

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A/Mira de Bejaïa
Faculté des Sciences Technologies Département Génie Électrique



Mémoire de fin d'études



En vue de l'obtention du Diplôme de Master en énergie renouvelable
Spécialité : Energie renouvelable en électrotechnique

Thème :

**Diagnostic des dysfonctionnements
des tours de refroidissement de la
raffinerie de l'huile CEVITAL**

Réalisé par :

Mlle : OULEFEKI Houda
Mlle: .OURARI Nouara

Devant le jury composé de :

Président : Mr OUATAH Elhanafi
Encadreur : AIT MOKHTAR Elhassene
Examineur : LARABAA Mohamed

Promotion 2018/2019



Remerciement

Nous remercions **Dieu** tout puissant de nous avoir donné la volonté et la santé pour terminer ce travail.

Maintenant, et après avoir fini notre rapport, on a le plaisir d'adresser nos plus vifs remerciements à toutes les personnes ayant contribué au bon déroulement de ce mémoire d'ingénieur, tant sur le plan professionnel que sur le plan personnel.

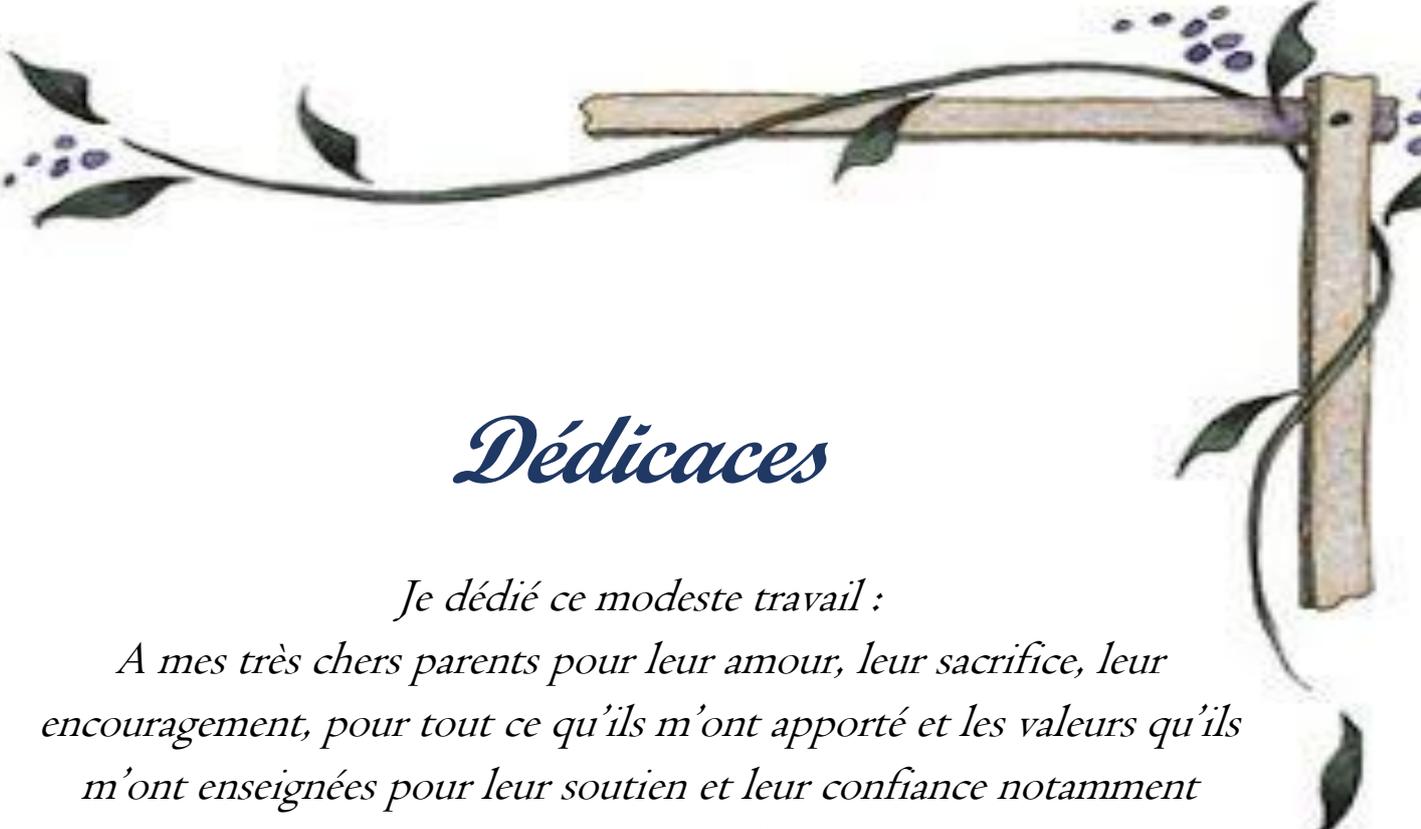
En premier lieu, c'est un agréable plaisir d'exprimer notre profonde gratitude à monsieur E. AIT MOKHTAR, pour nous avoir conseillé et orienté tout le long de ce travail. Nous tenons à lui exprimer notre sincère reconnaissance pour son aide précieuse et sa disponibilité.

Remerciements et profonde gratitude vont également à notre encadreur Mr KENOUCHE & MR MEBARKI pour nous avoir accueillis pour réaliser ce travail et nous avoir guidés tout au long de notre stage.

C'est avec joie qu'on salue Toute l'équipe de la raffinerie d'huile CEVITAL, pour leurs disponibilités, et les membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Il nous sera impossible, enfin, de ne pas saluer nos familles et amis, leur confiance et leur amour n'ont cessé de nous prodiguer, tout au long de ce travail.





Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents pour leur amour, leur sacrifice, leur encouragement, pour tout ce qu'ils m'ont apporté et les valeurs qu'ils m'ont enseignées pour leur soutien et leur confiance notamment durant mes études.

A mes très chères grandes mères : Yamina & Cherifa.

A mes très chers frères Salem, Zahir & Fares

A mes très chères sœurs Saida, Djahida, Akila et Louisa.

A mes belles sœurs Samia, Saida & Ghania

A mes chères nièces Wissam, Ilissa & Tinhinane sans oublier tous mes neuves

A mon aimable binôme Nouara et toute sa famille

A mes chers amis Ouali, Fayçal, Rafik & Hanane.

A tous mes collègues de la promotion

2018-2019.

A tous ceux qui m'aiment et qui m'ont encouragé



HOUDA



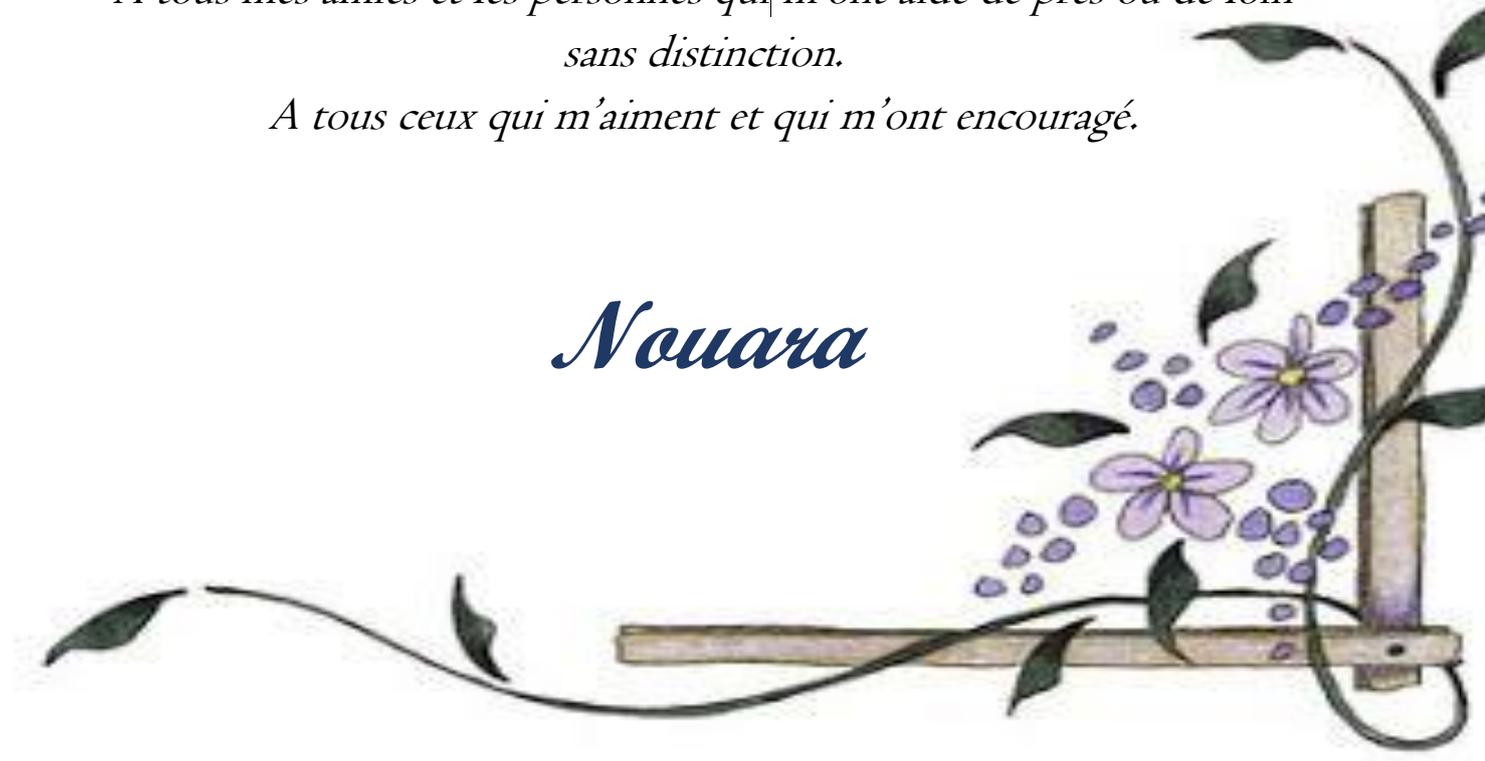
Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :
A mes très chers parents pour leur amour, leur sacrifice, leur
encouragement, pour tout ce qu'ils m'ont apporté et les valeurs qu'ils
m'ont enseignées pour leur soutien et leur confiance notamment
durant mes études.*

*A mes très chers grands parents
A mes très chers frères Halim, Mahdi & Ghilas
A mes très chères sœurs Celia & Lamia.
A ma belle-sœur Souad.
A ma chère nièce Dacine.
A mes très chère cousine Katia & Dihia
A mon aimable binôme Houda et toute sa famille.
A tous mes collègues de la promotion
2018-2019.*

*A tous mes amies et les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin
sans distinction.*

A tous ceux qui m'aiment et qui m'ont encouragé.



Nouara



Sommaire

Sommaire

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Annexe.

Introduction général.....1

Chapitre I : Présentation du complexe CEVITAL

I.1. Introduction.....	2
I.2. Historique.....	2
I.3. Missions et objectifs	2
I.4. Activités de CEVITAL	3
I.5. Situation géographique	3
I.6. Organigramme du complexe CEVITAL.....	4
I.7. Les unités de production	5
I.7.1. Raffinerie d’huile	5
I.7.2. Margarinerie	5
I.7.3. Raffinerie de sucre.....	5
I.7.4. Stockage de la matière première	5
I.7.5. Unité Energie et utilités	5
I.8. Présentation du raffinage des huiles.....	6
I.8.1. Définition du raffinage	6
I.8.2. Objectifs du raffinage.....	6
I.8.3. Structures de la raffinerie d’huile.....	6
I.8.5. Les étapes du raffinage des huiles	7
a. La neutralisation.....	7
b. La décoloration	7
c. La désodorisation	8
I.9. Le rôle de la tour de refroidissement dans le processus.....	8
I.11. Conclusion.....	10

Chapitre II : Généralités sur la tour de refroidissement

II.1. Introduction	11
II.2. Définition de l'échangeur de chaleur.....	11
II.3. Critère de classement des échangeurs de chaleur	11
II.3.1. Classement technologique des échangeurs	11
II.3.1.1. Échangeurs tubulaires.....	11
II.3.1.2. Échangeurs à plaques	13
II.3.1.3. Tour de refroidissement.....	13
II.3.2. Autre critères de classement	14
II.3.2.1. Type de contact	14
II.3.2.2. Classement suivant les types d'échange.....	14
II.3.2.3. Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange.....	14
II.4. Les différents types des tours de refroidissement.....	14
II.4.1. Tour de refroidissement à circuit fermé.....	15
II.4.2. Tour de refroidissement avec un condenseur évaporatif	15
II.4.3. Tour de refroidissement a circuit fermé hybride.....	15
II.4.4. Tour de refroidissement à circuit ouvert	15
II.5. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement à circuit ouvert.....	16
II.5.1. Les composants d'une tour de refroidissement à circuit ouvert.....	17
II.5.1.1. Corps d'échange ou packing	17
II.5.1.2. Pare-gouttelettes	17
II.5.1.3. Buses de pulvérisation (rampes de dispersion)	18
II.5.1.4. Bassin de récupération.....	18
II.5.1.5. Ventilateur (extracteur de chaleur).....	19
II.5.1.6. Grille de protection.....	19
II.5.1.7. Persienne d'entrée d'air	20
II.5.1.8. Flotteur	20
II.5.1.9. Moteur du ventilateur	21
a. plaque signalitique du moteur ventilateur	21
b. les défférents types de démarrages du moteur électrique	22
c. les défférents éléments de protection du moteur.....	23
II.6. Les éléments associé à la tour de refroidissement	24
II.6.1. Groupes motopompe	24
II.6.2. Les échangeurs intermédiaire.....	24

II.6.3. Vanne à papillon	25
II.6.4. Instruments de mesure	25
II.6.4.1. Indicateur de pression (manomètre).....	25
II.6.4.2. Indicateur de température (thermomètre).....	25
II.7. Conclusion	26

Chapitre III : Contribution à la prévention des dysfonctionnements dans la tour de refroidissement

III.1. Introduction	27
III.2. Mode et mécanisme de défaillance	27
III.2.1. Définition de la défaillance.....	27
III.2.2. Mode de Défaillances mécanique	27
III.2.2.1. Défaillances mécanique dues à la matière	27
III.2.2.2. Défaillance mécanique par détérioration de surface	27
III.2.3. Mode de défaillance par corrosion	27
III.3.4. Mode de défaillance électrique.....	28
III.3. Principales defaillances de la tour de refroidissement	28
III.3.1. L'encrassement.....	28
III.3.1.1. L'influence de l'encrassements sur la tour de refroidissement.....	29
III.3.2. Le colmatge	29
III.3.3. La corrosion du bassins de recuperation.....	30
III.3.4. Surcharge de moteur du ventilateur	30
III.4. Classification des défaillances de la tour de refroidissement.....	31
III.4.1. Classification des défaillances selon le nombre la durée et le coût.....	31
III.4.2. Classification des défaillances selon le nombre	31
III.4.3. Classification des défaillances selon la durée.....	32
III.4.4. Classification des défaillances selon le coût.....	32
III.5. Analyse ABC des défaillances de la tour de refroidissement	33
III.5.1. La méthode ABC	33
III.5.2. Classification des défaillances des éléments de la tour	33
III.5.3. Analyse ABC selon le nombre	34
III.5.4. Analyse ABC selon la durée.....	36
III.5.5. Analyse ABC de coût	38
III.6. Contribution à la prévention des dysfonctionnements de la tour de refroidissem.	39

III.6.1. Problème de l'encrassement et du colmatage	39
III.6.1.1. Méthode de nettoyage l'encrassement et colmatage	39
III.6.1.2. Problème de corrosion	40
a. Régulation de PH de fluide.....	40
b. Changement de matériaux	41
III.6.1.3. Problème de surcharge du moteur du ventilateur	41
III.7.Conclusion.....	41
Conclusion général.....	42



Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique et plan de masse	3
Figure I.2 : Organigramme du complexe CEVITAL.....	4
Figure I.3 : Station de raffinage d’huile ..	6
Figure I.4 : Organigramme des lignes A et B.....	7
Figure I.5 : Circuit d’eau système de vide.	9
Figure II.1 : Différents types d’échangeurs multitubulaires.	12
Figure II.2 : Echangeur coaxial cintré.....	12
Figure II.3 : Echangeur monotube en serpentin.....	12
Figure II.4 : Échangeur à plaques.	13
Figure II.5 : Tour de refroidissement à circuit ouvert.....	15
Figure II.6 : Schémas d’une tour de refroidissement à circuit ouvert.....	16
Figure II.7 : Corps d’échange de la tour de refroidissement.....	17
Figures II.8 : Pare-gouttelettes de la tour de refroidissement.	17
Figure II.9 : Système de dispersion du fluide à refroidir.	18
Figure II.10 : Bassin de rétention avec point de vidange.....	18
Figure II.11 : Ventilateur de la tour de refroidissement.....	19
Figure II.12 : Grilles de protection.	19
Figure II.13 : Persienne d'entrée d'air.....	20
Figure II.14 : Flotteur de la tour de refroidissement.....	20
Figure II.15 : Moteur de ventilateur.....	21
Figure II.16 : Plaque signalétique du moteur ventilateur.....	21
Figure II.17 : Circuit de puissance d’un démarrage directe.....	22
Figure II.18 : Circuit de puissance et de commande d’un démarrage étoile triangle.....	23
Figure II.19 : Schémas et symbole d’un disjoncteur moteur.	23
Figure II.20 : Groupe motopompe.	24
Figure II.21 :Echangeur à plaques.....	24
Figure II.22 : Vanne papillon.....	25
Figure III.23 : L’encrassement dans le corps d’échange et l’échangeur a plaque.	28
Figure III.24 : L’encrassement dans le perssienne.	29
Figure III.25 : Colmatage dans le corps d’échange.	30
Figure III.26 : Corrosion dans le bassin de recuperation.....	30
Figure III.27 : Répartition des défaillances selon le nombre.....	32
Figure III.28 : Répartition des défaillances selon la durée.....	32

Figure III.29: Répartition des défaillances selon le coût.	33
FigureIII.30: Graphique ABC des nombre de défaillance des éléments de la tour.	35
FigureIII.31: Graphique ABC de la durée des défaillances des éléments de la tour.	37
Figure III.32: Graphique ABC des coûts de défaillance des éléments de la tour.	39
Figure III.33 : Régulation de pH.....	40

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Classification des défaillances des tours selon le nombre la durée et le coût.....	30
Tableau III.2 : Classification des défaillances des éléments de tour selon le nombre la durée et coût.....	32
Tableau III.3: Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon le nombre.....	33
Tableau III.4 : Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon la durée.....	34
Tableau III.5: Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon le Coût.....	36



Liste des tableaux

Introduction

générale

Introduction générale

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'université A. Mira de Bejaia et le complexe agro-alimentaire de CEVITAL implanté à Bejaïa.

