



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES

Génie Électrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

*Réduction de la consommation électrique de
La centrale de l'Air comprimé.*

Réalisé Par :

AYOUB OUFADEL

Encadré par :

Pr. EL AMRANI EL IDRISSEI Najiba (FST FES)

Mr. ABID Reda (chef du centre emplisseur)

Soutenu le 07 Juin 2018 devant le jury composé de :

Pr. EL AMRANI EL IDRISSEI Najiba (FST - FES)

Pr. LAHBABI Mhamed (FST - FES)

Pr. LAMCHARFI Tajdine (FST - FES)

Remerciement

Au terme de ce travail j'aimerais rendre hommage à tous ceux qui de loin ou de près m'ont apporté leurs encouragements.

Je me ferais un agréable devoir de remercier mon encadrante Madame EL AMRANI EL IDRISSE NAJIBA de la FST-FES pour m'avoir dirigé ce travail de projet de fin d'étude et m'avoir fait bénéficier de son expérience et de ses précieux conseils.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements envers mon encadreur Monsieur REDA ABID chef du centre emplisseur SALAM GAZ pour les conseils qu'il m'a généreusement prodigués.

Je voudrais aussi témoigner ma profonde reconnaissance à mes co-encadrants Mr. MUSTAPHA SEBI responsable électrique de la sociétés, Mr. DRISS Radi responsable mécanique et secouriste du centre Mr. YASSIR Boutahri responsable maintenance, pour leurs suivis qui était fructueux pour l'accomplissement du travail.

J'exprime ma gratitude envers Mr. Abdelkader Seghrouchni responsable administratif et commercial du centre ses encouragements.

J'aimerais aussi remercier, tous les membres de ma famille ainsi que tous mes amis.

Sommaire :

Introduction générale.....	8
Problématique.....	8
Chapitre 1 : Description du lieu de stage.....	9
1- Description de la société SALAM GAZ	9
2- Historique.....	9
3- Description du centre emplisseur Fès/Meknès.....	10
4- Superficie.....	10
5- Les activités du centre	10
5-1) Stockage GPL (dépotage).....	11
5-2) L'emplissage.....	11
5-3) L'entretien des BD.....	12
6- L'organigramme du centre emplisseur FES/MEKNES.....	13
7- L'alimentation du centre.....	13
Chapitre 2 : La centrale de l'air comprimé.....	15
1- Introduction de la centrale.....	15
2- Les différents technologies des compresseurs d'air.....	15
3- Les équipement de la centrale d'air comprimé.....	18
3-1) Les compresseurs.....	18
3-2) Les sécheurs d'air.....	22
3-3) Le réservoir d'air.....	22
4- La gestion des compresseurs.....	22
Chapitre 3 : Diminution de la consommation par élimination des fuites.....	25
1- Calcul du débit de fuite.....	25

1-1) Méthodologie du calcul du débit de fuite.....	25
1-2) Calcul du débit de fuite par la méthode des cycles charge/vide du compresseur de régulation.....	26
2- Détection des fuites et réparation.....	28
3- Calcul du débit de fuite après la diminution des fuites.....	29
4- Gain engendré par la réduction du débit de fuite.....	30
Conclusion.....	31

Chapitre 4 : diminution de la consommation en limitant les cycles de

Fonctionnement à vide du compresseur de régulation.....	33
Problématique.....	33
1- Régulation par tout ou rien.....	33
2- Régulation par variateur de vitesse.....	33
2-1) Principe de la régulation.....	33
2-2) Principe de fonctionnement du variateur de vitesse.....	34
2-3) Le choix du variateur de vitesse.....	37
2-4) Le choix du pressostat.....	37
2-5) Le choix des vitesses du variateur du variateur.....	38
2-6) Câblage et configuration du variateur.....	39
2-7) Calcul du gain de la régulation a vitesse variable.....	40
Conclusion.....	35

Chapitre 5 : dimensionnement d'une installation photovoltaïque de

Puissance 112KWh/jr.....	43
Introduction.....	43
1) Définition de l'Energie photovoltaïque.....	43
2) Les types des systèmes photovoltaïques.....	43
2-1) L'installation autonomes.....	44

2-2) L'installation raccordé au réseau ONEE.....	44
3) Critères de choix des composantes.....	45
3-1) Le choix des panneaux solaires.....	45
3-2) Le choix de l'onduleur.....	47
4) Dimensionnement de l'installation PV.....	47
4-1) L'orientation et l'inclinaison.....	47
4-2) Dimensionnement des panneaux PV.....	49
4-3) Dimensionnement de l'onduleur PV.....	50
4-4) Câblage des panneaux.....	51
4-5) Dimensionnement des câbles.....	51
4-6) Dimensionnement des fusibles de protection.....	52
5) Bilan économique.....	53
Conclusion.....	54
Conclusion générale.....	55
Bibliographie.....	56
Webographie.....	56

Liste des figures :

Figure 1 : centre emplisseur Fès/Meknès.....	10
Figure 2 : la sphère du butane.....	11
Figure 4 : circuit électrique de l'alimentation ONEE vers le TGBT et la batterie des condensateurs.....	14
Figure 5 : l'architecture interne du compresseur d'Air à piston.....	16
Figure 6 : l'architecture interne du compresseur d'Air à vis.....	16
Figure 7 : l'architecture interne du compresseur d'Air à palette.....	17
Figure 8 : l'architecture interne du compresseur d'Air à spirale.....	17
Figure 9 : Compresseur Ingerssol RAND M55 / ATLAS COPCO GA55.....	18
Figure 10 : les composants du compresseur à vis.....	20
Figure 11 : schéma de puissance du compresseur à vis.....	21
Figure 12 : les sécheurs d'air d'atlas Copco et Ingersoll rand.	22
Figure 13 : l'évolution de la pression en fonction du temps.....	23
Figure 14 : cycle de la vidange du réservoir.....	25
Figure 15 : les cycles charge vide du compresseur.....	26
Figure16 : checklist des sources de fuites d'air et état d'avancement de l'intervention	29
Figure 17 : distribution des vitesses selon l'évolution de la pression.....	34
Figure 18 : les blocs fonctionnelles du variateur de vitesse.....	35
Figure 19 : redresseur triphasé a 6 diodes.	36
Figure 20 : filtrage du signal redressé.....	36
Figure 21 : signal de sortie du variateur.....	36
Figure 22 : l'état des contacts du pressostat en fonction des cycles de pression.....	37
Figure 23 : les entrées TOR du variateur.....	39
Figure 24 : les blocs fonctionnels d'une installation PV autonome.....	44
Figure 25 : les blocs fonctionnels d'une installation raccordé au réseau.....	45

Figure 26 : les types des panneaux PV.....	46
Figure 27 : l'impact de l'angle d'inclinaison sur l'irradiation solaire	48
Figure 28 : les données de la température et l'ensoleillement par Meteonorm	48
Figure 29 : l'orientation et l'inclinaison trouve par PVSYS (vers l'Est avec l'inclination = 30° et l'azimut= 0°	49
Figure 30 : les données de la température et l'ensoleillement par Meteonorm.....	50
Figure 31 : le taux annuel d'alimentation PV par rapport à celle du réseau ONEE des sécheurs.....	54

Introduction générale :

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études en vue d'obtention du diplôme de licence sciences et techniques en génie électrique de la FST de Fès pour l'année universitaires 2017/2018. Il s'est déroulé au sein de la société SALAM GAZ, dans le domaine de l'air comprimé, et plus particulièrement dans la rénovation énergétique. Cette mission me passionne car elle est en constante évolution et concerne l'immense majorité des centrales de l'air comprimé actuels.

