

REMERCIEMENT

A l'issu de ce stage, je tiens à représenter et exprimer mes infinis remerciements à tout le personnel de la société Laboratoire Médis pour l'accueil, l'aide et l'assistance particulière qui m'ont permis d'effectuer ce stage dans les meilleures conditions possibles.

En premier lieu, je tiens à remercier mon encadrant pendant ce mois de stage, Mr Souheil Khelil, directeur du département de la maintenance et énergétique. Un grand merci pour son accueil chaleureux au sein de département qu'il dirige, ainsi que pour sa patience et ses précieux conseils. Je saisis également cette occasion pour adresser mes profonds remerciements au personnel de l'entreprise et tous les membres de l'équipe, en particulier Mr Ramzi Ben Daoued, responsable d'unité traitement d'eau, Mr Wissem Jaber, responsable d'unité de vapeur et chaudière. Ils ont toujours été à mon écoute et ont su m'apporter un soutien sans faille.

SOMMAIRE

Chapitre I : présentation de l'entreprise et procédés de fabrication

I.	Introduction.....	7
II.	Présentation des laboratoires de Médis	7
1.	Effectifs	8
2.	Description du secteur en général.....	9
3.	La place de l'entreprise dans le secteur.....	9
4.	Présentation du département Neapolis pharma.....	10
5.	Structure de l'entreprise.....	11
6.	Activité de l'entreprise.....	12
a.	Fabrication des médicaments.....	12
b.	Cycle de production et formes de produits	173
7.	Utilité des eaux dans Médis	194
a.	Le rôle de l'eau de l'activation dans MEDIS.....	194
b.	Les divers types d'eaux à utiliser en MEDIS	195
III.	Conclusion.....	195

Chapitre II : Les Stations du Neapolis Pharma.....16

Station de traitement d'eau.....17

I.	Introduction :.....	228
II.	Définition du système à étudier :	228
III.	Principe de fonctionnement :	229
1.	Station de prétraitement :.....	229

2. Station de production de l'eau déminéralisée :	239
a. Fonctionnement :	20
3. Station de purification :	283
b. Un régulateur de pH :	283
c. L'osmose inverse :	283
d. L'EDI :	294
4. Station d'eau purifiée :	316
a. Le distillateur :	316
b. Le générateur vapeur pure :	338
III. Groupe d'eau glacée :	34
IV. Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.
Station de traitement d'eau	
I. Introduction :	36
II. Système de traitement d'air :	36
1. Centrale de traitement d'air :	36
a. volet d'air neuf	33
b. volet d'air repris	33
c. Caisson de mélange	33
d. Batteries chaudes et froides	33
e. Bloc ventilateur	33
f. Humidificateur	34
g. Filtres	34
h. Sonde de température et humidité	34
i. Capteurs de pression	35

j. Le principe fonctionnement d'une centrale de traitement de l'air	35
2. Les échangeurs thermiques :	396
3. Les sécheurs d'air :	39
4. Compresseur d'air :	40
III. Conclusion :	407

La chaudière à vapeur

I. Introduction :	42
II. Composition :	42
1. Système de circuit d'eau et traitement chimique :	43
2. Système d'élimination des gazes : le dégazeur thermique :	
a. Définition :	
b. Mode de fonctionnement :	44
3. Système de préchauffeur d'eau d'alimentation : économiseur :	44
a. Définition :	44
b. Principe de fonctionnement :	44
III. Conclusion :	47

Chapitre V : Etude de cas.....

I. Introduction :	49
II. Problématique:	49
III. Objectifs :	49

IV.	étude de cas	
1.	bilan énergétique d'un compresseur.....	
2.	Les composants de compresseur ont vu sans huile :.....	
3.	Principe de fonctionnement :	51
4.	Le rendement :	52
5.	Les réservoirs :	55
6.	Passage d'air comprimé :	56
7.	Bilan énergétique d'air comprimé	57
a.	Introduction :	57
b.	Central du compresseur :	57
c.	Calcul de la perte de charge du circuit d'air comprimé :.....	
8.	Les solutions envisagées pour réduire la consommation d'énergie.....	
a.	Le compresseur :.....	
b.	Pour le réservoir :.....	
V.	Conclusion :.....	
	Conclusion générale.....	
	Référence bibliographique.....	

Liste des figures

Figure 1: Vue extérieur des laboratoires Médis	10
Figure 2: Organisme du Médis	12
Figure 3: Administration	133
Figure 4: Structure de Neapolis Pharma.....	155
Figure 5: Les étapes principales de la production des médicaments.....	177
Figure 6: Diagramme de traitement de l'eau.....	222
Figure 7 : Stockage d'eau potable.....	23
Figure 8 : Filtre à sable.....	23
Figure 9 : Osmoseur industriel.....	25
Figure 10 : Les solutions chimiques.....	25
Figure 11 : Filtres.....	26
Figure 12 : Pompe d'injection.....	26
Figure 13 : Rejet de l'eau.....	27
Figure 14 : Records de température et de conductivité.....	27
Figure 15 : Cuve de stockage.....	28
Figure 16 : Schéma du principe osmose inverse.....	29
Figure 17 : Schéma du principe de système d'électrodéionisation.....	29
Figure 18 : Electrode d'ionisation EDI.....	30
Figure 19 : Solution NaOH.....	30
Figure 20 : Distillateur.....	31
Figure 21 : Analyseur.....	32
Figure 22 : Machine ultraviolet	32

Figure 23 : Générateur de vapeur pur.....	33
Figure 24 : Centrale d'air.....	36
Figure 25 : Volet d'air.....	37
Figure 26 : Les batteries.....	37
Figure 27 : Ventilateur.....	37
Figure 28 : Humidificateur.....	38
Figure 29 : Des filtres.....	38
Figure 30 : Sonde.....	38
Figure 31 : Capteur de pression.....	38
Figure 32 : Logiciel de suivi en temps réel.....	39
Figure 33 : Sécheur d'air	40
Figure 34 : Compresseur.....	40
Figure 35 : Station de la chaudière à vapeur.....	42
Figure 36 : Adoucisseur.....	43
Figure 37 : Dégazeur	44
Figure 38 : Schéma du principe de fonctionnement d'un économiseur.....	45
Figure 39 : Un bruleur.....	46
Figure 40 : Kit TH.....	47
Tableau 1: l'effectif des départements de Neapolis	111
Tableau 2: fiche technique	111
Tableau 3: caractéristiques du compresseur de types BOGE.....	50
Tableau 4:composantes des compresseur.....	50
Tableau 5:puissance utile et rendement.....	55

Tableau 6:puissance absorbe des compresseurs	55
Tableau 7:consommation d'énergie par année	58
Tableau 8: caractéristiques de chaque circuit.....	58
Tableau 9:consommation de l'énergie par une heure.....	622
Tableau 10:consommation d'énergie annuelle.....	633

Chapitre I : Présentation de l'entreprise et procédés de fabrication

I. Introduction :

Le domaine de l'industrie pharmaceutique est l'un des secteurs bénéficiaires permettant l'évolution de l'économie de pays.

Dans ce premier chapitre, Nous allons présenter, une vue globale sur l'entreprise Médis en premier lieu, en deuxième sur les opérations de production et de conditionnement de Neapolis Pharma.

II. Présentation des Laboratoires de Médis :

L'entreprise se situe à Nabeul au kilomètre 7 sur la route de Tunis, dans une zone forestière. Le choix du site a été fait pour éviter tout risque de pollution de l'air, de l'eau et du sol.



Figure 1: Vue extérieur des laboratoires Médis

1. Effectifs :

Tableau 1: l'effectif des départements de Neapolis

Département ou service	Effectif
Direction Générale	42
Département Développement	12
Département Logistique	25
Département de Production	181
Département Contrôle Qualité	50
Département Assurance Qualité	30
Département Maintenance	47

La société "Médis" possède une ressource humaine très qualifiée et très expérimentée, qui peut mener les activités de l'entreprise conformément. La société MEDIS : « Les laboratoires de médicaments stériles de Nabeul » est une société anonyme fondée en juillet 1995.

Fiche Technique :

Tableau 2: fiche technique

<u>Raison Sociale</u>	Les Laboratoires MEDIS
<u>Forme juridique</u>	Société Anonyme
<u>Capital</u>	20.000.000 DT
<u>Premier Responsable</u>	Mr Lassâad Boujbel
<u>Qualité</u>	Directeur Général
<u>Adresse Siège</u>	Z.I Aïn Khemicha, Km 7, Route de Tunis – Nabeul 8000

<u>Téléphone Siège/Usine</u>	72 235.006
<u>Fax Siège/usine</u>	72 235.106
<u>Adresse usine</u>	Idem siège
<u>Superficie totale</u>	1,5ha
<u>Superficie couverte</u>	6.000m ²
<u>Effectif</u>	530personnes
<u>Régime du travail</u>	1 seule poste quotidien de 8h

Organigramme :

Médis possède un organigramme clair et opérationnel définissant les fonctions et les responsabilités de chaque département :

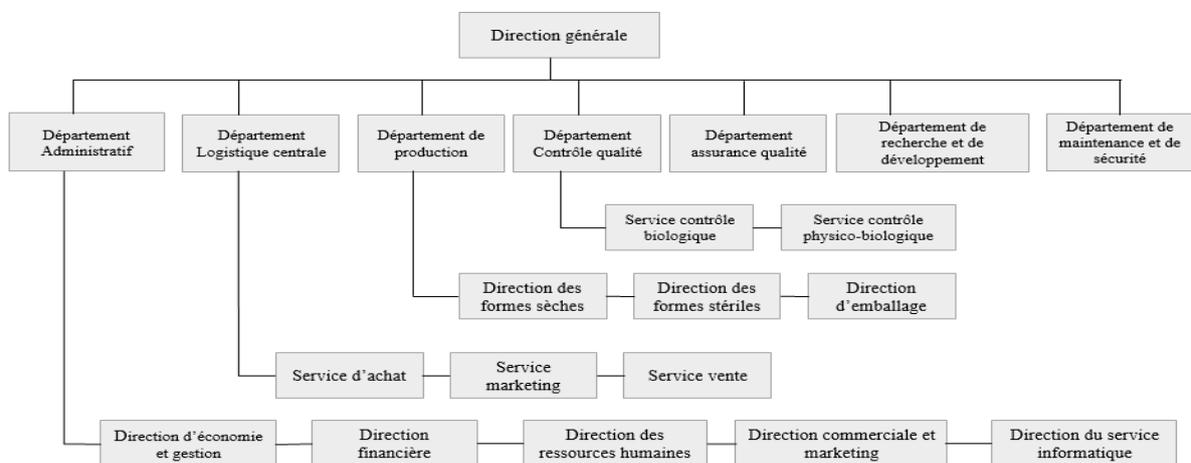


Figure 2: Organisme du Médis

2. Description du secteur en général

MEDIS est une entreprise pharmaceutique tunisienne ayant pour mission de fabriquer et de commercialiser des divers médicaments génériques de haute qualité, à des coûts hautement compétitifs et selon les normes de Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF), destinés au marché Tunisien et au marché d'exportation pour le traitement d'une diversité de maladies. Bien que MEDIS soit relativement nouvelle, la compagnie a su développer une notoriété et une présence stratégique sur la scène locale.