Dans les sociétés industrielles, les tours de refroidissement et les échangeurs de chaleur sont des éléments essentiels dans toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande partie (90%) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés [1].

Depuis de nombreuses années, les tours de refroidissement et les échangeurs de chaleur sont utilisés dans le secteur agro-alimentaire, notamment dans les raffineries d'huile dans le but d'améliorer la production et augmenter la qualité des produits.

La tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier de grande importance dans l'industrie agroalimentaire. La tour de refroidissement est une source de froid qui consiste essentiellement à transmettre la chaleur d'une source chaude à une autre source de plus faible température. Cette dernière peut subir des dysfonctionnements qui peuvent perturber la production, pour pouvoir les maîtriser, il est important de mener des études dans le but de déterminer la cause de ces dysfonctionnements.

Notre travail consiste, dans un premier temps à déterminer le rôle de la tour de refroidissement dans le processus de raffinage de l'huile. Dans la deuxième partie décrire les échangeurs de chaleurs en général et les tours de refroidissement, ainsi que ces différents éléments. La dernière partie concerne la localisation et la détection des défauts existant dans la tour de refroidissement et les échangeurs de chaleur, suivi d'une classification des défaillances selon trois critères : nombre, durées et coût, via une analyse ABC qui nous a permis de classer les défaillances par leurs degrés d'importance. Pour contribuer à la prévention des dysfonctionnements trouvés, un ensemble de solution est proposée pour prévenir les dysfonctionnements les plus fréquents.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey shading at the corners, containing the chapter title.

*Chapitre 1 : présentation du
complexe cervical*

I.1. Introduction

La raffinerie du complexe CEVITAL est ultra moderne dotée d'équipements de haute technologie bien adaptés aux traitements de toutes les qualités des huiles comestibles. Elle est composée de deux chaînes de raffinage A et B d'une capacité de 400 tonne/jour chacune et d'une ligne C de 1500tonnes/jour ce qui fait un totale de 2300tonnes /jour.

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'évolution chronologique du complexe CEVITAL, ses multiples activités industrielles, ses principaux objectifs, ainsi que l'organigramme décrivant ses différentes directions et les unités de production. Nous avons terminé par les étapes de raffinage de l'huile ainsi que le rôle de la tour de refroidissement dans le processus.

I.2. Historique

CEVITAL est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia.

CEVITAL Contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité.

En effet, les besoins du marché national sont de 1200T/J d'huile l'équivalent de 12 litres par personne et par an. Les capacités actuelles de CEVITAL sont de 2300T/j.

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité/prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché que CEVITAL négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales, ces produits se vendent dans différentes villes africaines (Lagos, Niamey, Bamako, Tunis, Tripoli...) [2].

I.3. Missions et objectifs

L'entreprise CEVITAL a pour mission principale de produire et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser.

Les objectifs visés par CEVITAL peuvent se présenter comme suit :

- ❖ L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.
- ❖ L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.
- ❖ L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses
- ❖ La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production [2].

I.4. Activités de CEVITAL

Lancé en Mai 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement d'huile en Décembre 1998. En Février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont débuté, cette dernière est devenue fonctionnelle en Août 1999.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre, elles se présentent comme suit :

- ❖ Une raffinerie d'huile.
- ❖ Une unité de conditionnement d'huile.
- ❖ Une margarinerie.
- ❖ Une raffinerie de sucre.
- ❖ Une unité de fabrication d'emballage.
- ❖ Une unité de stockage de céréales.
- ❖ Une nouvelle raffinerie de sucre 3000 tonnes/jour.
- ❖ Minoterie et savonnerie en cours d'étude [2].

I.5. Situation géographique

CEVITAL est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet elle se trouve proche du port et l'aéroport [2].

Le plan de situation de masse de l'entreprise est illustré dans la figure I.1 ci-dessous.



Figure I.1 : Situation géographique et plan de masse [2]

I.6. Organigramme du complexe CEVITAL

L'organigramme de la figure II.2 donne une vue générale sur les différents organes constituant le complexe CEVITAL.

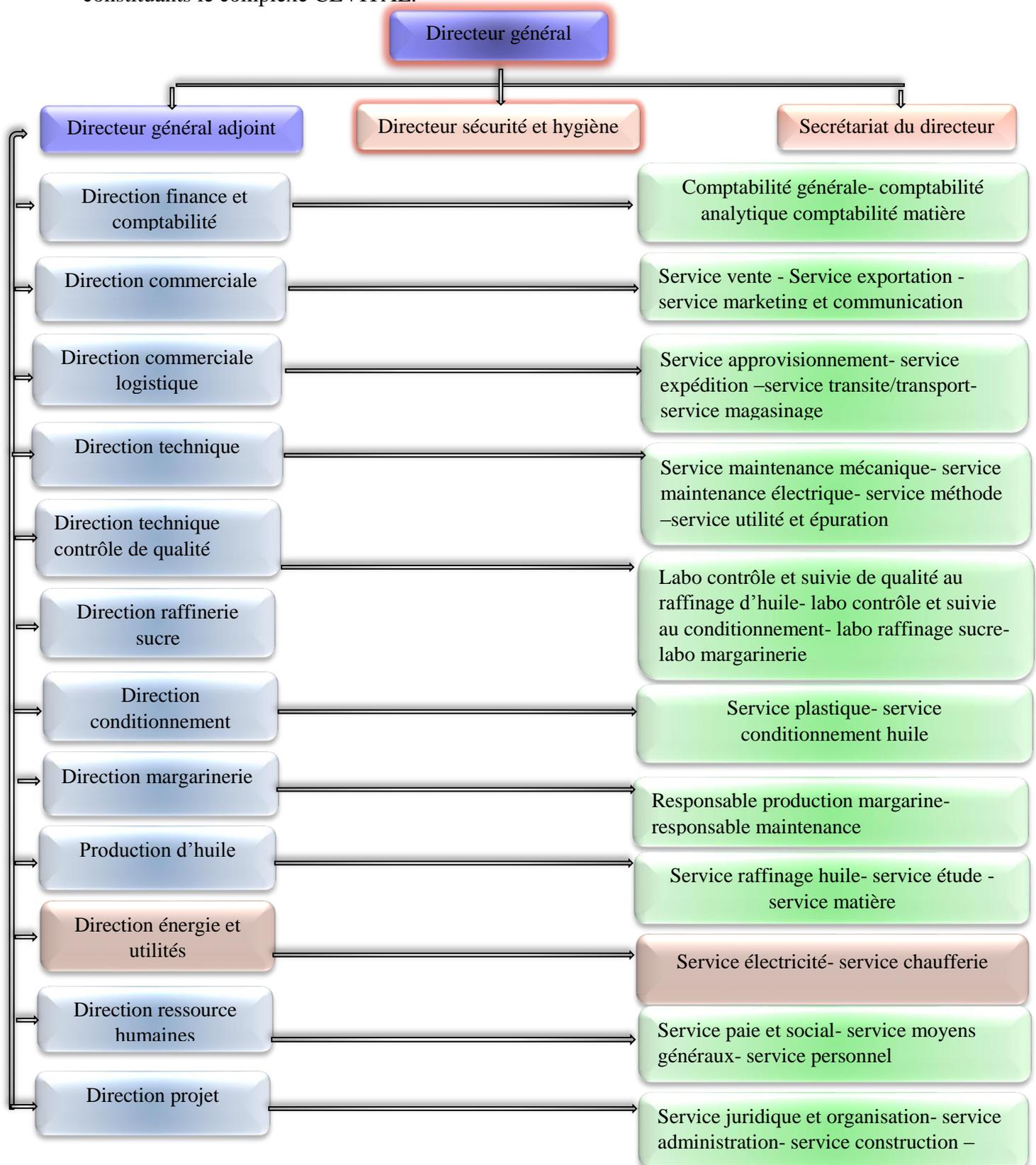


Figure I.2 : Organigramme du complexe CEVITAL [2]

I.7. Les unités de production

Le complexe CEVITAL est composé de plusieurs unités de production Agro-alimentaire :

I.7.1. Raffinerie d'huile

Elle a été mise en chantier en mai 1998, l'adaptation d'une technologie de dernière génération lui a permis de rentrer dans la production en un temps record soit août 1999. Elle est considérée parmi les plus modernes au monde.

Actuellement sa capacité de production est de 2300T/J tonnes par jour. Cette raffinerie est conçue pour traiter toutes les qualités d'huile comestible tel que : le colza, le tournesol, le soja, le palme...etc. [2].

I.7.2. Margarinerie

Mise en chantier en mars 2000, puis rentrée en production en juillet 2001. Cette margarinerie construite par le groupe lui-même représente une offensive considérable sur le marché. Sa capacité de production est de 100 T/J pour chaque chaîne de production qui sont au nombre de six [2].

I.7.3. Raffinerie de sucre

Elle est mise en chantier en octobre 2000, devenue fonctionnelle en octobre 2002. Elle est dotée d'un équipement industriel très modernisé qui répond aux besoins du marché. Sa capacité de production actuelle est de 1600 T/J dépassant ainsi les 500000 T/an. Cette dernière couvrira les besoins nationaux en sucre blanc.

Une nouvelle raffinerie de sucre d'une capacité de 3000T/J est actuellement mise en service [2].

I.7.4. Stockage de la matière première

Les silos de stockage sont opérationnels depuis juin 2003, ce sont de gigantesques récipients cylindriques construits en béton, destinés au stockage des céréales et des graines oléagineuses. Au nombre de 24, la capacité de stockage de chaque cellule est de 5000 tonnes, Ce qui offre une capacité de 120000 tonnes (la plus grande capacité de stockage en Afrique [2].

I.7.5. Unité Energie et utilités

La direction Energie est constituée de deux départements qui sont :

- ❖ Département énergie (production, maintenance et distribution de l'énergie électrique) qui se compose de deux postes 60 kV, 30 kV et une cogénération.
- ❖ Département chaufferie (production et distribution de la vapeur) [2].

I.8. Présentation du raffinage des huiles

La raffinerie est composée de trois lignes de production d'huile A, B, C leurs capacités respectives sont 400T, 400T, 1500T ce qui fait 2300 tonnes/jour. Cette raffinerie est conçue pour traiter toutes les qualités d'huile comestibles, tel que : le colza, le tournesol et le soja. Les huiles ont toujours constitué une grande partie de la consommation humaine, ce qui demande une production en quantité [2].

I.8.1. Définition du raffinage

Le raffinage est l'ensemble des opérations qui servent à transformer l'huile brute en un produit comestible en éliminant les impuretés indésirables. Les huiles peuvent avoir une destination alimentaire ou industrielle, dans les deux cas elles doivent être traitées pour un bon usage et une bonne conservation et afin de permettre sa transformation ultérieure éventuelle dans l'industrie agro-alimentaire (figureI.3) [2].



Figure I.3 : Station de raffinage d'huile [2]

I.8.2. Objectifs du raffinage

Les huiles brutes renferment un certain nombre d'impuretés indésirables, responsables du goût et des odeurs désagréables. Le but du raffinage est de purifier ces huiles brutes végétales. En effet, il consiste à éliminer au mieux ces composés nocifs afin d'obtenir la qualité correspondante aux normes en vigueur et de faciliter sa conservation.

Le raffinage des huiles comprend une série de traitements ayant pour objectif de purifier l'huile des matières indésirables et d'aboutir à un produit neutre du goût, résistant à l'oxydation, adapté à l'emploi désiré et débarrassée de ses substances nocives. Le produit final du raffinage est sans odeur et sans goût [2].

I.8.3. Structures de la raffinerie d'huile

La raffinerie d'huile est composée d'un laboratoire pour contrôler la qualité d'huile, et deux salles de contrôle pour les trois lignes principales.

Deux lignes de production (A, B) d'une capacité de 400 tonnes/jour chacune

Elles sont décomposées en trois sections principales enchainées comme suit (figureI.4) :

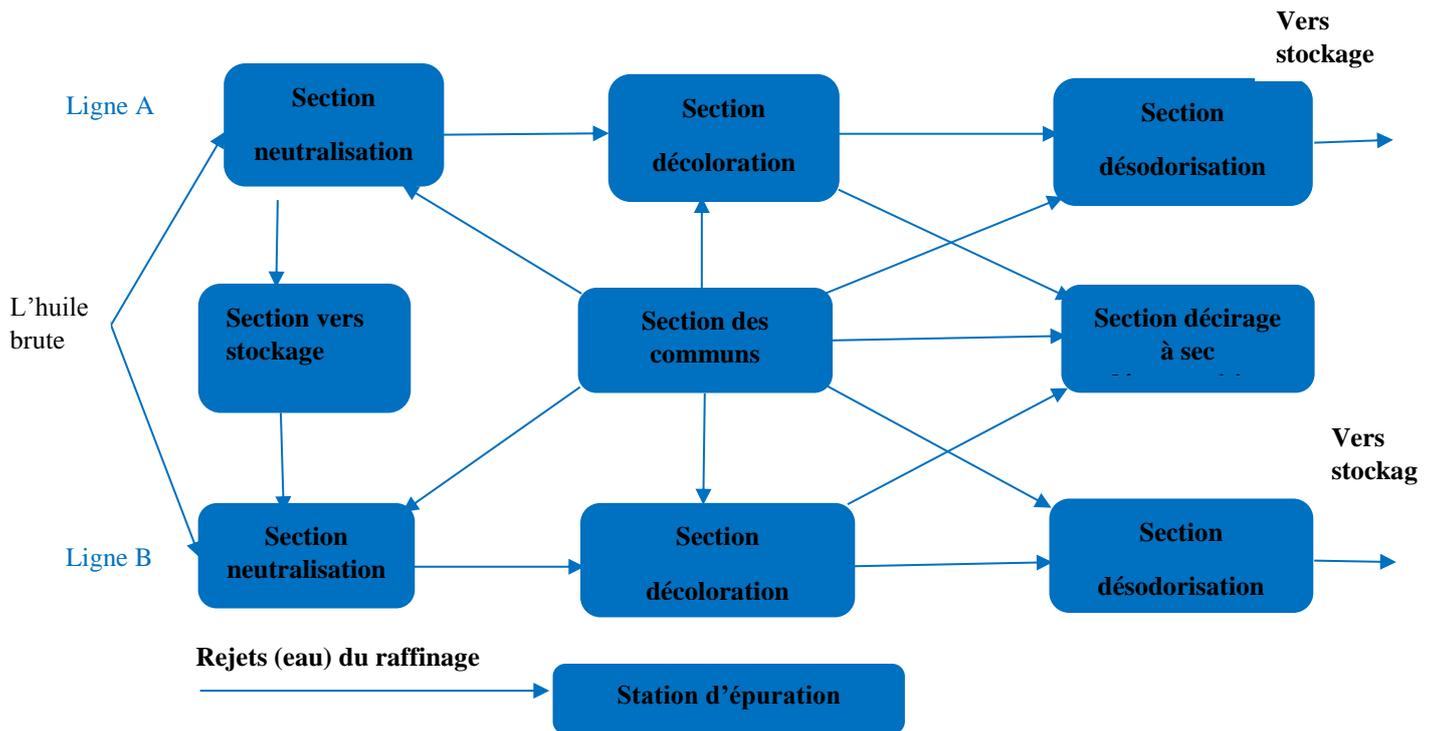


Figure I.4 : Organigramme des lignes A et B [2]

I.8.5. Les étapes du raffinage des huiles

Chaque type d'huile a des spécifications propres et requiert par conséquent un procédé de traitement et des paramètres spécifiques. Mais en général, les huiles brutes issues de la pression et de l'extraction oléagineuses ont une acidité de plus de 0.5% et contiennent : des mucilages, des impuretés, de l'humidité, des pigments colorés et des matières odoriférantes. Les éléments indésirables sont éliminés par les opérations suivantes :

a. La neutralisation

Le but principal de la neutralisation est de débarrasser l'huile de substance indésirable. L'huile est mélangée à l'acide et à la soude, le mélange ainsi formé est envoyé vers les séparateurs pour séparer l'huile des autres substances [2].

b. La décoloration

Cette opération consiste à éliminer les pigments colorés contenus dans l'huile, la décoloration fait intervenir un agent d'adsorption (terres décolorants). L'agent d'adsorption ou le mélange d'agents est introduit dans le décolorateur. L'huile chauffée vers 90°/110°C est agitée vigoureusement sous vide, le temps de séjour terre / huile est de l'ordre de 30 minutes, après traitement, l'huile sera refroidie et passe à travers trois filtration, ce qui rendra l'huile produit fiable [2].

c. La désodorisation

La désodorisation est l'étape finale de raffinage. Elle a pour objet la distillation des acides gras résiduels et l'élimination de toutes les odeurs nauséabondes en faisant circuler à l'intérieur d'une colonne sous vide de 1 millibars et une température de 250°C. En sortant de la décoloration, l'huile rentre dans la colonne de désodorisation qui se présente sous forme d'une tour à étages qui rassemble les étapes de chauffage, de désodorisation et de refroidissement. Les étapes de chauffages et de refroidissement ne requièrent qu'un étage chacune, étage supérieur et étage inférieur, tandis que la désodorisation s'opère sur plusieurs étages en fonction de la capacité [2].

