 Fonctionnement des pompes d'eau de refroidissement déminéralisé :

Les pompes à eau de refroidissement déminéralisée (DMCW) ont pour principale fonction de transporter l'eau de refroidissement vers les équipements et les composants de la turbine à gaz, de la turbine à vapeur, du cycle eau/vapeur et du générateur.

I.6.12 Fonctionnement des échangeurs de chaleur (type à plaque):

La fonction de l'échangeur de chaleur à plaques pour l'eau de refroidissement en circuit fermé est de transférer la chaleur absorbée par le circuit d'eau de refroidissement fermé au système de refroidissement auxiliaire à l'eau de mer [2].

I.6.13 Fonctionnement des réservoirs de stockage de mazout :

Le réservoir de stockage de mazout a pour fonction de stocker du mazout destiné à (Turbine à gaz/GT). Le mazout sert de combustible alternatif aux turbines à gaz.

I.6.14 Fonctionnement du réservoir de stockage d'eau déminée :

Les réservoirs de stockage d'eau déminéralisée sont utilisés pour stocker de l'eau déminéralisée pour l'alimentation du cycle de puissance, l'alimentation de la chaudière auxiliaire, la génération d'hydrogène et le lavage du compresseur GT.

I.6.15 Fonctionnement des réservoirs de stockage d'eau dessalée :

La principale fonction du réservoir de stockage d'eau dessalée est de stocker l'eau dessalée pour l'approvisionnement en eau de l'usine d'eau DM, du système d'eau de service et du système d'eau d'incendie. Dans la nouvelle centrale de CAP-DJINET est utilisée selon le système de refroidissement par film [4].

I.6.16 Fonctionnement de transformateur :

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative. Le transformateur élévateur a pour but d'augmenter la tension générée par l'alternateur (22 KV à 400 KV).

La tension générée (22kV) est abaissée à (6 kV) par le transformateur abaisseur pour alimenter les équipements auxiliaires.



Figure I 16 Transformateur

I.7 Salle de commande :

La salle de commande assure le contrôle et la régulation de chaque paire de tranches. Chaque tranche de la salle de commande est composée de :

- Deux pupitres de conduit.
- Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
- Un tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques.



Figure I 17 Salle de commande de la centrale à cycle combiné

I.8 Principe de production électricité au niveau de la centrale de cycle combiné :

Une centrale à cycle combiné à gaz naturel est composée d'une turbine à combustion (TAC) et d'une turbine à vapeur (TAV). Dans un premier temps, le gaz naturel fait fonctionner la TAC. Ensuite, les gaz chauds d'échappement de la TAC sont utilisés pour produire de la vapeur, dirigée vers une deuxième turbine, la TAV. TAC et TAV entraînent alors un ou deux alternateurs. La même quantité de combustible sert ainsi à une double production d'électricité : celle de la TAC et celle de la TAV, améliorant d'autant le rendement de la centrale.

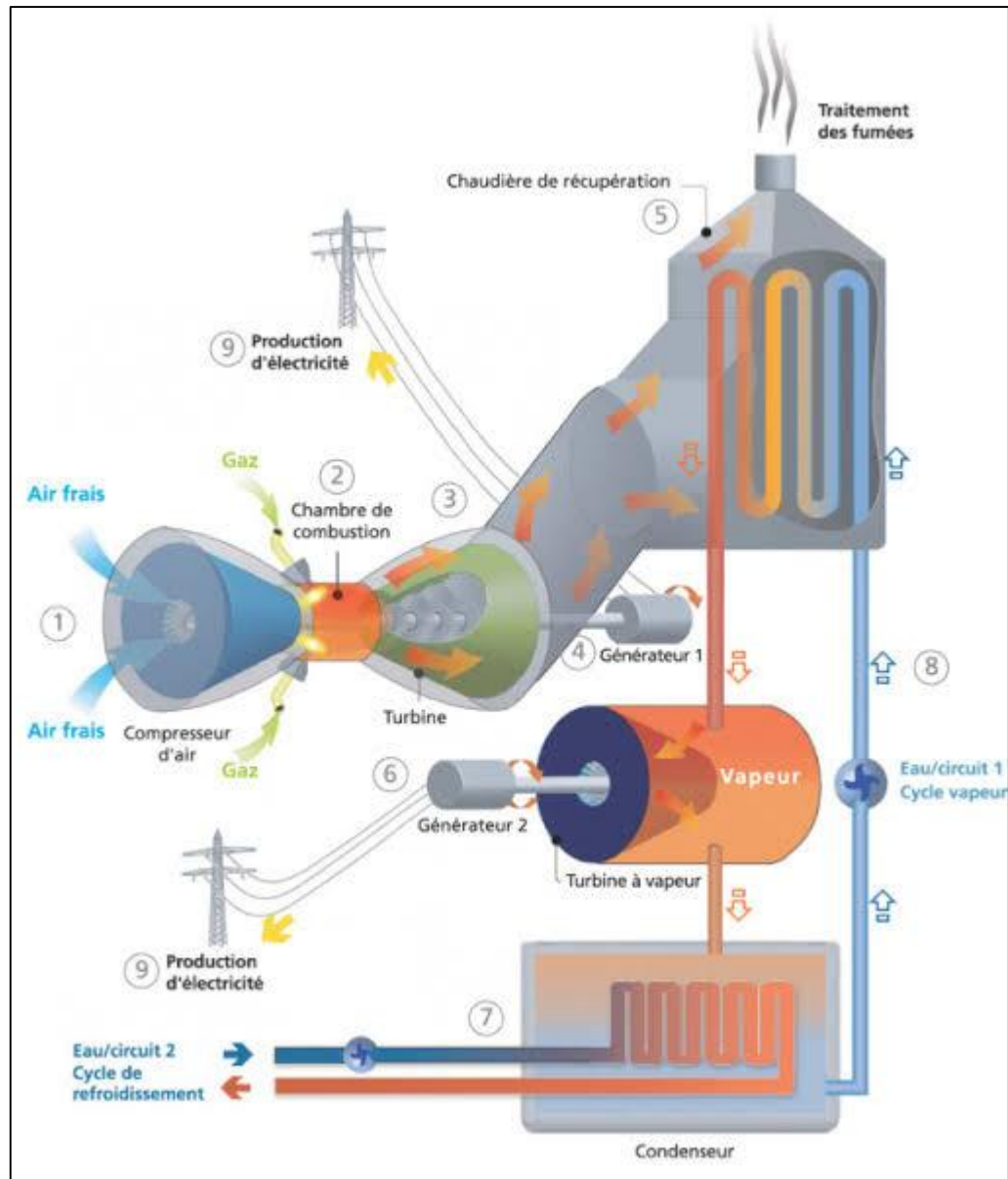
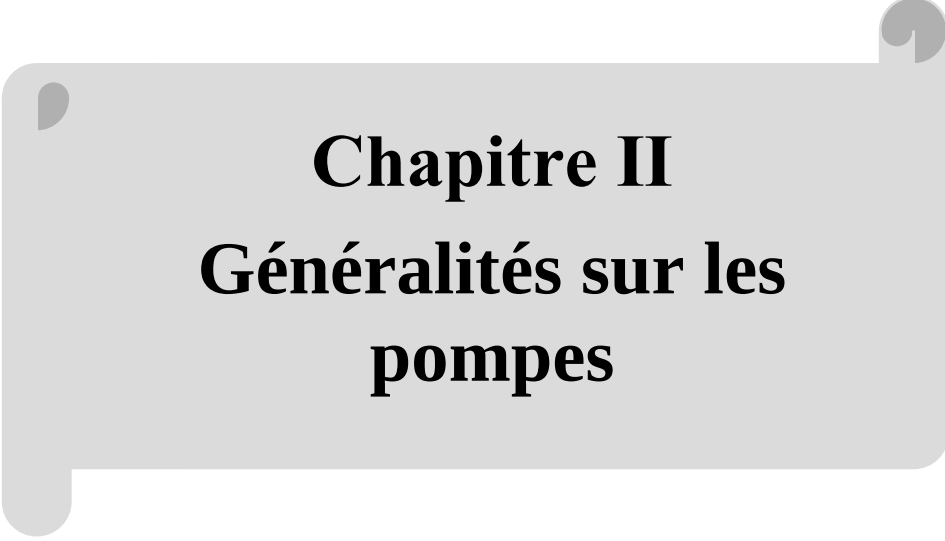


Figure I 18 Principe de fonctionnement d'un cycle combiné [2].

I.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble de la nouvelle centrale de Cap Djinet, en décrivant ses diverses composantes et les méthodes utilisées pour générer de l'électricité. Il a été observé que la centrale utilise une technologie de cycle combiné qui optimise son efficacité énergétique et diminue les émissions de gaz à effet de serre, tout en bénéficiant de la diversité des combustibles utilisés.

La production d'électricité est cruciale pour répondre aux besoins croissants de la population et de l'industrie en Algérie. Cette centrale illustre l'engagement de notre pays en faveur d'une production d'énergie plus durable et respectueuse de l'environnement.



Chapitre II

Généralités sur les pompes

II.1 Introduction :

Les pompes sont des éléments essentiels dans la vie et le confort des êtres humains. Les pompes déplacent les fluides qu'ils soient chauds ou froids, propres ou sales. Elles effectuent cette opération de manière extrêmement efficace et préservent l'environnement. Il y a deux grandes familles des pompes : les pompes volumétriques et les pompes centrifuges. Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques et le principe de fonctionnement de chacune de ces pompes.

II.2 Définition d'une pompe :

Une pompe représente un système mécanique qui permet de déplacer un fluide, liquide ou gaz, d'un endroit à un autre en utilisant un échange d'énergie. Elle permet de générer des variations de pression ou des niveaux géométriques différents afin de faire circuler des fluides grâce à une transformation de matière. L'énergie mécanique générée par un moteur est utilisée dans divers systèmes industriels, tels que les systèmes de climatisation et de ventilation, les systèmes hydrauliques, etc. [5].

II.3 Rôle d'une pompe :

On peut utiliser pour :

- ✓ Véhiculer un liquide d'un réservoir situé à un certain niveau vers un autre situé à un Niveau plus haut.
- ✓ Augmenter la quantité (débit) de liquide qui traverse une conduite.
- ✓ D'une manière générale, et du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie Mécanique en énergie hydraulique.

II.4 Différents types de pompes :

Il existe différents types de pompes en fonction de leur technologie, de leur fonctionnement et de leur performance, tels que les pompes centrifuges, les pompes à engrenages, les pompes volumétriques, les pompes à piston, etc. Elles sont rangées de la manière suivante [5] :

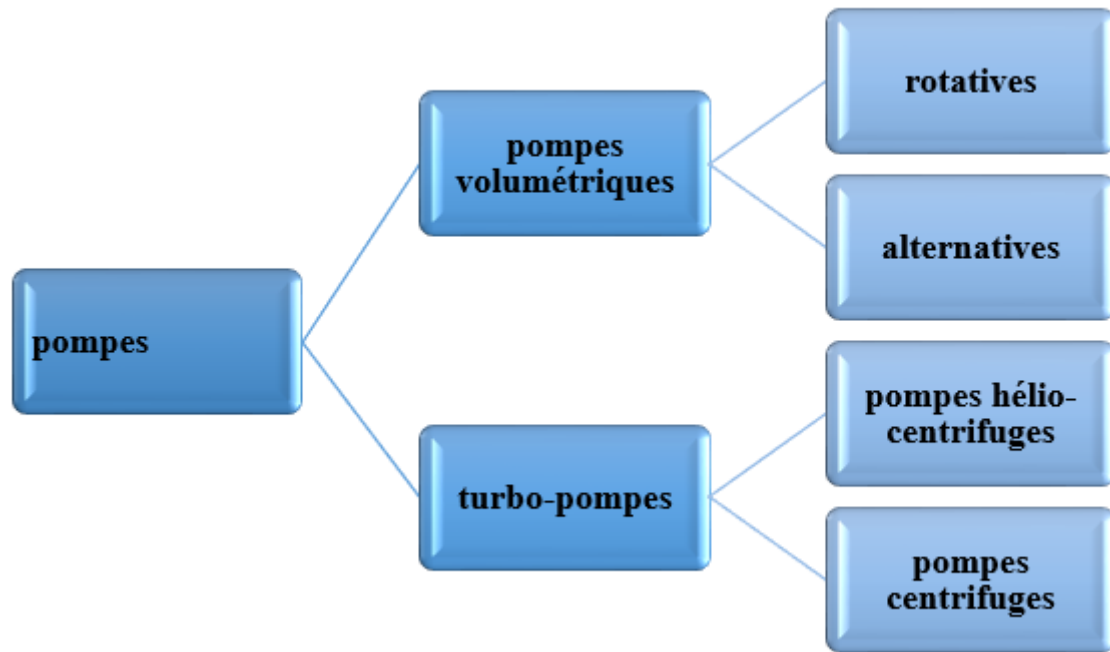


Figure II 1 Classification des pompes

II.4.1 Pompes volumétrique :

Elles utilisent la variante de volume pour déplacer le fluide. Le rendement volumétrique est le rapport entre le volume engendré. [6]

II.4.1.1 Pompe volumétriques rotatives :

Les pompes volumétriques à engrainage sont munies de deux roues dentées. L'une des roues entraînées par le moteur de commande transmet le mouvement à l'autre : L'écoulement est intermittent dans les pompes à vis ou à engrainages hélicoïdaux, l'écoulement est plus régulier [6].

Il existe 04 types de pompe volumétrique rotative :

Pompes à engrenages

Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration (Asp.) et de refoulement (Réf.) tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de

Dents et corps de pompe [7]

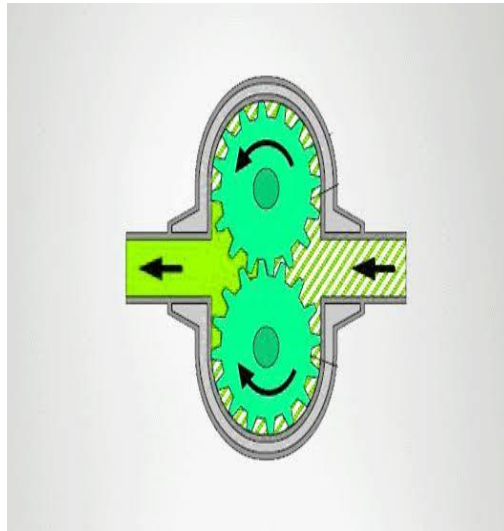


Figure II 2 Exemple de pompe engrenage

Pompes à lobes :

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (lobes) par engrenages [8].



Figure II 3 Exemple de pompe à lobes

Pompes à vis

Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3000 tr/min) [8].