3. La place de l'entreprise dans le secteur

Malgré son jeune âge sur le marché pharmaceutique, MEDIS occupe actuellement la troisième place parmi les industriels pharmaceutiques tunisiens. MEDIS s'est distinguée sur le marché tunisien par la croissance rapide de sa gamme de produits, sa disposition d'émuler des formules de médicaments complexes et ses compétences et ses expertises dans le domaine des injectables. [1]

L'entreprise se situe à Nabeul au kilomètre 7 sur la route de Tunis, dans une zone forestière. Le choix du site a été fait pour éviter tout risque de pollution de l'air, de l'eau et du sol.



Figure 3:Administration

✓ **Médis a pris les certifications suivantes :**

Certification de qualité : ISO 9001 version 2004 ;

Certification de l'environnement et sécurité de travail : ISO 14001 version 2007 ;

Certification d'hygiène, santé et sécurité : ISO 18001 version 2008.

MEDIS possède plusieurs départements :

Production (médis 1)

Production (médis 2)

Emballage

Qualité

Maintenance (Neapolis Pharma)

J'ai effectué mon stage dans le dernier département : Neapolis Pharma

4. Présentation du département neapolis pharma :

NEAPOLIS PHARMA est un laboratoire pharmaceutique privé faisant partie du groupe Médis. C'est une entreprise tunisienne ayant pour mission de fabriquer et de commercialiser divers médicaments génériques de haute valeur ajoutée destinés au marché Tunisien et au marché d'exportation pour le traitement d'une diversité de maladies.

NEAPOLIS PHARMA connaît un développement rapide grâce à un contrat la liant avec les laboratoires Médis. La société a commencé ses activités avec l'unité de biotechnologie et par le développement d'une gamme génériques tout en s'engageant dans une démarche qualité basée sur les bonnes pratiques de fabrication BPF et sur l'implantation d'un système de management intégré.

Afin de mieux caractériser NEAPOLIS PHARMA, nous avons commencé par une période d'observation suite à laquelle nous avons identifié les principaux services de l'entreprise qui sont :

- Recherche et développement ;
- Production ;
- Maintenance et travaux neufs ;

- Contrôle qualité ;
- Management de la qualité.

5. Structure de l'entreprise

Les laboratoires pharmaceutiques NEAPOLIS PHARMA se distinguent des industries classiques par l'architecture de ses bâtiments et locaux. La figure 1 permet de séparer la société en plusieurs entités. Chaque entité définit un service de la société. Dans notre cas, il existe plusieurs structures telles que l'unité de fabrication, le laboratoire contrôle qualité, les locaux divers et l'administration.

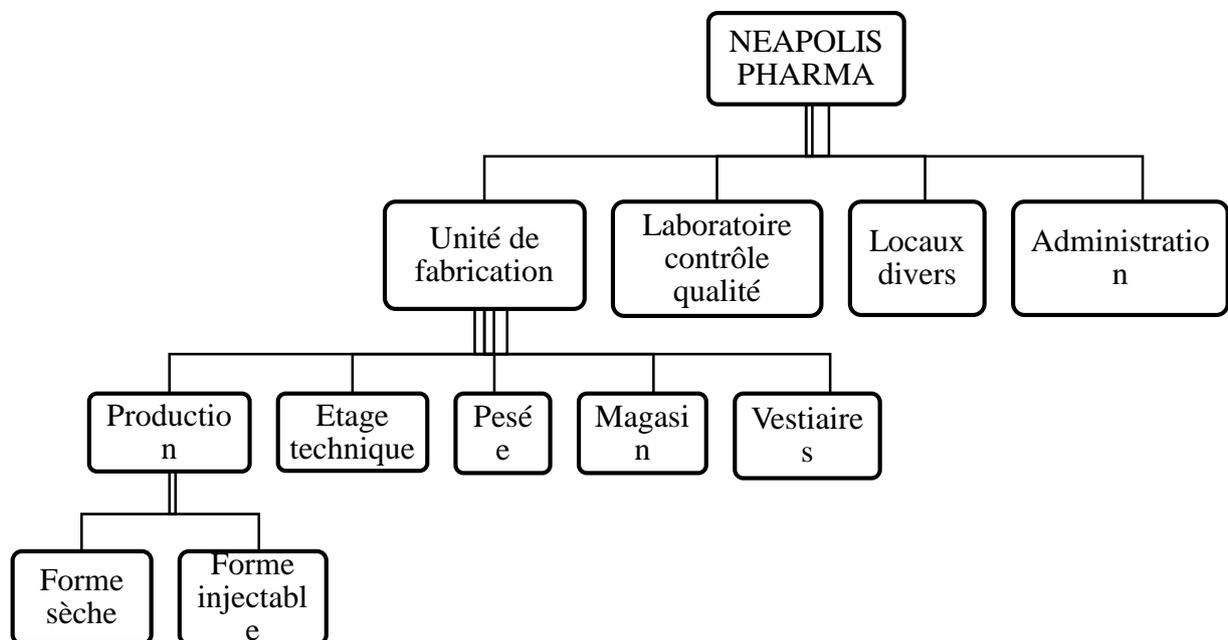


Figure 4: Structure de Neapolis Pharma

L'unité principale de l'entreprise est l'usine qui est constituée de 3 étages et deux mezzanines. Le Rez De Chaussée contient des vestiaires pour le personnel, deux salles de pesée, des zones de stockage des matières premières, des produits en quarantaine et des produits finis. Toutes les zones de stockage respectent les exigences des BPF afin d'assurer les bonnes conditions de stockage. Quant au premier étage, il est caractérisé par deux unités de production sophistiquées vu la complexité et l'exigence de la production pharmaceutique :

- Une unité conçue pour la forme sèche des médicaments (comprimés, gélules),

- Une unité conçue pour la forme stérile des médicaments (poudre lyophilisée, solution injectable et seringues pré-remplies).

Le deuxième étage de l'usine est un étage purement technique dédié à la régulation et l'alimentation des équipements de l'usine dont les principaux équipements sont les centrales de traitement d'air et d'eau ainsi que les armoires électriques, les onduleurs et les compresseurs.

L'entreprise possède aussi une unité règlementaire pour le procédé de fabrication des médicaments. Il s'agit d'un laboratoire bien équipé pour la réalisation des différents essais et analyses. Ce laboratoire est constitué des unités suivantes :

- Un laboratoire galénique ;
- Deux laboratoires analytiques ;
- Une salle de pesée ;
- Une laverie ;
- Des vestiaires pour le personnel.
- L'équipe ingénierie de la société œuvre au sein du local administratif de NEAPOLIS PHARMA logé dans les bâtiments sociaux des laboratoires Médis. *

6. Activité de l'entreprise

a. Fabrication des médicaments

L'industrie pharmaceutique est un secteur de production particulier qui concerne la santé et la vie des êtres humains. Elle comprend principalement deux activités :

- La chimie fine : la fabrication des principes actifs ;
- La production pharmaceutique : formulation et conditionnement.

NEAPOLIS PHARMA se spécialise uniquement dans la production pharmaceutique. Son activité principale est la formulation des médicaments à partir des principes actifs, puis le conditionnement de ces produits formés avant d'être commercialisés. Elle envisage principalement la fabrication des formes sèches et des formes injectables. Il existe une grande variété de médicaments sous la forme sèche néanmoins, la société se spécialise uniquement dans les comprimés pelliculés. Un projet de production des gélules va suivre. Quant aux formes médicamenteuses injectables, l'entreprise vise la production des solutions injectables et la

poudre lyophilisée. Une extension pour fabriquer les seringues pré-remplies est en cours de réalisation.

La première phase dans le cycle du produit est la conception. Le but de cette phase est d'avoir la meilleure formule possible. C'est un travail rigoureux de galéniste en étroite collaboration avec l'analyste. Une fois le prototype est prêt, une autorisation de mise sur le marché (AMM) est demandée auprès de l'autorité compétente concernée (en Tunisie c'est la Direction de la Pharmacie et du Médicament). Une fois le médicament a pris l'AMM, l'industrie Pharmaceutique commence la fabrication du médicament conformément au prototype et en respectant les bonnes pratiques de fabrication. Cette chronologie est illustrée par la figure



L'état actuel de l'entreprise est encore au niveau de la phase primaire. Plusieurs médicaments sont dans l'attente de l'AMM et d'autres sont encore en phase de conception.

b. Cycle de production et formes de produits

La production pharmaceutique nécessite un niveau de savoir-faire industriel et technologique permettant de garantir la maîtrise requise pour la fabrication des médicaments.