Le but de ce rapport n'est pas de faire uniquement une présentation exhaustive de tous les aspects techniques que j'ai pu apprendre ou approfondir, mais aussi, de faire un tour d'horizon, de manière synthétique et claire, des aspects techniques et humains auxquels j'ai été confronté.

Il est organisé en 5 chapitre :

- *Le premier chapitre : description du lieu de stage.
- *Le deuxième chapitre : La centrale d'air comprimé.
- *Le troisième chapitre : Diminution de la consommation par élimination des fuites.
- *Le quatrième chapitre : diminution de la consommation en limitant les cycles de
Fonctionnement à vide du compresseur de régulation.
- *Le cinquième chapitre : dimensionnement d'une installation photovoltaïque de
Puissance 112KWh/jr.

Problématique :

La société SALAM GAZ préconise à ses centres emplisseurs une consommation électrique moyenne de l'ordre de 10 kW pour chaque tonne du GPL (gaz de pétrole liquéfier) remplie dans les bouteilles. Cependant le centre Fès/Meknès enregistre un dépassement de 3 à 4 kW par tonne, il lui est assigné une réduction de la consommation notamment au niveau de la centrale d'air, l'une des unités énergivores du centre.

D'où l'objectif global de réduire la consommation de cette centrale peut résoudre le problème.

L'objectif spécifique de ce Projet de Fin d'Etude est double. Le premier porte sur la diminution du débit de fuite et l'élimination des cycles de fonctionnement à vide du compresseur de régulation. Le 2^{ème} concerne le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation partiel des sécheurs d'air.

Chapitre 1 : Description du lieu de stage.

1/ Description de la société.

Salam Gaz se positionne en tant que Leader dans le domaine de la Logistique et de l'Emplissage des GPL (Gaz de Pétroles Liquéfiés) Conditionnés à travers ses 12 Centres Emplisseurs : Tétouan, Tanger, Larache, Oujda, Nador Sélouane, Al Hoceima, Fès-Meknès, Sidi Kacem, Taza, Skhirat, Errachidia, Marrakech et son Terminal de Nador.

Forte de son histoire et de son héritage de plus d'un demi-siècle, Salam Gaz continue d'agir sur les axes prioritaires suivants :

1. Réalisation des meilleures Performances de rentabilité et de compétitivité.
2. Fidélisation et Amélioration Continue des services rendus à ses Clients.
3. Anticipation sur les mutations futures par des nouveaux concepts en matière d'infrastructures et de Mode de Management.
4. Développement et la valorisation des Ressources Humaines

Le mode de Gestion de Salam Gaz est renforcé par la Certification de son Système de Management de la Qualité conformément à la Norme ISO 9001 version 2008. Cette Certification couvre l'ensemble des sites de l'Entreprise et leurs activités.

Salam Gaz continue à mobiliser toutes ses ressources pour concrétiser sa vision et jouer un rôle moteur dans la profession des GPL au Maroc.

2/ Historique.

Salam Gaz capitalise plus de 50 ans d'expertise et de savoir-faire dans le domaine de l'emplissage des GPL (Gaz de Pétrole liquéfiés), à travers la Société Chérifienne des Pétroles (SCP), pionnière dans l'introduction des GPL au Maroc.

Salam Gaz a été créé en 1991 par association entre SCP et Tissir Primagaz. Ce Partenariat a été concrétisé par la construction et la mise en service du premier Centre Emplisseur portant son nom. Salam Gaz Skhirat a poursuivi son développement par la réalisation du Centre Emplisseur de Larache.

L'actionnariat de Salam Gaz est constitué de SAMIR (50%), TOTAL MAROC (20%), AFRIQUIA GAZ (20%) et ZIZ (10%).

3/ Description du centre emplisseur Fès/Meknès.



Figure 1 : centre emplisseur Fès/Meknès.

Le centre emplisseur de Fès/Meknès vient renforcer l'infrastructure industrielle de Salam gaz. Il permettra de couvrir les besoins en GPL conditionnés de toute la région. Situé dans la commune rurale de Iksir Cercle de Ain Taoujdate, province d'El Hajeb, sur une bretelle de la route nationale Rn N°6 reliant Fès à Meknès (20 Km de Fès et 35 Km de Meknès), le centre emplisseur de Fès/Meknès est doté d'installations modernes qui permettent de répondre au mieux aux attentes des clients.

4/ Superficie.

Construit sur un terrain d'une superficie de 12 hectares, il comporte les aménagements suivants :

- * *Bâtiments : 1420 m²*
- * *Charpente métallique : 4000 m² couverts*
- * *Aires dallées (béton) : 19 818 m²*
- * *Air goudronnée : 15 332 m²*
- * *Route d'accès goudronnée : 1.6 Km*

5/ Les activités du centre

5-1) Stockage GPL (dépotage)

- * BUTANE : 8 réservoirs cylindriques (cigare) de 230 m³ chacun, et 1 Réservoir sphérique de 6000 m³
- * PROPANE : 2 réservoirs cylindriques de 145 m³ chacun.



Figure 2 : la sphère du butane.

5-2) L'emplissage

L'emplissage des bouteilles de gaz est réalisé suivant un processus intégré qui assure la qualité et la sécurité au consommateur.

Salam Gaz emplit pour le compte de ses clients et conformément aux normes de sécurité des bouteilles d'emballage différents : 3kg, 6kg et 12kg pour le butane et la bouteille de 34kg pour le propane.

L'alimentation des halls se fait par cinq pompes pour le butane de débit de 55 m³/h et de 24 m³/h avec une puissance de 45kw pour la pompe de 55 m³/h et 22 kW pour la pompe de 24 m³/h et 1 pompe pour le propane de débit 8 m³/h de puissance de 7.5kw.

Pour les bouteilles de type 12kg butane, le processus d'emplissage est réalisé selon les étapes suivantes :

1. Déchargement des bouteilles.
2. Déchapeautage.
3. Tri des bouteilles.
4. Emplissage des bouteilles sur le carrousel.
5. Contrôle du poids des bouteilles pleines.
6. Remise au poids des bouteilles si le poids est non conforme.

7. Premier Contrôle d'étanchéité : avant capsulage par le détecteur de fuite électronique.
8. Capsulage.
9. Ouverture du robinet.
10. Deuxième contrôle d'étanchéité par immersion des bouteilles capsulées avec le robinet ouvert.
11. Graissage de la collerette.
12. Montage du chapeau.
13. Chargement des bouteilles pleines dans les palettes.