I.9. Le rôle de la tour de refroidissement dans le processus

La tour de refroidissement intervient dans l'étape de désodorisation pour refroidir l'eau utilisée dans le système du vide dans le but d'avoir un système efficace (Température inférieure à 32°C), cela est rendue possible grâce à une source de froid (tour de refroidissement) qui fonctionne en boucle fermée avec deux échangeurs de chaleur.

Dans le processus illustré dans la figure I.5 ci-dessous, l'eau refroidi ($T=30^{\circ}\text{C}$) sortant de la tour est envoyée vers deux échangeurs à plaque (refroidisseurs) par une pompe de recirculation centrifuge d'un débit de $250\text{m}^3/\text{h}$, puis vers le système de vide à ($T=31,4^{\circ}\text{C}$), le fluide ressortant de ce derniers vers le réservoir ($T=35^{\circ}\text{C}$), sera pomper avec un débit de $300\text{m}^3/\text{h}$ vers les échangeurs formant un circuit fermé.

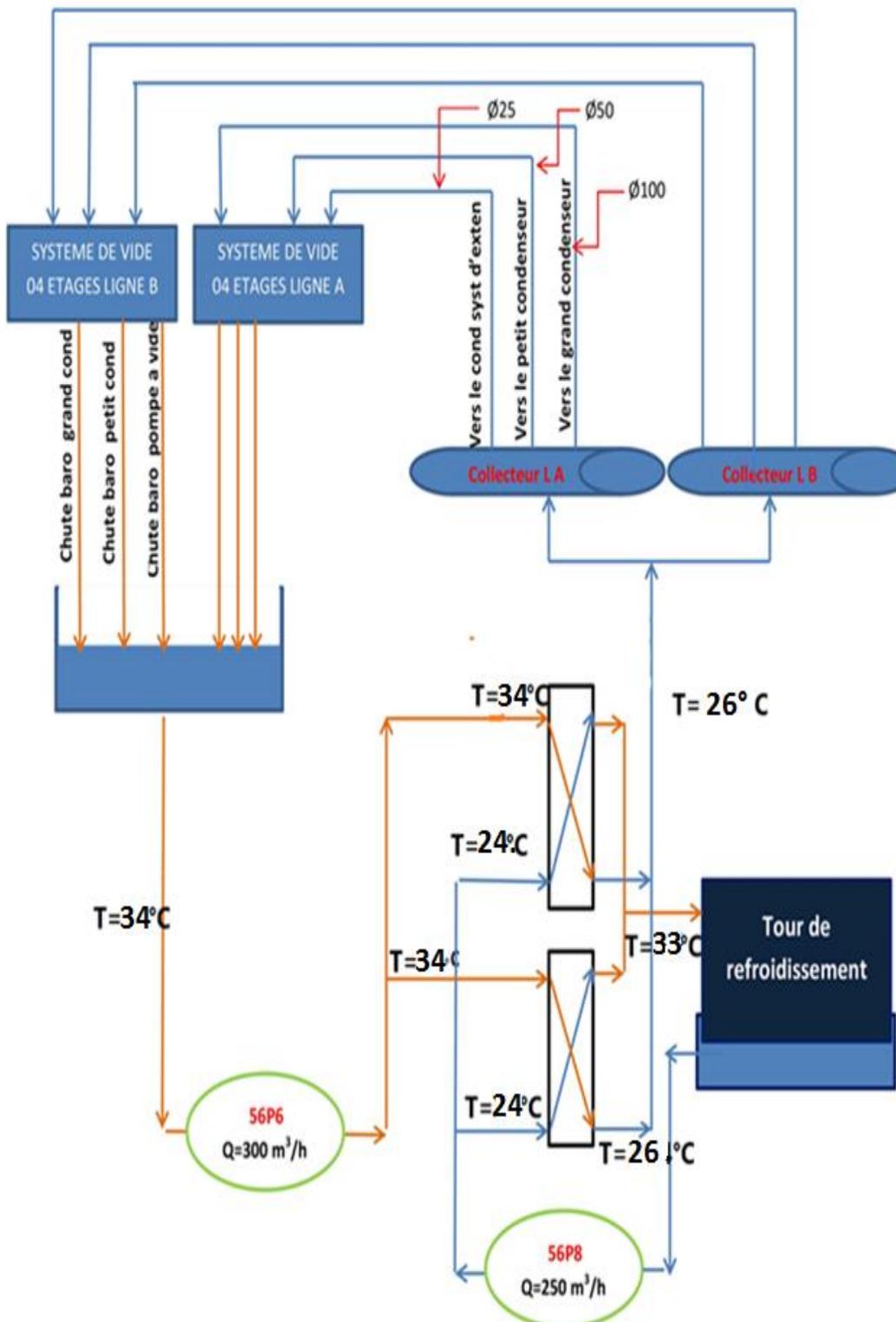
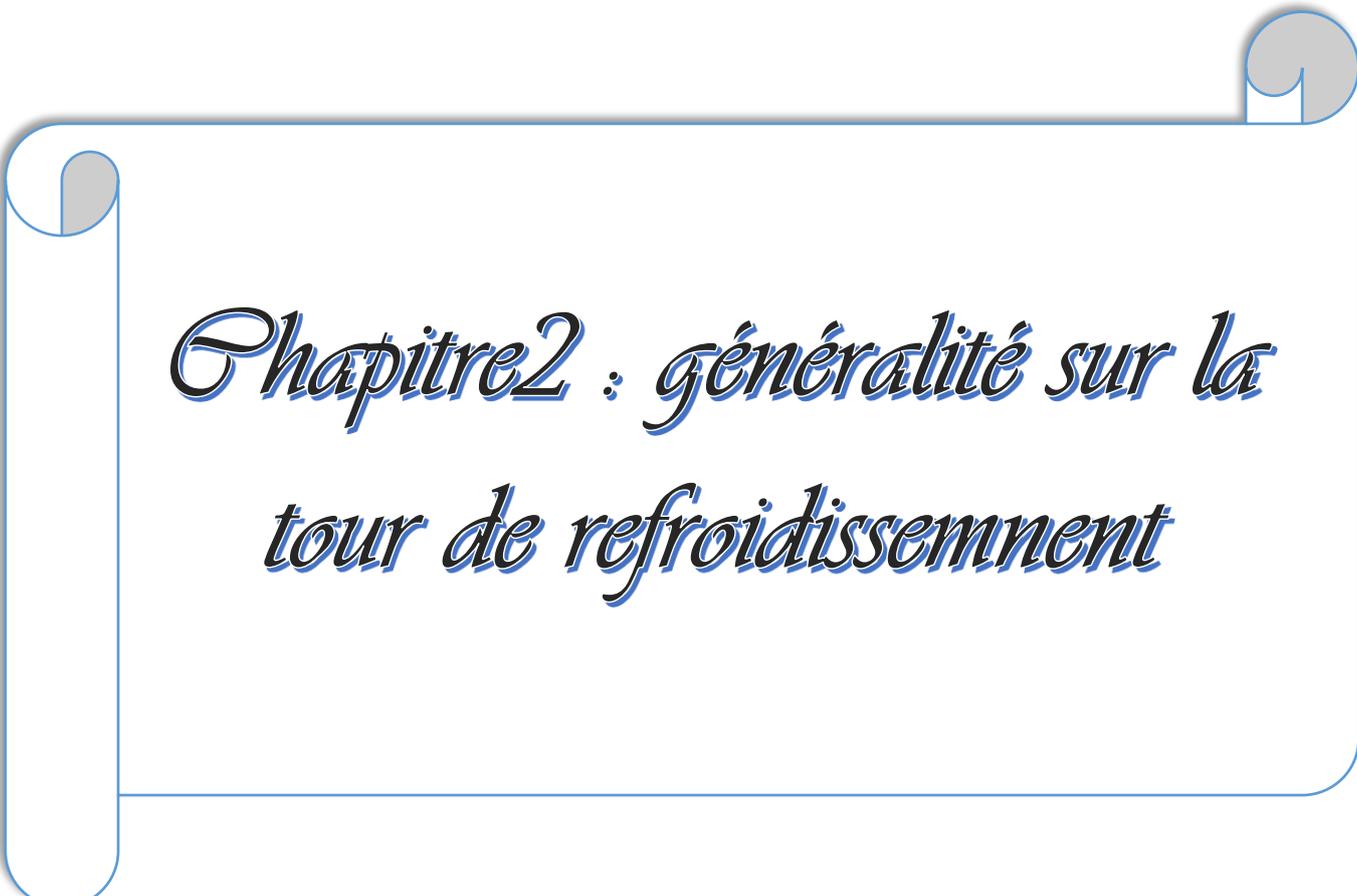


Figure I.5 : Circuit d'eau de système de vide [2]

I.11. Conclusion

Après avoir donné un aperçu général sur le complexe CEVITAL, nous nous sommes intéressés au raffinage de l'huile, pour pouvoir désigner l'importance ainsi que le rôle de la tour de refroidissement dans le raffinage, cette dernière intervient dans la dernière étape du raffinage (la désodorisation), ce qui nous incite à l'exploiter dans notre étude pour pouvoir déterminer son principe de fonctionnement.

A decorative graphic of a scroll with a blue border and grey circular accents at the corners. The text is centered within the scroll.

*Chapitre 2 : généralité sur la
tour de refroidissement*

II.1. Introduction

Les échangeurs de chaleurs sont des dispositifs très utilisés dans l'industrie. Leur objectif principal est le transfert de l'énergie thermique, d'un fluide vers un autre à des niveaux de température distincts. Les fonctionnalités des échangeurs thermiques sont extrêmement diverses et variées [3]. Dans le secteur de l'industrie agroalimentaire raffinages des huiles au niveau de l'entreprise CEVITAL, l'eau est refroidie par ce que l'on appelle une tour de refroidissement à circuit ouvert. L'objectif est d'étudier ces types d'équipements et leur principe de fonctionnement.

II.2. Définition de l'échangeur de chaleur

Comme leur nom l'indique, les échangeurs de chaleur sont des dispositifs destinés à favoriser l'échange thermique entre deux fluides, un fluide chaud et un fluide froid. Sur le principe de faire circuler ces deux fluides à travers des conduits, qui les mettent en contact thermique, (le fluide chaud cède sa chaleur au fluide froid), pour assurer efficacement l'échange de chaleur [4].

II.3. Critère de classement des échangeurs de chaleur

Il existe plusieurs critères de classement des échangeurs de chaleur. Nous allons nous intéresser dans cette partie au classement technologique.

II.3.1. Classement technologique des échangeurs

Les principaux types d'échangeurs rencontrés dans ce critère de classement sont l'échangeur tubulaire, échangeur à plaque et la tour de refroidissement qui constitue l'objet de notre travail [1].

II.3.1.1. Échangeurs tubulaires

Les échangeurs tubulaires utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont largement répandus. On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement :

- ❖ **Echangeur mono-tube** : un tube ayant généralement la forme d'un serpentín est placé à l'intérieur d'un réservoir (figure II.1).
- ❖ **Echangeur coaxial** : deux tubes sont imbriqués l'un dans l'autre. En général, le fluide chaud ou à haute pression s'écoule dans le tube intérieur (figure II.2).
- ❖ **Echangeur multitubulaire**, qui peut exister sous quatre formes :
 - **Echangeur à tubes séparés** : à l'intérieur d'un gros tube sont placés plusieurs petits tubes, maintenus écartés par des entretoises.
 - **Echangeur à tubes rapprochés** : pour maintenir, les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en

spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans.

- **Echangeur à tubes ailettes** : ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique.
- **Echangeur à tubes calandre** : les échangeurs à tubes et calandre sont parmi les plus utilisés dans les industries de procédé et particulièrement dans la chimie et le raffinage [1] (figure II.3).

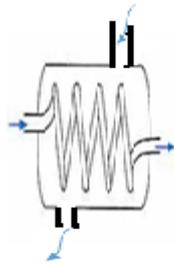


Figure II.2 : Echangeur monotube en serpentin

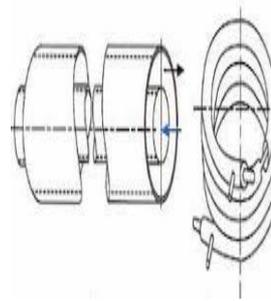
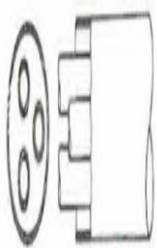
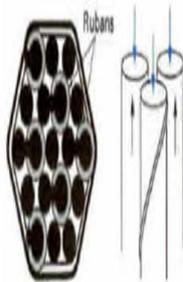


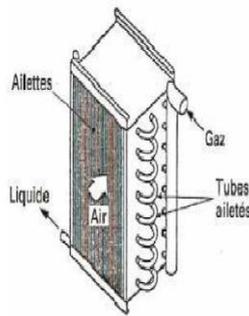
Figure II.1 : Echangeur coaxial centré



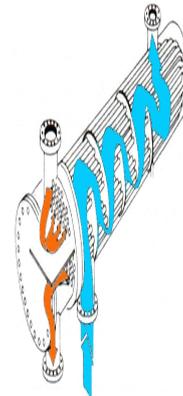
Echangeur à tube séparés



Echangeur à tube rapprochés



Batterie à ailette



Echangeur à tube a calandre

Figure II.3 : Différents types d'échangeurs multitubulaires

II.3.1.2. Échangeurs à plaque

Comme leur nom l'indique, à l'image d'un paquet de cartes, par une succession de plaques métalliques entre lesquelles les fluides circulent, sans se mélanger. Les plaques sont chargées de réaliser le transfert de chaleur et sont elles-mêmes isolées les unes des autres par des joints. On distingue suivant la géométrie de canal utilisé les échangeurs à surface primaire et les échangeurs à surface secondaire (figure II.4) [1].

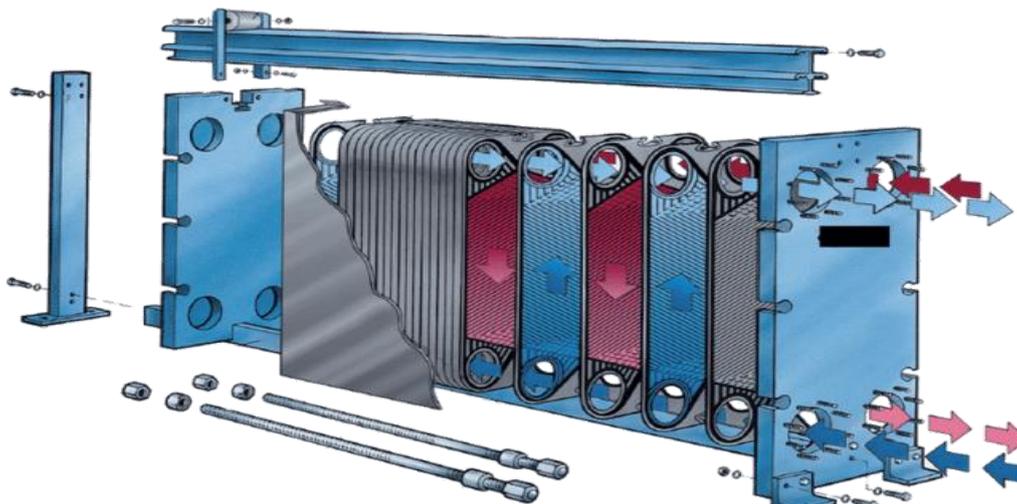


Figure II.4 : Échangeur à plaques

❖ Échangeurs à surface primaire

Les échangeurs à surface primaire sont constitués de plaques corruguées, nervurées ou picotées. Le dessin du profil de plaques peut être assez varié, mais il a toujours un double rôle d'intensification du transfert de chaleur et de tenue à la pression [1].