Suite au travail d'observation, nous avons traduit le processus de fabrication par le diagramme de la figure

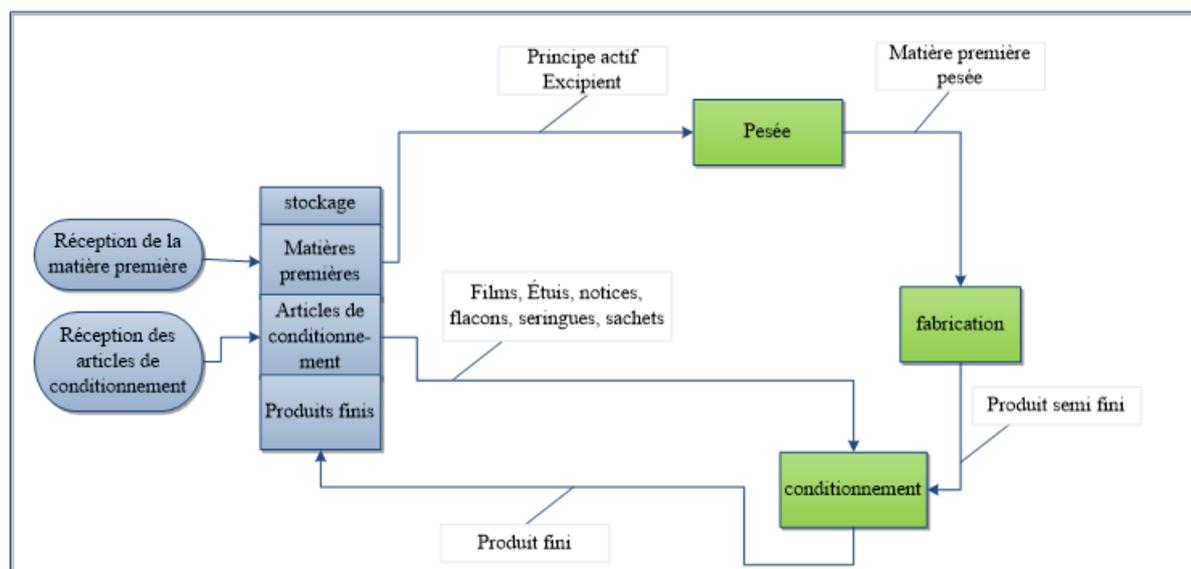


Figure 5: Les étapes principales de la production des médicaments

Le cycle de fabrication est caractérisé par les étapes suivantes :

➤ **Réception et stockage**

La réception des matières premières et des articles de conditionnement est contrôlée suivant des instructions établies par l'entreprise. Le stockage n'est pas arbitraire aussi, un plan de travail et plusieurs secteurs réservés au stockage sont déterminés au niveau du magasin.

➤ **Pesée des matières premières**

La pesée se fait dans une salle réservée à cette fin. Les principes actifs et les excipients contenant des molécules très actives sont traités au niveau des isolateurs pour éviter la contamination du personnel et de l'environnement.

➤ **Fabrication des médicaments**

Le procédé de fabrication dépend d'une forme galénique à une autre. Il s'agit d'une cascade d'activités complexes conduisant à la formation, à partir de la matière première pesée, d'un produit semi-fini.

➤ **Conditionnement**

Le but principal du conditionnement est de protéger le médicament. En effet, il existe plusieurs niveaux de conditionnement. Le conditionnement primaire est celui qui est en contact direct avec le produit. Le conditionnement secondaire et tertiaire a des fonctions plutôt informatives et commerciales.

Le contrôle qualité se fait tout au long de cycle de vie du produit, dès la réception des matières premières jusqu'à l'obtention du produit fini. Il s'agit d'un ensemble des tests physiques, chimiques et microbiologiques appliqués sur des échantillons prélevés au cours des différentes opérations. Cette étape est nécessaire pour surveiller le procédé et procéder aux actions de correction en cas d'apparition d'un problème. Ensuite une fois le remplissage est achevé, les produits seront transportés grâce à des chariots vers une chaîne d'emballage ou ils seront encartonnés et emballés. Enfin les produits finis seront transportés vers le magasin de stockage ou ils seront stockés...

Il faut signaler que le procès comporte plusieurs locaux, qui sont strictement isolés et qui ont des niveaux de stérilités différentes. Pour éviter la contamination du produit, le transfert du flux

de la matière de la zone grise vers les zones propres se fait obligatoirement par un autoclave ou un tunnel de stérilisation.

7. Utilité des eaux dans Médis

a. Le rôle de l'eau de l'activation dans MEDIS

L'eau est un composant très important dans les activités de production MEDIS. En effet, elle est utile dans la reconstruction d'un médicament. Elle intervient également pendant les différentes étapes de synthèse d'un principe actif, tout comme elle est utile pour formuler un produit fini. Les chercheurs s'en servent aussi pour le nettoyage des contenants, des équipements ainsi que des conditionnements primaires. Elle est aussi utile pour stériliser les équipements et les systèmes par Sémitisation. Pour conclure, l'eau intervient de façon directe ou indirecte dans le produit qui sera administré au patient. Compte tenu de son importance, la qualité de l'eau pour MEDIS doit se conformer à des normes : soit européennes (EP), soit américaines (USP) soit japonaises (JP).

b. Les divers types d'eaux à utiliser en MEDIS

L'eau joue de nombreux rôles dans MEDIS. Il existe justement deux types d'eau que les chercheurs peuvent utiliser : l'eau purifiée (EP) et l'eau pour préparation injectable (EPPI). Pour préparer l'eau à usage pharmaceutique, on peut se servir de nombreuses techniques notamment l'échange d'ions. Les procédés utilisés pour produire de l'eau purifiée ne sont pas forcément les mêmes d'une industrie à une autre. Tout dépend des normes qu'elles suivent. Ainsi, pour les normes européenne et américaine, on peut se servir de diverses techniques lors de la production de l'eau. Pour la norme japonaise, il faut se servir de l'une des techniques suivantes, au moins : échange d'ions, osmose inverse, distillation. L'eau d'alimentation est de l'eau potable respectant l'une des trois normes.

III. Conclusion

A la fin de ce chapitre on à prendre une idée sur la société, ces départements et leurs fonctionnements.

Chapitre II : Les Stations du Neapolis Pharma

Station de traitement d'eau

I. Introduction :

Dans ce chapitre on va voir la station du traitement d'eau leur procédure ainsi les équipements utilisés en voyant les sous stations et leur principe de fonctionnement de chaque dernier.

II. Définition du système à étudier :

Le système de traitement de l'eau pharmaceutique est conçu pour produire Officinal :

- L'eau purifiée EP
- Eau pour préparations injectables
- vapeur pure VP.

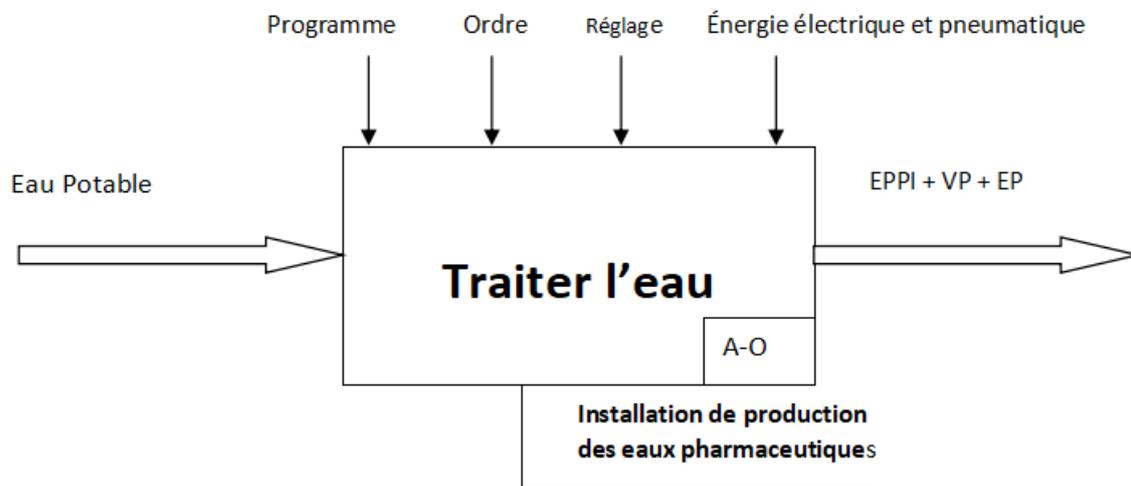


Figure 6: Diagramme de traitement de l'eau

Remarque : eau pour préparation in injectable : EPPI / vapeur pure : VP / EP : eau Purifiée

III. Principe de fonctionnement :

Le traitement d'eau se fait à travers quatre stations :

1. Station de prétraitement :

- Le stockage de l'eau potable dans une cuve après son passage par trois filtres de type (20-20).
- Injection de chlore (cl) par une pompe d'injection de 450mv avec un filtre à stable toujours appliqué.