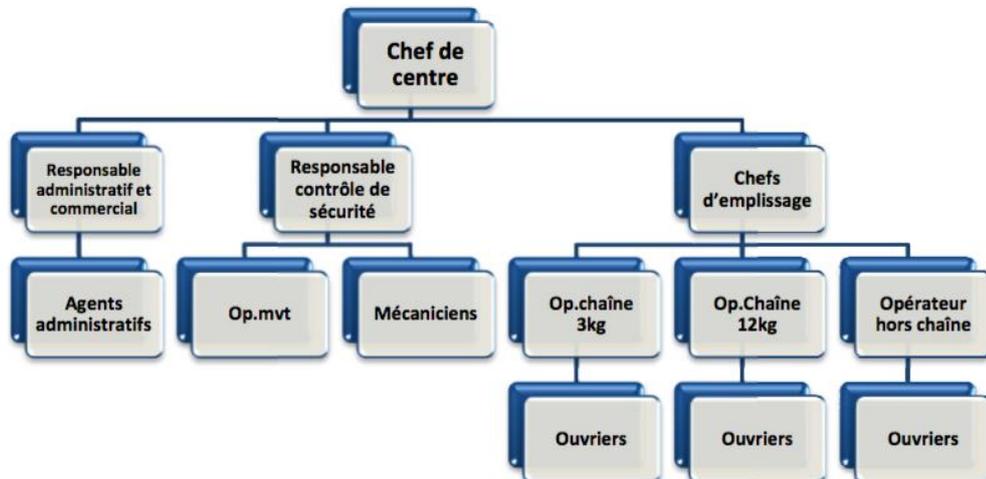
Pour les BD (bouteilles du GPL) de 3 et 6 avant l'emplissage les BD passent dans une chaîne de nettoyage contenant les opérations de lavage, brossage puis rinçage.

5-3) L'entretien des BD.

L'entretien des BD se fait dans un hall spécifique sous le contrôle d'un opérateur agréé par l'État pour trier les BD qui peuvent être réparés et les autres pour la destruction pour l'entretien on trouve les unités suivantes ;

1. Cabine de peinture BD3.
2. Cabine de peinture BD12.
3. Unité de lavage BD12.
4. Banc d'épreuve a 10 postes pour BD12, BD 3, BD6 et l'unité d'épreuve BD34.
5. Machine de démontage et remontage robinets BD12, BD6 et BD34.
6. Bascules de tarage.
7. Machine redressage pieds BD.
8. Presse pour destruction BD reformées.
9. Local réparation palettes/casiers.

6/ L'organigramme du centre emplisseur SALAM GAZ Fès/Meknès.



7/ L'alimentation du centre.

L'alimentation du centre se fait par une alimentation électrique de 22kV/380V avec un transformateur de 800 kVA, elle se compose de :

- * Une distribution principale comportant les fusibles et les disjoncteurs pour tous les départs vers les tableaux secondaires de chaque hall.
- * Un transformateur d'éclairage.
- * Une installation des moteurs.
- * Une installation d'alarme incendie/gaz.
- * Une installation d'arrêt de secours.

En cas d'interruption d'électricité du réseau ONEE ou chute de tension ou de fréquence, un groupe électrogène de puissance 630 kVA de la marque GESAN avec un moteur diesel de Volvo alimenté par un réservoir interne de 1000L de gasoil et un autre externe d'une capacité de 6 m³ démarre automatiquement et bascule via un inverseur normal / secours du réseau ONEE vers le GE.

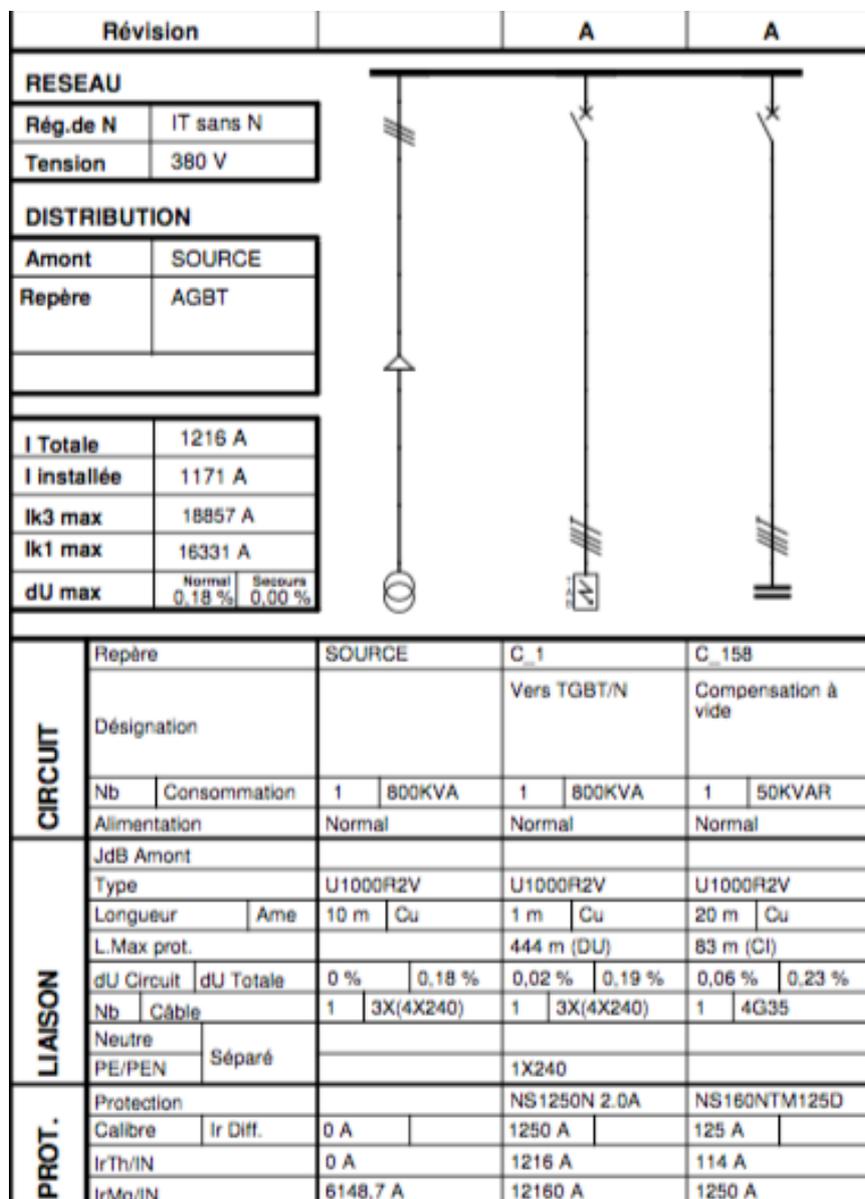


Figure 4 : circuit électrique de l'alimentation ONEE vers le TGBT et la batterie des Condensateurs.

La batterie des condensateurs compense l'Energie réactif de tel sort de garder le $\cos(\alpha)$ entre 0.97 et 1.

Chapitre 3 : La centrale de l'air comprimé.

1/ Introduction de la centrale.