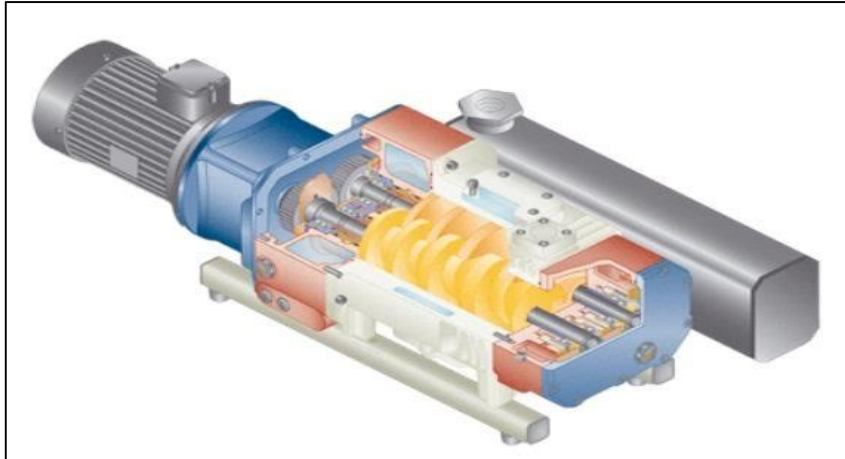


Figure II 4 Exemple de pompe à vis

Pompes à palettes

Une pompe à palettes est une pompe rotative dont le rotor est muni de plusieurs lames (les Palette) qui coulissent radialement et assurent le transfert du fluide pompé.

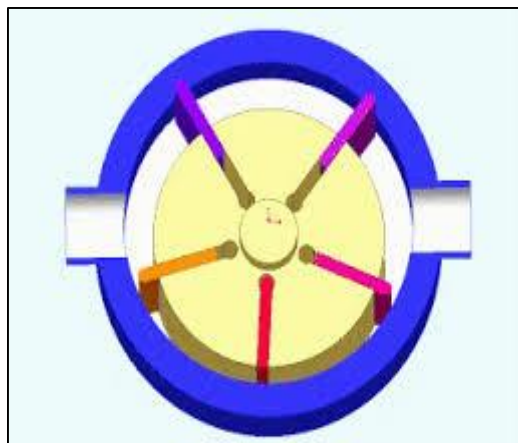


Figure II 5 Exemple de pompe à palettes

II.4.1.2 Les pompes volumétriques alternatives

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de pompes sont les suivants :

- ✓ A piston.
- ✓ À membrane ou à soufflets.

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

- ✓ Le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif.
- ✓ La déformation d'une membrane.

Pompe à piston :

Flex utilise un piston qui effectue un mouvement rectiligne dans un cylindre muni de valves, qui règle le débit du liquide dans le cylindre. Ces pompes sont un simple ou un double effet [6].

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, Virton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe

Alternative [8].

II.4.2 Turbopompe :**Les pompes centrifuges :**

La pompe centrifuge est une machine qui utilise une force centrifuge, elle est entraînée par un moteur électrique pour véhiculer des liquides en transformant l'énergie mécanique en énergie hydraulique .ce type de pompe est constitué de :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe.
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force Centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine .il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur ou la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie [5].

La figure suivante représente le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge [6] :

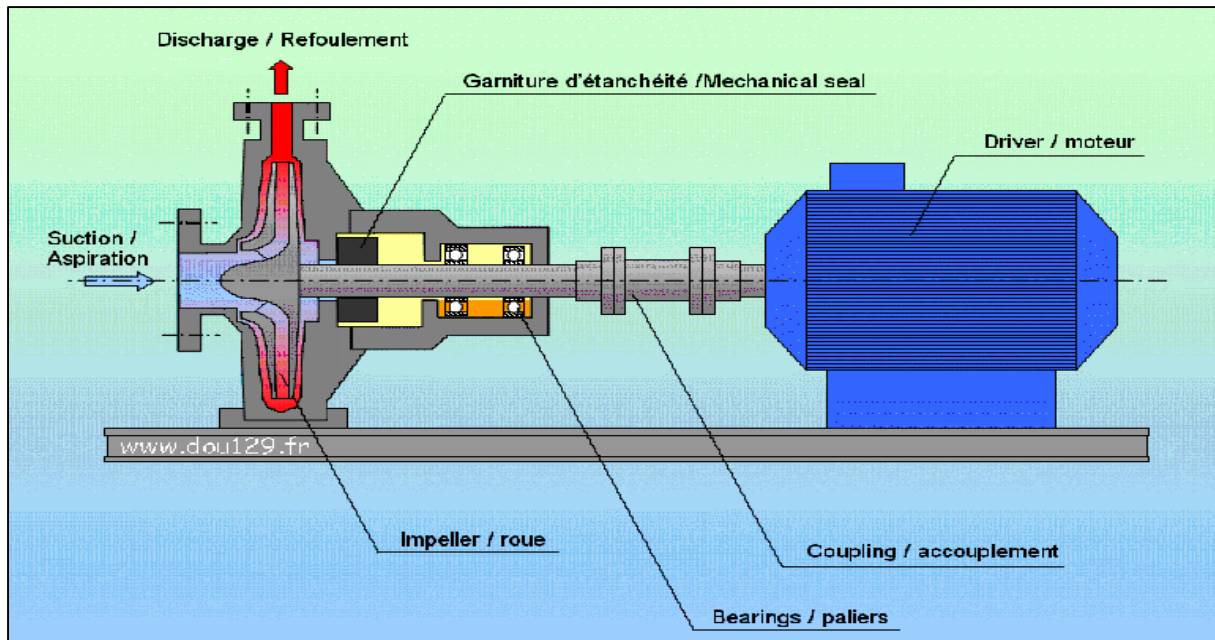


Figure II 6 Fonctionnement d'une pompe centrifuge

II.5 Phénomène de cavitation :

La cavitation est un phénomène qui peut se produire dans les pompes centrifuges lorsqu'une baisse de pression locale entraîne la formation de bulles de vapeur dans le liquide. Lorsque ces bulles atteignent une zone de pression plus élevée, elles implosent brutalement créant des chocs et des vibrations nuisibles. Ce phénomène peut être causé par divers facteurs tels qu'une aspiration insuffisante, une pression d'entrée élevée, des températures élevées du liquide ou bien des liquides contenant des impuretés, et cela peut entraîner des dommages aux composants de la pompe, une perte d'efficacité et une diminution de la capacité de pompage.

La figure qui suit montre les dommages causés à la roue d'une pompe par la cavitation [9] :

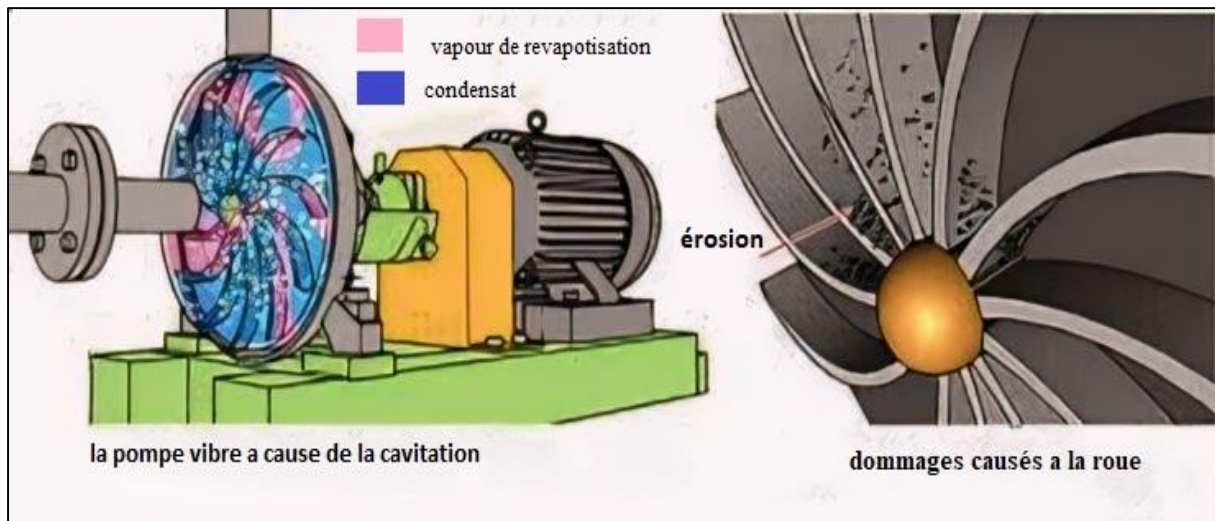


Figure II 7 dommages dues à la cavitation de la pompe

II.6 Caractéristique des pompes :

Le débit Q :

Le débit d'une pompe fait référence à la quantité de fluide quelle peut déplacer par unité de temps

$$Q = \text{Cyl.} \cdot N \quad (\text{II.1})$$

Q : débit en mètre cube par heure (m^3/h).

Cyl : cylindrique en litre. ;

N : vitesse de rotation en tour /min.

La vitesse de rotation N :

Le nombre de tours réalisés par la pompe par unité de temps est exprimé en tours/minute.

La pression :

La force utilisée par une pompe pour déplacer un fluide en dépassant la résistance est appelée pression d'une pompe. On l'exprime en unités de pression, que ce soit en pascals (Pa) ou en bars (bar).

La puissance :

C'est la quantité d'énergie utile de moteur d'entraînement de la pompe. Cette puissance transmise au fluides de la part de la pompe Appelée puissance hydraulique (P_u), elle est mesurée en watts (W) ou en chevaux (hp).

$$P_u = \rho \cdot G \cdot Q \cdot H \quad (II.2)$$

P_u : puissance hydraulique.

ρ : densité

G : accélération

H : hauteur.

Hauteur d'élévation totale (hm) :

La hauteur d'élévation totale ou la hauteur manométrique totale est exprimée en mètre, cette hauteur est la différence entre la hauteur totale du liquide au refoulement (H_r).et la hauteur totale à l'aspiration(H_a)

$$H_m = H_r - H_a \quad (II.3)$$

H_m : la hauteur manométrique

H_r : la hauteur totale du liquide au refoulement

H_a : la hauteur totale à l'aspiration.

La cylindricité :

Elle correspond au volume du liquide par tour en cm cube ou en litre.

$$Cyl = Q/N \quad (II.4)$$

Le rendement :

Le rendement indique le taux de performance hydraulique, mécanique et volumétrique d'une pompe.il est défini par le rapport de la puissance absorbée par la pompe sur la puissance fournie au fluide.

$$\eta = \frac{\text{puissance absorbée}}{\text{puissance fournie}} \quad (II.5)$$

II.7 Pompe alimentaire :

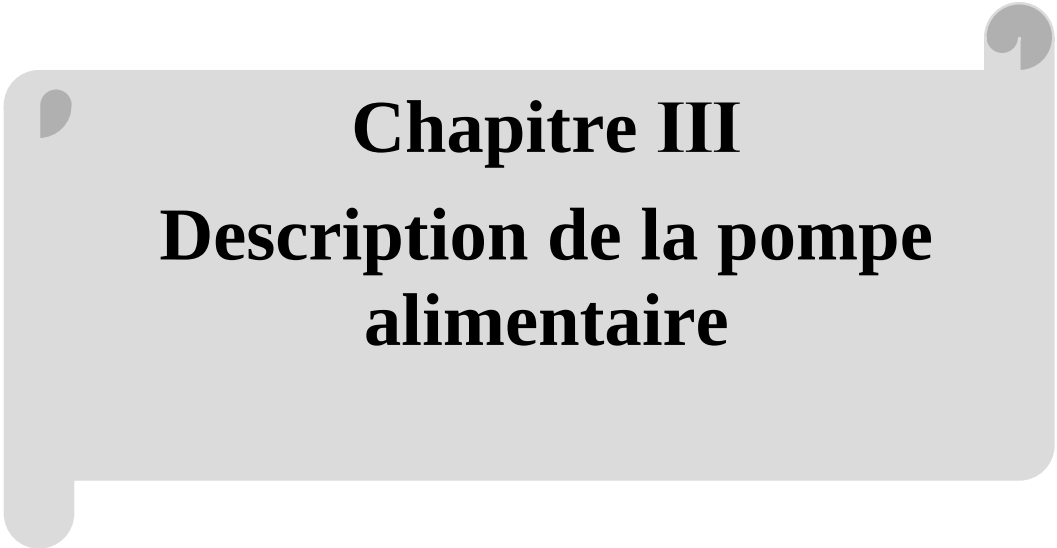
La pompe alimentaire de chaudière est un composant de base dans la centrale RDJ2 CC, elle assure l'alimentation en eau de la chaudière à température et pression élevées en assurant un débit constant et une pression adéquate. Elles sont capables de manipuler de grandes quantités d'eau. Cette pompe assure le fonctionnement ininterrompu de la chaudière et garantit la production d'énergie, grâce à son architecture et ses équipements elle contribue à maintenir des conditions de sécurité optimale en contrôlant la circulation d'eau et en évitant les problèmes de surchauffe.



Figure II 8 Pompe alimentaire de la chaudière

II.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu les types de pompes et leurs caractéristiques et fonctionnements. Les pompes sont des dispositifs fondamentaux pour le transfert de liquides ou de gaz et jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines



Chapitre III

Description de la pompe alimentaire

III.1 Introduction :

La pompe est un élément majeur du système de production d'énergie dans une centrale thermique. Elle est responsable sur le pompage d'eau depuis le réservoir de stockage (ballon LP) vers la chaudière

Pour assurer un fonctionnement optimal de la centrale, il est essentiel que le groupe de pompage soit équipé d'une chaîne d'instrumentation précise et fiable. Cette dernière est composée de différents capteurs et actionneurs.

La chaîne d'instrumentation permet de surveiller en temps réel les paramètres de fonctionnement du groupe de pompage et de garantir un fonctionnement sûr et efficace de la chaudière. L'étude de cette chaîne d'instrumentation est donc essentielle pour comprendre en détail le fonctionnement des différents équipements détecté d'éventuels dysfonctionnements et optimiser le rendement énergétique de la centrale thermique.

III.2 Pompe alimentaire BFP :

III.2.1 Définition :

La pompe de modèle 200HMBR10 de type centrifuge horizontale à étages multiples. Multicellulaire conçu pour fournir un débit d'eau élevé à une pression élevée. Elle a pour rôle de transformer l'énergie mécanique fournie par le moteur, en énergie cinétique transmise à l'eau, ce qui lui permet de vaincre la hauteur manométrique et la pression dans le ballon chaudière pour l'alimenter. la figure suivante représente la pompe alimentaire de la centrale de cap djinet :

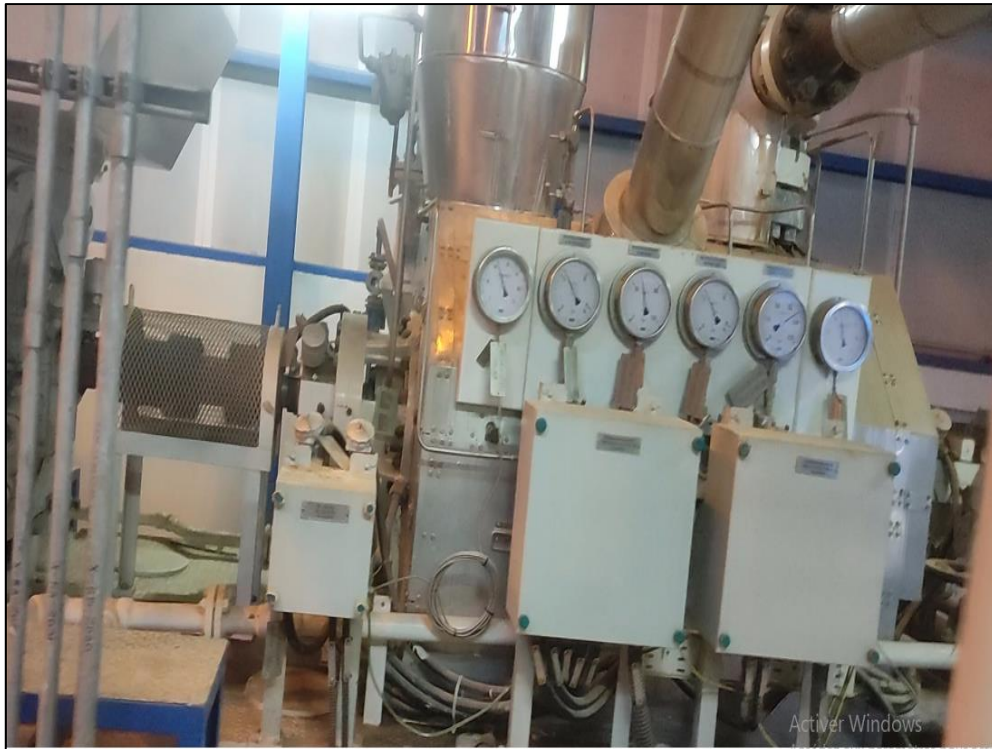


Figure III 1 Pompe alimentaire

III.2.2 Description technique :

Chaque groupe de production de la centrale est équipé de deux pompes alimentaires identiques. En cours de fonctionnement normal une pompe est en service et assure 100% de débit d'eau nécessaire, la deuxième pompe présélectionnée est en stand-by.