Remarque : la quantité de cl optimale dans l'eau est de l'ordre de 0.3ppm vers 0.6 ppm

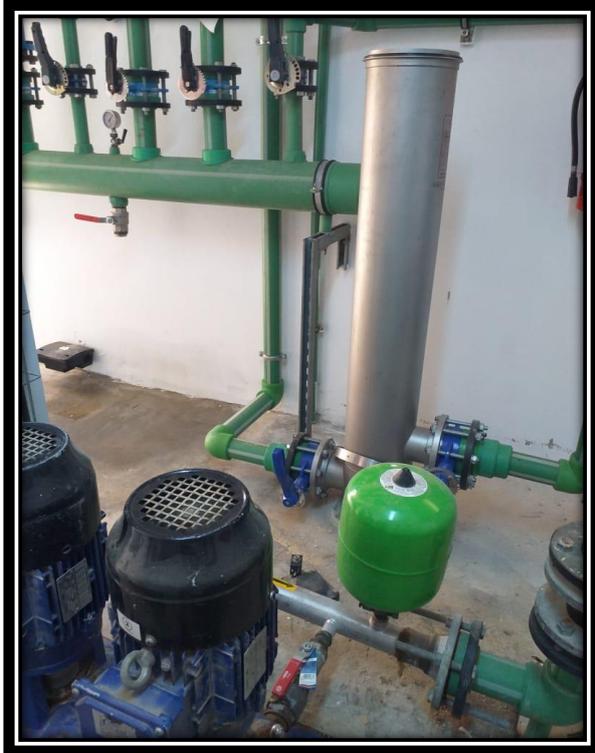


Figure 7: Stockage d'eau potable



Figure 8: Filtre à sable

2. Station de production de l'eau déminéralisée :

Remarque : La procédure de cette station est caractérisé par l'élimination du magnésium **Mg** et du calcium **Ca** ainsi du chlore **Cl**. L'**osmoseur industriel** : est un appareil qui filtre l'eau en plusieurs étapes. Au cours de chaque étape, l'eau à traiter passe à travers plusieurs filtres et membranes : le préfiltre et le filtre anti-sédiments : cette première barrière se charge de retenir les particules solides comme le sable.

a. Fonctionnement :

- Un osmoseur industriel constitué par quatre colonnes de filtration dont chaque colonne comporte deux membranes, assure le passage de l'eau à travers un filtre de type (5-20).
- Stockage de l'eau dans une cuve de 5000L, dont cette alimentation se fait par une pompe multicellulaire à trois étages

➤ Caractéristiques de l'eau déminéralisée :

température : 18 °C

Conductivité ne dépasse pas 50 µs/cm

Remarque :

- La performance de l'osmoseur industriel selon les normes optimales : 80% production et 20% rejet.
- Dans l'osmose inverse (industriel) il y a une injection de deux produits chimiques qui sont : l'**Antiscalant** et de **Métabisulfite de sodium**.
- **L'Antiscalant** : Cette solution permet une viscosité meilleure de l'eau dans son mouvement dans le système purification.

Le Métabisulfite de sodium ou pyrosulfite de sodium : est un désinfectant, antioxydant et conservateur alimentaire jaunâtre est utilisé comme un agent de nettoyage pour l'eau potable des membranes. Cette solution élimine le chlore existant dans l'eau ultrafiltrée.



Figure 9: Osmoseur industriel



Figure 10 : Les solutions chimiques



Figure 11 : Filtres

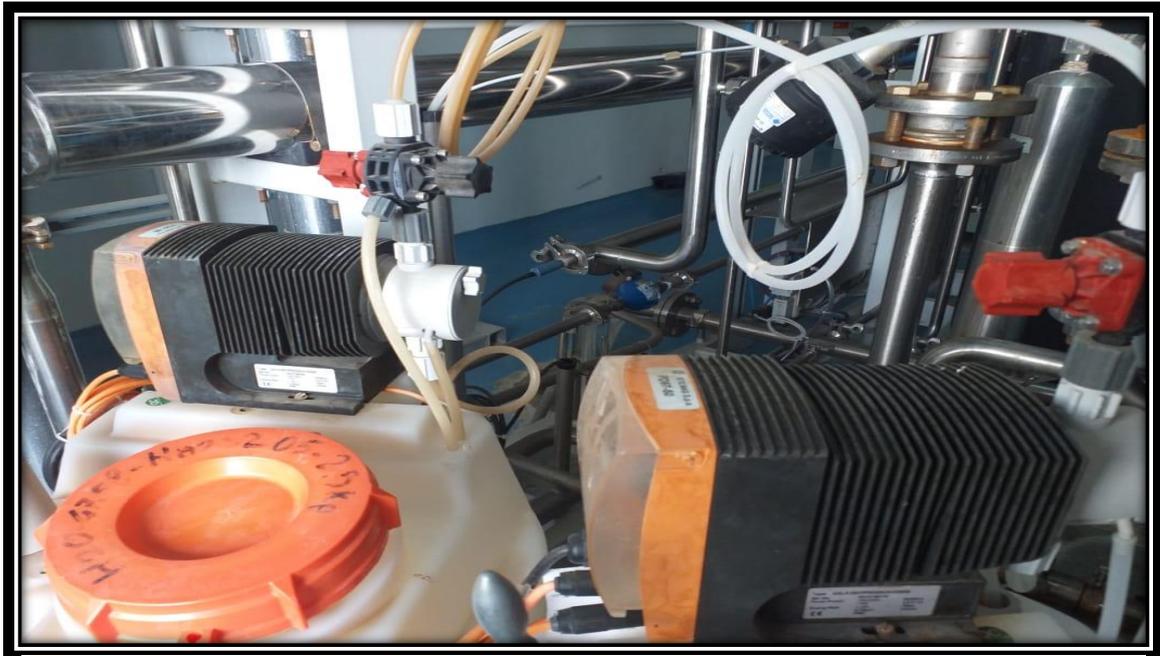


Figure 12 : Pompe d'injection



Figure 13 : Rejet de l'eau

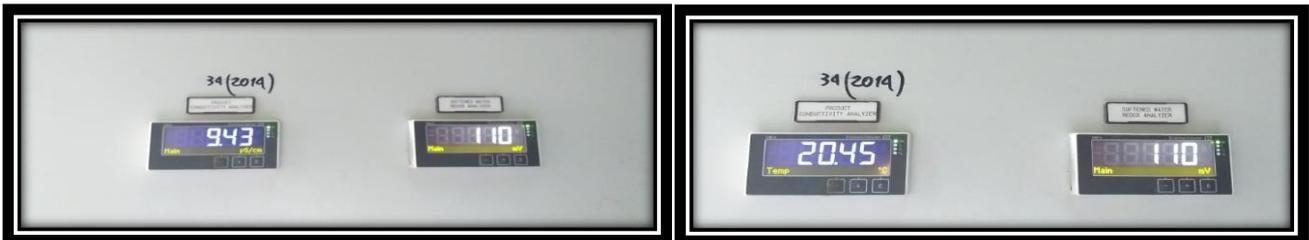


Figure 14 : Records de température et de conductivité



Figure 15 : Cuve de stockage

3. Station de purification :

Ce système est formé par :

a. Un régulateur de pH :

Qui est composé de deux parties : Une sonde analyseur de pH qui nous affiche sur l'écran de l'automate le pH de l'eau et une solution d'hydroxyde de sodium injectée automatiquement pour diminuer le pH de l'eau à 7

b. L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un traitement physico-chimique et antimicrobien, il est réalisé par passage de l'eau sur une membrane semi-perméable qui assure la rétention de la majorité des composés présents dans l'eau (particules, colloïdes, ions contaminants organiques y compris endotoxines bactériennes et micro-organismes). L'osmose vise à extraire les substances inorganiques et organiques de l'eau. Les membranes d'osmose inverse sont organiques et sous forme de modules assemblés en série ou en parallèle.

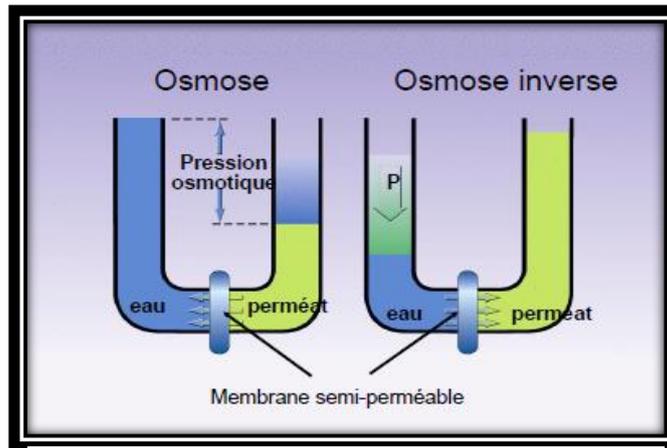


Figure 16 : Schéma du principe osmose inverse

c. L'EDI :

L'électrode d'ionisation est un processus de purification piloté électriquement. Comporte une combinaison de résines d'échange ionique et de membranes sélectives d'ions. L'électrode d'ionisation, est normalement couplée à l'osmose inverse. Cela fournit une alternative utile aux méthodes de purification.

Remarque : la conductivité de l'eau lors de cette station est de l'ordre de $20\mu\text{s}/\text{cm}$

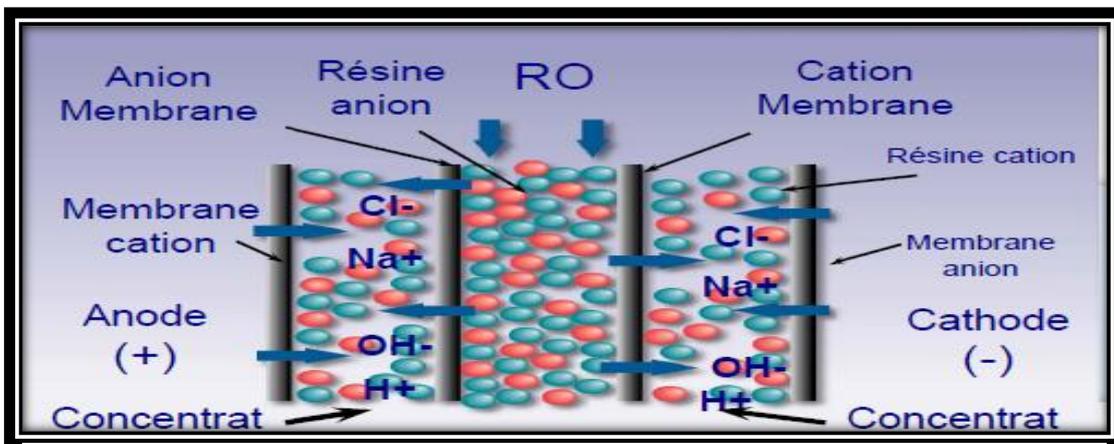


Figure 17 : Schéma du principe de système d'électrodéionisation



Figure 18 : Electrode d'ionisation EDI



Figure 19 : Solution NAOH

4. Station d'eau purifiée :

a. Le distillateur :

Les sources de distillateur sont la vapeur technique produite par la chaudière et l'eau purifiée résultat de système purification. L'eau purifiée passant dans les tubes entourés par la vapeur technique est chauffée jusqu'à la vaporisation en passant par les six colonnes de distillateur, puis la vapeur sera refroidie par l'eau glacée produite par un générateur d'eau glacée jusqu'à condensation. Ce système nous donne une eau distillée utilisée pour les préparations injectables donc appelé EPPI (Eau Pour Préparation Injectable) stockée dans une cuve à EPPI.