L'air comprimé utilisé dans les **systèmes pneumatiques** est au départ de l'air à la pression atmosphérique porté artificiellement à une pression plus élevée appelé pression d'utilisation. L'air comprimé est utilisé comme moyen de transport et de stockage d'énergie. De production facile il présente un certain nombre d'avantages. Surtout le côté de la sécurité dans les halls qui sont des milieux explosifs. Pour cela le centre utilise l'énergie pneumatique la plus compatible à cette atmosphère et le matériel électrique certifié ATEX. C'est le cas des moteurs des convoyeurs, lampes d'éclairage (ADF) et des automates des bascules électroniques à **sécurité intrinsèque**....

Aussi les solutions pneumatiques comportent moins de pièces mobiles et sont de conception plus simple, ce qui permet une maintenance et un fonctionnement moins coûteux que les outils électriques.

2/ Les technologies des compresseurs d'air.

Il existe une grande variété de compresseurs, adaptés à la nature de l'utilisation, au débit et à la pression nécessaire, on peut distinguer les technologies suivantes :

- **Les compresseurs d'air à piston.**

C'est l'un des tout premiers modèles de compresseurs, encore beaucoup utilisé pour sa polyvalence et son excellent rendement. Ils profitent du principe de déplacement positif. Lorsque le piston se déplace vers le bas à l'intérieur du cylindre, l'air pénètre dans l'espace vide au-dessus grâce à la différence entre la pression atmosphérique et la pression présente à l'intérieur du cylindre. L'air est ensuite comprimé lorsque le piston remonte vers le haut et envoyé vers un second cylindre pour les modèles plus puissant ou stocké directement dans le réservoir.

Utilisable pour les pressions supérieures à 20 bar.

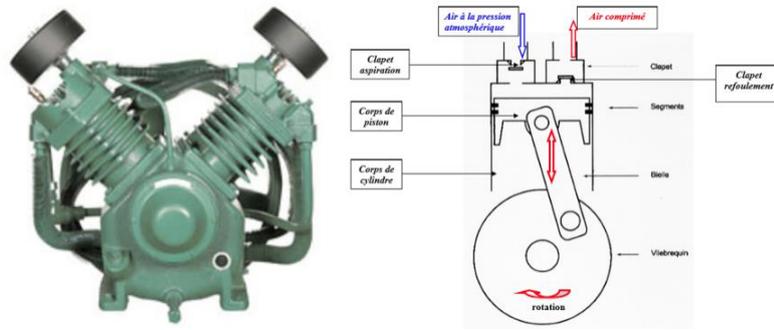


Figure 5 : l'architecture interne du compresseur d'Air à piston.

- Les compresseurs d'air à vis.

Développés dans les années 1930, les compresseurs à cylindrée variable à deux vis ont deux parties principales - les rotors mâle et femelle, qui tournent dans des directions opposées tandis que le volume entre eux et le boîtier diminue. Chaque élément de vis a un rapport de pression fixe et intégré qui dépend de sa longueur, du pas de la vis et de la forme de l'orifice de décharge. Pour atteindre une efficacité maximale, le rapport de pression intégré doit être adapté à la pression de service requise.

Les compresseurs à vis modernes sans huile ont des profils de vis asymétriques qui réduisent les fuites internes et améliorent l'efficacité énergétique. Leurs engrenages externes sont le plus souvent utilisés pour synchroniser la position des rotors contrarotatifs. Comme les rotors n'entrent jamais en contact les uns avec les autres, aucune lubrification n'est nécessaire dans la chambre de compression et l'air comprimé produit est complètement exempt d'huile.

Utilisable pour les débits importants d'air comprimé.

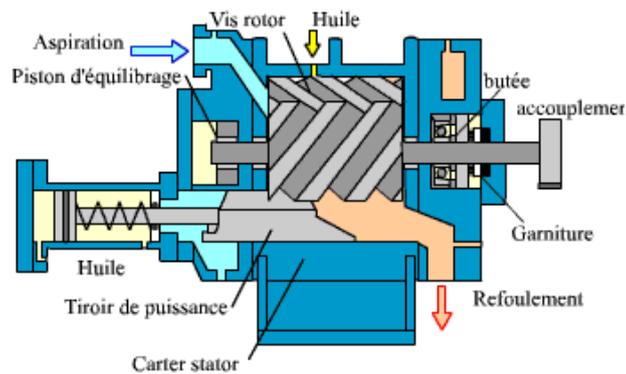


Figure 6 : l'architecture interne du compresseur d'Air à vis.

- Les compresseurs d'air à palette.

La plupart des compresseurs à palettes sont lubrifiés à l'huile et fonctionnent selon le même principe que de nombreux moteurs d'expansion à air comprimé. Un rotor avec

des ailettes radiales mobiles en forme de lame est monté de manière excentrique dans un boîtier de stator. Lorsqu'elle tourne, les ailettes sont pressées contre les parois du stator par la force centrifuge. L'air est aspiré tandis que la distance entre le rotor et le stator augmente. L'air est capturé dans les différentes poches de compresseur, et diminue en volume avec la rotation et est ensuite déchargé lorsque les aubes passent par l'orifice de sortie.

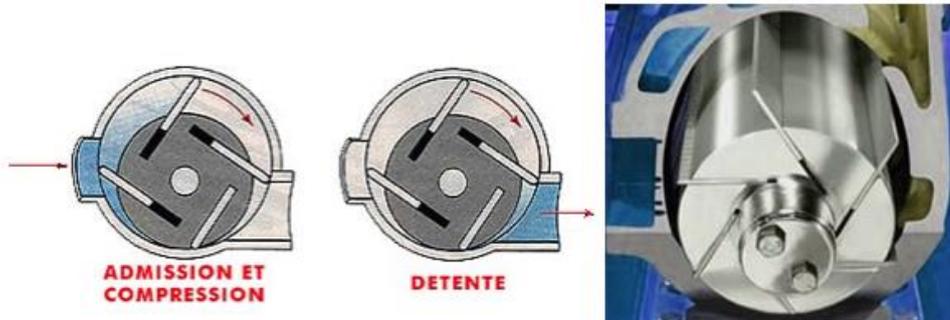


Figure 7 : l'architecture interne du compresseur d'Air à palette.

- Les compresseurs à spirale (scroll).

Un compresseur à spirale est un dispositif de compression d'air. Il est utilisé dans les équipements de climatisation, comme les compresseurs d'automobile.

Un compresseur à spirale fonctionne avec deux spirales intercalées comme des palettes pour pomper et comprimer des fluides. Souvent, une des spires est fixe, alors que l'autre se déplace excentriquement sans tourner, de sorte à pomper, emprisonner puis comprimer des poches de fluide entre les spires.



Figure 8 : l'architecture interne du compresseur d'Air à spirale.

- Conclusion.

Les compresseurs alimentent en air des outils pneumatiques. Chaque outil a besoin d'une certaine quantité d'air à une pression donnée. Ce volume se mesure en litre/min ou en m³/h et puisque la centrale alimente tous les outils du centre : les bras de chargements, les vérins les pistolets de peinture, les vannes, les coussins d'air.... Pour

cela le centre a choisi les compresseurs à vis puisqu'ils peuvent fournir un débit d'ordre de 600 m³/h avec une pression inférieure à 10 BAR.