❖ Échangeurs à surface secondaire

Ces échangeurs sont réalisés en aluminium ou en acier inoxydable ; ils sont constitués par un empilage de tôles ondulées formant des ailettes séparées par des tôles planes [1].

II.3.1.3. Tour de refroidissement

Les tours de refroidissement sont utilisées pour refroidir un liquide ou un gaz à l'aide d'un moyen de refroidissement. Il s'agit d'un cas particulier d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les fluides. Le moyen de refroidissement de telles installations est le plus souvent l'air ambiant [5]. Vu leur rôle important dans le processus de raffinage de l'huile cité dans le chapitre I (le rôle de la tour de refroidissement dans le processus), le présent travail a pour objet l'étude de la tour de refroidissement de la raffinerie d'huile CEVITAL. Le principe de fonctionnement, les principaux composants et d'autres concepts en relation avec le fonctionnement des tours de refroidissement sont détaillés ci-après.

II.3.2. Autre critères de classement

Il existe d'autres critères de classement des échangeurs de chaleurs à savoir le type de contact, le type d'échange et la nature du matériau de la paroi d'échange.

II.3.2.1. Type de contact

Les échangeurs sont classés selon, le type de contact en deux catégories, (les échangeurs à contact direct et les échangeurs à contact indirect).

Par définition les échangeurs à contact direct sont les types le plus simple, contient un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale. Déferrement des échangeurs à contact indirect où les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi [1].

II.3.2.2. Classement suivant les types d'échange

❖ Échangeur sans changement de phase

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase. Les températures des deux fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur [1].

❖ Échangeur avec changement de phase

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents :

- L'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise.
- Le fluide secondaire (fluide froid) se vaporise en recevant de la chaleur du fluide primaire (fluide chaud), qui ne subit pas de changement d'état. Ils sont appelés évaporateurs.
- Le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, qui ne subit pas de transformation d'état [1].

II.3.2.3. Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange

On distingue deux types de parois :

- ❖ Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : Superalliages, métaux ou alliages réfractaires.
- ❖ Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc... [6].

II.4. Les différents types des tours de refroidissement

Il existe quatre types de tour de refroidissement : tour de refroidissement à circuit ouvert, à circuit fermé, avec un condenseur évaporatifs et à circuit fermé hybride. La tour de refroidissement installée dans la raffinerie d'huile CEVITAL est à circuit ouvert. Nous l'avons étudié en détail dans cette section.

II.4.1. Tour de refroidissement à circuit fermé

Dans une tour de refroidissement à circuit fermé, il n'y a pas de contact direct entre l'air et l'eau à refroidir. On fait par contre appel à un échangeur supplémentaire (intermédiaire). Il existe des tours de refroidissement avec condenseur tubulaire et des tours avec échangeur à plaques [5].

II.4.2. Tour de refroidissement avec un condenseur évaporatifs

Les condenseurs évaporatifs sont de construction équivalente à celle des tours de refroidissement à circuit fermé. Au lieu d'une surface d'échange dans une tour de refroidissement conventionnelle, on trouve une batterie de condensation dans laquelle circule le fluide frigorigène [5].

II.4.3. Tour de refroidissement à circuit fermé hybride

Ce type de tour est constitué d'une batterie sèche et d'un corps d'échange sur lequel l'eau du procédé ruisselle : le fluide à refroidir circule en premier lieu dans une batterie sèche située au sommet de la tour de refroidissement. Si le refroidissement en mode sec n'est pas suffisant, le fluide est alors dispersé sur un corps d'échange, s'évapore en partie puis retourne à la température désirée vers le procédé [5].

II.4.4. Tour de refroidissement à circuit ouvert

Dans les tours de refroidissement à circuit ouvert illustré dans la figure II.5, l'air et l'eau à refroidir entrent directement en contact. Une tour de refroidissement à circuit ouvert est un échangeur de chaleur qui permet de refroidir de l'eau en contact direct avec l'air. Le transfert de chaleur s'effectue partiellement par l'échange de chaleur entre l'air et l'eau, mais surtout par l'évaporation d'une petite quantité de l'eau à refroidir. De cette façon, on peut atteindre des températures de refroidissement inférieures à celles de l'air ambiant [7].



Figure II.5 : Tour de refroidissement à circuit ouvert

II.5. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement à circuit ouvert

Comme l'illustre la figure II.6 ci-dessous, l'eau chaude venant de l'installation à refroidir entre en (1) et circule dans la tuyauterie de distribution. L'eau est ensuite pulvérisée en fines gouttelettes grâce aux buses. Ces gouttelettes ruissellent le long de l'échangeur, celui-ci devant avoir une surface d'échange la plus grande possible pour accroître le phénomène d'évaporation. L'eau non évaporée mais refroidie est recueillie dans le bassin de récupération ou par le séparateur de gouttelettes qui permet de récupérer les gouttelettes en suspension dans le courant d'air. Enfin l'eau est stockée et réintroduite dans l'installation. L'air rentre par les persiennes, un fort débit est obtenu grâce à la mise en place d'un ventilateur, ce qui permet d'accroître le phénomène d'évaporation. Le courant d'air circule dans l'échangeur puis dans le séparateur. Il est ensuite rejeté à l'air libre avec une faible teneur en eau. Les pertes en eau sont compensées par une arrivée d'eau d'appoint contrôlée par le flotteur [8].

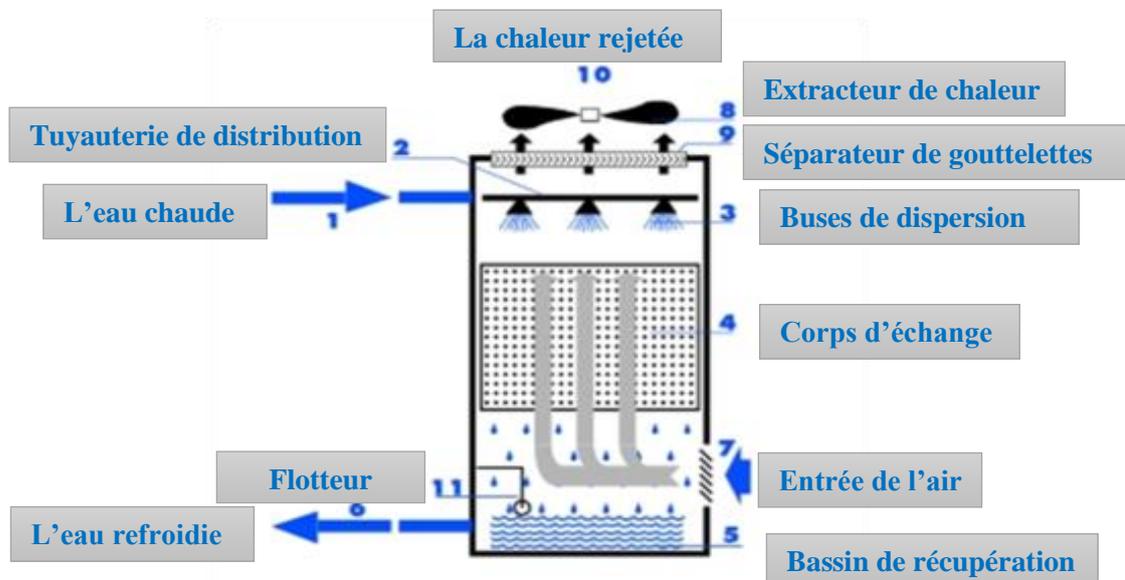


Figure II.6 : Schéma d'une tour de refroidissement à circuit ouvert

II.5.1. Les composants d'une tour de refroidissement à circuit ouvert

Les principaux composants d'une tour de refroidissement à circuit ouvert sont :

II.5.1.1. Corps d'échange ou packing

Il est constitué d'un empilement de parois ondulées ou en nid d'abeille sur lesquelles les gouttelettes d'eau s'écoulent sous forme de film et un empilement de lattes sur lesquelles l'eau s'éclate en gouttes successives. Ces corps d'échange sont sensibles à l'encrassement et le colmatage (Figure II.7) [5].



Figure II.7 : Corps d'échange de la tour de refroidissement

II.5.1.2. Pare-gouttelettes

Ils sont appelés aussi éliminateur de gouttes ou séparateur de gouttelettes. Leur conception doit être telle que le taux d'entraînement soit limité le plus possible.

Le taux d'entraînement ne doit pas être supérieur à 0,01% du débit d'eau en circulation (valeur donnée pour le point de fonctionnement nominal). Les matériaux utilisés pour ce composant sont principalement des matières plastiques. Il est aussi nécessaire de tenir compte de l'accessibilité à ce composant pour faciliter son nettoyage (figure II.8) [5].



Figures II.8 : Pare-gouttelettes de la tour de refroidissement

II.5.1.3. Buses de pulvérisation (rampes de dispersion)

Les buses de pulvérisation (figure II.9) servent à la dispersion du fluide (eau chaude) sous forme de gouttelettes sur le corps d'échange. Il est préférable d'utiliser des systèmes permettant une dispersion à des pressions faibles pour éviter les éclabousses [5].



Figure II.9 : Système de dispersion du fluide à refroidir

De même que pour les autres composants, les résistances à la corrosion et à l'encrassement doivent être prises en compte pour leur sélection. Les disperseurs sont généralement en matières plastiques, ce qui élimine le risque de corrosion, mais pas ceux d'encrassement. Ces derniers aspects sont à prendre en compte lors de l'exploitation.

II.5.1.4. Bassin de récupération

Le bassin de récupération (Figure II.10) est situé sur la partie basse de la tour afin de récupérer l'eau non évaporée après qu'elle passe dans le corps d'échange. Cet élément doit être conçu de façon à être fermé et non perméable, tout en facilitant sa maintenance, en favorisant les pentes d'écoulement et l'accessibilité, il doit donc comprendre un point de vidange situé à son point bas, ainsi qu'une purge de déconcentration.

Le remplissage en eau d'appoint y est généralement régulé par un contrôleur de niveau soit mécanique, soit électronique. Les matériaux utilisés pour les bacs de rétention sont généralement l'acier galvanisé et l'inox [5].

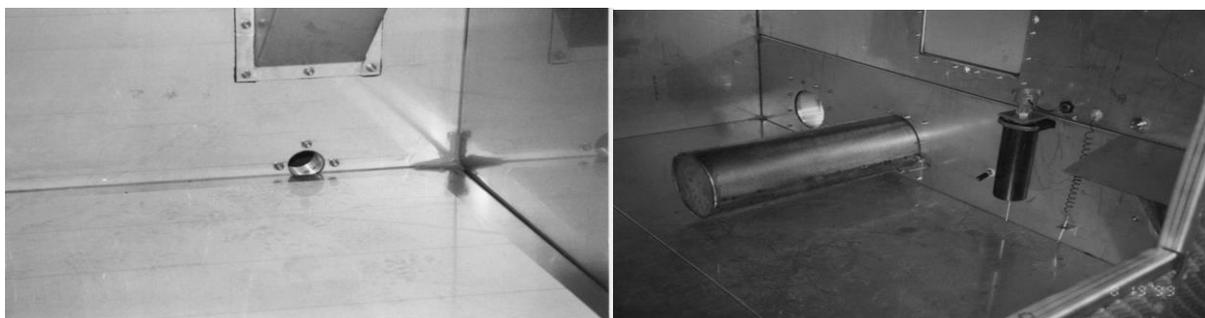


Figure II.10 : Bassin de rétention avec point de vidange

II.5.1.5. Ventilateur (extracteur de chaleur)

Les ventilateurs assurent la circulation de l'air traversant le corps d'échange. Deux types de ventilateurs sont utilisés sur les tours de refroidissement, les ventilateurs axiaux et les ventilateurs centrifuges (figure II.11). Ils peuvent être en accouplement direct avec le moteur qui les entraîne, ou bien en accouplement avec une courroie. La vitesse des ventilateurs est régulée pour maintenir la température de sortie d'eau souhaitée quel que soit les conditions ambiantes [5].

Leur rôle principal consiste à extraire la chaleur qui est à l'intérieur de la tour de refroidissement.



Figure II.11 : Ventilateur de la tour de refroidissement

II.5.1.6. Grille de protection

Les grilles de protection illustré dans la figure II.12, également appelée grille anti oiseaux, sont conçue pour assurer la protection du ventilateur. Ces grilles sont obligatoires dans la plupart des installations pour des raisons de sécurité. Elles peuvent être fabriquées en inox ou en fer galvanisé [9].



Figure II.12 : Grilles de protection

II.5.1.7. Persienne d'entrée d'air

Les persiennes d'entrée d'air illustré dans la figure II.13 améliorent le flux d'air dans la tour de refroidissement, ils empêchent les débris d'entrer et éliminent les éclaboussures d'eau qui peuvent causer du givrage, des dommages à l'eau près du site et des pertes coûteuses de traitement de l'eau. Ils ont pour but de restreindre la quantité de lumière solaire dans la tour de refroidissement (pour empêcher la croissance des algues) et réduire le bruit de la tour [10].



Figure II.13 : Persienne d'entrée d'air

II.5.1.8. Flotteur

Le flotteur est un dispositif qui est utilisé pour contrôler le niveau d'un fluide dans un réservoir, lorsque le niveau d'eau est bas le flotteur se bloque, en gardant la vanne ouverte à mesure que le niveau de l'eau augmente, le flotteur commence à flotter (Figure II.14), sur la surface en raison de la flottabilité, faisant bouger le bras finalement tirer la vanne fermer de sorte que l'eau cessera de couler [11].



Figure II.14 : Flotteur de la tour de refroidissement

II.5.1.9. Moteur du ventilateur

Le moteur du ventilateur illustré dans figure II.15 ci-dessous, est situé à l'intérieur ou à l'extérieur de la tour de refroidissement, il est fixé sur un socle moteur robuste et à usage industriel. Il est conçu pour entrainer le ventilateur de la tour de refroidissement par accouplement directe ou en accouplement avec une courroie. On utilise généralement des moteurs asynchrones triphasés.



Figure II.15 : Moteur de ventilateur

a. Plaque signalétique du moteur ventilateur

Les caractéristiques de la plaque signalétique de moteur du ventilateur sont illustrées dans la figure II.16.



Figure II.16 : Plaque signalétique du moteur ventilateur

b. les différents types de démarrages du moteur électrique

Il existe plusieurs types de démarrages des moteurs électriques. Les démarrages les plus utilisés dans raffinerie de l'huile CEVITAL, sont les démarrages direct et étoile triangle.

❖ Démarrage direct

C'est le mode de démarrage le plus simple. Le moteur démarre sur ses caractéristiques "naturelles". Au démarrage, le moteur se compose comme un transformateur dont le secondaire (rotor) est presque en court-circuit, d'où la pointe de courant au démarrage.

Ce type de démarrage est réservé aux moteurs de faible puissance devant celle du réseau, ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive. Le couple est énergique, l'appel de courant est important (cinq à huit fois le courant nominal) le circuit de puissance de démarrage directe est illustré dans la figure II.17 ci-dessous [12].

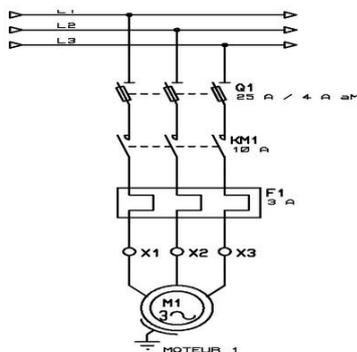


Figure II.17 : Circuit de puissance d'un démarrage directe

- ❖ **Avantages** : Simplicité de l'appareillage, rapidité de la mise en régime.
- ❖ **Inconvénients** : Démarrage brutal, courant d'appel élevé ce qui perturbe les appareils branché sur la même Linge [13].

❖ Démarrage étoile triangle

Ce mode de démarrage n'est utilisable que si les deux extrémités de chaque enroulement sont accessibles. De plus, il faut que le moteur soit compatible avec un couplage final triangle. Lors du couplage étoile, chaque enroulement est alimenté sous une tension 3 fois plus faible, de ce fait, le courant et le couple sont divisés par trois. Lorsque les caractéristiques courant ou couple sont admissibles, on passe au couplage triangle. Le passage du couplage étoile au couplage triangle n'étant pas instantané, le courant est coupé pendant 30 à 50 ms environ. Cette coupure du courant provoque une démagnétisation du circuit magnétique (figure II.18) [12].