Remarque :

- L'analyseur permet d'identifier et mesurer le taux de carbone dans l'eau (Toc) dont le maximum est attendu à l'ordre de 500TTp.
- La machine ultraviolette permet d'éliminer les bactéries circulantes dans l'eau.



Figure 20 : distillateur

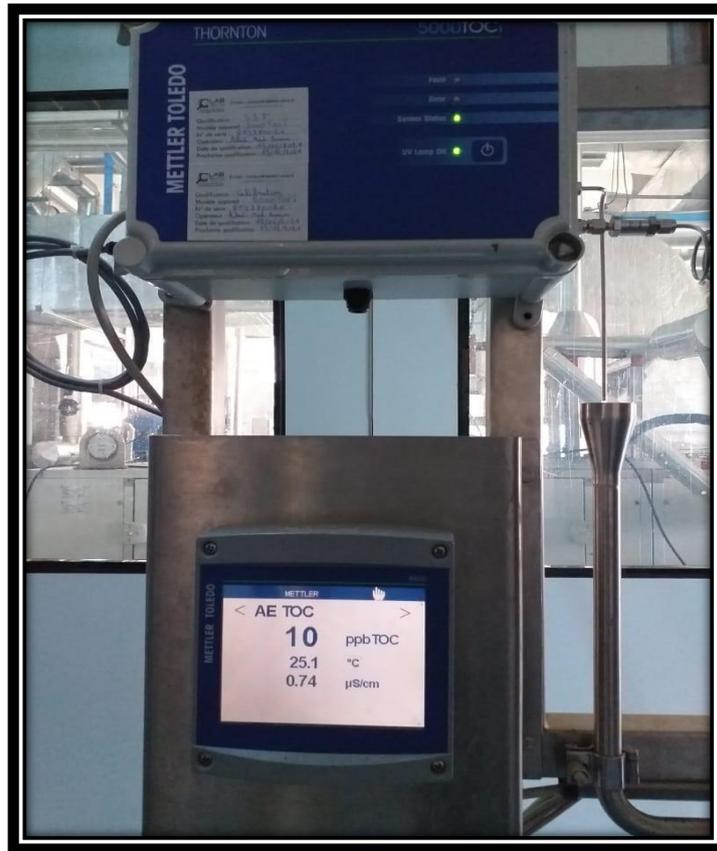


Figure 21 : Analyseur



Figure 22 : Machine ultraviolet

b. Le générateur vapeur pure :

Comme le cas de distillateur, le générateur vapeur pure doit être alimenté par la vapeur technique et l'eau purifiée.

L'eau purifiée entre dans une colonne de générateur ou elle sera vaporisée au moyen d'un échangeur de chaleur et chauffé par la vapeur technique, d'où la création d'une vapeur pure appropriée pour la stérilisation de composants des tubes et des machines.



Figure 23 : Générateur de vapeur pur

Remarque :

➤ Caractéristiques de l'eau purifiée :

Température : 20 °C

Conductivité ne dépasse pas 3.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$

➤ Caractéristiques de l'EPPI (eau pour préparations injectables) :

Température : 80 à 90 °C

Conductivité ne dépasse pas 2.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$

III. Groupe d'eau glacée :

Groupe d'eau glacée est un système de production de froid à détente indirecte. Cela signifie qu'il utilise un fluide intermédiaire pour transporter « le froid » vers les émetteurs.

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre on a défini l'installation de production des eaux pharmaceutiques nommée station de traitement d'eau, ses composantes et ses différents mécanismes fonctionnels.

Station de traitement d'air

I. Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéressera au système de traitement d'air, la centrales utilisée leur principe de fonctionnement et ses différents composants.

II. Système de traitement d'air :

Le traitement de l'air qu'on appelle aussi purification de l'air regroupe l'ensemble des procédés et technologies permettant d'obtenir de l'air purifié et assaini des émanations chimiques toxiques de l'air, de la pollution atmosphérique, des particules volatiles intérieures nocives et des odeurs. Le traitement d'air se fait avec une centrale de traitement d'air.

1. Centrale de traitement d'air :

Une CTA, ou bien plus précisément une centrale de traitement d'air, est un élément technique de traitement d'air. C'est également un système qui vise à altérer les caractéristiques d'un flux d'air entrant par rapport à une commande. Elle est consacrée au chauffage, au rafraîchissement, l'humidification des locaux industriels.



Figure 24 : Centrale d'air

Il s'agit d'un système tout air à débit variable ou constant. Elle constitue par ailleurs l'un des éléments essentiels d'un système de chauffage, ventilation et climatisation. Une centrale de traitement d'air est soit de type monobloc (constitué d'un seul bloc), soit constituée de modules

adjoints les uns aux autres, en fonction de la configuration (modules filtres, modules batteries chaudes et froides, modules ventilations).

La centrale de traitement d'air est constituée de :

- a. **Volet d'air neuf** : Permet de réguler l'admission de l'air neuf dans l'espace à traiter, et fonctionne en simultané avec le volet d'air repris.
- b. **Volet d'air repris** : Permet de réguler l'admission de l'air récupéré dans l'espace à traiter, et fonctionne en simultané avec le volet d'air neuf.



Figure 25 : Volet d'air

- c. **Caisson de mélange** : Dans cette partie se passe le mélange de l'air neuf et l'air repris et aussi un pourcentage de l'air repris a rejeté après filtration.
- d. **Batteries chaudes et froides** : La batterie comporte un certain nombre de tubes sur lesquels sont serties ou soudées des ailettes. Les tubes constituent un certain nombre de circuits qui sont reliés à un distributeur et un collecteur. Les batteries chaudes et froides règlent la température d'air soufflé.

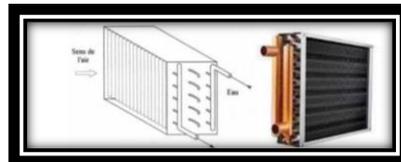


Figure 26 : Les batteries

- e. **Bloc ventilateur** : le bloc de ventilateur contient un moteur qui tourne la turbine en soufflant et refoulant l'air.



Figure 27 : Ventilateur

- f. **Humidificateur** : L'humidificateur règle l'humidité par un vaporisateur qui injecte une vapeur pure.



Figure 28 : Humidificateur

- g. Filtres :** Le filtre protège la centrale de traitement de l'air contre les diverses particules et la poussière, pouvant nuire à son fonctionnement ainsi qu'au confort des personnes. On peut enregistrer différents niveaux de filtration.

-Il y a trois types de filtre dans les CTA :

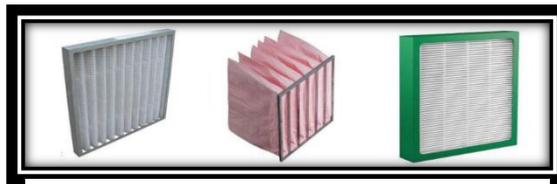


Figure 29 : des filtres

1-filtre G4 (moyenne efficacité)

2-filtre F9 haute efficacité

3-filtre HEPA filtration moléculaire h13

- h. Sonde de température et humidité :** Les sondes de température et humidité sont des capteurs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement et humidité sur leurs composants en signal électrique.



Figure 30 : Sonde

- i. Capteurs de pression :** les capteurs de pression sont des capteurs permettant de transformer l'effet de la pression sur leurs composants en signal électrique.



Figure 31 : Capteur de Pression

j. Le principe fonctionnement d'une centrale de traitement de l'air :

Le CTA joue un rôle très important dans le cycle de production sa tâche consiste à :

- ✓ Souffler de l'air neuf à travers le volet du l'air neuf et accumuler l'air repris des locaux à travers le volet d'air repris et les mélanger dans une zone appelé caisson de mélange.
- ✓ Le mélange d'air se dirige vers les filtres G4, F9 et HEPA afin d'être filtré et traité.
- ✓ L'air passe par l'ensemble de batterie chaude et froid pour régler sa température selon le besoin.
- ✓ Entre les deux batteries il y a l'humidificateur qui injecte la vapeur pour régler l'humidité de l'air afin d'atteindre l'humidité demandé.
- ✓ L'air traité se vers les locaux et les salles des machines selon le besoin.