3/ Les équipement de la centrale d'air comprimé.

La production de l'air comprimé nécessite l'installation d'une centrale chargée de comprimer l'air, mais aussi de le stocker et de le maintenir disponible et de bonne qualité pour les équipements pour cela on a besoin des dispositifs suivants.

3-1) Les compresseurs.

→ Introduction



Figure 9 : compresseur INGERSSOL RAND M55 / ATLAS COPCO GA55.

La centrale est équipée de 4 compresseurs à vis avec la même technologie : 2 compresseurs de la marque ATLAS COPCO GA55 et 2 de la marque INGERSOLL RAND M55 dont 1 est réservé au secours.

→ Fiche technique des compresseurs.

	atlas copco ga 55+	ingesoll rand m55
Puissance nominal du compresseur	70KW	70KW
Puissance nominal du moteur	55 KW	55 KW
Pression maximal	7.5 bar	7.5 bar
débit maximal	9.91m ³ /min	10.2 m ³ /h

Niveau de bruit	65 db	75 db
type de démarrage du moteur	démarrage étoile triangle	démarrage étoile triangle
poids	1432 Kg	1750 kg
type d'alimentation	400 V/triphasé/50 hz	400 V/triphasé/50 hz

La fréquence d'actionnement du moteur peut varier de 15Hz (environ) à 65Hz.

→ Principe de fonctionnement.

L'air aspiré à travers le filtre passe par une soupape qui en règle le débit puis il arrive à la vis où, il se mélange à l'huile.

Le mélange air/huile produit par la compression arrive dans un réservoir où se produit tout d'abord la première séparation par gravité; l'huile, plus lourde, se dépose au fond, elle est refroidie en passant par un échangeur de chaleur, filtrée puis injectée à nouveau dans la vis.

La fonction de l'huile est d'absorber la chaleur produite par la compression, la lubrification des roulements et l'étanchéité de l'accouplement au niveau des lobes des vis. A travers un filtre déshuileur, l'air est une nouvelle fois purifié des résidus de particules d'huile. Refroidi à travers un autre échangeur de chaleur, il sort enfin à basse température, avec des résidus d'huile acceptables (≤ 1 p.p.m.) pour l'utilisation.

Un système de sécurité, contrôle les points vitaux de la machine en signalant les éventuelles anomalies.

La température du mélange air/huile à la sortie de la vis est contrôlée par une sonde thermostatique qui arrête le compresseur lorsque sa valeur est élevée (105 °C).

Sur le moteur électrique se trouve une protection thermique qui arrête immédiatement le compresseur en cas d'absorption excessive de courant à cause d'une panne mécanique ou électrique.

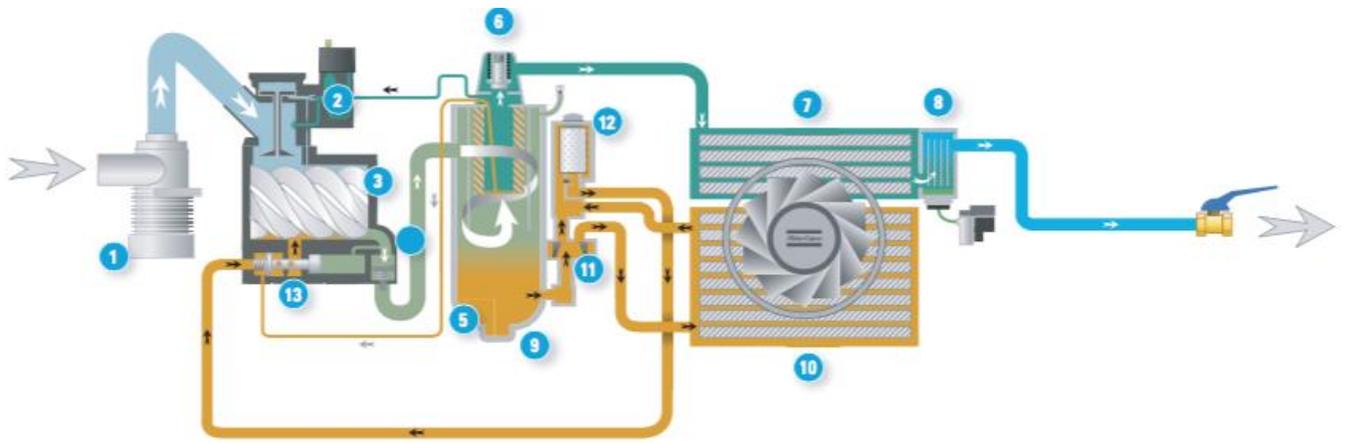


Figure 10 : les composants du compresseur à vis.

FLUX D'AIR

- 1 Filtre d'admission d'air
- 2 Soupape d'admission d'air
- 3 Élément de compression
- 4 Clapet anti-retour
- 5 Un séparateur air / huile
- 6 Soupape de pression minimale
- 7 Après-refroidisseur

Flux d'huile

- 8 Séparateur d'eau avec drain
- 9 huile
- 10 Refroidisseur d'huile
- 11 Vanne de dérivation thermostatique
- 12 filtre d'huile
- 13 Vanne d'arrêt d'huile

→ Schéma électrique du compresseur.

Sur la Figure 11, nous présentons le schéma électrique compresseur à vis, avec ses différentes composantes à savoir :

QS : Interrupteur général de blocage porte

FUV: Fusibles moteur ventilateur 10.3x38 : 6A (400V)

Fusibles moteur ventilateur 10.3x38 : 4A (400V)

Fusibles moteur ventilateur 10.3x38 : 10A (230V)

Fusibles moteur ventilateur 10.3x38 : 8A (230V)

MV: Moteur ventilateur

MC: Moteur compresseur

KR: Relais séquence phases moteur ventilateur

F1-F2: Fusibles 5x20 1A (T)

F3: Fusibles 5x20 1A (F)

F4: Fusibles 5x20 800mA (T)

K1: Contacteur ligne moteur compresseur

K2: Contacteur triangle moteur compresseur

K3: Contacteur étoile moteur compresseur

K4: Contacteur moteur ventilateur

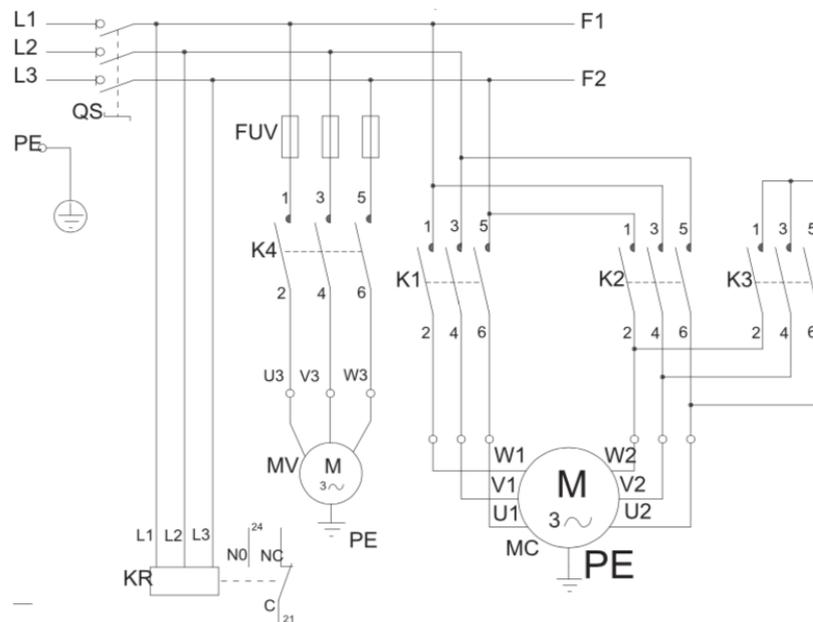


Figure 11 : schéma de puissance du compresseur à vis.