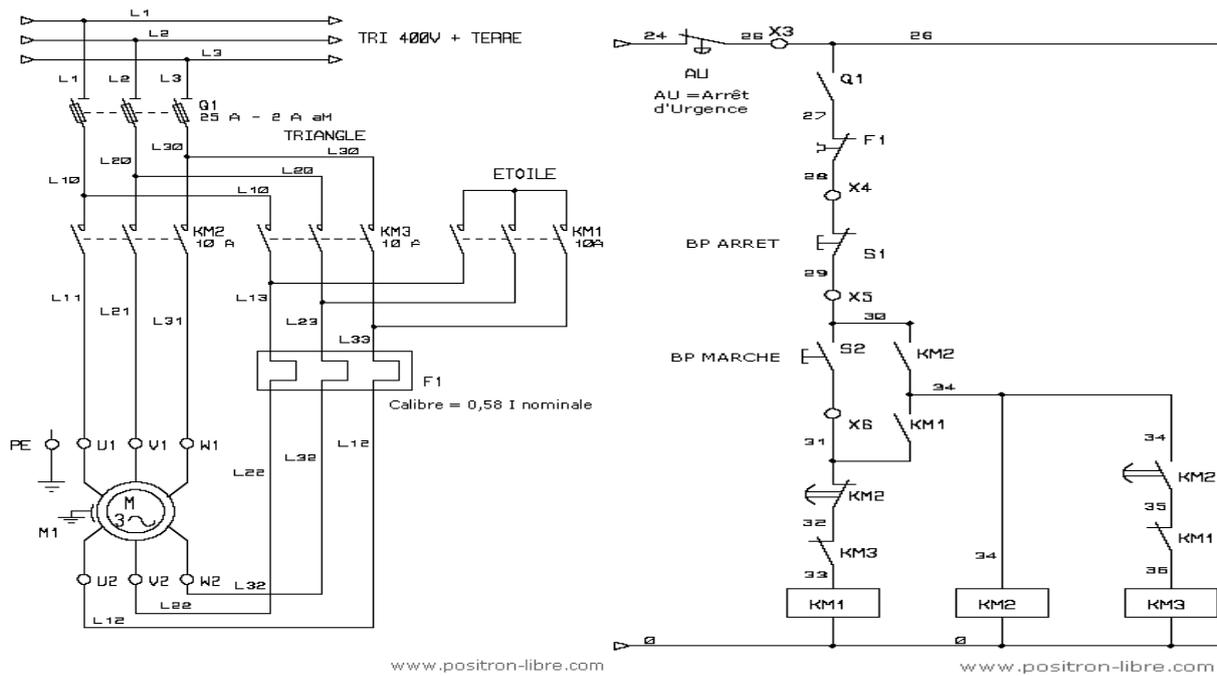


Figure II.18 : Circuit de puissance et de commande d'un démarrage étoile triangle

- ❖ **Avantages :** relativement bon marché, faible complication de l'appareillage et appel de courant réduit au tiers de sa valeur en direct.
- ❖ **Inconvénients :** couple réduit au tiers de sa valeur en direct, coupure entre les positions étoile triangle d'où apparitions de phénomène de transitoire [13].

c. Les différents éléments de protection du moteur

Il existe plusieurs éléments qui assurent la protection des moteurs électrique parmi ces éléments on trouve principalement le disjoncteur moteur qui assure la protection du moteur ventilateur et le moteur alimentant la tour de refroidissement dans raffinerie d'huile ce vital.

❖ **Disjoncteur moteur**

Le disjoncteur moteur permet le sectionnement du circuit en aval. Il assure la protection thermique réglable en cas de dépassement du courant nominal du moteur pendant un certain temps (surchage), protection magnétique (surintensité dans le moteur). Il se déclenche en cas de déséquilibre de phase (figure II.19) [14].

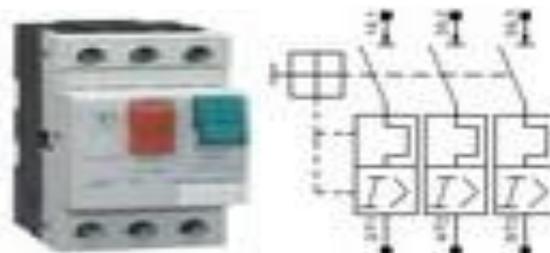


Figure II.19 : Schémas et symbole d'un disjoncteur moteur

II.6. Les éléments associés à la tour de refroidissement

Les éléments associés à la tour de refroidissement sont les groupes motopompe, les échangeurs à plaques, les vannes à papillons ainsi que deux instruments de mesures.

II.6.1. Groupe motopompe

Le groupe motopompe est un ensemble composé d'un moteur électrique asynchrone triphasé entraînant une pompe centrifuge (Figure II.20).



Figure II.20 : Groupe motopompe

Les pompes sont installées dans un endroit permettant l'accès facile, l'inspection et la maintenance. Leur rôle consiste à faire circuler l'eau.

II.6.2. Les échangeurs intermédiaires

En aval des pompes, on dispose d'un système de refroidissement avec des échangeurs de chaleur à plaques (Figure II.21), qui permet l'échange thermique entre le fluide de la tour et celui du côté processus sans contact direct. Leur but consiste à maintenir la température d'eau inférieure à 32°C.



Figure II.21 : Echangeur à plaques

II.6.3. Vanne à papillon

Les vannes à papillons sont des dispositifs placés à la sortie des tours de refroidissement, et des pompes elles sont utilisées pour arrêter ou réguler un liquide, la vanne à papillon (figure II.22) à une ouverture facile et rapide. Une rotation de 90° de la poignée permet la fermeture ou l'ouverture complète de la vanne [15].

**Figure II.22 : Vanne à papillon**

II.6.4. Instruments de mesure

Les deux instruments de mesure utilisés pour la tour de refroidissement sont les manomètres et les thermomètres.

II.6.4.1. Indicateur de pression (manomètre)

Les manomètres associés à la sortie des groupes motopompe des tours de refroidissement sont des appareils qui permettent de mesurer la pression du fluide (eau). L'augmentation de la pression dans le manomètre est reliée principalement à l'encrassement et le colmatage détecté dans la tour de refroidissement (corps d'échange) ainsi que l'échangeur associé à la tour. Ce qui cause une diminution de débit d'eau provoquant ainsi un mauvais refroidissement.

II.6.4.2. Indicateur de température (thermomètre)

Les thermomètres sont des appareils qui servent à mesurer et afficher la valeur de la température, ils sont utilisés pour mesurer la température désirée de fluide (eau) à l'entrée de l'échangeur. La variation de la température (augmentation) est due soit à l'encrassement des persiennes (passage d'air) d'entrée d'air soit à un problème au niveau de l'extracteur de chaleur.

II.7. Conclusion

Les échangeurs de chaleur constituent des composants essentiels pour le groupe industriel agroalimentaire CEVITAL, notamment pour le raffinage des huiles.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les échangeurs de chaleur d'une manière général, ensuite détaillé le cas de la tour de refroidissement à circuit ouvert, son principe de fonctionnement, ces principaux éléments ainsi que les différents éléments associé.

Le refroidissement est considéré comme une partie intégrante de la gestion énergétique dans l'industrie, il permet d'extraire la chaleur en excès pour permettre le bon déroulement du processus, la complexité de système et l'environnement agressive au quelle est exposé conduira à déférents mode et mécanisme de défaillances, il est donc nécessaire de faire une étude détaillé sur l'origine des dysfonctionnements afin d'opter à des solutions durables.

*Chapitre 3 : analyse
quantitative des
dysfonctionnements dans la
tour de refroidissement*

III.1. Introduction

Les tours de refroidissement sont largement utilisées dans la plupart des industries, notamment dans le raffinage de l'huile. Leur rôle consiste à refroidir l'eau du processus et rejeter la chaleur dans l'air environnant. Cependant, les tours de refroidissement peuvent subir des défaillances et des dommages conduisant à l'arrêt du processus.

Pour pouvoir analyser les défaillances des composants de la tour de refroidissement et ses éléments associés. L'analyse ABC est utilisée, à partir de la liste des OT (ordre du travail). Il s'agit donc d'une méthode qui permet de classer les défaillances les plus importantes au moins importantes en trois classes (A, B et C). Puis proposer un ensemble de solutions pour contribuer à la prévention des dysfonctionnements trouvés dans la tour de refroidissement.

III.2. Mode et mécanisme de défaillance

Le mode de défaillance est la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise [16].

III.2.1. Définition de la défaillance

La défaillance est la cessation soudaine de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Un produit connaît une défaillance lorsqu'il n'est plus en mesure de remplir ses fonctions. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Les synonymes usuels non normalisés relative à la défaillance : dysfonctionnements, dommages, dégâts, anomalies, avaries [17].

III.2.2. Mode de défaillances mécanique

III.2.2.1. Défaillances mécanique dues à la matière

Ce genre de défaillance est dû à la présence de défauts dans la structure cristallin de matériau ces défauts peuvent être initiés par le procédé d'obtention de la pièce ou par déformation permanente sous différentes contraintes [16].

III.2.2.2. Défaillance mécanique par détérioration de surface

Dans ces familles de mécanisme de défaillance, nous pouvons distinguer en général [16] :

- ❖ Détérioration de la surface fonctionnelle.
- ❖ Roulement et fatigue de contact.
- ❖ Frottement et usure.
- ❖ Défaillances mécanique par déformation plastique.
- ❖ Défaillance par rupture.

III.2.3. Mode de défaillance par corrosion

La corrosion est l'une des formes de dégradation de structure les plus fréquentes. Le mécanisme de corrosion de base est la corrosion électrochimique, mais ils existent plusieurs

autres formes. Nous pouvons citer la corrosion électrochimique, chimique, électrique et la corrosion bactérienne [16].

III.3.4. Mode de défaillance électrique

La plupart des mécanismes de défaillance appartenant à cette famille de mode de défaillance sont de nature électrique, ce qui les laisse difficiles à prévenir. Parmi les mécanismes de défaillances électriques existant, nous pouvons citer la rupture de liaisons électriques, collage ou usure des contacts ainsi que le claquage [16].

III.3. Principales défaillances de la tour de refroidissement

D'après l'étude que nous avons menée sur la tour de refroidissement et ces équipements au sein de la raffinerie d'huile CEVITAL. Nous avons listé les défaillances de nature (mécanique, électrique, instrumentation et automatisme). Nous avons mentionné dans cette présente partie les principaux problèmes rencontrés dans la tour de refroidissement et les éléments associés à la tour qui ont relation avec les phénomènes d'encrassement, colmatage, corrosion et surcharge des moteurs.

III.3.1. L'encrassement

L'encrassement qui sous sa forme la plus générale, peut être défini comme l'accumulation d'éléments solides indésirables sur une interface. Ce dépôt qui évolue dans le temps, peut être constitué de cristaux, de sédiments, de résidus biologiques, des produits d'une réaction chimique ou bien encore être la combinaison de plusieurs de ces éléments, c'est le phénomène le plus fréquent dans les équipements de la tour de refroidissement [18].

L'encrassement des corps d'échange et les échangeurs de chaleur à plaque est un phénomène lié principalement aux dépôts des AGI (acide gras libre), qui circule dans le fluide à refroidir ce qui réduit la section de passage du fluide et diminue l'efficacité d'échange thermique (figure III.1).



Figure III.1: L'encrassement dans le corps d'échange et l'échangeur à plaques

L'encrassement peut être aussi causé par le dépôt des poussières qui s'attachent sur les persiennes d'entrée d'air ce qui réduit le débit d'air (figure III.1).



Figure III.2: L'encrassement dans le perssienne

III.3.1.1. L'influence de l'encrassements sur la tour de refroidissement

Des efforts considérables sont fournis pour analyser le phénomène d'encrassement durant le fonctionnement, l'échangeur de chaleur et le corps d'échange devient encrassé avec l'accumulation des dépôts d'une ou plusieurs espèces sur les surfaces de transfert de chaleur. En conséquence, la résistance thermique augmente, ceci fait baisser les performances de la tour et l'échangeur.

La couche d'encrassement bloque et réduit la section de passage du fluide et augmente la surface rugueuse, est ainsi réduit le taux de transfert de chaleur.

Les inconvénients économiques de l'encrassement sont attribués à de grosses pertes d'énergie provoquées par l'inefficacité thermique, de grosses pertes de production, durant la période d'arrêt pour le nettoyage ainsi que le coût élevé de maintenance pendant la période de nettoyage des persiennes d'entrée d'air les corps d'échange et les échangeurs, par conséquent il est très important de considérer ce phénomène d'encrassement pour être en mesure de choisir un échangeur thermique qui ait les dimensions appropriées, car l'encrassement peut réduire considérablement la capacité de transmission de chaleur et d'augmenter la pression [18].

III.3.2. Le colmatage

Par définition, le colmatage (figureIII.3). est le phénomène par lequel un système poreux ou filtrant se retrouve bouché ou jointés, empêchant le passage du fluide qui pouvait le traverser. Le colmatage est causé par le non-respect de programme de la maintenance (entretien, nettoyage). Le corps d'échange et l'échangeur de chaleur devient complètement colmaté ce qui bloque définitivement le passage de l'eau, provoquant par la suit l'augmentation de la température de l'eau à refroidir, ce qui conduit à un problème d'échange thermique au niveau de l'échangeur.



Figure III.3: Colmatage dans le corps d'échange

III.3.3. La corrosion du bassins de recuperation

La corrosion est l'un des principaux défis rencontrés avec les tours de refroidissement, c'est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement. Les produits qui se forment et s'accumulent sur la surface créent l'encrassement [18]. La corrosion atteint essentiellement le bassin de récupération de la tour de refroidissement et les plaques de l'échangeur de chaleur, ce qui réduit l'efficacité de l'échange thermique (figure III.4).



Figure III.4: Corrosion dans le bassin de recuperation

III.3.4. Surcharge de moteur du ventilateur

La surcharge est une élévation de l'intensité de courant nominal d'un circuit. Ce qui provoque un échauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques et des isolants [19].

Les surcharges des moteurs du ventilateur sont peut-être causées par le frottement des pales à l'intérieur du cylindre du ventilateur ou un problème de déséquilibre de la poulie ou des pales, ainsi que, par la mauvaise lubrification des paliers. L'ensemble de ces causes peut conduire à une augmentation du couple résistant du moteur. L'augmentation du taux d'humidité causant la présence d'eau dans la courroie peut aussi engendrer un glissement menant à une surcharge des moteurs.

III.4. Classification des défaillances de la tour de refroidissement

Dans cette présente partie, nous avons classifié les défaillances des tours de refroidissement, selon trois critères : le nombre, la durée et le coût. Les données ont été tirées à partir d’une liste des OT (ordre de travail), dans la période allant de janvier 2014 jusqu’à juin 2019 (Annexe1)

III.4.1. Classification des défaillances selon le nombre la durée et le coût

Le tableau III.1 illustre une classification des défaillances des tours selon leur nature (mécanique, électrique, instrumentation et automatisme) et selon trois critères (nombres, durées et selon leur coûts).

Tableau III.1 : Classification des défaillances des tours selon le nombre la durée et le coût

Nature de défaillance	Nombre de défaillance	Durée (h)	Coût (DA)
Mécanique	91	919,80	8 485 149,76
Electrique	31	256,18	220 605,17
Instrumentation	12	42,35	340 937,79
Automatisme	1	80,66	880 832,40
Total	135	1 298,99	9 927 525,11

III.4.2. Classification des défaillances selon le nombre

Le diagramme de la figure III.5, donne une répartition du nombre de défaillances par leur origine d’apparition. Les tours de refroidissement étant en général constituées de composants mécaniques, le risque de défaillances d’origine mécanique est plus élevé d’autant plus qu’ils sont exposés à un environnement agressif, ce qui explique le pourcentage important (67%). Les composants électriques quant à eux sont protégés (généralement installés dans des armoires électriques), le risque d’apparition de défauts de nature électrique est moins élevé que ceux de nature mécanique, d’où un pourcentage de 23%. Le pourcentage réduit des défaillances des composants d’instrumentation et d’automatisme (9% et 1% respectivement) est principalement liée à leur robustesse.