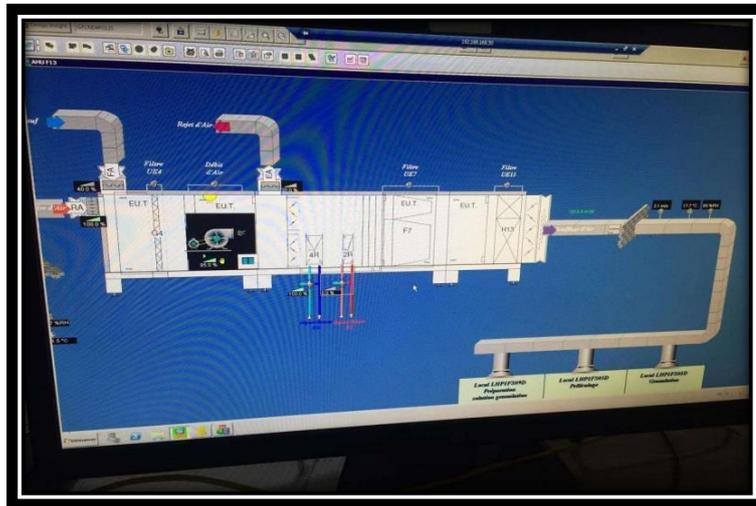


Figure 32 : Logiciel de suivi en temps réel

2. Les échangeurs thermiques :

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre sans les mélanges.

3. Les sècheurs d'air :

Un sécheur d'air (ou sécheur d'air comprimé) est un équipement technique qui est utilisé pour réduire le taux d'humidité relative de l'air comprimé et éviter les problèmes liés à l'eau condensée ou à la corrosion dans un réseau d'air comprimé. Les sècheurs d'air ambiant sont généralement appelés déshumidificateurs.



Figure 33 : Sécheur d'air

4. Compresseur d'air :

- ✓ **Définition :** Le compresseur d'air est un appareil qui produit de l'air comprimé qui peut être utilisé pour un gonflage simple ou pour faire fonctionner des outils nécessitant une pression pneumatique.



Figure 34 :Compresseur

III. Conclusion :

Dans cette partie on a étudié la station du traitement d'air tout en précisant les principaux composants de ce dernier ainsi leur rôle on passe maintenant à la station du vapeur chaud : La chaudière.

La chaudière à vapeur

I. Introduction :

La chaudière à vapeur est un dispositif pour convertir l'eau en vapeur technique. La vapeur est utilisée pour chauffer des locaux, des véhicules et des pipelines, ainsi que pour faire tourner turbomachines...

Dans cette partie on va voir le l'utilité de la chaudière ainsi les différents composants



Figure 35 : Station de la chaudière à vapeur

Remarque : les caractéristiques de cette chaudière : 2Kg/h de vapeur et de volume d'eau de l'ordre de 3000/L.

II. Composition :

La station de la chaudière est formée par trois système :

1. Système de circuit d'eau et traitement chimique :

Un **adoucisseur** : est un dispositif visant à réduire la dureté de l'eau, c'est-à-dire sa teneur en sels de calcium et de magnésium. Cet appareil favorise l'interaction des ions calcium et des ions magnésium avec les ions sodium.



Injection de produits chimiques de correction :

Des produits chimiques de correction sont ajoutés après l'échange d'ions ou l'osmose pour maintenir l'alcalinité de l'eau d'alimentation, lier la dureté restante et lier l'oxygène restant ainsi et pour empêcher l'eau de se coller sur les surfaces. Il existe une multitude de produits proposés par les sociétés de traitement de l'eau

Dans notre cas le produit chimique est l'Aquialine ps48T



Figure 36 : Adoucisseur

2. Système d'élimination des gaz : le dégazeur thermique :

a. Définition :

Un dégazeur thermique est utilisé pour réduire la teneur en oxygène de l'eau d'alimentation de la chaudière à vapeur. Sans traitement approprié, l'eau d'alimentation des chaudières à vapeur a

généralement une teneur élevée en oxygène de 8 à 10 mg/l, ce qui provoque une corrosion sévère dans le système.

b. Mode de fonctionnement :

Le condensat et l'eau d'appoint sont mélangés de manière à atteindre une température de 60 à 70°C avant d'être conduits au sommet du dégazeur. Dans la partie supérieure du dégazeur, l'eau est vaporisée, de sorte que les gaz peuvent s'échapper de la couche qui entoure chaque molécule d'eau. De la vapeur est conduite au fond du dégazeur au travers d'une soupape de réduction de pression et les injecteurs de vapeur créent la turbulence nécessaire dans l'eau pour un dégazage efficace. Les gaz en excès peuvent s'échapper par un évent avec une restriction.



Figure 37 : Dégazeur

3. Système de préchauffeur d'eau d'alimentation : économiseur :

a. Définition :

Un économiseur est un échangeur de chaleur intégré au générateur de vapeur ou placé en aval de la chaudière. Dans le cas des chaudières à vapeur, l'économiseur est employé pour préchauffer l'eau alimentaire.

b. Principe de fonctionnement :

Placé en aval de la chaudière sur le circuit des produits de combustion, un économiseur est un échangeur qui permet de récupérer une partie de la chaleur contenue dans les produits de la **combustion** pour le préchauffage de l'eau d'alimentation du générateur. Ces équipements sont

généralement composés d'une batterie de tubes munis d'ailettes afin d'augmenter le coefficient d'échange. Ils sont placés sur le circuit des fumées entre la chaudière et la cheminée. Sur des équipements neufs, ils peuvent être intégrés au générateur. L'eau d'alimentation, en provenance de la bâche, circule à contre-courant dans l'échangeur. Les températures des fumées initialement comprises entre 180 et 260 °C, sont ainsi abaissées à une valeur de 110 à 130 °C. Pour le gaz naturel, chaque réduction de 20°C de la température des produits de combustion accroît le rendement de 1 point. Ainsi, le rendement de combustion passe généralement de 90 à 95%/PCI grâce à l'économiseur.

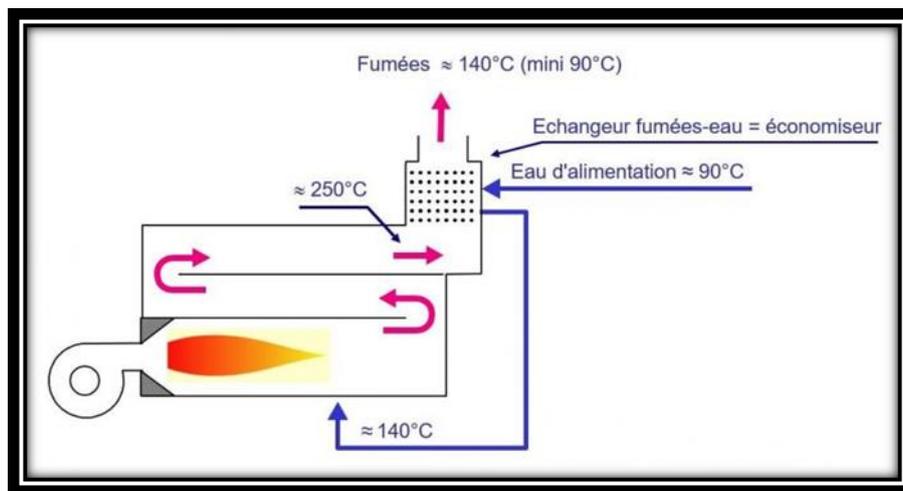


Figure 38 : Schéma du principe de fonctionnement d'un économiseur

Remarque :

La combustion se fait grâce à un brûleur

Un brûleur est l'élément mécanique qui assure la production de chaleur en assurant un mélange entre un combustible (gazeux, liquide ou solide), avec un comburant (généralement de l'air, contenant naturellement de l'oxygène), produisant ainsi une combustion. Le mélange nécessite le meilleur réglage pour que le rendement de combustion soit maximum et que la combustion soit le meilleur possible, c'est-à-dire générant le moins possible d'imbrûlés et de polluants.



Figure 39 : Un bruleur

Remarque : on vérifie la dureté d'eau par le test TH

TH TEST : Permet de mesurer la dureté de l'eau. TH signifie Titre Hydrométrique. Ce kit est idéal pour connaître la concentration en calcaire naturellement présent dans votre **eau** (TH).

La procédure de test :

- Prélever 10 ml d'eau après avoir laissé couler suffisamment d'eau
- Verser 2 gouttes de liquide jaune puis 5 gouttes de liquide bleu
- Verser les gouttes de réactif incolore en les comptant jusqu'à ce que le mélange vire au bleu.

Le nombre de gouttes nécessaires correspond à la dureté de l'eau.



Figure 40 : Kit TH

III. Conclusion :

Dans ce chapitre on a défini la chaudière à vapeur en introduisant ses différentes composantes avec leurs fonctionnements.

Chapitre V : Etude de cas

I. Introduction :

L'entreprise possède des problèmes, dans le but de les résoudre elle me propose de faire des essais pour obtenir des suggestions. Dans ce chapitre, on va traiter les problèmes ainsi leurs solutions.

II. Problématique:

L'entreprise « médis » est spécialisée dans la production du vapeur et eau purifiée. Le vapeur passe de l'état liquide avec des bulles d'air vers gazeux sans bulles d'air à travers la chaudière. L'entreprise lance un audit pour abaisser sa facture d'électricité très importante liée au système de chauffage.

Aussi, l'entreprise possède un deuxième problème qu'elle a constaté que le compresseur a besoin beaucoup d'énergie et ça secoue plus chère c'est pourquoi on va faire un bilan énergétique pour calculer les pertes charges et fuites pour obtenir à la fin des solutions envisagées pour réduire la consommation d'énergie.

III. Objectifs :

- Calculer les pertes charges du compresseur.
- Avoir les fuites disponibles.
- Proposer des solutions pour réduire la consommation d'énergie au niveau du :
 - Compresseur
 - Réservoir

IV. Etude de cas :

1. Bilan énergétique d'un compresseur :

La compression de l'air de médis « Neapolis Pharma » se fait par des compresseurs a vis sans huile. Ils sont constitués d'une vis male et d'une vis femelle qui s'engrènent et tournent en sens inverse lune de l'autre, places dans un bloc carte comportant les orifices d'admission et de refoulement.

Pour choisir le compresseur pour l'entreprise ; il faut déterminer les caractéristiques qui a besoin ce dernier.