Le compresseur est commandé par un automate interne qui contrôle le compresseur.

Les entrées de l'automate sont :

- * Les boutons de commande externe (poussoir d'urgence, bouton raz alarme huile...)
- * L'interrupteur général blocage porte.
- * Le capteur de pression.
- * Le capteur de température.
- * Le pressostat réservoir déshuileur.

Les sorties de l'automate sont :

- * Les contacts des moteurs (démarrage étoile-triangle, ventilateur).
- * Les électrovannes (pression minimal, sortie d'air, évacuation condensation).

* Le clapet d'inspiration d'air.

3-2) Les sècheurs d'air.

La fonction principale du sécheur d'air est d'éliminer l'humidité de l'air en le refroidissant avec un réfrigérant. Ainsi, la vapeur d'eau est condensée et l'air peut être comprimé. Le résultat est de l'air comprimé sec, qui peut être utilisé dans un équipement à air comprimé sans causer de dommages. Réduire la quantité de vapeurs dans l'air comprimé est également la fonction du sécheur d'air.

La centrale à 3 sècheurs d'air, deux de la marque Ingersoll rand (triphase) et un de la marque Atlas Copco (monophasé). Avec une puissance totale de 21 kW pendant 16 heures de travail qui vaut une consommation moyenne journalière de 336kwh/j.



Figure 12 : les sècheurs d'air d'atlas Copco et Ingersoll rand.

3-3) Le réservoir d'air.

La centrale à un réservoir de 2m³ avec une pression maximale jusqu'à 10 bar, qui se situe en aval des sècheurs. Il permet de diminuer la fréquence des cycles charge/vide assurant un fonctionnement plus efficace des compresseurs ont réduisant les démarrages de moteurs. Il permet aussi de ralentir les variations de pression du système pour avoir une meilleure régulation des compresseurs et pour assurer des pressions plus stables dans le système d'air comprimé.

4/ La gestion des compresseurs

Le besoin du centre en air comprimé est de 26.2m³/min sous une pression d'au moins 5.4 BAR sachant que le débit moyen de chaque compresseur est de 10.12m³/min, on a donc besoin de 2.6 compresseurs. C'est à dire 2 compresseurs en fonctionnement en charge et le 3^{ème} pour la régulation de pression (charge / vide) entre deux pressions P_{min} la pression minimale pour garantir le fonctionnement des machine et P_{max} = P_{min} + Δp

$$\rightarrow P_{\max} = 6.4 \text{ BAR}$$

→ $P_{\min}=5.7$ BAR.

→ $\Delta p =0.7$ BAR c'est la plage de la pression de régulation des compresseurs à vis.

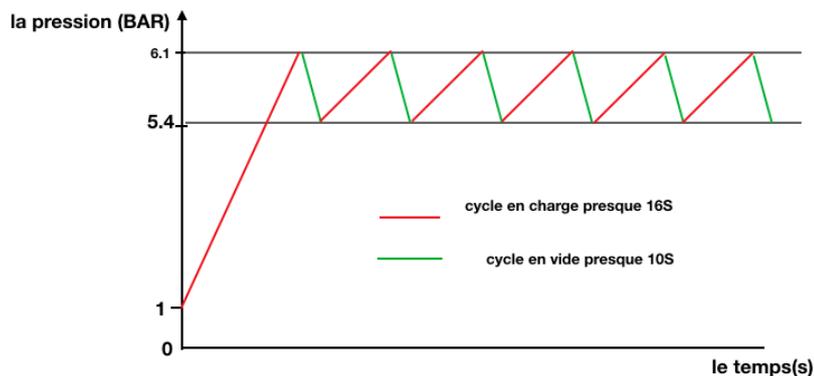


Figure 13 : l'évolution de la pression en fonction du temps.

→ **Calcul de la puissance réel consommé par les compresseurs.**

Compresseur	Nombre des compresseur	Consommation en charge (kWh)	Consommation à vide (kWh)	Consommation total (kWh)
en charge	2	64,61	0	64,61
régulation	1	38,766	8,4	47,166

* Les compresseurs en fonctionnement en charge consomment chacun :

$$70-70*7.7\% = 64.61\text{kwh}$$

Avec 70 kWh la puissance nominale du compresseur.

70*7.7% représente l'écart de la puissance entre la pression maximale que peut fournir le compresseur (7.5 BAR) et la consigne du compresseur (6,4 BAR) cette différence de pression de 1.1 BAR réduit la consommation du compresseur de 7.7 %

Selon l'étude de la société TECHNI DISPO (représentant de KAESER au MAROC qui est aussi en sous-traitance avec le centre emplisseur Fès/Meknès) une réduction de 1 BAR réduit la consommation de 7%.

* le compresseur de régulation de pression consomme :

- En charge $60\%*(70-70*7.7\%)=38.766\text{kwh}$

Car le compresseur fonction 60% avec une puissance de (70-70*7.7%) car la diminution de la consigne de 7.5 BAR à 6.4 BAR entraine une diminution sur la consommation de 7.7% (selon l'étude de la société KAESER).

- En Vide $70*30%*40%=8.4\text{kwh}$

Car le compresseur fonction 40% à vide avec une puissance de 30% de sa puissance nominale (selon l'étude de la société KAESER).

Donc la consommation totale du compresseur de régulation vaut 47.166 KWh

D'où la puissance totale des compresseurs 176.386 kWh

Avec une consommation par mois de $P_c * n_{bh} * n_{brj} = 73\ 376.57\ \text{kwh/mois}$

- * P_c la puissance des compresseurs par heure = 176.386 kwh
- * n_{bh} le nombre des heures par jours = 16 heures
- * n_{bj} le nombre des jours par mois = 26 jours

Et sachant que la consommation totale du centre est d'ordre de 185 505kw/mois (moyenne annuelle) donc le compresseur consomme presque 39.5% de la puissance totale consommée.

Chapitre 4 : Réduction de la consommation par diminution du débit de fuites.

1) Calcule débit de fuite.

1-1) Méthodologie du calcul de débit de fuite.

→ Méthode de la vidange des réservoirs.