Le système de pompage est un ensemble de mécanisme qui permet l'acheminement de l'eau depuis le ballon LP vers le ballon HP et IP. il est constitué des éléments suivants qui sont interconnectés pour assurer le bon fonctionnement du groupe :

- **La pompe** : c'est la machine véhiculant un fluide qui échange de l'énergie avec un ensemble mécanique dans lequel le fluide s'écoule.
- **Le moteur** : il entraîne la pompe.
- **Les conduites** : qui servent à transporter l'eau.
- **Les vannes** : c'est pour réguler le débit et la pression de l'eau.
- **Les filtres** : qui éliminent les impuretés dans l'eau.
- **Les instruments de mesure et de contrôle** : qui surveillent et protègent en temps réel les paramètres de fonctionnement des pompes et autres composants du groupe alimentaire.



Figure III 2 Composants de la pompe alimentaire

III.2.3 Rôle de la pompe d'alimentaire :

Le rôle de cette pompe est de transformer l'énergie mécanique fournie par le moteur, en énergie cinétique transmise à l'eau, ce qui lui permet de vaincre la hauteur manométrique et la pression dans le ballon chaudière pour alimenter ce dernier. Elle a aussi un rôle secondaire qui est de régler la température de vapeur dans les surchauffeurs et les resurchauffeurs.

III.2.4 Description de la pompe alimentaire :

L'eau d'alimentation est acheminée à partir du ballon LP par force de gravitation vers la pompe alimentaire BFP. L'objectif du système de pompage d'eau d'alimentation est :

- De fournir de l'eau vaporisée aux ballons HP et IP nécessaire pour faire entraîner la turbine à vapeur
- De ré-circuler l'eau d'alimentation vers le ballon LP pour maintenir le débit minimum à travers la pompe BFP.

La figure suivante schématise le processus de pompage d'eau d'alimentation :

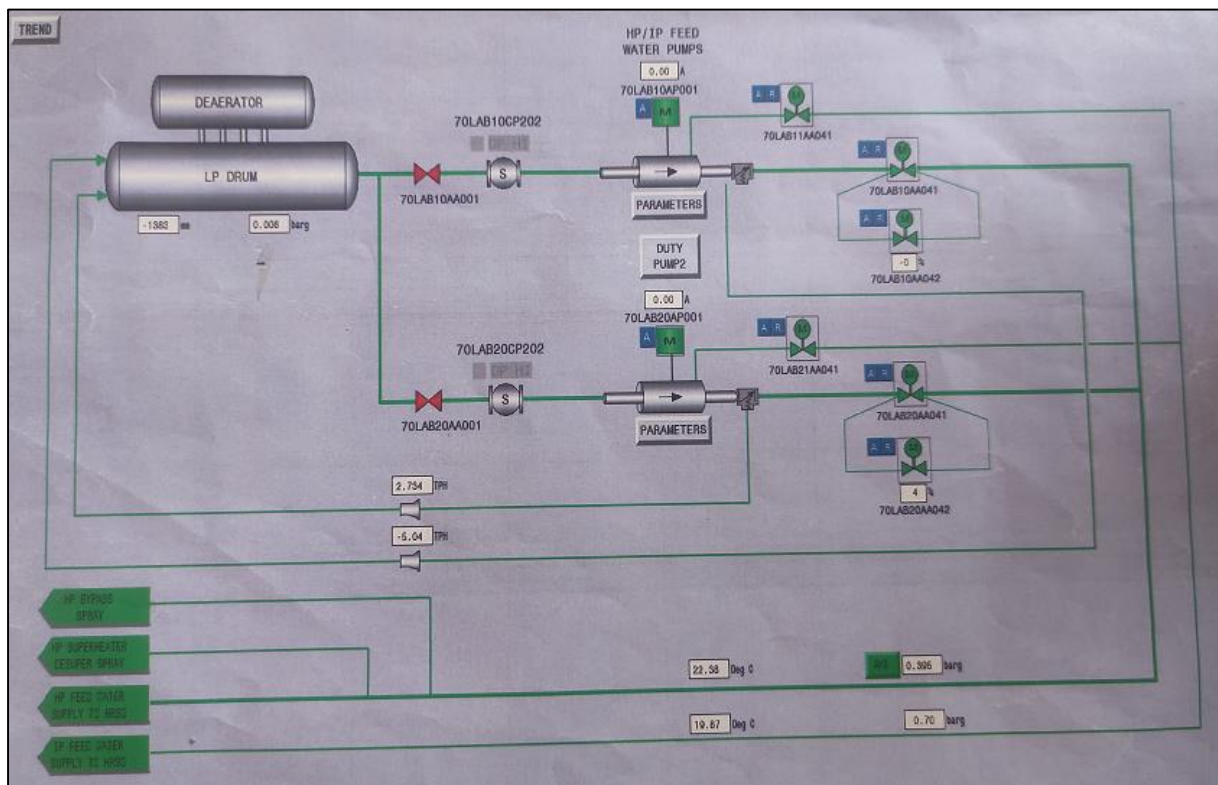


Figure III 3 Processus de pompage de la centrale de cap djinet

III.2.5 Critères de conception du système

Le débit maximum des pompes à eau d'alimentation de la chaudière sera choisi pour le maximum des deux cas suivants :

- Débit à puissance maximum + 1,5 % purge de la chaudière à la pression du timbre quand une soupape de sécurité est totalement ouverte, à une fréquence de 48 Hz.
- Débit à puissance maximale + 1,5 % purge de la chaudière et 10 % rattrapages du niveau du ballon, à la pression de service de la pompe alimentaire et à une fréquence de 48 Hz.

Les groupes d'alimentations devront résister aux variations brutales de la température de l'eau. De même ils devront résister au moins une minute à la pleine cavitation. La spécification détaillée des pompes à Eau d'Alimentation de la Chaudière est comme suit :

Tableau III 1 Spécification détaillées de la pompe à eau d'alimentation de la chaudière

Spécification	Pompe à eau d'alimentation de la chaudière
Type d'entraînement	moteur
Condition de liquide, T°.	Eau d'alimentation, 156.7 °C
Debit (m ³ /h)(HP/PI)	30/125
Hauteur manométrique (m) (HP/PI)	1685/575
Hauteur manométrique à débit nul (m)	2022
Rendement pompe(%)	74
Vitesse (rpm)	2977
Puissance de la chaudière (KW)	2104
NPSH-requis (m)	10
Puissance de régime moteur (KW)	2400
Fréquence (Hz)	50
Limite de bruit (dB)	85 (avec capot d'insonorisation)
Limite de vibration (um, p-p)	50

III.2.6 Caractéristiques de la pompe alimentaire :**Tableau III 2** caractéristiques de la pompe alimentaire

Désignation d'équipement	Pompe d'eau d'alimentation de la chaudière (Boiler Feed Water Pump)
Fluide de service	Eau diminuée
Model	200HMBR10
Type	De type centrifuge
Débit	HP :330m ³ /h ; IP :125m ³ /h
Hauteur manométrique	HP : 1685m ; IP:575m
Vitesse	2977rpm

Débit MIN. /MAX	MIN : 100m ³ /h ; MAX : 346m ³ /h
Tête au débit	HP : 1642m ; IP : 554m
Huile des paliers	ISO VG32
Type lubrification	Huile sous pression
Poids	9200kg
Année de fabrication	2014 .05.10

III.2.7 Classification de la pompe alimentaire :

Tableau III 3 Classification de la pompe alimentaire

Disposition de l'axe	Les pompes à axe vertical
Nombre des roues (étages)	9 étages
La forme de la roue	Simple aspiration
La pression de refoulement	Haute pression
Moyen d'accouplement	Par bride
Moyen d'entraînement	Par moteur électrique

III.2.8 Description de ses composants :

La pompe est de type centrifuge horizontal radialement divisé à multi-étages et à type Barrel, et adopte le disque d'équilibrage ainsi que la construction à multi-volutes pour équilibrer la poussée axiale et radiale. Le corps peut être divisé verticalement. Le corps d'aspiration, celui de purge et celui de refoulement possèdent leur propre tuyère. C'est la caractéristique de la pompe dont la hauteur manométrique totale peut être simplement changée en augmentant ou réduisant le nombre des corps intermédiaires.

Le châssis de distributeur est prévu près de l'axe de la pompe, et a une rigidité de support importante pour diminuer le désordre du centrage dû à la force de tuyauterie et à la dilatation thermique.

Les parties de raccordement de l'arbre, des chemises d'arbre et des anneaux sont accomplis avec haute précision. [10]

a. Corps intérieur :

Les corps sont faits en acier moulé inoxydable (N° P-6 selon ASME SEC.VIII Div.1) et leurs surfaces correspondantes de la division verticale du corps sont finies avec super précision pour que l'air ou l'eau ne puissent pas fuir entre leurs surfaces correspondantes. Les corps d'aspiration, intermédiaire et de refoulement sont serrés dans un corps de pompe en sécurité avec des boulons et des écrous.

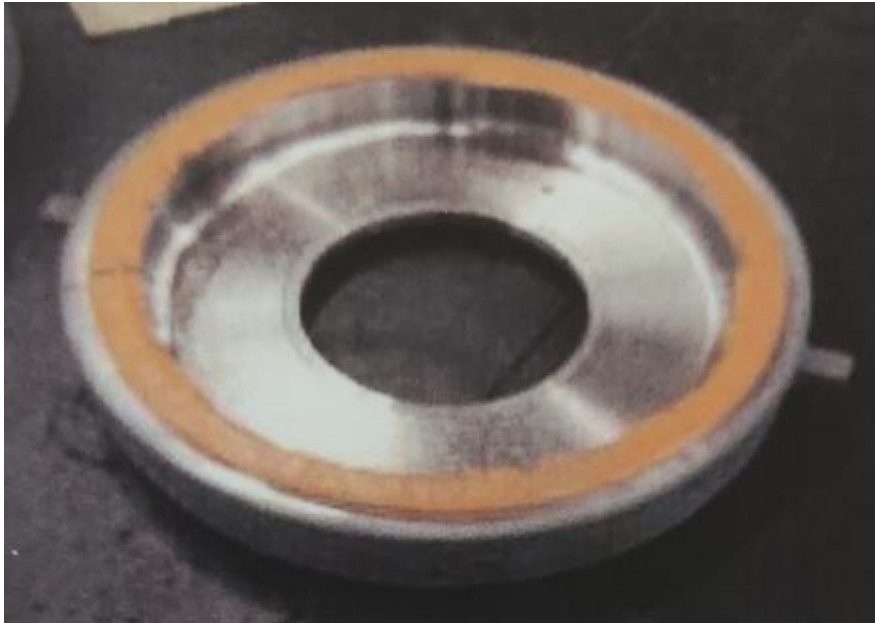


Figure III 4 Boitier intérieur (séries)



Figure III 5 Boitier intérieur (dégorgement)

b. Corps extérieur :

Le corps extérieur et le couvercle sont en acier au carbone forgé. Le joint d'étanchéité inséré entre le corps extérieur et le couvercle de corps est serré avec des goujons et écrous lourds. Les faces de joint d'étanchéité sont recouvertes avec l'acier inoxydable de 18% Cr-8% Ni afin de les protéger contre la corrosion et l'érosion dues à la fuite. Le corps extérieur est soutenu par les pieds à chaque côté le long de l'axe horizontale. Pour fournir le jeu minimal pour la dilatation thermique longitudinale, le corps est goujonné aux deux pieds situés au côté de couplage alors que deux pieds situés au côté du couvercle ont les trous lâches. [10]



Figure III 6 Boitier extérieur



Figure III 7 Couvercle de pompe [10]

c. Roue:

Les roues sont faites en fonte de précision de l'acier inoxydable coulé à haute résistance avec précision (A743 CA6NM), et fabriqué à haute précision dimensionnelle. Leurs surfaces intérieures sont particulièrement meulées pour obtenir la surface fine. Egalement leurs surfaces d'alésage sont finies à l'ajustement avec jeu de haute précision et elles sont fixées à l'arbre avec des clés et des anneaux brisés.

d. Arbre de pompe :

L'arbre de pompe est fait en acier inoxydable trempé (A276 410) et devra être doté des garnitures mécaniques d'étanchéité aux positions de pénétration à travers le couvercle de corps. Il est tourné et meulé dans toutes les surfaces pour obtenir les dimensions exactes.



Figure III 8 Arbre de pompe

e. Bague d'usure (Bague d'usure de corps et inter-douille) :

Les bagues d'usure sont fixées à la surface maintien de bague du corps au moyen des vis de pression.

Les inter-douilles sont fixées à la surface maintien de bague de l'aube de guidage au moyen des vis de pression.

f. Dispositif d'équilibrage :

La poussée hydraulique axiale totale causée par les roues est équilibrée par le disque d'équilibrage prévu dans le corps de refoulement et par le palier de butée du type Kinsbury contenu dans le logement de roulement du bout d'arbre.

La partie du disque d'équilibrage est faite en acier inox et a une dureté différente de celle de l'assise d'équilibrage pour empêcher l'usure et le grippage avec l'assise d'équilibrage.

g. Boîte à garniture :

Deux boîtes à garniture sont sous la pression d'aspiration. Cela est accompli en purgeant en retour le débit de fuite au dispositif d'équilibrage jusqu'au côté d'aspiration. Les joints d'arbre sont les garnitures mécaniques d'étanchéité.

h. Palier (Palier lisse du type bague et palier de butée) :

Les paliers radiaux sont de la conception du type à demi-coussinets, renforcés en acier carbone, garnis d'antifriction, et équipés au bout d'arbre et aux côtés d'accouplement. Ces paliers sont usinés et grattés partout à la main pour atteindre la surface de palier parfaite.

Le palier de butée est le type de patin pivot à double effet (type de Kings Bury) et a une capacité suffisante pour supporter la poussée hydraulique axiale dans les deux directions. Le ressort à disques est localisé en avant du palier de butée en vue d'assurer le jeu entre le disque d'équilibrage et l'assise pendant le démarrage et l'arrêt.