Tableau 3: caractéristiques du compresseur de types BOGE

Types BOGE	Pression max (bar)	Débit d'air max M3/min	Puissance max (kW)	Dimension L*P*H (mm)	Poids(Kg)
SO61FA	8	6.65	45	2880*1295*1886	2854
SO61-2FW	8	7.05	45	2730*1314*2000	2376
SO76FA	8	8.85	55	2880*1295*1886	3054
SO76FA	10	7.7	55	2880*1295*1886	3054

2. Les composants de compresseur ont vu sans huile :

Le tableau présente les composants du compresseur qui employées dans NEAPOLIS PHARMA.

Tableau 4:composantes des compresseur

	Les composants	Les rôles
1	Filtre d'aspiration	Elimine des contaminations invisibles maximum
2	Moteur	Assure l'entraînement des vis sans fin du bloc compresseur
3	Clapet anti-retour	Le contrôle des pressions et le sens circulation d'air
4	Première étage basse pression	Comprime d'air à pression minimal
5	Amortisseur de pulsation	Chute la pression en cas d'enlèvement inhabituel
6	Première refroidisseur d'air comprime	Diminution de la température d'air comprimée par ventilateur
7	Clapet de sécurité	Pour éviter l'augmentation excessive en cas de dysfonctionnement
8	Séparateur air comprimé	Séparée l'air comprime de l'huile et l'eau
9	Filtre d'huile	Eliminer les particules dans l'huile

10	Régulateur d'huile	Le testeur de la température d'huile
11	Refroidisseur d'huile	C'est diminution de la température d'huile par ventilateur
12	Deuxième étage haute pression	Comprime d'air a pression intermédiaire
13	Deuxième refroidisseur d'air compresse	C'est diminution de la température d'air compresse par ventilateur
14	Purges	Rejetée l'eau et huile
15	silencieux	Pour éliminer maximum le bruit de compresseur

3. Principe de fonctionnement :

Le compresseur absorbe d'importante quantité d'air atmosphérique qui font pénétrer en continuer des contaminants invisibles : vapeur d'eau, vapeur d'huile, micro-organisme ... ; qui passe sur le filtre d'aspiration pour éliminer le maximum des contaminations invisibles et dans ce cas le clapet anti retour s'ouvre par pression minimum (p_0). Ensuite, il est comprimé dans le premier étage à basse pression. Le passage de l'air s'effectue parallèlement aux axes des vis. Puis, il est sorti a pression élevé (p_1) par rapport de pression entrée (p_0) et a température élevée , il passe sur refroidisseur d'air de premier étage est assure par un ventilateur qui située dans la partie du compresseur, il sert à refroidir l'air comprimé passant dans sa tuyauterie vers la séparation huile/air qui sépare l'air comprimée et huile ; pour refroidir les vis travers régulateur d'huile si base température il passe directement dans le compresseur ;si haute température il passe au refroidissement d'huile à travers un ventilateur puis vers compresseur.

Après le refroidissement d'air au premier étage, il passe au deuxième étage à haute pression de même fonctionnement au premier étage mais avec différent pression p_1 intermédiaire puis il est sorti à pression élevée (p_2).

4. Le rendement :

C'est le rapport de la puissance utile et puissance fournit ou le rapport entre l'énergie utile et l'énergie fournit.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance fournit}} = \frac{\text{energie utile}}{\text{energie fournit}}$$

L'air atmosphérique est aspire dans le compresseur a $6.65 \text{ m}^3/\text{min}$ a température 26°C à partir de temps 7h40min36s (affiche par l'afficheur du compresseur) :

- Pression réseau =7.4 bar
- Pression système =7.4 bar
- Pression intermédiaire =2.2 bar
- Pression huile =2.9 bar
- Température basse pression = 135°C
- Température haute pression = 126°C
- Température d'huile = 45°C

Après un certain temps, le compresseur est en marche à vide. Il donne a 7h40min49s :

- Pression réseau =8 bar
- Pression système =0.1 bar
- Pression intermédiaire =0.6 bar
- Pression huile =2.9 bar
- Température basse pression= 154°C
- Température haute pression = 132°C
- Température d'huile = 45°C

Le compresseur est en marche à vide jusqu'à 7h42min48s mais les paramètres varient :

- Pression réseau =7.1 bar
- Pression système =0.2 bar

- Pression intermédiaire = 0 bar
- Pression huile = 2 bar
- Température basse pression = 129°C
- Température haute pression = 71°C
- Température d'huile = 45°C

Dans le premier étage basse pression : température de refoulement 132°C = (405K) et pression (2.2-0.6)=1.6 bar

Dans la deuxième étage haute pression : température de refoulement 71°C = (344K) et pression (8-7.1)=0.9 bar

- **Loi du gaz parfait :**

$$P \cdot V = r \cdot T$$

Avec :

P : pression absolue (en Pa)

V : volume massique (m^3/Kg)

T : température absolue (K)

R : constante du gaz parfait : $r = \frac{8.314}{M_{air}} = \frac{8.314}{29 \times 10^{-3}} = 287$ (j/Kg.K)

Cette relation est appliquée au compresseur : un volume d'air constant est aspiré dans les chambres du compresseur dont le volume diminue. Cette diminution engendre l'augmentation de la pression et de la température de l'air.

On applique cette relation pour déterminer le volume de refoulement : $V = \frac{r \cdot T}{P}$

$$V_1 = \frac{(287 \times 405.15)}{(1.6 \times 10^5)} = 0.73 \text{ m}^3/Kg$$

- Premier étage basse pression :

$$V_2 = \frac{(287 \times 344.15)}{(0.9 \times 10^5)} = 1.097 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

- Deuxième étage haute pression :

Alors le volume sortant du compresseur V_s d'après la comparaison au premier et du deuxième étage :

$$V_s = V_2 - V_1 = 0.37 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

- Débit volumétrique :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Avec :

V : volume (m^3)

T : durée de le premier étage : $t_1 = 7\text{h}40\text{min}49\text{s} - 7\text{h}40\text{min}36\text{s} = 13\text{s} = 0.22\text{min}$

Donc

$$Q_1 = \frac{0.73}{0.22} = 3.32 \text{ m}^3/\text{min}$$

$t_2 = 7\text{h}42\text{min}48\text{s} - 7\text{h}40\text{min}49\text{s} = 1\text{min}99\text{s} = 2.65\text{min}$

$$Q_2 = \frac{1.097}{2.65} = 0.42 \text{ m}^3/\text{min}$$

Alors le débit volumétrique sortant du compresseur Q_s d'après la compression au premier et deuxième étage :

$$Q_s = Q_1 - Q_2 = 2.91 \text{ m}^3/\text{min} = 174.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Puissance utile :**

$$P_u = U \times I$$

Avec :

P_u : Puissance utile (W) ; pour obtenir la puissance (en KW)

U : d'après le voltmètre =380V

I_{ch} : D'après ampèremètre en charge =97.6A

I_{dech} : d'après ampèremètre en décharge =56.2A

- **Le rendement :**

$$\text{Rendement} = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbe}}$$

La puissance absorbée est donnée par la fiche technique du moteur électrique de compresseur.

Elle égale à 55KW

Tableau 5:puissance utile et rendement

	Puissance utile (W)	Puissance utile (KW)	Rendement
En charge	37088		67.4%
En décharge	21356	21.36	38.8%

D'ou on trace en pris ses valeurs la courbe du rendement en fonction du charge et décharge

5. Les réservoirs :

Le réservoir d'air comprime remplit des services importants :

- ils permettent d'assurer le lavage de l'eau libre et de l'huile contenues dans les débits d'air comprime.

-ils diminuent le flux des cycles a vidé/en charge ou marche/arrêt assurant un bon fonctionnement des compresseurs a vis et réduisant les démarrages de moteurs. La majorité des compresseurs a vis comportent un dispositif de protection interne interdisant plus de 4 à 6 démarrages par heure.

-ils ralentissent les variations de pression du système pour obtenir une meilleure régulation des compresseurs et pour avoir des pressions plus stables grâce au système d'air comprimé.

De plus, l'équipement d'un réservoir d'air vous permet d'éviter les risques suivants :

- Pics de pression
- Démarrage/arrêt multiples du compresseur
- Risque de formation de condensats plus élevé

Le réservoir d'air qui « Neapolis Pharma » utilise est galvanisée car la galvanisation est destinée à protéger l'acier contre corrosion. Ce réservoir contient des robinets de purge, clapet de sécurité manomètres et purges capacitif sans perte d'air comprime.

Avec la température maximale 120 degré, la température minimale 10 degré et la pression 11.5 bar.

6. Passage d'air comprime :

Il existe deux passages d'air comprime :

- Passage d'air comprime stérile :

Il est utilisé pour la fabrication du produit pharmaceutique dans un tuyau inox car il maintient une bonne qualité d'air comprime sèche et perte de charge faible.

- Passage d'air comprimé industriel :

Il est utilisé pour des vannes des quelques machines employant l'air comprime. Le tuyau est en aluminium car il résiste à alla corrosion, léger et facile mais la pression nominale est limitée.

7. Bilan énergétique d'air comprimé

a. Introduction :

L'énergie électrique est la source d'énergie la plus utilisée pour la production d'air comprimé. Dans la plupart des installations d'air comprimé, il existe des possibilités d'économie d'énergie importantes mais souvent inexploitées, notamment la récupération d'énergie.

b. Central du compresseur :

- **La puissance absorbée :**

La puissance absorbée est la puissance électrique consommée par le moteur du compresseur. La puissance absorbée du moteur par courant alternatif triphasé soit en triangle soit étoile se calcule comme suit :

$$P_{abs} = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$$

Avec :

U, I, $\cos \varphi$ sont données par la fiche technique du moteur électrique du compresseur.