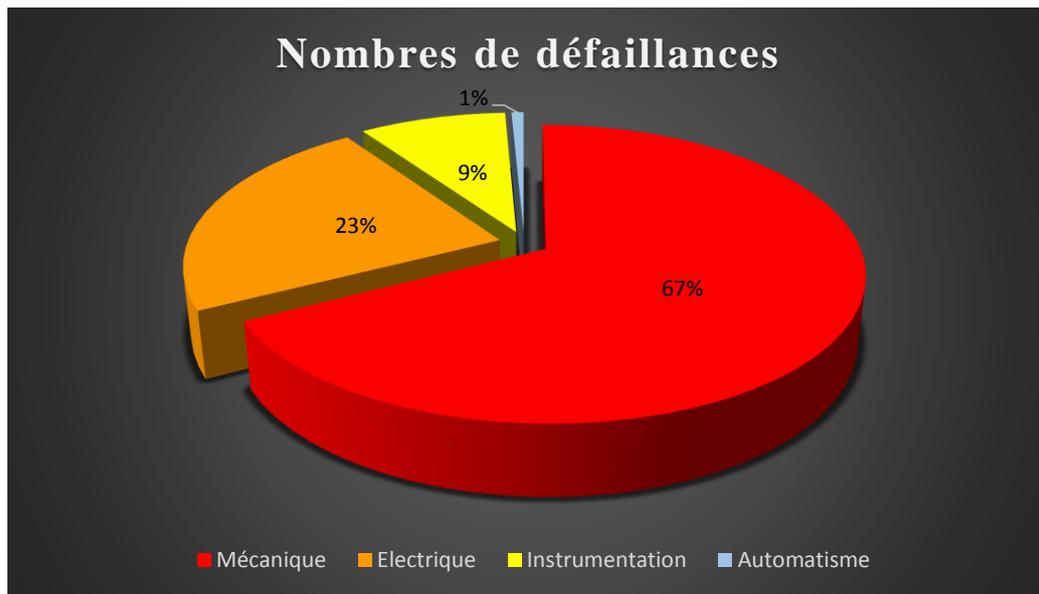


Figure III.5: Répartition des défaillances selon le nombre

III.4.3. Classification des défaillances selon la durée

Le diagramme de la figure III.6, présente la proportion des durées de défaillances. Le graphique dégage des proportions inégales. En effet le graphique laisse apparaître une très grande proportion (71%) pour les durées de défaillance d'origine mécanique. Cela est dû au fait que les composants mécaniques sont plus complexe et nécessitent un démontage afin de les réparer, contrairement aux composants électriques qui sont, en général, plus accessible. C'est pour cela que 20% sont accordés aux durées de défaillances d'origine électrique. La proportion des durées de défaillances dues à l'automatisme et l'instrumentation est de l'ordre de 6% et 3% respectivement vu leur nombre réduit de défaillances.

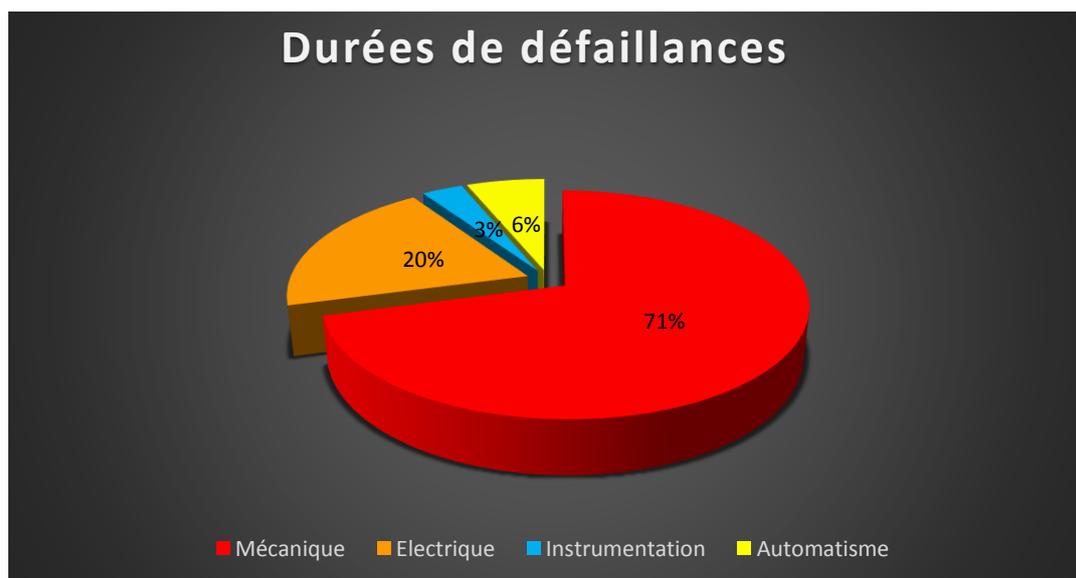


Figure III.6: Répartition des défaillances selon la durée

III.4.4. Classification des défaillances selon le coût

Le diagramme de la figure III.7 représente une classification des défaillances selon leurs coûts. Les composants mécaniques sont spécifiques ce qui explique la proportion importante associée aux défaillances d'origine mécanique (86%). Le nombre des composants d'origine automatique est moins important par contre leur coût est élevé, c'est pour cela que leur pourcentage est de l'ordre de 9%. Les coûts de défaillance dus à l'instrumentation et d'origine électrique, sont presque égaux ils sont de l'ordre de (3% et 2%) en raison de la disponibilité des composants (standard)

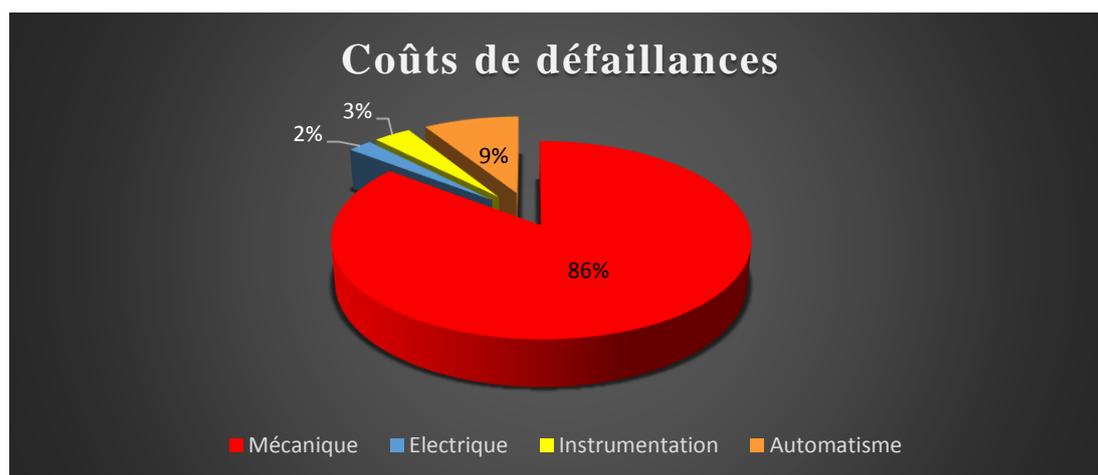


Figure III.7: Répartition des défaillances selon le coût

III.5. Analyse ABC des défaillances de la tour de refroidissement

III.5.1. La méthode ABC

L'analyse ABC est une autre forme de règle de Pareto (80-20). Elle consiste à classer un référentiel par ordre décroissant des sorties. On se base sur l'idée communément admise qu'environ 20% des causes représentent 80% des effets. Lors d'une analyse il est donc primordial de s'attaquer en priorité à ces références. En complément de la méthode de Pareto, l'analyse ABC catégorise les produits en trois classes :

- ❖ Classe A : 20% des causes représentent 80% des effets (très importants)
- ❖ Classe B : 30% des causes représentent 15% des effets (importants)
- ❖ Classe C : 50% des causes représentent 5% des effets (moins importants ou non importants) [20].

III.5.2. Classification des défaillances des éléments de la tour

Pour pouvoir faire une analyse ABC des défaillances des éléments constituant la tour de refroidissement et les éléments associés à cette dernière, nous avons d'abord classé le nombre, la durée et le coût de défaillances des principaux éléments constituant la tour (tableau III.2).

Tableau III.2 : Classification des défaillances des éléments de tour selon le nombre la durée et coût

Les éléments de la tour	Nombre de défaillance	Durée (h)	Coût (DA)
Groupe moto pompe	63	555,76	2141217,06
Moteur de ventilateur	22	195,8	1526525,76
Corps d'échange	9	238,5	120137,32
Flotteur	5	17,08	32658,82
Séparateur de gouttelette	1	28	5696,92
Grille de protection	4	23,08	4182,02
Persienne	5	14,5	727893,16
Echangeur de chaleur	22	203,25	5282227,41
Bassin de récupération	4	15,75	66798,34
Buses de pulvérisation	0	0	0
Total	135	1 298,99	9 927 525,11

III.5.3. Analyse ABC selon le nombre de défaillances

Le tableau III.3 ci-contre montre l'analyse statistique des nombres défaillances des éléments de la tour et les trois zones ABC.

❖ La loi de l'analyse ABC

%Cumul nombre de défaillance = (Nombre de défaillances/totale des défaillances)*100%

Tableau III.3: Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon le nombre

Les éléments de la tour	Nombre de défaillance	Cumule nombre de défaillance	% Cumul nombre de défaillance	Zone
Groupe moto pompe	63	63	47%	A
Moteur de ventilateur	22	85	63%	A
Echangeur	22	107	79%	A
Corps d'change	9	116	86%	B
Flotteur	5	121	90%	B
Persienne	5	126	93%	B
Grille de protection	4	130	96%	C
Bassin de récupération	4	134	99%	C
Séparateur de gouttelette	1	135	100%	C
Buses de pulvérisation	0	135	100%	C

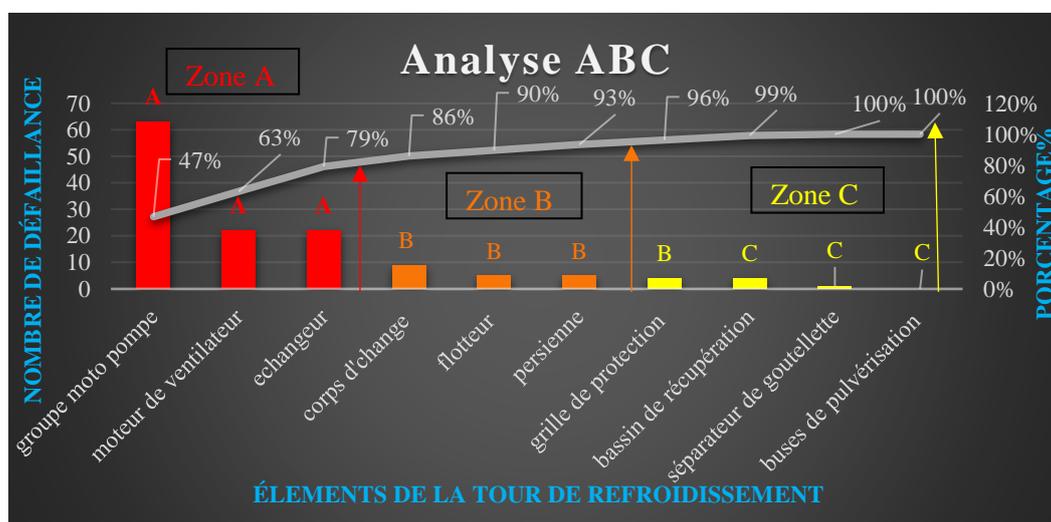


Figure III.8: Graphique ABC des nombre de défaillance des éléments de la tour

La figure III.8 montre que les domaines à plus forts impacts se situent dans la partie gauche du graphique. Nous pouvons observer que dans la zone A, trois des éléments de la tour (groupe motopompe, moteur de ventilateur et l'échangeur) représentent quasiment 80% du nombre de défaillances. Ces causes méritent une analyse approfondie pour définir des actions correctives. Dans la zone B, quatre des éléments de la tour (corps d'échange, flotteur, persienne

et grille de protection) représentent 15% de la totalité des défaillances. Pour ce qui est de la zone C, trois des éléments de la tour (bassin de récupération, séparateur de gouttelette et les buses de pulvérisation) représente une minorité de défaillance qui est de l'ordre de 5%.

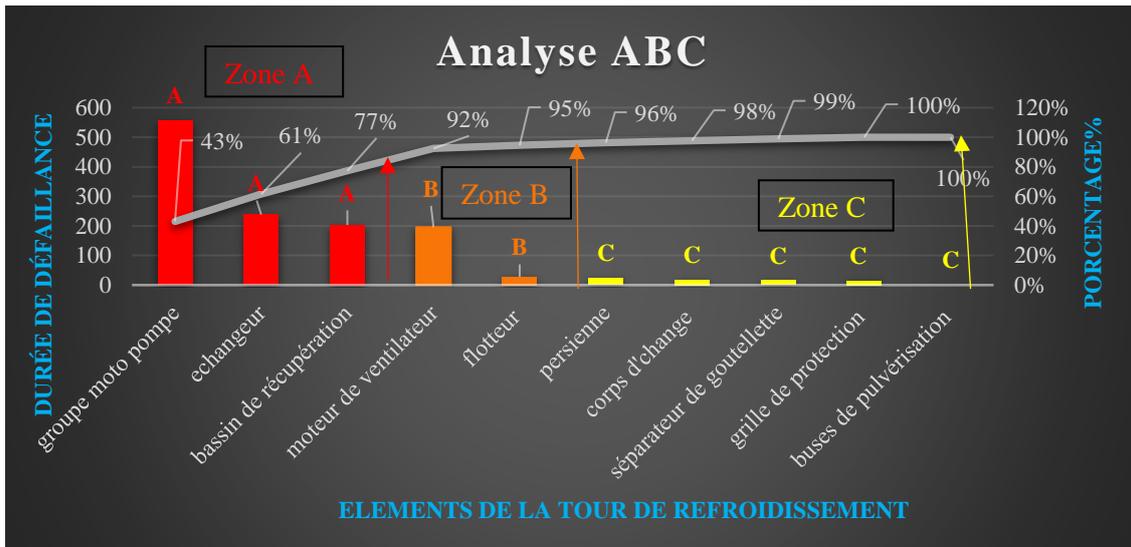
Le nombre de défaillance est important dans la classe A étant donné que les composants se trouvant dans cette zone sont complexe. De plus, l'échangeur de chaleur est exposé à un environnement agressif. Dans la classe B et C le nombre de défaillances est moins important car une maintenance préventive annuelle est appliquée à tous les autres éléments constituant la tour de refroidissement.

III.5.4. Analyse ABC selon la durée de défaillances

Le tableau III.4 ci-dessous montre l'analyse statistique des durées défaillances des éléments de la tour et les trois zones ABC.

Tableau III.4 : Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon la durée

Les éléments de la tour	Durée de défaillance	Cumul de durée	%Cumul de durée	Zone
Groupe moto pompe	555,76	555,76	43%	A
Echangeur de chaleur	238,5	794,26	61%	A
Bassin de récupération	203,25	997,51	77%	A
Moteur de ventilateur	195,8	1193,31	92%	B
Flotteur	28	1221,31	95%	B
Persienne	23,08	1244,39	96%	C
Corps d'échange	17,08	1261,47	98%	C
Séparateur de gouttelette	15,75	1277,22	99%	C
Grille de protection	14,5	1291,72	100%	C
Buses de pulvérisation	0	1291,72	100%	C



FigureIII.9: Graphique ABC de la durée des défaillances des éléments de la tour

D'après la figureIII.9 nous constatons que dans la zone A, trois éléments de la tour (groupe moto pompe, échangeur et bassin de récupération) représentent (80%) des durées des défaillances, c'est une zone de priorité. Dans la deuxième tranche (zone B), les deux éléments de la tour suivants (moteur du ventilateur et le flotteur) ne dure que (15%). Dans la dernière tranche (zone C), les quatre éléments restant (persienne, corps d'échange, séparateur de gouttelette, grille de protection et les buses de pulvérisation) n'induisant que (5%) des durée. En conséquence des actions préventives s'imposent en priorité sur les éléments de la classe A.

Dans la zona A la durée de défaillances des groupes motopompe et les échangeurs de chaleur est très importante. En effet, ces composants n'ont pas une grande influence sur la disponibilité de système étant donné qu'ils sont redondants. Les équipes de maintenance peuvent donc prendre leurs temps pour la réparation de ces défaillances. Concernant la durée le bassin de récupération, sa durée de réparation est élevée vu sa faible accessibilité où sa réparation nécessite le démontage de plusieurs autres éléments et son remplacement nécessite l'utilisation de lourd moyens.

III.5.5. Analyse ABC selon le coût de défaillances

Le tableau III.5 ci-dessous, montre l'analyse du coût de défaillances des éléments de la tour et les trois zones ABC.