Les logements de roulement sont usinés à partir du fer de fonte et peuvent être fendus horizontalement pour le démontage et l'inspection facile.

Tous les paliers sont lubrifiés par la force avec l'huile de lubrification alimentée par le système d'huile de lubrification sous pression. [10]

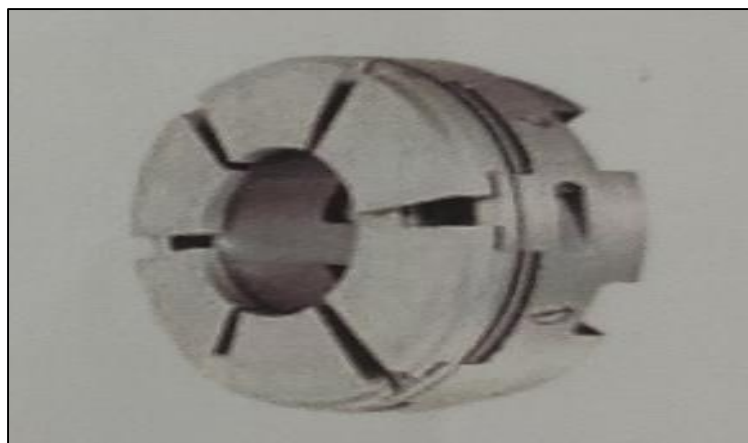


Figure III 9 Palier a butée

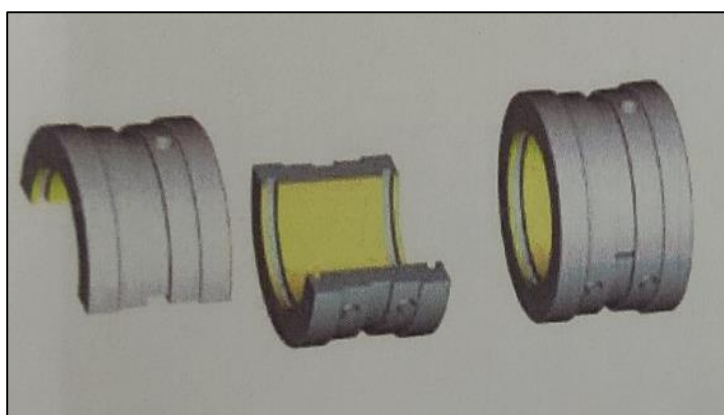


Figure III 10 Palier de douille

i. Accouplement :

L'accouplement est un type de disque flexible non lubrifiant pour faciliter de maintenance [5]

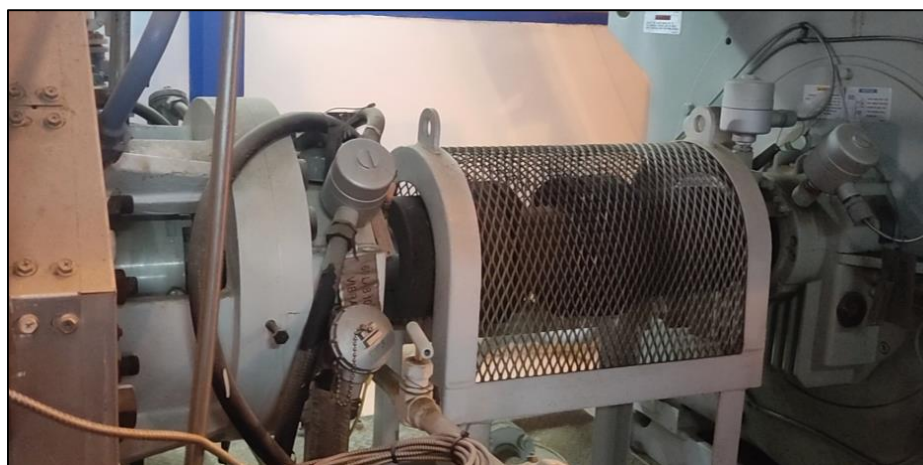


Figure III 11 Accouplement

III.3 Les systèmes auxiliaires :

III.3.1 Système d'huile de lubrification :

Le système de lubrification d'une pompe est conçu pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des composants internes de la pompe en réduisant le frottement et l'usure. Il permet de fournir un film de lubrifiant entre les pièces mobiles, ce qui facilite le mouvement et prévient les dommages dus à la friction.

La figure suivante représente le système de graissage de la pompe BFP de la centrale thermique :



Figure III 12 Système d'huile de lubrification

Ce système est utilisé dans la pompe alimentaire BFP qui veille à la lubrification adéquate de ses composants mécanique internes .il convient de noter qu'il est constitué de plusieurs éléments présentés ci-dessous :

- **Réservoir de lubrifiant** : il s'agit d'un réservoir qui contient le lubrifiant (l'huile de graissage).
- **Pompe de lubrification** : une pompe de lubrification est utilisée pour acheminer le lubrifiant du réservoir vers les parties internes de la pompe qui nécessitent une lubrification. la pompe est actionnée par un moteur électrique.

- **Système de distribution** : le système de distribution comprend des tuyaux, des canalisations et des conduites qui transportent le lubrifiant du réservoir vers les points de lubrification spécifiques de la pompe, tels que les paliers, les joints d'étanchéité et les autres composants mobiles.
- **Dispositifs de mesure et de contrôle** : des dispositifs de mesure, tels que des jauges de pression, des indicateurs de débit ou des capteurs de niveau sont utilisés.
- **Filtres et dispositifs de purification** : des filtres sont intégrés au système de lubrification pour éliminer les impuretés et les contaminants présents dans le lubrifiant. Cela permet de maintenir la propreté du lubrifiant et d'éviter d'endommager les composants internes de la pompe.

En faisant fonctionner ce système avant le démarrage de la pompe, on garantit que toutes les pièces et les surfaces de frottement sont correctement lubrifiées, réduisant ainsi le risque de friction excessive d'assurance.

Une fois que la pompe démarre, le système s'arrête, car la pompe elle-même est conçue pour fonctionner avec son propre mécanisme de lubrification interne. En arrêtant le système de graissage externe, on évite les fuites d'huile et les problèmes de sur-lubrification qui pourraient causer des dangers sur la sécurité et la performance.

III.3.2 Système d'étanchéité d'eau :

Le boîtier à joints d'étanchéité d'arbre de cette pompe est une garniture mécanique. Ce joint comprend un système de refroidissement autonome pour réduire la température au niveau des faces de joints d'étanchéité qui ne nécessite aucune injection de condensat froid ou de l'eau d'appoint appliquée directement. L'eau de refroidissement extérieur doit être fournie à la chemise de refroidissement de la presse-toupie et au refroidisseur de la garniture mécanique.

III.3.3 Système de refroidissement :

Le système de refroidissement d'une pompe alimentaire BFP est conçu pour maintenir une température de fonctionnement optimale et éviter la surchauffe de la pompe.

La photo ci-dessous est le système de refroidissement utilisé dans la centrale de cap Djinet.



Figure III 13 Réfrigérant d'huile

Il est constitué d'un ensemble de composant qui est les suivants :

- **échangeur de chaleur** : un échangeur de chaleur est utilisé pour extraire la chaleur de la pompe.
- **Circuit d'eau de refroidissement** : le système de refroidissement comprend un circuit d'eau de refroidissement qui transporte l'eau vers l'échangeur de chaleur.
- **Ventilateurs** : Dans certains cas, des ventilateurs peuvent être utilisés pour augmenter le flux d'air autour de la pompe et dissiper la chaleur. Les ventilateurs sont généralement montés près de l'échangeur de chaleur pour maximiser le refroidissement.
- **Régulation de la température** : un système de régulation est intégré pour surveiller et maintenir la température de fonctionnement optimale de la pompe.

Le système de refroidissement assure la régulation thermique du groupe de pompage. Cependant, lorsque les paliers du moteur et de la pompe sont en mouvement, ils génèrent de la chaleur due au frottement et aux contraintes mécanique .Si cette chaleur n'est pas dissipée correctement, elle peut entraîner une détérioration des composants. C'est dans ce cas-là que le système de refroidissement intervient en éliminant la chaleur excessive des paliers.

De plus, ce système utilise un échangeur thermique pour faire aussi refroidir l'huile de graissage en transférant sa chaleur vers l'eau de refroidissement.

Le schéma suivant symbolise l'emplacement des différents équipements d'un groupe de pompage en marche dans la centrale de cap Djinet :

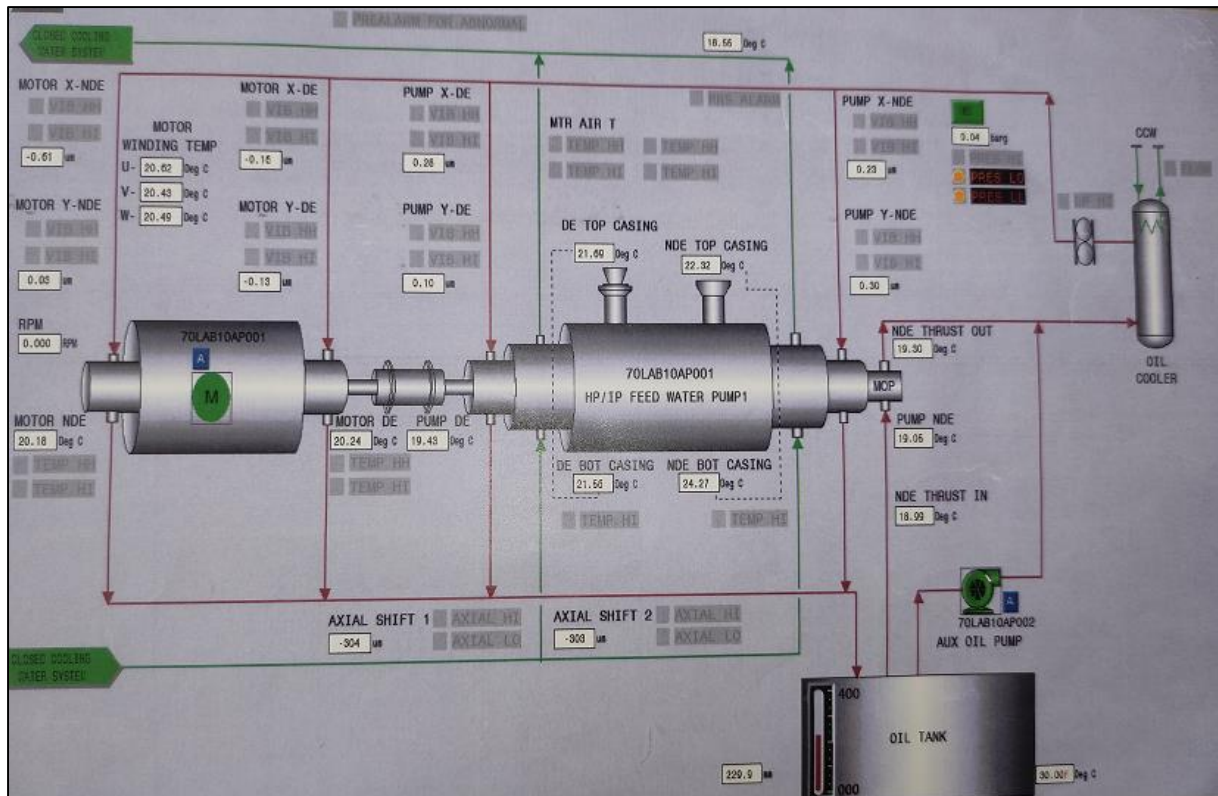


Figure III 14 Schéma du groupe de pompe

III.4 Commande électrique :

III.4.1 Disjoncteur :

Le disjoncteur est un dispositif de sécurité qui joue un rôle essentiel dans la protection du circuit électrique de la pompe alimentaire. Il est conçu pour interrompre automatiquement le courant électrique lorsqu'il détecte une surcharge ou un dysfonctionnement de la pompe afin de prévenir les risques d'incendies ou d'électrocution. Il est constitué à l'intérieur d'un ensemble des éléments de protection regroupés et soumis à un gaz SF₆ pour assurer l'étouffement de l'arc électrique.

La figure suivante représente le disjoncteur utilisé dans la pompe BFP de la centrale de cap Djinet :



Figure III 15 Disjoncteur électrique

Les trois phases de la partie supérieure du disjoncteur sont reliées au transformateur de 6 KV, et les trois phases de la partie inférieure vont vers le moteur électrique pour l'alimenter en courant électrique nécessaire au démarrage et au fonctionnement de la pompe.

III.4.2 Contacteur :

Un contacteur est un appareil électrique destiné à établir ou interrompre le passage du courant à partir d'une commande électrique ou pneumatique.

III.4.3 Relais :

Un relais est un appareil dans lequel un phénomène électrique (courant ou tension) contrôle la commutation On/Off d'un élément mécanique (on se trouve alors en présence d'un relais électromécanique) ou d'un élément électronique (on a alors affaire à un relais statique). C'est en quelque sorte un interrupteur que l'on peut actionner à distance afin d'alimenter un circuit de puissance.

III.4.4 Relais thermique :

La hausse excessive de l'intensité consommée par un moteur/actionneur électrique peut mener au dommage du moteur. Il y a plusieurs causes de surintensité, nous citons entre elles la baisse de la tension du réseau, surcharge mécanique, démarrage trop long ou trop fréquent et blocage de démarrage. Sur ce, les relais thermiques peuvent offrir une bonne protection contre les surcharges imprévues et prolongées.

III.4.5 Fusibles :

Un fusible est un dispositif destiné à protéger un appareil ou une ligne électrique contre un courant électrique élevé. Son fonction principale consiste à ouvrir un circuit ou une ligne

électrique par fusion d'un élément sensible calibré, Lorsque le courant dans un moment donné dépasse une valeur bien déterminée.

Il est bien connu que lors du passage d'un courant électrique dans un conducteur, l'effet joule est défini par la manifestation thermique de la résistance électrique. Dans le cas d'un fusible et pour l'intensité nominale (I_n), l'énergie dissipée s'évacue sans causer la fusion.

III.5 Chaîne d'instrumentation et contrôle :

Dans des nombreux domaines de l'industrie les installations fonctionnent selon des procédés complexes, les lois et les règles de prévention des accidents de travail nécessitent le respect de nombreuses mesures de sécurité pour la construction et le fonctionnement de telles installations afin de protéger l'homme et son environnement.

A cet effet nous allons présenter les instruments de mesure utilisées dans l'installation ainsi que leur mode de fonctionnement. Les appareils de mesure servent à mesurer les grandeurs électrique et donnent une possibilité de mettre une juste valeur pour chaque paramètre technique afin d'agit sur le procédé de production pour obtenir un produit de haute qualité conformément à certaines spécification dans les meilleurs conditions de sécurité, de fiabilité et de rendement.

III.5.1 Les capteurs :

Un capteur est un dispositif ou un élément qui détecte et mesure un grandeur physique ou une caractéristique d'un environnement donné. il est conçu pour convertir cette grandeur en un signal utilisable, généralement électrique qui peut être interprété, enregistré ,traité ou contrôlé comme le montre la figure qui suit :

a. Capteur de température :

Ce sont des dispositifs conçu à capter la température d'un objet en utilisant des effets et des variations physiques, et on trouve plusieurs types dans le système de pompage :



Figure III 16 Capture de température

- **Résistance de platine :**

La sonde est constituée d'un filament de platine, entourant d'une tige de verre ou de céramique dont sa résistance varie en fonction de la température.