P_{abs} Puissance absorbée (en W)

Tableau 6: puissance absorbée des compresseurs

	U(v)	I en charge (A)	I en décharge (A)	$\cos \varphi$	Puissance absorbée en charge	Puissance absorbée en décharge
BOGE SO61FA	380	97.6	56.2	0.9	57.81	33.29

- L'énergie : $E=P \times \text{Nombre d'heures}$

Entre l'Année 2016 et 2022, on a enregistré :

- 20332 d'heures de service
- 13850 d'heures de marche à vide

Pour une année, on a enregistré :

- Heures de service $\frac{20332}{6} = 3388.66h/an$

- Heures de marche a vide $\frac{13850}{6} = 2308h/an$

Sachant que le prix de kWh est égal à 0.180dt

Tableau 7:consommation d'énergie par année

	Energie (KWh / an)	Prix (DT/an)	
En charge	196554	35379.72	
En décharge	76833.32	13829.99	
La somme	273387.32	49209.717	

Selon le calcul théorique, la consommation d'énergie en un an est de 273387.32KWh.

Pour obtenir la consommation d'énergie en une heure, sachant qu'une année possède de 365 jours est multiplié par 24h pour obtenir une année de 8760 heures, donc tout en divisant la consommation annuelle d'énergie par 8760 heures pour obtenir 31.21 KWH en une heure. Le compresseur produit $174.6m^3$ d'air comprime par heure ; $1 m^3$ produit en $1/174.6 = 5.727 * 10^{-3}$ heures. Pour cela, nous savons que $1m^3$ est produit en $5.727 * 10^{-3}$ heures. Après nous appliquons la règle de trois entre 31.21KWh par heure et $1m^3$ par $5.727 * 10^{-3}$ heures est égale $0.1787kwh/m^3$. Donc $1m^3$ d'air comprime consomme $0.1787kwh/m^3$ celui correspond un prix de 0.0322 ddt.

Analyse de la distribution d'air comprime :

Le réseau de la distribution comprend les divisions de tuyaux reliant les réseaux aux points d'utilisation.

La rentabilité de cette distribution dépend :

De la configuration spatiale

Des fuites

Des pertes de charge

c. Calcul de la perte de charge du circuit d'air comprimé :

Lorsque l'air circule dans les conduites, il se produit un frottement qui a pour conséquence une diminution de la pression donc une perte d'énergie.

La perte de charge peut être :

Linéaire ou régulier : ils correspondent à l'écoulement le long de la canalisation.

Singulier : ils apparaissent lors d'un changement de direction ou section d'air comprimé (raccords, vanne, etc).

La perte de charge est influencée par plusieurs facteurs :

Diamètre interne des tuyaux

L'augmentation du diamètre interne des tuyaux réduit la perte de charge

Débit d'air

La forte consommation en air de l'équipement provoque une augmentation de la perte de charge

Facteur de frottement

Ce facteur est lié aux matériaux utilisés dans les tuyaux

Longueur du réseau

Plus le réseau est long, plus la perte de charge est importante

Pression de service

Plus la pression de service est basse, plus la perte de charge augmente

➔ La perte de charge d'air comprimé est linéaire alors elle peut être calculée selon la formule suivante :

$$\Delta P = \frac{F \times L \times \rho \times \vartheta^2}{d \times 2}$$

avec:

F : Facteur découlement

ρ : Masse volumique d'air (1.2Kg/ m³)

L : Longueur du tuyau

ϑ : Vitesse d'air comprime

d :Diamètre intérieur du tuyau

Les tuyaux sont divisés en deux circuits : circuit stérile et circuit industriel

Tableau 8: caractéristiques de chaque circuit

	Circuit stérile	Circuit industriel
Les nombres des points	26	26
Longueur (m)	800	850
Diamètre (mm)	20	20
Débit de chaque circuit (L/s)	24.5	24.25

Pour le facteur d'écoulement :

ϑ_i : viscosité cinématique d'air = $15.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

ϑ : vitesse d'air comprime (m/s) : $\vartheta = \frac{Q}{s} = \frac{0.0485}{0.0314} = 1.55 \text{ m/s}$

R_e : nombre de Reynolds : $R_e = \frac{\vartheta \times d}{\vartheta_i} = 1987.18$

Puisque $R_e < 2000$ donc on peut calculer le facteur d'écoulement selon la formule suivante :

$$F = \frac{64}{R_e} = 0.0322$$

On a comme données :

$$\rho_{air} = 1.29 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

$$\rho_{air} = 1.2 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

→ Perte de charge dans le circuit stérile :

$$\rightarrow \Delta P = \frac{F \times L \times \rho \times v^2}{d \times 2} = \frac{0.0322 \times 800 \times 1.2 \times (1.55)^2}{0.02 \times 2} = 1856.65 \text{ Pa} = 0.0185 \text{ bar}$$

→ Perte de charge en circuit industriel :

$$\rightarrow \Delta P = \frac{F \times L \times \rho \times v^2}{d \times 2} = \frac{0.0322 \times 850 \times 1.2 \times (1.55)^2}{0.02 \times 2} = 1972.69 \text{ Pa} = 0.0197 \text{ bar}$$

Pour déterminer le volume d'air comprimé à travers la perte de charge, on utilise la formule de loi d'air comprimé :

$$P \times V = R \times T$$

Avec :

$$r : \text{constante ; } r = \frac{8.314}{M_{air}} = \frac{8.314}{29 \times 10^{-3}} = 287 \text{ j/Kg.k}$$

$$t = 45^\circ\text{C} = 318.15 \text{ K}$$

Le volume :

$$V = \frac{r \times T}{P}$$

Dans le circuit stérile :

$$V = \frac{r \times T}{P} = \frac{287 \times 318.15}{1832.77} = 49.18 \text{ m}^3$$

Consommation d'énergie=49.18*0.1787 =8.788KWh/m³

En circuit industriel :

$$V = \frac{r \times T}{P} = \frac{287 \times 318.15}{1972.28} = 46.28 \text{ m}^3$$

La consommation d'énergie =46.28*0.1787=8.27KWh/ m³

- **consommation d'énergie annuelle :**

Tableau 9:consommation de l'énergie par une heure

	Consommation de l'énergie			
Production	Les fuites		La perte de charge	
	Compresseur	Réservoir	Stérile	Industriel
273397410	7.28	6.65	8.788	8.27

Sachant qu'une année à 365j

Nombre d'heure par une année : 365*24=8760 heures

D'ou :

Tableau 10:consommation d'énergie annuelle

	Consommation de l'énergie			
Production	Les fuites		La perte de charge	
	Compresseur	Réservoir	Stérile	Industriel
273387.32	63772.8	58254	76982.88	72445.2

8. Les solutions envisagées pour réduire la consommation d'énergie

a. Le compresseur :

Le compresseur consomme beaucoup d'énergie en raison de la demande des points ajoutés à cotes consommateur dire comprime (industriel et stérile) et sa période de repos est réduite, c'est adire le compresseur consomme toujours de l'énergie car il s'éteint pendant quelques secondes pendant la période de repos, puis se rallume. La solution exceptée pour gagner un minimum d'énergie est :

Solution : diminution les heures de marche à vide Une fois les heures de marche avide réduites, la consommation d'énergie est réduite. Ainsi, le compresseur revient à sa période de repos normal (2 à 3min) et réduit les fuites.

b. Pour le réservoir :

Solution : augmenter la capacité du réservoir

Il existe un réservoir de volume $2m^3$ pour le compresseur. L'utilité de ce réservoir est de minimiser la fréquence d'utilisation de compresseur et éviter par conséquent les grandes

variations de pression dans le système. Il devrait être choisi selon la valeur du volume minimal, garantissant une bonne rentabilité se calcule selon :

$$V = \frac{Q \times t}{P_{max} - P_{min}}$$

avec:

P_{max} : Pression déclenchant l'arrêt du compresseur =7.1 bar

P_{min} : Pression déclenchant la marche du compresseur =8 bar

Q : Débit moyen des compresseur =2.91 m^3 /min

t : Durée de la consommation d'air (42min48s-40min36s=2.2min)

$$V = \frac{2.91 \times 2.2}{8 - 7.1} = 7.1133 = 8m^3$$

On constate que les volumes des réservoirs utilisés sont inférieurs au volume minimal 8

Un réservoir trop petit génère :

Une augmentation de la consommation d'énergie

Une usure prématurée des paliers, les cycles de charge décharge étant trop fréquents

Il est recommandé de changer les réservoirs existants par des réservoirs de volume supérieur à $8m^3$.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre on a réussi à la fin de choisir le dégazeur adéquat pour le travail de l'entreprise, ainsi on a réussi de trouver des solutions pour réduire l'énergie du compresseur.

Conclusion générale

En outre cette découverte, ce stage m'aura également apporté une nouvelle vision de l'entreprise, aussi bien au niveau organisationnel, qu'au niveau humain. Durant ces quatre semaines, on fait un tour dans l'entreprise en premier lieu. J'ai bien compris le principe de fonctionnement de chaque station ainsi leurs composants puis on étudie le bilan énergétique du compresseur dans le but de réduire l'énergie consommée et assurer le gain économique à l'entreprise. J'ai passé 40 jours riche des informations, à la fin de ce stage, l'entreprise veut commander un dégazeur adéquat pour leur travail, le fournisseur a demandé une fiche bien détaillée occupée par une conception mécanique c'est pourquoi j'ajoute à l'étude de cas une petite conception.

Référence bibliographique

[1] <https://www.medis.com.tn/index.php?id=156>

[2] https://www.topmotors.ch/sites/default/files/2018_08/F_MB_26_Compresseurs_air_compr_ime.pdf

[3] <https://www.compair.com/fr-tn/air-treatment-and-accessories/downstream-and-ancillary-equipment/compressed-air-dryer/desiccant-dryers>

[4] <https://www.rncan.gc.ca/node/equipements-auxiliaires-des-compresseurs-dair/15113>