Tableau III.5: Analyse ABC des défaillances des éléments de la tour selon le coût

Les éléments de la tour	Coût	Cumul de coût	%Cumul de coût	Zone
Séparateur de gouttelette	5282227,41	5282227,41	53%	A
Groupe moto pompe	2141217,06	7423444,47	75%	A
Echangeur	1526525,76	8949970,23	90%	B
Corps d'échange	727893,16	9677863,39	98%	C
Bassin de récupération	120137,32	9798000,71	99%	C
Grille de protection	66798,34	9864799,05	100%	C
Moteur de ventilateur	32658,82	9897457,87	100%	C
Flotteur	5696,92	9903154,79	100%	C
Persienne	4182,02	9907336,81	100%	C
Buses de pulvérisation	0	9907336,81	100%	C

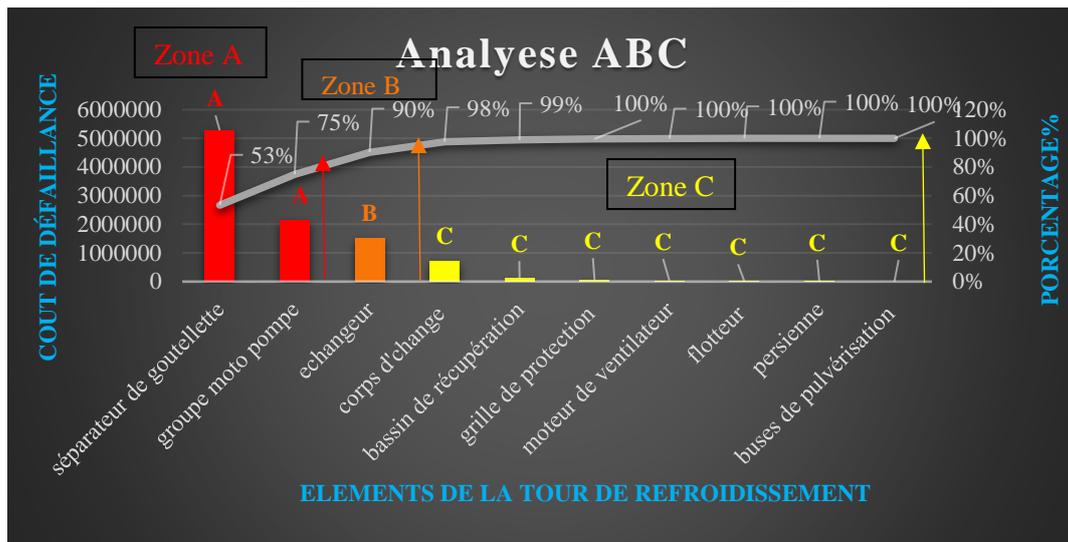


Figure III.10: Graphique ABC des coûts de défaillance des éléments de la tour

D'après la figure III.10 nous constatons que dans la zone A, deux éléments de la tour (séparateur de gouttelette groupe motopompe) présentent (80%) de la totalité des réparations des coûts de défaillances. Dans la zone B, un élément de la tour (échangeur) présente (15%) de la totalité des réparations des coûts de défaillances. Alors que dans la zone C présentent (5%) de la totalité des coûts de défaillance.

Le coût élevé des défaillances des séparateurs de gouttelettes est dû au coût élevé de leurs composants. Celui des groupes motopompes est dû au nombre élevé de leurs défaillances.

III.6. Contribution à la prévention des dysfonctionnements de la tour de refroidissement

Tous les phénomènes capables de diminuer le rendement et les performances des tours de refroidissement doivent être maîtrisés, c'est le cas de l'encrassement, colmatage, corrosion et surcharge des moteurs.

III.6.1. Problème de l'encrassement et du colmatage

L'encrassement et le colmatage dans les tours de refroidissement et les échangeurs de chaleur est un problème qui se traduit par une perte de performance assez importante, le contrôle de ces phénomènes a pour but de prévoir le bon moment pour le nettoyage des équipements, ce contrôle peut être fait par mesure des paramètres de fonctionnement aux bornes des échangeurs de chaleur en utilisant des instruments de mesures tels que le manomètre et les thermomètres [21].

III.6.1.1. Méthode du nettoyage de l'encrassement et du colmatage

Les meilleures conditions de nettoyage s'obtiennent avec le système CIP, (voulant dire nettoyage sur place). Ces systèmes offrent un nettoyage rapide, efficace et fiable pour tous les

éléments de la tour de refroidissement. C'est une méthode qui nettoie complètement les pièces des tours sans démanteler l'appareillage [22].

❖ **Principe du nettoyage avec CIP**

Une solution de soude caustique de 2% de concentration est préparée dans le bassin de la tour de refroidissement, puis le CIP est lancé par une pompe pendant une durée moyenne de trois heures en boucle fermée de telle sorte à atteindre tous les éléments exposés au colmatage et l'encrassement. Enfin, un rinçage à l'eau se fait pour nettoyer le reste du produit basique sur les éléments de la tour.

La même procédure est répétée en utilisant une solution d'acide citrique de 2% de concentration suivie d'un rinçage à l'eau [2].

III.6.1.2. Problème de corrosion

L'eau utilisée comme fluide de refroidissement contient des AGL (acides gras libres), ce qui occasionne souvent des problèmes considérables de corrosion dans les bassins de récupération des tours de refroidissement et les échangeurs de chaleur à plaque. Pour minimiser le taux de corrosion un Ph-mètre est installé pour réduire l'acidité de fluide de refroidissement et ainsi diminuer l'agressivité de l'environnement.

Il est aussi possible de prévenir le problème de corrosion en optant pour des matériaux plus résistants à la corrosion.

a. Régulation du pH de fluide

La régulation de pH du fluide se fait par un pH-mètre qui affiche la valeur de pH à travers une sonde placée à l'intérieur de réservoir qui comporte le fluide à refroidir (eau). Lorsque le pH est inférieur à 7 il envoie un signal à l'automate qui commande la pompe de dosage, cette dernière se déclenche et aspire la soude caustique à l'intérieur d'une cuve et l'injecte dans le réservoir d'eau, dès que le pH atteint l'intervalle entre [7-9] la pompe s'arrête, ce qui permettra de réguler le pH (figure III.11).



Figure III.11: Régulation de pH

b. Changement de matériaux

Le phénomène de corrosion est aussi pris en compte lors de la conception d'un échangeur. Un des moyens de le minimiser est d'utiliser des matériaux plus onéreux et plus résistants que l'acier galvanisé telle que l'inox. Il faut donc s'attendre à ce que le coût d'un tel échangeur soit plus élevé que celui d'un échangeur classique. Une étude économique est à prévoir pour comparer le coût de la modification à celui des défaillances causées par la corrosion.

III.6.1.3. Problème de surcharge du moteur du ventilateur

Les surcharges des moteurs du ventilateur peuvent conduire à l'arrêt de fonctionnement du ventilateur (extraction de chaleur), ce qui provoque ainsi un mauvais refroidissement. Pour éviter ce phénomène nous proposons les solutions suivantes :

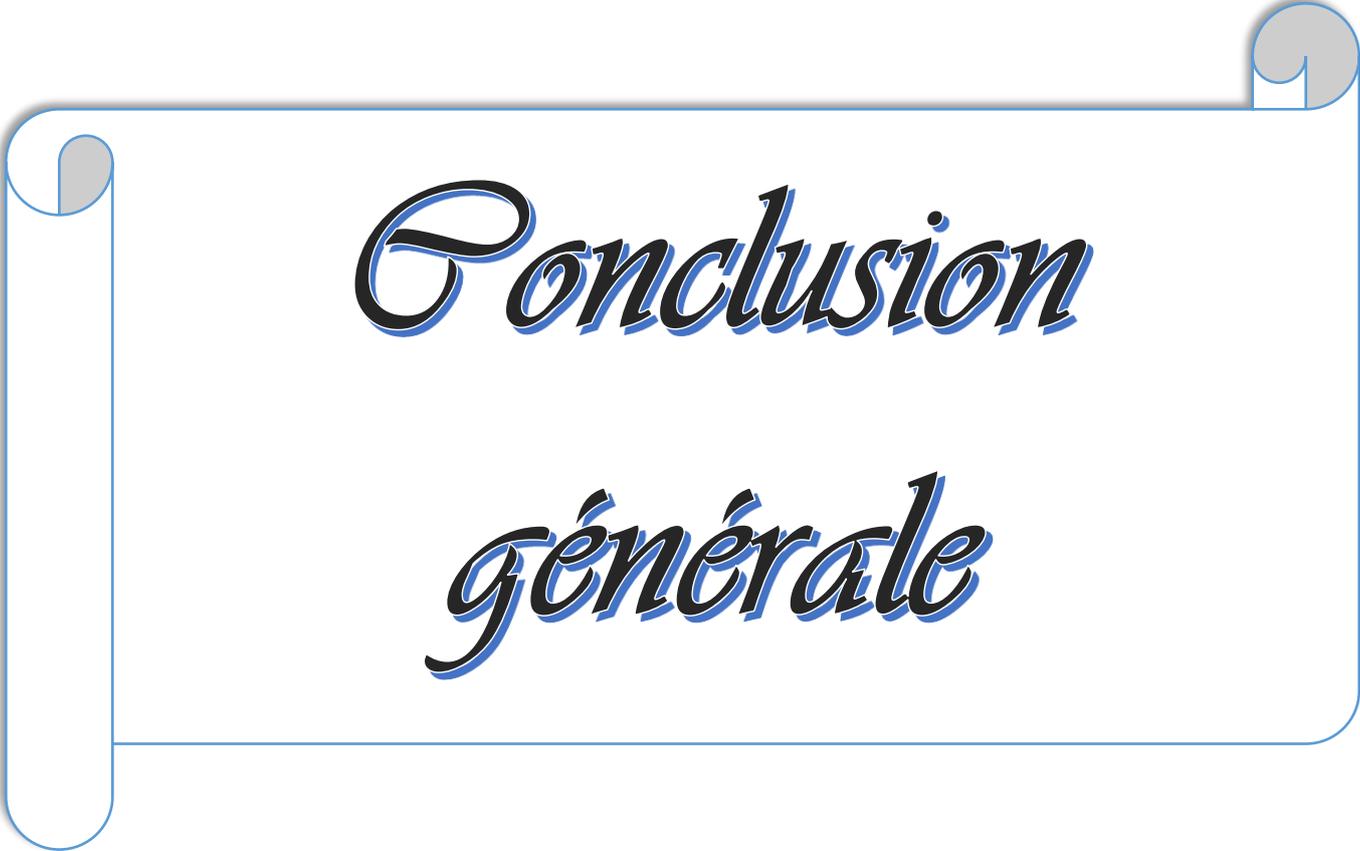
- ❖ Installation d'un capteur de vibrations pour détecter les problèmes d'alignement entre le moteur et le ventilateur.
- ❖ Vérification de l'étanchéité et graissage récurrent des paliers pour prévenir des problèmes de mauvaise lubrification.
- ❖ Vérification du bon fonctionnement des séparateurs de gouttelettes pour empêcher le passage d'humidité vers la courroie.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons listé les dysfonctionnements existant dans la tour de refroidissement et ces éléments associés, suivi d'une classification des défaillances selon leurs natures (mécaniques, électriques, instrumentation et automatisme). Comme la plus part des éléments constituant la tour sont mécanique, les défaillances les plus importantes sont donc d'origine mécanique.

L'analyse ABC nous permet de classer les défaillances des éléments de la tour selon le nombre, la durée et le coût. Les résultats de cette dernière indiquent que le nombre de défaillance n'est pas proportionnel à la durée et le coût. En effet, le nombre de défaillance est moins important pour quelques éléments de la tour, alors que leurs durées et leurs coûts sont élevés. Cela est dû au fait que ces pièces sont indispensables et nécessitent un remplacement immédiat pour éviter l'arrêt de la production.

Pour remédier aux problèmes les plus pertinents, un ensemble de solutions pour la prévention de ces dysfonctionnements est proposé. L'application de ces recommandations pourra contribuer à améliorer la fiabilité et assurer une bonne rentabilité de processus de raffinage de l'huile.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey shading on the top and bottom edges, containing the text.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Le travail que nous avons effectué, dans le cadre de ce projet, consiste à une analyse des dysfonctionnements des tours de refroidissement de la raffinerie d'huile CEVITAL. Ce projet a été très enrichissant tant du point de vue personnel que professionnel.

Les tours de refroidissement sont indisponibles dans les industries agro-alimentaires plus particulièrement dans la raffinerie de l'huile, elles ont pour objet d'évacuer vers le milieu extérieur la chaleur issus d'un système de refroidissement, en pulvérisant l'eau chaude dans un flux d'air froid. Le contacte entre les deux fluides permet de refroidir l'eau grâce à l'évaporation d'une partie d'eau pulvérisée afin, de permettent le bon déroulement de processus et assurer la continuité de la production. Néanmoins, lors du fonctionnement, les tours de refroidissement, subissent des dysfonctionnements tels que, les problèmes de colmatage, encrassement, corrosion ainsi que les surcharges des moteurs.

L'encrassement et le colmatage des corps d'échange et les persiennes d'entrée d'aire de la tour de refroidissement et les échangeurs de chaleur à plaque est un problème économique qui se traduit par une perte de performances assez importante. Le contrôle de ce phénomène a pour but de prévoir le bon moment pour le nettoyage des équipements. Ce contrôle peut être fait par moyen de mesure des paramètres de fonctionnement aux bornes des échangeurs de chaleurs en utilisant des instruments de mesures les manomètres et les thermomètres.

D'après la classification des défaillances, selon leurs nature (électrique mécanique instrumentation et automatisme), nous avons constaté que les plus part des défaillances sont d'origine mécanique étant donné que, la majorité des composants de la tour sont mécaniques.

L'analyse ABC appliqué aux défaillances des tours de refroidissement, nous a permis de classifier les défaillances, selon trois critères le nombre, la durée et le coût. Les résultats de cette dernière indiquent que le nombre de défaillances, n'est pas proportionnel à la durée et le coût, cela est lié principalement à la complexité des composants et leurs importances dans le système.

La prévention au dysfonctionnement trouvée dans les tours de refroidissement se fait par un ensemble de solutions :

- ❖ Le nettoyage périodique pour l'encrassement et le colmatage ;
- ❖ L'installation de Ph mètre pour la corrosion ;
- ❖ Changement des matériaux utilisé dans les bassins de récupération ;
- ❖ un ensemble d'instructions pour les surcharges des moteurs.

Pour les perspectives il serait intéressant d'installer un capteur de vibration pour réduire les surcharge des moteurs, ainsi automatisé toute l'installation de refroidissement pour réduire le risque de défaillances.

Le stage pratique effectuée dans la raffinerie de l'huile CEVITAL, nous a permis de nous forger mieux et de bien comprendre le principe de fonctionnement de la tour de refroidissement ainsi que détecter les dysfonctionnements les plus fréquents et leurs causes pour mieux les prévenir.



Bibliographie

Bibliographie

- [1] **A. BONTEMPS, et al** « Description des échangeurs de chaleur », technique de l'ingénieur [B 2 341].
- [2] Documentation interne de CEVITAL
- [3] **K. BOUKHADIA** « Investigation numérique sur l'amélioration du transfert thermique par des générateurs de vortex » thèse de doctorat, 2018.
- [4] **P. Tobaly**, « les échangeurs de chaleurs » France, cours de pascal Tobaly, 2002.
- [5] **A. LALLEMAND** « Les différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations industrielles et tertiaires » Journées internationales de Thermique, Albi, 28-30 août 2007.
- [6] **A. BONTEMPS et al.** « Définitions et architecture générale des échangeurs de chaleur » Université Joseph Fourier, Institut Universitaire de technologie, Département Génie Thermique et Energie (Grenoble) [B 2 340], 10 avril 1995.
- [7] <https://almeco.eu/fr/blog/tours-de-refroidissement-%C3%A0-circuit-ouvert-ferme-%C3%A9-ou-hybride>, consulté en mai 2019.
- [8] <http://www.eurodifroid.fr/produits/tours-de-refroidissement/tour-de-refroidissement-decsa/>, consulté en mai 2019.
- [9] <https://almeco.eu/fr/produits-services/tours-de-refroidissement/composantstower-air-inlet-louver-60227678057.html>, consulté en mai 2019.
- [10] <https://french.alibaba.com/product-detail/cooling-tower-air-inlet-louver-air-inlet-louver-f-or-cooling>, consulté en mai 2019.
- [11] <https://french.alibaba.com/product-detail/quick-stop-automatic-plastic-float-valve-for-cooling-tower-dn40cl-735997108.html>, consulté mai 2019.
- [12] **P. BARRET** « Machines électriques, Théorie et mise en œuvre » Ellipses, éditions Marketing S.A 2002.
- [13] **M. KOSTENKO, L. PIOTROVSKI** « Machines électriques » tome II. Éditions Mir 1979.
- [14] <https://www.technic-achat.com/la-protection-electrique,fr,8,54.cfm>, consulté en mai 2019.
- [15] <https://www.gflow.fr/actualites/15-vanne-a-papillon?fbclid=IwAR34>, consulté en mai 2019.
- [16] **E. Ait Mokhtar** « Mécanisme et mode de défaillance » cours M2, université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2017.

[17] **S.KHALFAOUI** « Méthode de recherche des scénarios redoutés pour l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes mécatroniques du monde automatique » Thèse doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 2003.