Grace à sa conception robuste et à sa grande sensibilité au changement de température, la sonde peut détecter et enregistrer des valeurs de température dans une large gamme de mesure, ce qui la rend adaptée à la surveillance du processus de pompage alimentaire.

- **Indicateur de température type bimétallique :**

C'est un capteur mécanique initialement composé d'une lame bimétallique (deux métaux différents), lorsque la température change les métaux délattent ce qui entraine la courbure de la lame.

b. Capteur de pression :

C'est un dispositif utilisé pour mesurer et convertir la pression d'un fluide ou d'un gaz en signal électrique ou mécanique .il existe plusieurs types, chacun son propre principe de fonctionnement :

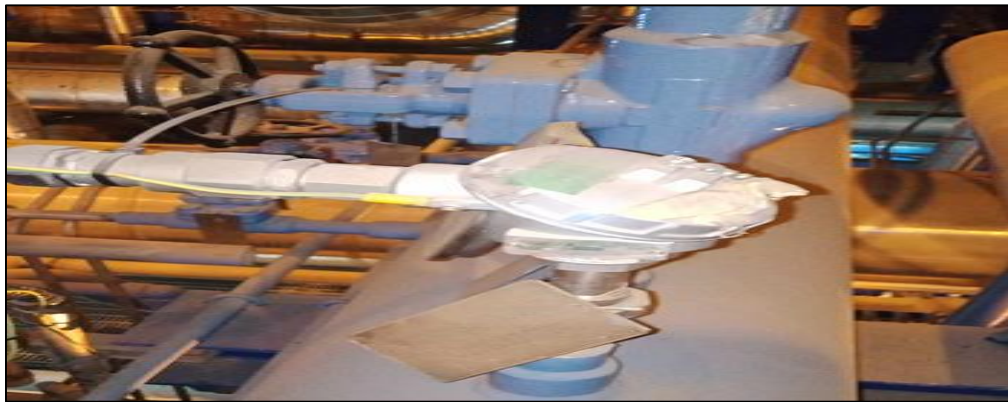


Figure III 17 Capture de pression

- **Pressostat différentiel de type soufflet :**

Un pressostat à soufflet différentiel utilise un soufflet métallique pour détecter la variation de pression entre deux point, par exemple surveiller la différence de pression entre deux réservoir ou deux systèmes.



Figure III 18 Un pressostat à soufflet

- **Transmetteur de pression de type diaphragme :**

Il utilise un diaphragme métallique et un capteur de déformation, plus un circuit électronique. Le diaphragme en métal est exposé à la pression à mesurer ce qui subit une déformation proportionnelle à la pression mesurée par le capteur de déformation et convertit en signal électrique, puis amplifie.

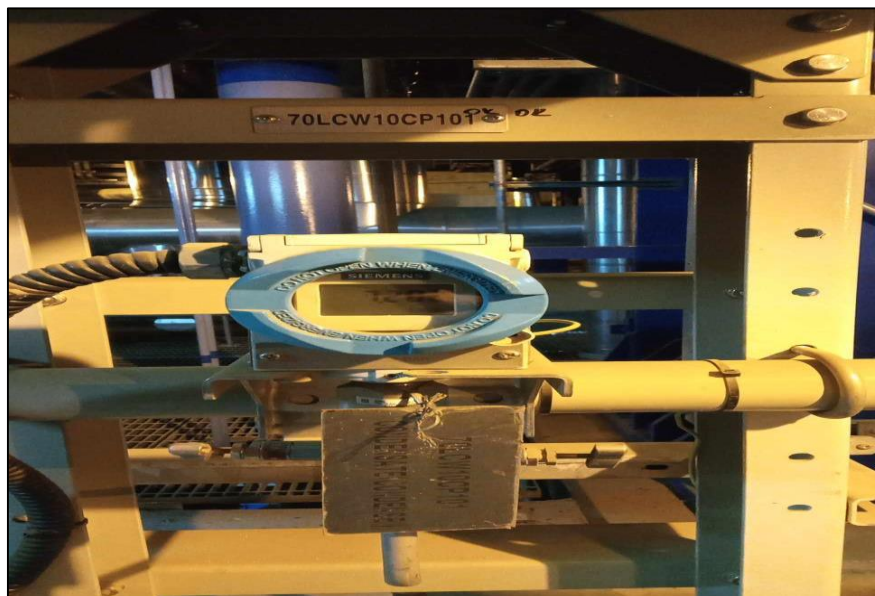


Figure III 19 transmetteur de pression

- **Indicateur de pression de type bourdon :**

Utilise un tube de forme spirale (forme C) appelée type de bourdon. Lorsque la pression est appliquée à l'intérieur du tube il se déforme et la section transversale change. Cette déformation est proportionnelle à la pression. Il mesure la pression de refoulement et d'aspiration de cette pompe, la photo qui suit l'illustre :



Figure III 20 Indicateur de pression de type bourdon

c. Capteur de niveau :

Il est utilisé pour détecter le niveau d'un liquide dans un réservoir.

- **Jauge de niveau type reflexe :**

Composé d'un tube transparent monté verticalement sur le réservoir avec une source lumineuse placée à l'extrémité et un récepteur à l'autre extrémité, le tube est partiellement rempli avec un liquide réfractant. La lumière émise par la source lumineuse est réfléchi par la surface du liquide réfractant.

Cette réflexion génère un signal électrique qui indique le niveau. Dans le cas de la pompe BFP, il mesure le niveau dans le réservoir d'huile de lubrification.

d. Détecteur de proximité :

Le capteur de proximité rotatif permet de détecter si l'objet tourne ou non en détectant les dents, fentes, ou les marques sur l'objet.

- **Capteur de rotation :**

C'est un dispositif utilisé pour mesurer la vitesse angulaire, la position angulaire ou le mouvement de rotation d'un objet.

- **Capteur de vibration :**

Les capteurs de vibration sont utilisés pour le contrôle de seuils et de vibrations. Toute machine en service produit des vibrations. Un déséquilibre ou un défaut d'alignement peut altérer l'état de la machine. Les capteurs transforment la vibration aux points de mesure en un signal électrique.



Figure III 21 Capture de vibration

- **Capteur de déplacement :**

Le capteur de déplacement est constitué d'une bobine et d'un câble de raccordement. Ce câble, pour des raisons d'ordre pratique, présente le plus souvent une interruption (connecteur).le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications ou la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers s'avèrent essentielle.

III.5.2 Vanne de régulation :

III.5.2.1 Définition :

Une vanne est un dispositif mécanique utilisé pour réguler, Contrôler ou arrêter le débit d'un fluide, tel que l'eau, le gaz ou tout autre liquide. Elle peut être constituée d'une ouverture ou d'une fermeture, généralement en métal, qui permet de modifier le passage du fluide en le bloquant partiellement ou complètement .les vannes sont largement utilisées dans de nombreux domaines tels que l'industrie, l'automobile, L'approvisionnement en eau, la plomberie, etc. Elles peuvent être actionnées manuellement, électriquement ou par d'autres moyens pour répondre aux besoins spécifiques de contrôle du flux.

III.5.2.2 Vanne pneumatique régulatrice :

Les vannes pneumatiques sont des robinets a commandé motorisés dont le mécanisme d'ouverture et fermeture est actionné par un actuateur a gaz comprimé (habituellement de l'air), est équipée d'un actionneur pneumatique (fonctionnement par air), alimenté par une électrovanne. La pression du fluide de pilotage pénètre dans le cylindre de l'actionneur et agit sur le piston, ce qui permet l'ouverture et la fermeture du joint par l'intermédiaire de la tige.

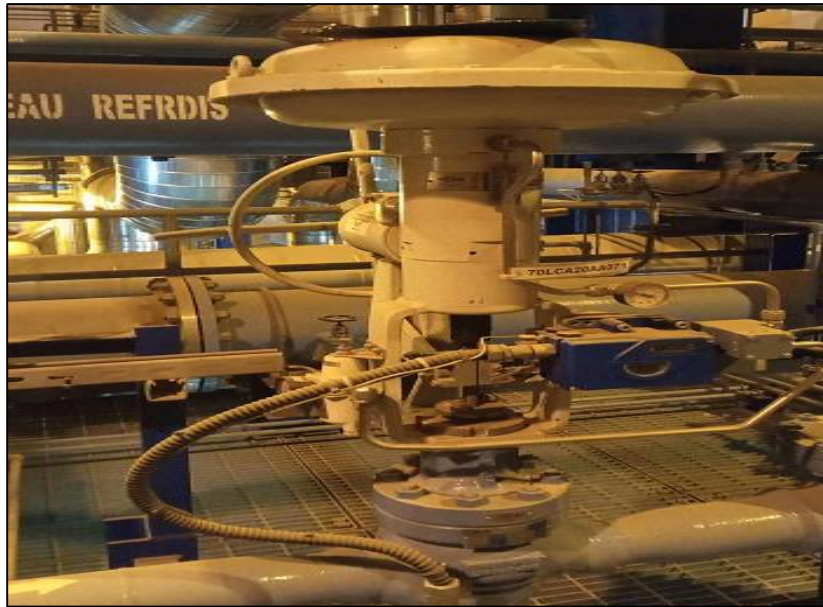


Figure III 22 Vanne pneumatique régulatrice

III.5.2.3 Vanne motorisé d'isolement :

Les vanne motorisé sert pour isolement et étanchéité, c'est une vanne TOR, elle se compose de deux parties mécaniques (opercule) et partie commande (servons vanne).



Figure III 23 Vanne motorisé d'isolement

III.6 Opération de maintenance de la pompe alimentaire BFP :

Tous ces types de maintenance cités auparavant sont résumés dans le schéma ci-dessous :

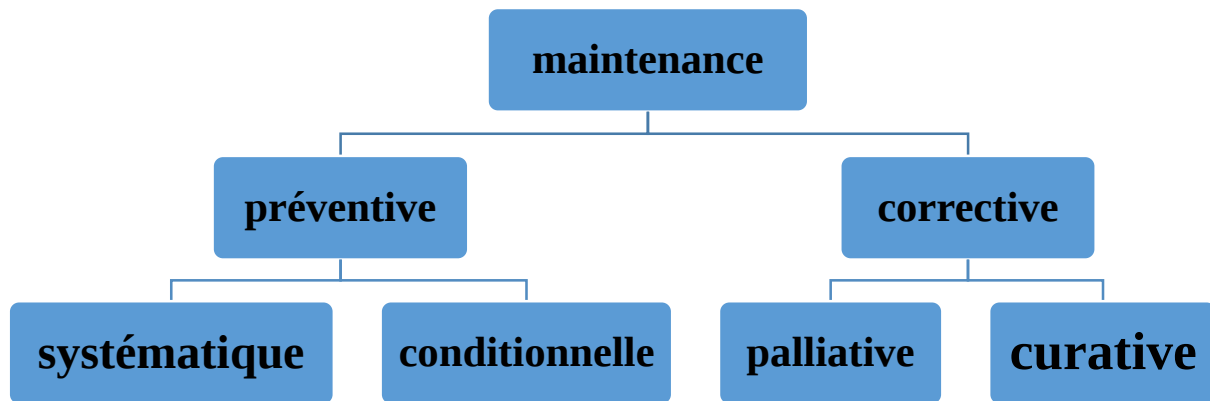


Figure III 24 Type de maintenance

III.6.1 Vérification quotidienne :

- Des vibrations anormales ou des bruits de la pompe et de moteur
- De la température du palier
- De la pression d'huile et du niveau
- De la pression et des débits du BFP
- Enregistrez les résultats des contrôles sur la fiche « état de fonctionnement », et confirmer qu'ils sont conformes aux critères.

III.6.2 Vérification annuelle :

- Démontez et nettoyez les paliers, puis vérifiez leurs défauts tels que les stries, les dégâts, etc..... nettoyez aussi avec soin les paliers.
- Vérifier l'alignement de l'arbre
- Vérifier la défection de l'arbre
- Vérifier la fuite et le refroidissement des canalisations d'eau pour le colmatage puis effectuez si nécessaire le rinçage.
- Remplacer de nouveau d'huile de lubrification
- Vérifier le changement de l'alignement de l'accouplement.

III.6.3 Inspection périodique :

C'est examen régulière effectué à intervalles réguliers de temps. Il est recommandé par HHI de procéder à une inspection de révision tous les deux ans. Si l'inspection de révision est mal faite, une situation anormale peut se produire pendant le fonctionnement. Dans ce cas, les réparations peuvent être coûteuses en temps et en argent.

III.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description du système étudié, à savoir la pompe à eau et le principe de fonctionnement de ses différents composants.

Chapitre IV
Fiabilité de la pompe
alimentaire BFP

IV.1 Introduction :

Trois concepts caractérisent la vie d'un matériel : la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité, qui sont les principaux concepts de sécurité de fonctionnement, auxquels peut s'ajouter celle de sécurité. C'est ces idées que nous allons présenter dans ce chapitre.

IV.2 La Fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $R(t)$ que l'entité E Accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps $[0 ; t]$, Sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0.

$$R(t) = \text{Prob} \ll E \text{ non défaillante sur } [0 ; t] > > [11]$$

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée. [12]

IV.3 Objectif de la fiabilité

La fiabilité a pour objectif de :

- ✓ Déchiffrer une durée de vie.
- ✓ Evaluer une précision de temps de bon fonctionnement.
- ✓ Mesurer l'impact de modifications de conception sur l'intégrité du produit.
- ✓ De calculer le risque pris
- ✓ De déterminer la stratégie d'entretien.
- ✓ Choisir le stock.

IV.4 Type de fiabilité :

Il existe quatre catégories de fiabilité :

Fiabilité intrinsèque : elle est propre à un matériel et un environnement donnés, et ne dépend que de la qualité de ce matériel. Pour une qualité initiale donnée elle n'est fonction que de l'âge et des indicateurs d'agression naturelle non humains.

Fiabilité extrinsèque : elle résulte des conditions d'exploitation de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événements relatifs à l'intervention humaine.

Fiabilité opérationnelle : c'est la fiabilité observée sur des produits en exploitation normale.

Elle dépend des conditions réelles d'utilisation, de l'ambiance entourant les produits, de l'influence du personnel de maintenance et de l'exploitation.

Fiabilité prévisionnelle : elle correspond à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse connaissant les fiabilités de ces composants.

IV.5 Caractéristiques de fiabilité :

Un dispositif, mise en marche pour la première fois, tombera en panne inévitablement à un instant T_f , non connu à priori.

T_f Est une variable aléatoire continue qui représente la durée de vie (le temps de bon fonctionnement) du dispositif.

Pour T_f on associe une fonction de réparation $F(t)$ et une fonction de distribution $F(t)$.

IV.6 Indicateur de fiabilité et MTBF :

(λ) et le (MTBF) sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement.