Une façon simplifiée de déterminer les fuites consiste à mesurer le temps de vidange du circuit d'air comprimé. Pour réaliser cette mesure, on n'a besoin que d'une montre et un manomètre. La mesure est réalisée de la façon suivante : régler la pression du réseau au maximum admissible en veillant à ce que tous les récepteurs soient hors service (temps de la pause et le dimanche) puis mettre le compresseur hors service de façon à ce que le réseau ne soit plus alimenté. Mesurer ensuite le temps nécessaire pour que la pression diminue de Δp en raison des fuites. La Figure 14 montre un profil de pression typique pour cette mesure. On peut choisir librement les 2 pressions entre lesquelles on effectue la mesure.

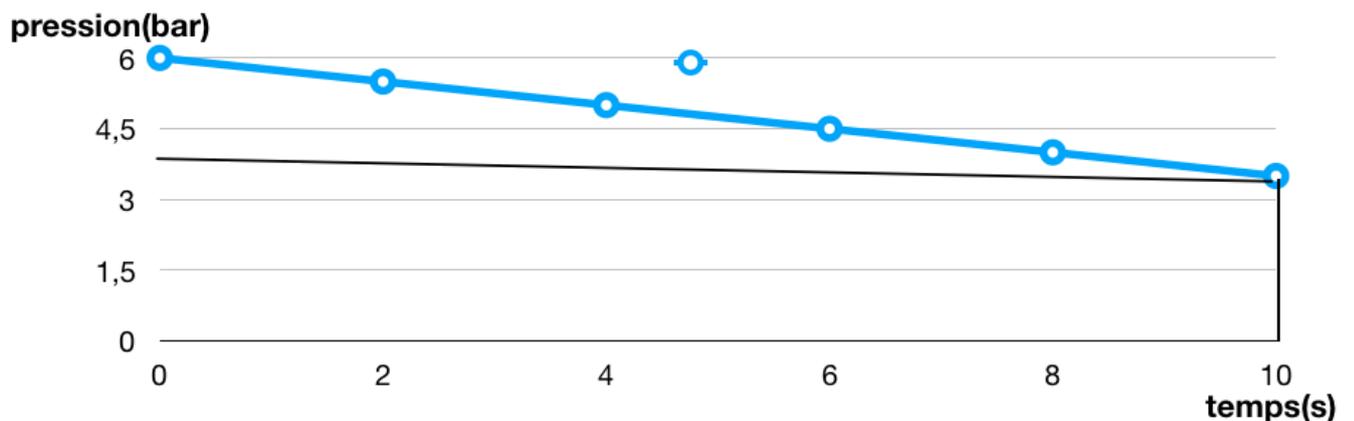


Figure 14 : cycle de la vidange du réservoir.

Avec les données de pression maximale ($P_{\max}=6$ bar) et minimale ($P_{\min}=4,5$ bar), le temps nécessaire à cette diminution de pression ($t=10$ seconds), la quantité d'air perdue à cause des fuites peut être calculé par la relation suivante :

$$V_{\text{fuite}} = V_b * \frac{P_{\max} - P_{\min}}{t}$$

Avec V_b : volume du réservoir + volume du circuit pneumatique.

Or dans notre cas on ne peut pas calculer le débit de fuite par cette méthode puisque le volume du circuit n'est pas connu.

→Méthode des cycles charge vide des compresseurs.

Un moyen facile de calculer le débit de fuite en dehors d'une période de production, consiste à faire fonctionner le compresseur d'air en mode charge / vide et enregistrer le temps nécessaire pour charger et décharger le compresseur. Dans ce cas, le compresseur va poursuivre ses cycles de charge ou décharge, à cause de la demande d'air entraînée par des fuites dans le système.

On relève l'évolution de la pression dans le système au cours du temps. La Figure 15 montre une courbe caractéristique de cette mesure. Pendant les temps t_i , le compresseur fonctionne en charge et alimente le système ce qui fait augmenter la pression du système. Une fois la pression maximale du système atteinte, le compresseur passe en mode « en vide » et la pression se met à baisser en raison des fuites jusqu'à ce que la pression minimale soit atteinte et que le compresseur se remette en charge.

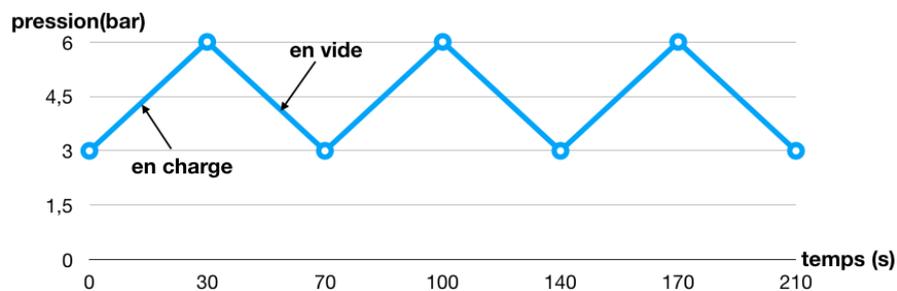


Figure 15: les cycles charge vide du compresseur

Pour déterminer les fuites avec précision, il est nécessaire de mesurer plusieurs cycles de fonctionnement du compresseur. Additionnez les temps de fonctionnement en charge du compresseur t_i . Les fuites se laissent alors calculer à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{fuite}} = Q_{\text{debit}} * \frac{t}{T}$$

Avec $t = \sum t_i$: Temps de fonctionnement du compresseur en charge.

T : temps total de la mesure.

Q_{debit} : débit du compresseur.

1-2- Calcule du débit de fuite par la méthode des cycles charges/vides des compresseurs.

liste des compresseurs	débit m ³ /min
compresseur qui fait les cycles charge décharge atlas Copco GA55	9.91
compresseur en charge ingersoll rand ml55	10.2
débit total m ³ /min	20.11

Tableau de mesure des durées de chaque cycle du compresseur de régulation (ATLAS COPCO GA55)

État du compresseur	La dure du cycle en seconde	La dure cumulé
Charge	1.46	1.46
Vide	5.8	7.26
Charge	5.17	12.43
Vide	5.2	17.63
Charge	5.31	22.94
Vide	14.2	37.14
Charge	13.7	51.44
Vide	12.1	63.54
Charge	13.2	77.24
Vide	7.6	84.84
Charge	8.1	92.64
Vide	8.7	100.84

Charge	8.4	109.34
--------	-----	--------

Le temps de fonctionnement en charge :0.922 minute

Le temps de fonctionnement en vide :0.893 minute

Donc le débit de fuite est : $Q_{fuite} = Q_{debit} * \frac{t}{T} = 10.215 \text{ m}^3/\text{min}$

Ce qui représente presque 37% du débit total consommé donc une réparation proactive des fuites peut réduire les fuites à moins de 10% de la production du compresseur.

2) Détection des fuites et réparation.

Les fuites sont classifiées selon le degré de gravité en 2 types :

- 1: Les fuites inaudibles : détecter à l'aide des appareils ultrason mais ils ne sont pas très importants par rapport à l'énergie gaspillée. C'est pourquoi on va se focaliser sur le deuxième type.
- 2: Les fuites audibles : lors de la pause on démarre 2 compresseurs : le 1^{er} en charge et le 2^{ème} pour la régulation de pression par les cycles charges/vides pour alimenter les fuites. Puis en absence du bruit de fond et on déduit les sources des fuites qui nécessitent l'intervention puis en remplissent la checklist suivante.