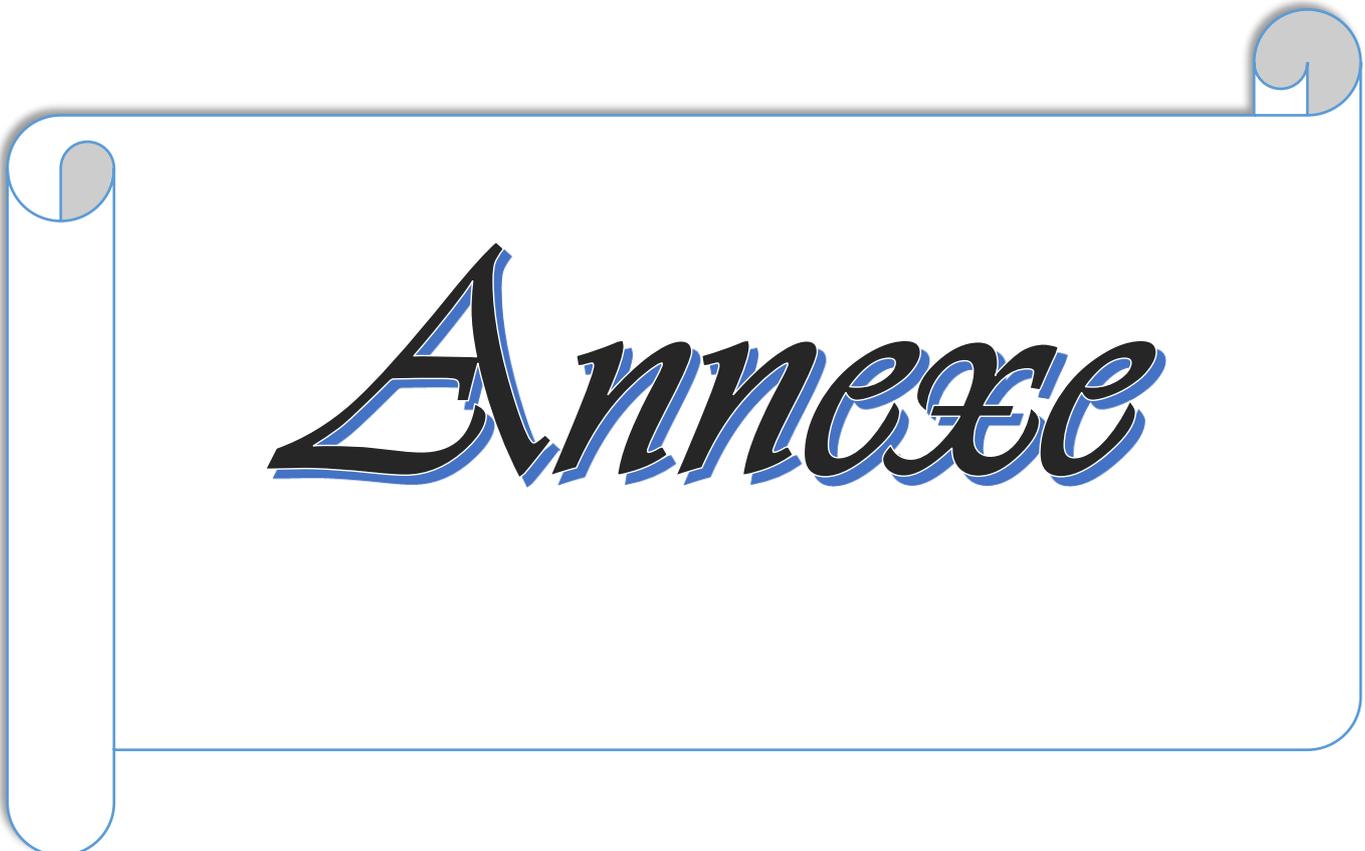
[18] **H. Chérif Sadouk** « Modélisation de l'encrassement en régime turbulent dans un échangeur de chaleur à plaques avec un revêtement fibreux sur les parois » Thèse de doctorat, Université Paris- Est, 2009.

[19] **Schneider Electric** « Guide et solution d'automatisme », ISBN, 2-907314-53, 2007.

[20] **N. SOREL** « La gestion des problèmes et des incidents avec ITIL » Thèse de doctorat, Ecole de technologie supérieure université du Québec, 2007.

[21] **F. Rene, et al** « Encrassement et nettoyage d'un échangeur de chaleur à plaques lors du traitement UHT d'un produit lacté chocolaté », INRA Editions, 1988, 68 (1), pp.85-102. hal-00929120.

[22] <https://www.lenntech.fr/cip-nettoyage.htm>, consulté en juin 2019.



Annexe

Liste des OT (ordre de travail)

Nombre	Description des défaillances	Nature de défaillances	Durée de défaillances	Coût de défaillances
1	Modification du système de commande du ventilateur	AUTOM	80,66	880 832,40
2	Changement de Mano	INSTRU	1,00	9 293,76
3	Fuite sur le bassin	MECA	1,00	21 209,44
4	Le font de la tour fléché et fissuré	MECA	21,00	2 001,30
5	Disjonction des tours P8	ELEC	1,67	467,23
6	Disjonction des moteurs des aeros p8	ELEC	1,33	373,79
7	Tour ne fonctionne pas	ELEC	2,00	560,68
8	Défaut de démarrage	ELEC	3,33	1 422,84
9	Le groupe électropompe ne démarre pas.	ELEC	3,60	1 009,22
10	Disjonction de l'extracteur de la tour de refroidissement.	ELEC	0,50	140,17
11	Mano de pression défectueux	INSTRU	1,00	187,82
12	Mano de pression défectueux	INSTRU	1,00	20 396,64
13	Disjonction répété de la pompe	ELEC	11,34	2 129,88
14	Arrêt les aeros 1et2	ELEC	0,67	125,21
15	Bruit anormal de la pompe de la tour de refroidissement P6	MECA	11,16	3 906,39
16	Disjonction des aeros.	ELEC	1,33	264,81
17	La tour de refroidissement à l'arrêt	ELEC	1,00	198,61
18	manomètre de la tour P8 défaillant.	INSTRU	0,50	140,17
19	manomètre défaillant	INSTRU	1,50	281,73
20	Disjonctions répétées de la Pompe P8	ELEC	0,17	627,47
21	Disjonction répète	ELEC	5,83	23 247,50
22	Le ventilateur ne fonctionne pas en automatique.	ELEC	3,00	841,02
23	Révision du moteur	ELEC	23,50	7 493,09
24	Disjonctions répétées de la pompe p8	ELEC	14,72	3 033,48
25	Disjonction de toute la section	ELEC	0,80	158,88
26	Démarrage des aéros de la P8	ELEC	0,50	140,17
27	Défaut sur le flotteur p08	MECA	3,75	819,98

28	Défaut de démarrage de la tour	ELEC	52,00	97 836,55
29	Disjonction de l'aero.	ELEC	0,80	224,27
30	Fuite d'eau au niveau de la bride eau froid	ELEC	7,33	1 831,71
31	Électrovanne bloqué	ELEC	6,37	1 510,72
32	Moteur grillé	ELEC	10,50	1 981,22
33	disjonction de la pompe	ELEC	22,17	12 707,25
34	Disjonction P6	ELEC	16,83	4 310,38
35	Démarrage des aero P8	ELEC	14,17	4 307,41
36	Raccordement électrique du nouveau doubleaéro	ELEC	13,00	4 084,51
37	Démontage du moteur	ELEC	8,00	1 872,64
38	Démontage du moteur P8	ELEC	9,27	10 195,41
39	Défaut de fermeture de la vanne de communication avec les tours de la ligne 800t	ELEC	1,10	308,37
40	Bipasse de la P8	ELEC	0,67	132,40
41	Révision du moteur de la P08	ELEC	9,50	20 297,57
42	Démarrage	ELEC	2,00	397,21
43	Voyant indication marche de la pompe éteint alors que la pompe est en marche	INSTRU	0,93	261,65
44	Défaut de Régulation de la vanne d'appoint bac des tours.	INSTRU	9,00	159 962,02
45	Indicateur défectueux	INSTRU	0,52	144,84
46	Présence d'un bruit et vibrations énormes au niveau de la pompe.	MECA	35,00	7 411,47
47	Extraction de la bobine coté aspiration de la pompe P6.	MECA	1,00	95,30
48	Bruit au niveau de la pompe	MECA	0,53	149,51
49	la courroie de transmission du refroidisseur est lâchée	MECA	36,00	7 871,76
50	La courroie de transmission de la tour de refroidissement rompue.	MECA	6,00	21 492,79
51	Bourrage des séparateurs de gouttelette	MECA	28,00	5 696,92
52	Révision du palier de la tour	MECA	16,00	63 388,08
53	Débordement d'eau des tours vers l'extérieur	MECA	8,50	2 490,56
54	Changement de la courroie	MECA	3,50	333,55
55	Débordement d'eau au niveau des tours, circuit vers bac colmaté	MECA	3,00	470,94
56	Vibration anormal de l'aero.	MECA	11,00	53 512,39

57	Défaut de refroidissement	MECA	0,00	0,00
58	Diminution de la vitesse de rotation du ventilateur	MECA	2,00	107 903,79
59	Bruit anormal de la pompe 2	MECA	0,50	140,17
60	Défaut de fonctionnement des flotteurs des tours de refroidissement P8 et P18	MECA	3,00	29 252,31
61	Vannes manuelles retour eau propre vers les aeros fuyardes	MECA	7,50	1 177,35
62	Démontage des trappes des tours de refroidissement	MECA	3,00	492,51
63	Vérification du flotteur	MECA	0,33	93,45
64	Renversement des sens des clapets	MECA	3,00	563,46
65	Débordement d'eau sur le caisson bassin	MECA	0,08	42 115,62
66	Inversion des clapets	MECA	4,50	661,19
67	Disjonction de la P08	MECA	20,00	169 829,80
68	Fuite d'eau sur la conduite de refoulement pompe	MECA	4,00	178 118,77
69	Bruit anormal de pompe p6	MECA	12,50	1 987,15
70	Remplacement d'un totaliseur d'eau	MECA	0,00	106 240,66
71	Bruit Anormal de pompe.	MECA	0,50	127,24
72	Remplacement d'un totaliseur d'eau osmose	MECA	0,00	62 746,49
73	Bruit anormal au niveau de la pompe p6	MECA	22,50	18 667,49
74	Fuite d'eau au niveau de la bride eau froid	MECA	2,00	375,64
75	changement d'un flotteur	MECA	6,00	1 475,16
76	changement d'un flotteur	MECA	4,00	1 017,92
77	Fuite d'eau au refoulement de la pompe eau propre	MECA	24,00	28 801,61
78	Bruit anormal et fuite importante d'eaux au niveau de la pompe P8.	MECA	4,00	17 582,27
79	Changement de la vanne d'appoint du bac d'eau propre	MECA	2,00	190,60
80	Inversement des deux clapés du circuit de retour vers les aero	MECA	2,50	404,90
81	Changement d'une vanne pompe	MECA	5,25	25 322,57
82	Renversement des sens des clapets (pompe)	MECA	1,85	417,82
83	Fuite d'eau au niveau du manomètre du refoulement de la pompe d'alimentation de la tour de refroidis	MECA	0,57	54,00
84	Manomètre défectueux	MECA	1,03	62 336,88

85	Défaut de refoulement de la pompe	MECA	4,00	751,28
86	Changement de garnissage	MECA	65,00	7 627,12
87	Mauvais refroidissement	MECA	0,50	140,17
88	Changement des courroies	MECA	21,00	1 197 665,67
89	Installation d'une courroie sur la nouvelle tour de refroidissement	MECA	2,50	636,20
90	Pression faible ou refoulement. (pompe)	MECA	0,33	93,45
91	Fuite sur la trappe	MECA	6,17	772,72
92	Remontage des grilles	MECA	11,50	1 805,27
93	Mise en place des grilles d'aération	MECA	1,83	174,72
94	Fuite sur la garniture mécanique de la pompe p8	MECA	41,17	110 040,65
95	La pompe ne refoule pas	MECA	25,00	69 450,59
96	Changement du garnissage de la tour de refroidissement	MECA	3,00	518,24
97	Colmatage de l'entrée d'air	MECA	4,50	1 016,33
98	Démontage des grilles.	MECA	4,50	1 016,33
99	Démontage des grilles pour Nettoyage.	MECA	5,25	1 185,71
100	Changement des persiennes	MECA	0,00	0,00
101	Fuite d'eau au niveau de la garniture de la pompe p8	MECA	11,00	12 160,45
102	Bruit anormal pompe p8	MECA	4,50	906,39
103	Démontage des trappes pour nettoyage.	MECA	4,00	1 017,92
104	Tour colmatée	MECA	114,50	100 719,08
105	Vanne bloqué	MECA	1,50	297,91
106	Les garnitures de la tour de refroidissement sont décalées	MECA	2,50	238,25
107	Disjonction et fuite sur la garniture de la pompe	MECA	18,00	13 832,22
108	Changement du garnissage	MECA	29,00	8 422,23
109	Bruit anormale de la pompe	MECA	23,33	34 993,52
110	Démontage de la manchette au refoulement de la pompe P8	MECA	16,20	10 071,42
111	Fuite d'eau sur trappe latérale Tour refroidissement	MECA	6,00	838,44
112	Bruit anormale de la pompe P6	MECA	1,20	336,41
113	Remontage de la vanne de purge	MECA	0,50	140,17

114	Changement des persiennes	MECA	0,00	725 020,48
-----	---------------------------	------	------	------------

Nombre	Description des défaillances	Nature de défaillances	Durée de défaillances	Coût de défaillances
1	Bruit anormal pompe nouveau	MECA	5,50	14846,86
2	Changement des manomètres	INSTRU	6,50	16175,92
3	Installation d'un thermomètre à l'entrée de l'échangeur	INSTRU	6,62	69754,87
4	Changement d'un thermomètre	INSTRU	12,75	2001,50
5	Installation d'un nouveau échangeur 56E12	MECA	0,40	112,14
6	blocage de la vanne	MECA	10,00	261762,27
7	Changement de joint	MECA	11,00	2514,82
8	Changement de joint	MECA	5,00	7275,32
9	changement de la vanne arrêt	MECA	1,00	22433,48
10	changement de la vanne	MECA	22,17	4797,61
11	colmatage d'échangeur a plaques	MECA	0,00	0,00
12	Démontage pou nettoyage des plaques	MECA	4,50	24900,46
13	Fuite garniture pompe	MECA	11,50	768155,55
14	Vanne bloquée en position fermée	MECA	0,00	3045139,21
15	Vanne de CIP fuyarde	MECA	45,92	777137,63
16	vanne entrée et sortie des eaux barométriques aux 56e10e11 fuyardes	MECA	36,00	21816,81
17	Vanne fuyarde	MECA	2,00	468,16
18	Vanne manuelle entrée CIP	MECA	2,00	21046,39
19	vannes fuyardes sur le circuit des deux échangeurs	MECA	1,00	193733,55
20	Vannes manuelles entrées eaux CIP et entrée eaux barométriques fuyardes.	MECA	19,50	28154,88
21	Vérification des vannes des eaux barométriques	MECA	0,00	18728,49

Résumé

Le présent mémoire porte sur le diagnostic des dysfonctionnements des tours de refroidissement de la raffinerie d'huile CEVITAL. La tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui peut subir des dysfonctionnements, ceux-ci peuvent, perturber la production. Pour pouvoir les analyser, nous avons classifié les défaillances selon leur nature (mécanique, électrique, instrumentation et automatisme) et selon trois critères (le nombre, la durée et le coût). Les résultats de cette classification, ont montré que la plus part des défaillances sont mécaniques étant donné que la majorité des composants de systèmes sont mécaniques. Nous avons ensuite appliqué l'analyse ABC, il s'agit d'une méthode qui permet de classifier les défaillances selon leur degré d'importance en trois classes. Les résultats de cette analyse ont permis de discerner les composants les plus critiques du système étudié.

Pour contribuer à la prévention des dysfonctionnements trouvés, un ensemble de solution est proposé pour les prévenir, telles que : le nettoyage périodique pour l'encrassement et le colmatage avec le CIP (nettoyage sur place) ; l'installation de pH-mètre pour réduire le taux de corrosion ; changement des matériaux utilisé dans les bassins de récupération ; et un ensemble d'instructions pour prévenir les surcharges des moteurs.

Mots clés : Tour de refroidissement ; Echangeur de chaleur ; Mécanismes et modes de défaillances ; Analyse ABC.

Abstract

This thesis deals with the diagnosis of the malfunctions of the cooling towers of the CEVITAL oil refinery. The cooling tower is an exchanger of a particular type that can suffer malfunctions, these can disrupt production. To be able to analyze them, we classified the failures according to their nature (mechanical, electrical, instrumentation and automatism) and according to three criteria (the number, the duration and the cost). The results of this classification showed that most of the failures are mechanical since the majority of system components are mechanical. We then applied the ABC analysis, it is a method that classifies the failures according to their degree of importance in three classes. The results of this analysis made it possible to discern the most critical components of the studied system.

To help prevent malfunctions, a set of solutions is proposed to prevent them, such as periodic cleaning for clogging and clogging with CIP (cleaning on site); the installation of pH meter to reduce the rate of corrosion; material change used in the recovery ponds; and a set of instructions to prevent engine overload.

Keywords: Cooling towers; Heat exchanger; Mechanism and failure modes, ABC analysis.