IV.6.1 Taux de défaillance (λ):

(λ) représente le taux de défaillance ou le taux d'avarie. Il caractérise la vitesse de variation de fiabilité au cours du temps. [13]

$$\lambda = \frac{\text{nombre totale de défaillance pendant le service}}{\text{durée total de bon fonctionnement}}$$

IV.6.2 Moyenne des temps de bon fonctionnement(MTBF):

MTBF (qui vient de l'Anglais : Mean Time Between Failure) représente la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances d'un système réparable ou le temps moyen entre deux défaillances. [13]

$$\text{MTBF} = \frac{\text{sommes des temps de bon fonctionnement entre les } (n) \text{ défaillances}}{\text{nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

Si λ est constante alors $\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$

$$\text{MTBF} = \int_0^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (\text{IV.1})$$

IV.6.3 Approximation de la fréquence cumulée $F(i)$:

- Si $N > 50$: Dans ce cas la fréquence cumulée de défaillance est calculé comme suit :

$$F(i) = \frac{i}{N} \quad (IV.2)$$

- Si $20 < N < 50$: On utilise la formule des rangs moyens :

$$F(i) = \frac{i}{N+1} \quad (IV.3)$$

- Si $N < 20$: on utilise la loi des rangs médianes :

$$F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \quad (IV.4)$$

IV.6.4 La courbe de défaillance :

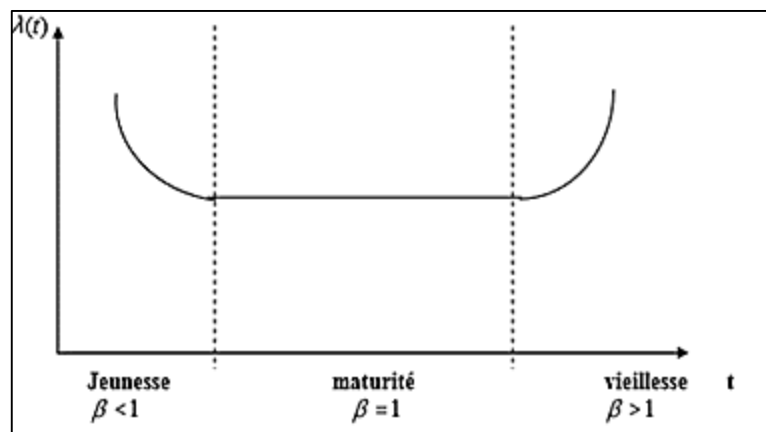


Figure IV 1 La courbe de défaillance

On distingue trois périodes de vie :

- ✓ **Zone jeunesse : (défaillance précoce)** Période de jeunesse, pannes précoces ou apparaissent les défauts de fabrication ou de conception. Elles doivent disparaître rapidement. Le taux d'avarie décroît en fonction du temps.
- ✓ **Zone maturité (période de vie utile, défaillance aléatoire)** Période maturité ou vie utile, les pannes paraissent dues au hasard. Le taux d'avarie reste sensiblement constant et faible. Les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, par des causes diverses, suivant un processus de poisson (défaillance aléatoire).
- ✓ **Zone vieillesse** : Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, Entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant. A un certain seuil de $\lambda(t)$, le matériel est mort il est alors déclassé, puis rebuté ou par fois reconstruit. La détermination de θ (seuil de réforme), est obtenue à partir de critère technico-économique.

IV.7 La loi de WEI BULL :

Le modèle Wei bull est souvent utilisé dans le domaine de l'analyse de la durée de vie. Les paramètres de Wei bull sont (α, β, γ) , et leur détermination nous permettra de connaître l'état du matériel, d'évaluer la MTBF et l'écart type. Les résultats nous permettent d'estimer la fonction de répartition $F(t)$ correspondante à chaque instant t .

Pour déterminer ces paramètres on utilise le diagramme d'ALLEN PLAIT

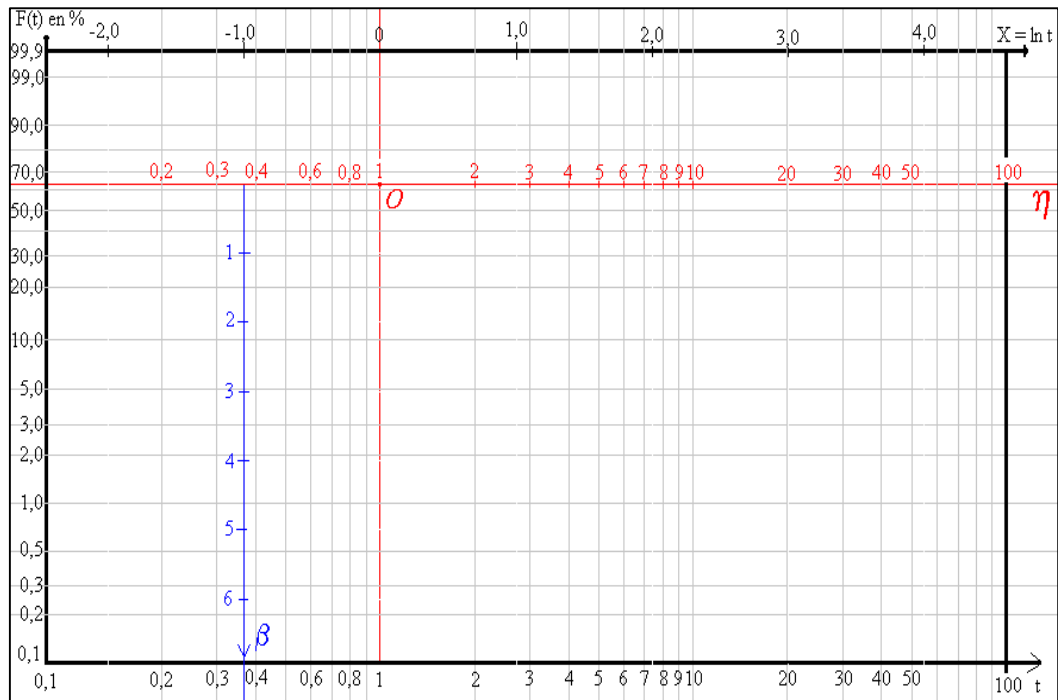


Figure IV 2 Diagramme d'ALLEN PLAIT

Il comporte quatre axes :

- Axe A : axe des temps.
- Axe B : axe des $F(t)$ en %.
- Axe a : axe des temps en logarithme $\ln(t)$.
- Axe b : axe qui permet l'évaluation de β .

Procédure de réalisation :

1. Préparation des données.
2. Tracé des nuages des points $(F(i), t)$.
3. Tracé la courbe de régression du nuage (D_i) .
4. Translation de la droite (D_i) à la droite de passage par l'axe de plan (X, Y) .

- ❖ **Calcul de β** : pour l'obtenir, on trace une droite (D2) parallèle à la droite (D1) et coupe l'axe A au point 1 et on lit la valeur de β sur l'axe (b).
- ❖ **Calcul de η** : on le lit à intersection de la droite (D1) avec l'axe (A).

IV.7.1 Calcul mathématique :

- ✓ **Fonction de fiabilité $R(t)$:**

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (IV.5)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\beta} \quad (IV.6)$$

- ✓ **Fonction de réparation $F(t)$:**

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (IV.7)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)\beta} \quad (IV.8)$$

- ✓ **Densité de probabilité** : Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

$$f(t) = \lambda e^{\lambda t} \quad (IV.9)$$

β : paramètre de forme ($\beta > 0$)

η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$)

- ✓ **Le taux de défaillance** : c'est la probabilité instantanée d'une panne au temps $t + \Delta t$ sachant que mon dispositif est bon à l'instant t . [14]

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (IV.10)$$

λ : le taux de défaillance

β : paramètre de forme ($\beta > 0$)

η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$)

- ✓ Si $\beta = 1 \rightarrow \lambda = \frac{1}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{1-1} = \frac{1}{\eta}$ le taux de défaillance constant

- ✓ Si $\beta < 1 \rightarrow$ le taux de défaillance décroît avec le temps
- ✓ Si $\beta > 1 \rightarrow$ le taux de défaillance est croissant en fonction de temps

IV.8 La maintenabilité :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. [15]

A partir de ces définitions, on distingue :

- la maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc..).
- la maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. l'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable, donc réparable. « Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel appareillages outillages, etc. [15]

Remarque :

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention.
- Améliorant l'aptitude de la machine ou démontage (modifications risquant de coûter cher).
- Amélioration l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble. [15]

IV.8.1 Calcul de la maintenabilité :

La Maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR :

MTTR : (mean time to Repair) ou encore Moyenne des temps techniques de réparation.

$$\mathbf{MTTR} = \frac{\sum \text{temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{nombre epanne}} = \frac{\sum TTR}{N} \quad (\text{IV.11})$$

Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (\text{IV.12})$$

Dans la plus par cas **M (t)** est constante alors :

$$\mathbf{M(t) = 1 - e^{-\mu.t}} \quad (\text{IV.13})$$

IV.9 Disponibilité :

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée.

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance. [15]

Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affectent pas la disponibilité du bien (NF EN 13306). La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. [15]

Augmenter la disponibilité passe par : [15]

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité)
- La notion de la MTTR (action sur la Maintenance)

IV.9.1 Quantification de la disponibilité :

La disponibilité peut se mesurer : [15]

- Sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne).
- A un instant donné (disponibilité instantanée).
- A la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$.

Disponibilité moyenne :

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :
[15]

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (IV.14)$$

IV.10 Calcul de fiabilité, disponibilité et maintenabilité :

Dans le tableau suivant, nous avons les temps de bon fonctionnement (TBF) et les durées des pannes (TTR) classées par ordre croissant extraire des fiches historiques de la pompe Alimentaire.

La pompe alimentaire BFP :

Le tableau suivant représente une classification des TBF en ordre croissant de la pompe alimentaire durant la période 2022 jusque à 2024 :

On à $N < 20$ donc nous donnerons un rang i à chaque défaillance :

$$F(I) = \frac{(i-0.3)}{(N+0.4)}$$

$$R(I) = 1 - F(I)$$

Tableau IV 1 Calcul de fiabilité de la pompe alimentaire BFP

N	TBF(h)	TTR(h)	F(i)%	R(i)%
1	47	1	8.3	91.6
2	165	3	20.2	79.7
3	450	6	32.1	67.8
4	1252	20	44	55.9
5	2204	28	55.9	44
6	2724	60	67.8	32.1
7	5114	70	79.7	20.2
8	6768	96	91.6	8.3

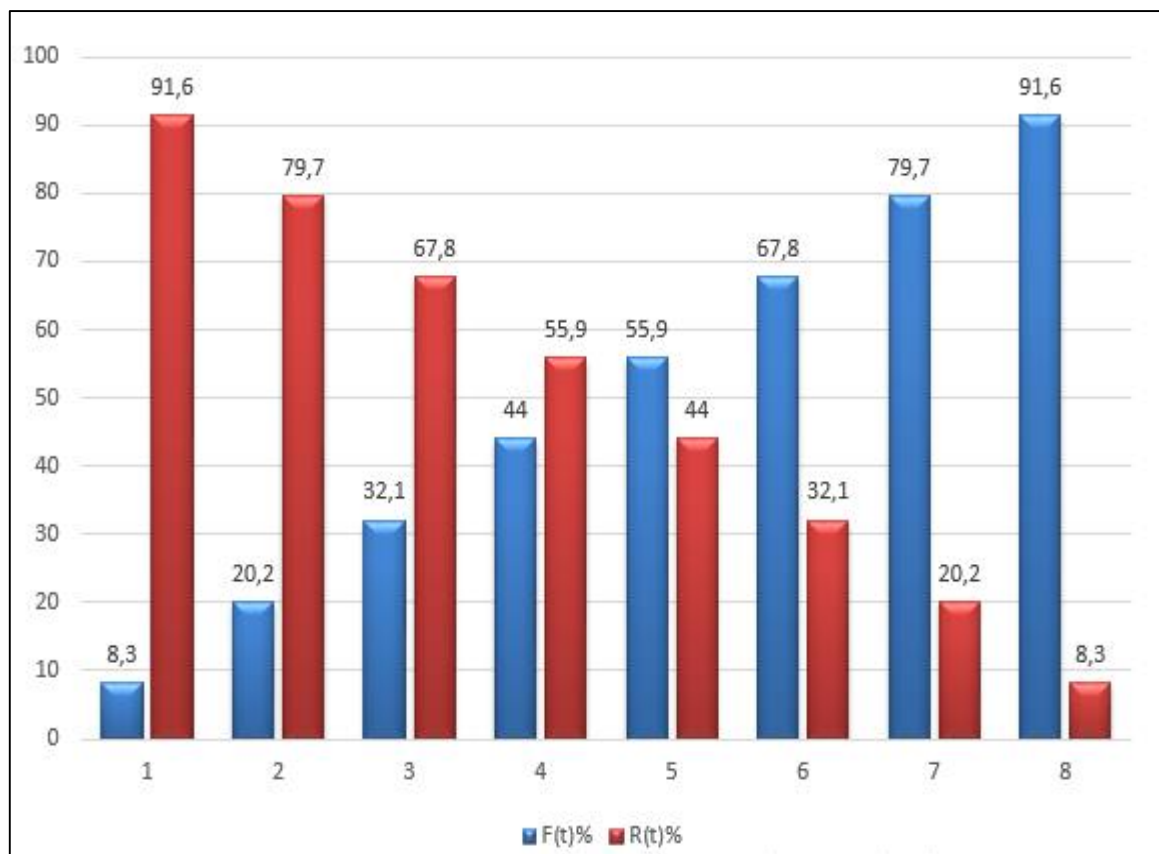


Figure IV.3 : Histogramme de F(i) et R(i)

Courbe de fonction fiabilité en fonction de TBF :

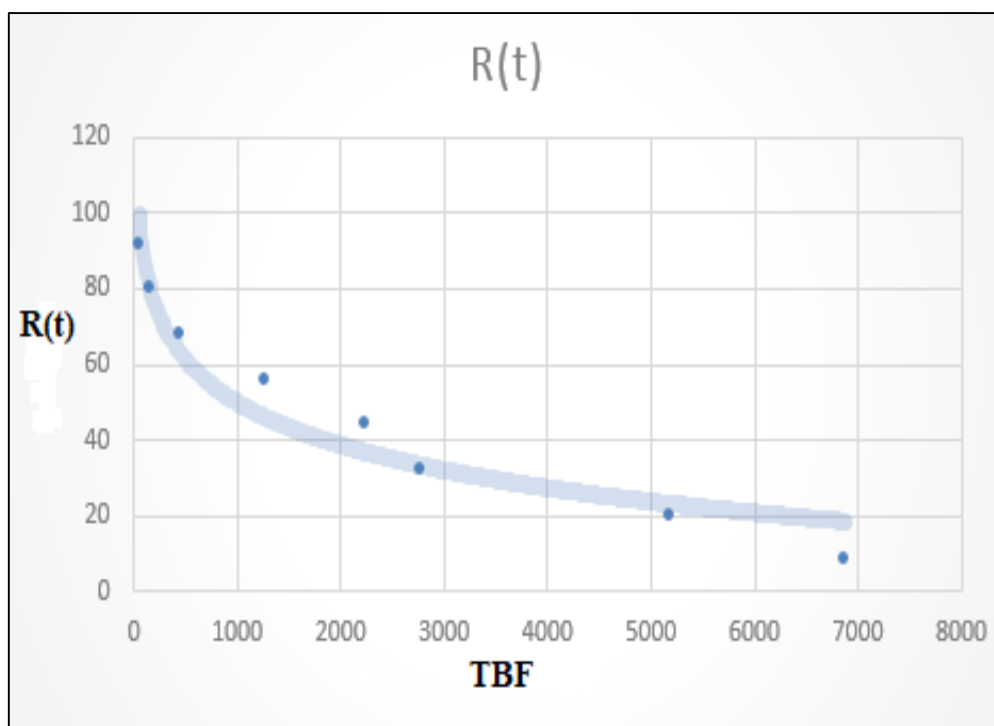
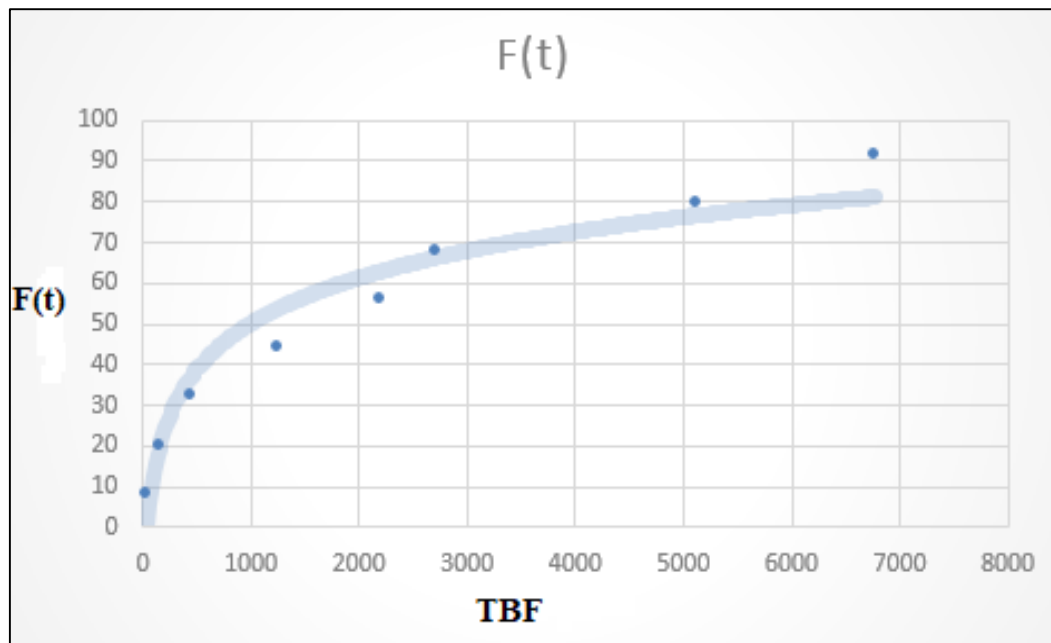
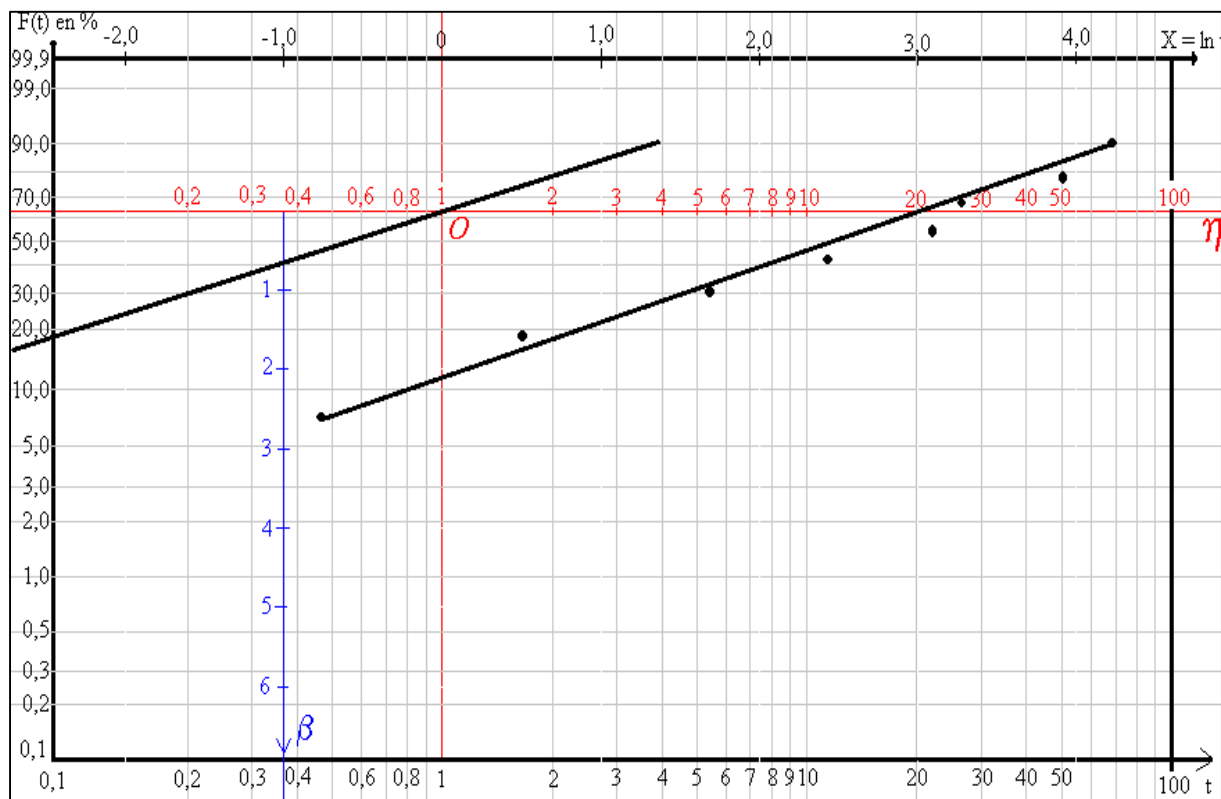


Figure IV 4 Courbe de R(t) en fonction de TBF

Courbe de répartition en fonction de TBF :**Figure IV 5** Courbe de $F(t)$ en fonction de TBF**Détermination graphique des paramètres de Wei bull :**

Nous portons sur le papier de "Wei bull" les couples (TBF, $F(t)$)

**Figure IV 6** Nuage des points de TBF en fonction de $F(t)$

Détermination des paramètres :

D'après la trace on a trouvé une droite D1

$$\gamma = 0 \text{ (droite)}$$

$$\eta = 2000$$

D2 // D1 on a :

$$\beta = 0.7$$

Le paramètre $\beta < 1$: le taux de défaillance décroît avec le temps, alors on est dans la zone A (période jeunesse).

A partir de la table numérique dans l'annexe : $\beta = 0.7 \rightarrow A = 1.2638$

Recherche de :

➤ MTBF :

On a: $MTBF = A \eta + \gamma$

$$MTBF = 1.2638 * 2000 + 0 = 2527.6$$

$$MTBF = 2527.6 \text{ h}$$

➤ La fiabilité associée à la MTBF :

Graphiquement nous avons le point (2527.6h, 70%) d'où $F(t) = 70\%$

Et $R(t) = 100 - F(t)$ donc $R(t) = 100 - 70 = 30\%$

La douzième méthode pour calculer $R(t)$:

$$\text{On a : } R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{2527.6-0}{2000}\right)^{0.7}} = 0.30 = 30\%$$

$$R(t) = 30\%$$

Ce qui signifie que seuls 30% des éléments atteindront le MTBF sans défaillance

➤ MTTR (Maintenabilité):

$$\text{On a } MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = \frac{284}{8} = 35.5 \text{ h}$$

$$MTTR = 35.5 \text{ h}$$

➤ Taux de réparation μ : $\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{35.5}$

$$\mu = 0.028 \text{ h}$$

➤ Disponibilité D:

$$\text{On a } D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{2527.6}{2527.6 + 35.5} = 0.98$$

$$D = 98\%$$

➤ Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \quad \text{avec : } t > \gamma ; \beta > 0 ; \eta > 0$$

$$\lambda(t) = \frac{0.7}{2000} \left(\frac{2527.6 - 0}{2000} \right)^{0.7 - 1} = 3.26 * 10^{-4} \text{ pannes /h}$$

$$\lambda(t) = 3.26 * 10^{-4} \text{ pannes /h}$$

Présentation des résultats :

Tableau IV 2 présentation des résultats

Année	η	β	MTBF	R(t)	MTTR	μ	Disponibilité
2022 2024	2000	0.7	2527.6	30%	35.5 h	0.028 h	98%

IV.11 Conclusion :

L'étude de la fiabilité nous permet de connaître l'état de la pompe alimentaire en fonction de β qui décrit le comportement du matériel par la valeur de R(t), F(t) et $\lambda(t)$.

Selon les résultats obtenus concernant la disponibilité, il est évident que notre équipement est disponible malgré qu'il soit en période de jeunesse. Son niveau de disponibilité reste acceptable grâce à la disponibilité des pièces de rechange, de la main-d'œuvre et à l'intervention efficace du service de contrôle.

Chapitre V
Analyse AMDEC de la
pompe alimentaire BFP

V.1 Introduction

Parmi les outils et techniques de prévention des problèmes potentiels, la méthode AMDEC « Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité » (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA). Cette technique a pour but d'étudier, d'identifier, de prévenir ou au moins de réduire les risques de défaillance du système, d'un processus, d'un produit [16].

Dans cette partie nous allons appliquer les méthodes et les modèles de la fiabilité cités dans les chapitres précédents afin de déterminer la dégradation des organes au niveau de la chaudière.

V.2 Définition de l'AMDEC

AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité, en version française.

FMEA : Failure mode and effects analysis en version anglais, ou FMECA en ajoutant criticality au sigle initial.

Elle est basée sur une étude critique d'un système (processus, organisation), d'un produit, ou même d'un service. C'est une étude pluridisciplinaire devant regrouper des experts dans le domaine ou se fait l'étude [17].

L'AMDEC est une Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité c'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des Éléments d'un système pour aboutir aux effets de ces systèmes. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production.

V.3 Historique de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC peut être considérée comme une extension de la méthode D'Analyse des Modes de défaillance et de leurs Effets (AMDEC) qui fut élaborée dans Les années 60 aux Etats Unis dans l'industrie aéronautique. Méthode d'analyse de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité), elle prend un nouvel essor dans les années 70, lorsque certaines industries européennes (chimie, nucléaire, automobile) la récupèrent et y ajoutent la notion de criticité. Ainsi naquit l'AMDEC qui présente donc l'avantage supplémentaire de pouvoir déterminer l'importance le niveau d'acceptabilité des défaillances (la criticité).

Actuellement l'AMDEC est devenue une technique de base pour la maîtrise de Qualité, qui est appliquée depuis longtemps déjà dans l'industrie automobile [18].

V.4 Objectif de la méthode AMDEC

L'objectif de la méthode AMDEC est d'évaluer et de garantir la sûreté de Fonctionnement d'un dispositif industriel en termes de fiabilité, disponibilité, sécurité et maintenabilité. Cette méthode va nous permettre de recenser systématiquement les Défaillances potentielles d'un dispositif, d'estimer les risques liés à l'apparition de ces Défaillances et enfin engager des actions correctives ou préventives à apporter au dispositif

V.5 Les avantages et les inconvénients de l'AMDEC

Les avantages :

La maîtrise des risques à l'aide de la méthode AMDEC permet de mener des actions Préventives, c'est-à-dire de résoudre les problèmes avant que ceux-ci ne se présentent. Si cette méthode est suivie tout au long du cycle de vie de produit, la production es sera améliorée et débarrassée de problèmes majeurs [19].

Les inconvénients :

L'AMDEC nécessite une connaissance poussée de la question à étudier. En générale, un Brainstorming avec plusieurs personnes impliquées de la conception à la livraison du produites nécessaire. Pour cela, il faut donc qu'une équipe puisse se mettre d'accord sur les modes de Défaillance étudiés. Cette méthode est de ce fait lourde à mettre en place [19].

V.6 Les types de la méthode AMDEC

Il existe plusieurs types AMDEC selon l'usage prévu : [18]

✓ L'AMDEC organisation :

S'applique aux différents niveaux de processus Principaux de l'entreprise du premier niveau qui englobe les processus de Gestion, d'information, de production, de gestion du personnel) et le processus Marketing, jusqu'au damier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

✓ L'AMDEC produit ou projet :

Est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique des AMDEC sur tous composants.

✓ L'AMDEC processus : S'applique aux processus de fabrication. Elle permet D'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.

✓ **L'AMDEC service :**

S'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

✓ **L'AMDEC sécurité :**

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où existent des risques pour ceux-ci.

✓ **L'AMDEC machine et moyen de production :**

C'est une étude permettant d'analyser la conception et ou l'exploitation des équipements de production, pour améliorer leur fiabilité et leur disponibilité et parfois même leur sécurité.

V.7 Les Etapes de la méthode AMDEC

La méthode s'inscrit dans une démarche en huit Etapes comme montrées dans la figure suivante.

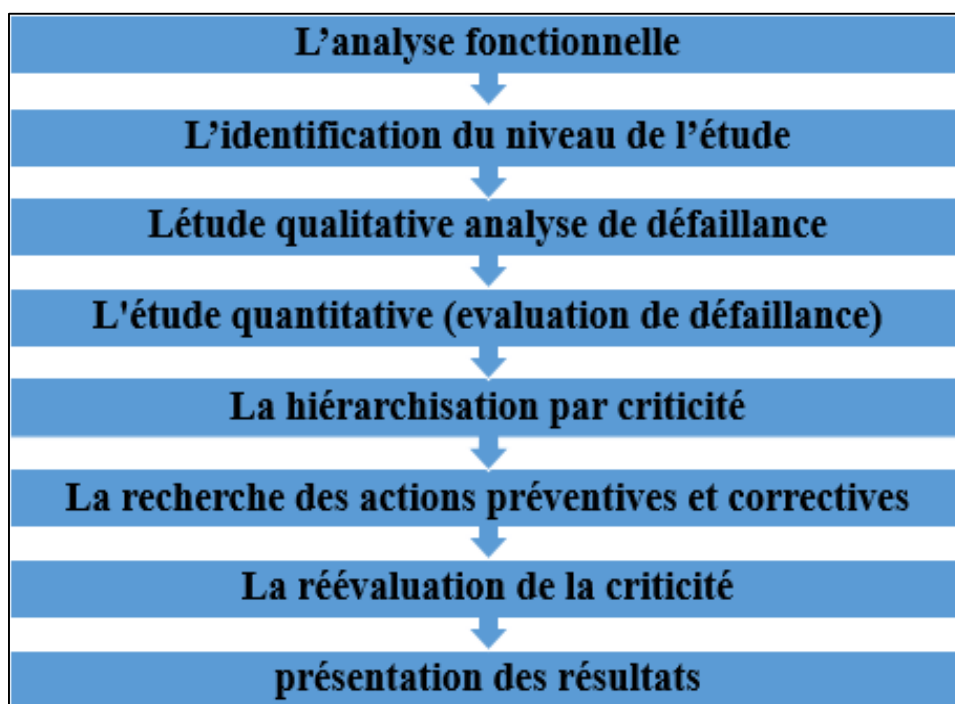


Figure V 1 Etapes des méthodes AMDEC

Analyse fonctionnelle:

C'est là où la décomposition et l'analyse fonctionnelle de système est faite. Par analyse fonctionnelle, on entend la description externe et interne de système. Elle consiste à déterminer d'une manière assez complète les fonctions principales d'un produit à fabriquer, construire un schéma détaillé de processus et faire un plan de surveillance.

L'identification du niveau de l'étude :

Elle consiste à dégager les causes de problème et mettre un plan à respecter. Cette étape sera préparée et définie par l'animateur et le pilote de groupe.

- **L'animateur** : c'est le garant de la méthode AMDEC. Il n'est pas forcément spécialiste du domaine, mais il doit au moins être parfaitement familiarisé avec le vocabulaire de profession. Son rôle est de dérouler la procédure AMDEC et d'assurer le travail de groupe.
- **Le pilote de groupe** : c'est le garant d'analyse spécialiste de domaine, il connaît parfaitement le sujet traité. Il est capable de mettre les notes d'évaluation et trancher les conflits.

L'étude qualitative (Analyse de défaillance) :

Elle consiste à faire une identification des modes de défaillances, de leurs effets et des causes conduisant au dysfonctionnement d'un élément du système. Ces trois notions sont liées par la relation suivante :

Cause → Mode → Effet

L'étude quantitative (Evaluation des défaillances)

Dans cette partie, on cherche à quantifier l'impact de ces défaillances sur le système ou sur le sous-système. Pour cela un certain nombre de critères d'analyse ont été définis, à savoir :

- **La gravité G** : C'est l'évaluation de l'effet de non qualité ressenti par le client.
- **La fréquence F** : C'est la probabilité que la cause existe multipliée par la probabilité que cette cause crée une défaillance.
- **La non- détection D** : C'est la probabilité de ne pas livrer une défaillance potentielle quand la cause existe. C'est-à-dire détecter ou arrêter un mode potentiel de défaillance à travers les contrôles, les mesures, les calculs, mais aussi par les procédures et la formation des hommes.

F, G, D sont définis ci-dessous. Ces indices peuvent également être écrits G' ; F' ; D' et C' lorsque ils sont évalués après des actions correctives. Ces critères ne sont pas limitatifs, le groupe de travail peut en définir d'autres plus judicieux par rapport au problème traité. Chaque critère est évalué dans une plage de notes. Cette plage est déterminée par le groupe de travail.

La Gravité :

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité).

Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet.

Tableau V 1 Définition et cotation de la gravité des effets de la défaillance

Cotation	définition
« 1 » gravité mineur	Aucune dégradation de matériel
« 2 » Gravité moyen	Nécessite une intervention de courte durée (Exemple : arrêt de production de 2h à 4h)
« 3 » Gravité majeur	Très critique nécessitant une intervention de longue durée (exemple : arrêt de 6h à 24h)
« 4 » Gravité catastrophique	Très critique nécessitant une grande intervention (exemple : arrêt de plus d'un jour).

LA FREQUENCE :

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire

Tableau V 2 Désignation et cotation de la fréquence d'apparition des défaillances

Cotation	Désignation
« 1 » Fréquence très faible	Défaillance pratiquement inexistant Au plus un défaut sur la durée de vie d'une installation
« 2 » Fréquence faible	Défaillance moins d'une fois par ans.
« 3 » Fréquence moyenne	Défaillance moins d'une fois par trois ans.
« 4 » Fréquence forte	Défaillance d'une fois par un an.

LA NON-DETECTION :

Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème.

Tableau V 3 Définition et cotation probabilité de la non- perception de l'existence d'une défaillance

Cotation	Défaillance
« 1 » Evident	Signe évident de défaillance.
« 2 » Possible	Nécessite une action, requise que le signe de défaillance ne soit pas perçu par l'opérateur.
« 3 » Improbable	Défaillance difficile à détecter
« 4 » Impossible	Défaillance impossible à détecter.

La hiérarchisation par criticité :

Le besoin d'une hiérarchisation permet de classer les modes de défaillance et d'organiser leur traitement par ordre d'importance. La hiérarchisation suivant l'échelle de criticité permet de décider des actions prioritaires.

Criticité (C) :

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents

$$C = G * F * D$$

C : Criticité

G : Gravité

F : Fréquence

D : Non- détection

Le groupe de travail doit alors décider d'un seuil de criticité. Au-delà de ce seuil, l'effet de la défaillance n'est pas supportable. Une action est nécessaire.

Tableau V 4 Grille de la criticité de cotation de la criticité

Niveau de criticité	définition
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification de conception.
$10 \leq C < 16$ Criticité moyenne	Amélioration des performances du système Maintenance préventive systématique.
$16 \leq C < 25$ Criticité élevée	Surveillance particulière et révision Maintenance préventive conditionnelle
$25 \leq C < 64$	Remise en cause complétée de l'équipement

La recherche des actions préventives et correctives :

Après le classement de différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, le groupe désigne le responsable de la recherche des actions préventives ou correctives.

Les outils tels que le diagramme de cause à effet, l'analyse de Pareto, le brainstorming, le travail en équipe doit être appliqué pour une recherche efficace.

En pratique, le groupe de travail s'attache à réduire l'indice de criticité par des actions qui visent :

- La réduction de la probabilité d'occurrence.
- La réduction de la gravité de l'effet de défaillance.
- La réduction de la probabilité de non détection.

La réévaluation de la criticité :

Cette étape permet de déterminer l'impact et l'efficacité des actions prises.

Lorsque la définition d'une action corrective a été réalisée, une cotation des risques après mise en œuvre de l'action corrective est effectuée. L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la nouvelle criticité, à partir de l'estimation des nouveaux indices de fréquence, de gravité et de non détection. La nouvelle criticité est inscrite dans l'ensemble de colonnes (col 9) en utilisant le même barème de cotation que celui ayant servi à la cotation initiale.

La présentation des résultats :

Pour pouvoir effectuer et appliquer l'AMDEC, il faut utiliser un tableau conçu spécialement pour le système étudié et préparé en fonction des objectifs recherchés.

V.8 Présentation du tableau d'AMDEC

Tableau V 5 présentation de tableau AMDEC

Principale de l'AMDEC											
AMDEC machine		Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités							Action corrective		
		Machine			Phase de fonctionnement : Normale						
N	Elément	fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				
							F	G	D	C	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7				C8

C1 (composant): Cette colonne permet d'inscrire la désignation du composant le plus précisément possible, ainsi que son repère de nomenclature s'il existe

C2 (fonction de composant) : Cette colonne permet d'inscrire la fonction réalisée par le composant dans le fonctionnement normal du dispositif étudié.

C3 (mode de défaillance) : Cette colonne permet d'inscrire le mode de défaillance qui correspond à la manière dont le composant peut être amené à ne plus assurer sa fonction.

C4 (cause) : Cette colonne permet d'inscrire les causes ayant conduit à l'apparition de la défaillance du dispositif à travers le mode défaillance du composant.

C5 (effet) : Cette colonne permet d'inscrire les effets provoqués par l'apparition des modes de défaillance.

C8 (La recherche des actions préventives et correctives) : Après le classement de différents modes de défaillances potentielles d'après les indices de criticité, le groupe désigne le responsable de la recherche des actions préventives ou correctives.

V.9 Tableau AMDEC de la pompe alimentaire de la nouvelle centrale

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et leurs Criticités											
Système : pompe alimentaire						Phase de fonctionnement : Mode normal et mode défaillant					
						Secteur : Alimentation de l'eau					
Fonction du système	composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet	Détection	criticité				Action corrective
							G	F	D	C	
Augmentation de la pression d'eau	Pompe	Transférer l'eau vers ballon HP et IP	Fuite d'huile au niveau de la pompe	Pression d'huile élevée	Perte d'huile de graissage	Visuel	2	2	1	4	Réduire la pression d'eau
			Fuite d'eau au niveau de la pompe	Usure de joint	Les pertes d'eau	Visuel	3	2	1	6	Changement de joint
			Filtre colmaté du BFP	Accumulation de sédiments et d'impuretés	Pression d'eau faible	Visuel	3	2	2	12	Nettoyage de filtre
			Débit nul	Filtre bouché	Augmentation de la température de la pompe	Visuel	4	2	2	16	Changement de filtre
	Moteur électrique	Entrainer les deux pompes	Fuite d'huile au niveau de palier moteur	Pression d'huile élevée	Faible de niveau d'huile dans le réservoir	Visuel	2	2	1	4	Réglage de la pression d'huile
			Vibration au niveau de moteur	Pression déséquilibrée	Usure des composants du moteur	Visuel	4	1	2	8	Vitrifier de l'alignement et Régler la pression

V.9.1 Suivi

La mise en suivi de l'AMDEC est essentielle pour assurer son succès. Le suivi permettra d'assurer que toutes les mesures prises ont été mises en œuvre et que les nouvelles valeurs de criticité sont réellement atteintes.

V.9.2 Synthèse

Il est difficile d'étudier les problèmes et de trouver des solutions préventives en raison des divers problèmes potentiels qui peuvent se présenter. C'est pourquoi la hiérarchisation nous aide à classer les différentes formes de défaillance et à organiser leur traitement en fonction de leur gravité. Les actions prioritaires sont déterminées en se basant sur la hiérarchisation en fonction de l'échelle de criticité.

Les tableaux ci-après illustrent la classification des différentes formes de défaillance en fonction de leurs points faibles :

Tableau V.6 : criticité entre 1 et 6

Niveau de criticité	défaillance	Maintenance corrective
$1 \leq C \leq 6$	Fuite d'huile au niveau de la pompe	Régler la pression d'eau
	Fuite d'huile au niveau de palier moteur	Changement de joint
	Fuite d'eau au niveau de la pompe	

Tableau V.5 : criticité entre 8 et 12

Niveau de criticité	défaillance	Maintenance corrective
$8 \leq C \leq 16$	Débit nul	Changement de filtre
	Vibration au niveau de moteur	Vitrifier de l'alignement et Régler la pression
	Filtre du BFP colmaté	Nettoyage de filtre

V.10 Conclusion

Dans cette partie nous avons déroulé l'analyse AMDEC suivant les étapes citées précédemment, ce qui nous a permis de collecter des données sur les équipements étudiés en se basant sur le groupe de travail, en exploitant leurs expériences et la documentation existante.

A partir de là, ainsi que la maîtrise de l'enchaînement des paramètres (fonction, mode, cause, effets et défaillance, détection, criticité), nous avons pu regrouper beaucoup d'informations sur les anomalies qui engendrent l'arrêt de la pompe, chose qui nous a permis d'élaborer des opérations préventives afin de maintenir le bon fonctionnement de la machine.

Conclusion générale :

La prestation que nous avons réalisée fait partie de notre projet de fin d'études.

Grâce au stage pratique à la centrale à cycle combiné de Cap-djinet, cette expérience nous a donné l'opportunité de faire la découverte de l'activité réelle d'un complexe industriel. Cela a été extrêmement avantageux pour nous, car cela nous a donné l'opportunité de découvrir de nouvelles technologies dans le secteur industriel et d'approfondir nos connaissances intellectuelles en mettant en pratique sur le terrain les théories acquises à l'université.

Grâce à la méthode utilisée pour étudier cette machine, nous avons pu repérer les problèmes de fonctionnement de celle-ci, tout en utilisant l'étude de fiabilité et la méthode d'analyse des modes de défaillance efficaces AMDEC pour identifier les paramètres clés qui entraînent son arrêt.

Tout d'abord, nous avons exposé la pompe alimentaire, puis nous avons exposé toutes les connaissances concernant la fiabilité. Cette étude nous a permis de mettre en lumière le fonctionnement de la pompe principale et de repérer l'élément le moins fiable. Suite à notre présentation de la méthode d'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur importance (AMDEC), nous avons pu réaliser que la maintenance permet de préserver le potentiel du matériel afin de garantir la continuité de la production.

En peut dire :

La pompe nécessite une maintenance méticuleuse, un suivi attentif et des ouvriers compétents. Ainsi, il est primordial de comprendre le fonctionnement de la pompe, ce qui nous permet de sélectionner une politique de maintenance plus efficace qui permet de maintenir la pompe en bon état et d'accroître sa fiabilité.

La réparation de la panne de la pompe est un problème complexe et assez complexe, car un simple changement du moteur n'est pas suffisant. En cas d'échec ou d'incapacité de fonctionnement, le temps de réparation sera plus long en raison de la complexité de sa mise en place.

$B = 0.7 < 1$ La conclusion est que la pompe alimentaire étudiée est en période jeunesse.

En conclusion, il est possible de conclure qu'il est nécessaire de mettre en place un plan de maintenance préventive et corrective afin d'éliminer ou réduire les défaillances les plus importantes.

En perspective, nous proposons l'adaptation d'un variateur de vitesse électronique pour le moteur asynchrone qui entraîne la pompe alimentaire dans la quelle persiste des

endommagements mécaniques dues aux problèmes de régulation de pression en aval et en amont de la pompe alimentaire.

Références bibliographiques

- [1]** : Deriche Rayane – Aissi Assia, «ANALYSE ENERGETIQUE ET ELABORATION D'UN PROGRAMME DE PROCESSUS DE PRODUCTION DEL'HYDROGENE A CYCLE COMBINE A CAP-DJINET», Mémoire master de département génie mécanique Boumerdes ,2021/2022.
- [2]** : documentation de la nouvelle centrale ras-Djenet.
- [3]** : http://voltaweb.elec.free.fr/racinoux/alternat/alter_froid.htm, vu le 25/05/2024 à 15h.
- [4]** : Hemmami Zineb, Thèse « amélioration du refroidissement par film par modification de la géométrie de l'aube de turbine à gaz », Université Oran 2.
- [5]** : BENTAFAT .A, KICHNI.A « analyse vibratoire d'une pompe alimentaire (200HMBR10) au niveau de la centrale de cap djinet CC2 » mémoire de fin d'étude, université M'Hamed BOUGARA boumerdes ,2021/2022.
- [6]** : www.pompe-centrifuge.com vue le 08/04/2024 à 10h
- [7]** : les pompes TOTAL Manuel de formation EXP-PR-EQ070 révision0.1, dernière révision 13/04/2007.
- [8]** : BERNARD, Technique d'ingénieur (B4320) pompe volumétrique pour liquides, Paris
- [9]** : site web « cavitation dans les pompes a condensat ». vue le 08/04/2024 à 11h
- [10]** : Manuel de fonctionnement et de maintenance (pour d'eau d'alimentation de la chaudière)
- [11]** : A.villemeur sûreté de fonctionnement de systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation eyrolles, paris 1988
- [12]** : "Manuel de maintenance", NAPHTOGAZ, HMD, (2001)
- [13]** : LYONNET P. « La Maintenance : Mathématiques et Méthodes » édition Lavoisier, Tec et Doc. Paris 1992
- [14]** : GEORJON A. DEBORDE R. « Maintenance Des Systèmes Industriels », Editions, Hachette Technique 1994-43, Quai de Grenelle ,75905 Paris Cedex 15
- [15]** : Pr. Ahmed Bellaouar, M.A. Salima Beleumi, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Faculté des sciences de la technologie Département génie des transports, Année académique 2013.2014
- [16]** : EL MAKHFI Oussama et EL-ALLAM Toufik, « Mise en place de la

méthode AMDEC dans la chaîne de production », mémoire de fin d'étude Faculté des Sciences et Techniques de Fès, promotion 2015

[17] A. Pareto, cours d'économie politique, Lausanne, Switzerland, 1896.

[18] Gerard LUNDY, AMDEC, guide pratique

[19] Jean FAUCHER, Gerard LUNDY, pratique de l'AMDEC, Edition AFNOR, 2009.