Emplacement	Equipement	Demande d'intervention	Bon de travail	Réalisation	Efficacité
Hall 1	Carrousel	Fuite sur vérin d'éjection des bascules n°12-10-4-3-35-33-31-29-27-25-24-23	Remplacement du sys du vérin à double effet par un sys à simple effet avec ressort de rappel	En cours	
Hall 1	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air du poste n°10 et n°3	Remplacement du coussin d'air	Réaliser	Efficace
Hall 2	FRL	Fuite sur FRL avant poste de tri	Remplacement des joints du vérin	Réaliser	Efficace
Hall 6 kg lign 6	Bascl contrôle	Fuite sur FRL bascule de contrôle	Remplacement des joints du FRL	Réaliser	Efficace
Hall 6 kg lign 6	Vérin	Vérin d'anti-bourrage avant poste chargement BD	Remplacement des joints du vérin	Réaliser	Efficace
Hall 6 kg	Capsuleuse	FRL capsuleuse ligne bascule stationnaire	Remplacement des joints du FRL	Réaliser	Efficace
Hall 1	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air usée au poste n°10 et 9	Remplacement des coussin d'air au poste n°10 et 9	Réaliser	Efficace
Hall 2	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air au poste n°3	remplacement des coussin d'air	Réaliser	Efficace
Hall 1	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air au niveau du poste n°7 int	Remplacement du coussin d'air	Réaliser	Efficace
Hall 1	FRL	Fuite sur raccord d'alimentation FRL	Remplacement du raccord d'air	Réaliser	Efficace
Hall 1	Vérin	Fuite sur raccord d'alimentation du vérin d'arrêt BD après machine ouverture robinet extérieur avant intégration	Remplacement du raccord d'air	Réaliser	Efficace
Hall 2	Capsuleuse	Fuite sur vérin d'anti-bourrage de la capsuleuse int	Remplacement des joints du vérin	Réaliser	Efficace
Hal 2	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air du poste n°5	Remplacement du coussin d'air ext	Réaliser	Efficace
Hall 1	Bascl contrôle	Fuite sur raccord d'alimentation	Remplacement du raccord d'air	Réaliser	Efficace
Hall entretien	cabine de peinture	Remplacement du raccord du vérin d'arrêt BD 12 kg	Remplacement du raccord d'air	Réaliser	Efficace
Hall entretien	FRL	Fuite sur FRL de l'unité d'épreuve	Remise en état de l'FRL	Réaliser	Efficace
Hall 2	Palettiseur	Fuite sur coussin d'air au poste n°8	remplacement du coussin d'air	Réaliser	Efficace
Hall 1	Vérin	Fuite sur vérin d'arrêt BD poste de tri	Remplacement du joint racler du vérin	Réaliser	Efficace
Hall 2	Carrousel	Fuite sur vérin d'éjection des bascules n°25-21-20-19-16-14-8-2-1-32-28	Remplacement du sys du vérin à double effet par un sys à simple effet avec ressort de rappel		
Hall 6 kg lign 6	Carrousel	Fuite sur vérin des bascules n°4-5-2-1-8-7-6	Remplacement du sys du vérin à double effet par un sys à simple effet avec ressort de rappel		
Hall 3 kg	Carrousel	Carrousel ligne 3 fuite sur vérin des bascules n°6-7-8-1-2-3-4-5	Remplacement du sys du vérin à double effet par un sys à simple effet avec ressort de rappel		
Hall 3 Kg	Carrousel	Carrousel ligne 4 fuite sur vérin de la bascule n°6	Remplacement du sys du vérin à double effet par un sys à simple effet avec ressort de rappel		

Figure16 : checklist des sources des fuites d'air et l'état avancement de l'intervention.

La majorité des fuites se trouve au sein des carrousels et surtout dans les vérins, ce qui nécessite une démarche d'intervention le plus tôt possible.

3) Calcul du débit de fuite après la diminution des fuites.

Tableau de mesures des durées de chaque cycle du compresseur de régulation (ATLAS COPCO GA55) après la réalisation des réparations (il reste que celle des carrousels des halls 3,6et 3/6 kg) est comme suit :

État du compresseur	La dure du cycle en seconde
Charge	12.1
Vide	22.5
Charge	4.97
Vide	9.4

Charge	6.1
Vide	11.3
Charge	11.1
Vide	20.5
Charge	5.3
vide	9.9
Charge	9.1
Vide	17
Charge	13.3
Vide	23.8

Le temps de fonctionnement en charge : 1.03 minute.

Le temps de fonctionnement à vide : 1.9 minute.

Donc le débit de fuite est : $Q_{fuite} = Q_{debit} * \frac{t_{charge}}{T} = 7.06 \text{ m}^3/\text{min}$.

4) Gain engendré par la réduction du débit de fuite.

- Après la réalisation des réparations on a réussi à diminuer le débit de fuite de 3.15 m³/min
- Sachant que le débit total en fonctionnement normal des machines été de 27.14 m³/min, avant la réduction ; nous avons, ainsi, réussi à optimiser le débit total de 11.6%.
- Pour cela ; on va diminuer la consigne, de la marge de pression de chaque compresseur de $11.6\%/2.6=4.46\%$ (avec 2.6 le nombre des compresseurs en fonctionnement en charge). Étant donné qu'avant la diminution l'intervalle de la pression était de [5.7 BAR 6.4 BAR]) on obtient une diminution de 0.3BAR sur chaque compresseur.
- D'où la nouvelle marge de pression est : [5.4BAR 6.1BAR].

- La réduction de 0.3 BAR de la consigne nous permet de réduire la consommation de 2.1% de la puissance consommée en charge.

La consommation électrique devient :

Compresseur	Nombre des compresseur	Consommation en charge (kWh)	Consommation à vide (kWh)	Consommation total (kWh)
en charge	2	63,25	0	63,25
régulation	1	38,169	8,4	46,561

- Les deux compresseurs en charge consomment:

$$2*(64.6164.61*2.1\%)=2*63.25\text{kwh}=126.5\text{kwh}$$

- Le compresseur de régulation consomme:

- En charge : $38.766-38.766*2.1\%=38.169$ kwh
- À vide : 8.4 kwh

Soit une consommation totale du compresseur de régulation : 46.561kwh

Donc la consommation totale des compresseurs vaut : 173.061 kWh

Soit une consommation de 71993.376 kW par mois

Le gain = (la puissance avant l'intervention) – (la puissance après l'intervention)

$$= 1383.2 \text{ kW/mois} = 3.325\text{kwh}$$

Le gain en dh = $\text{nbrj}*(\text{p.pleine}*n1+\text{p.point}*n2+\text{p.creuse}*n3)*\text{puissance}$

Avec :

$\text{nbrj}=26$ nombre de jours par mois.

$\text{p.plein}= 0.88606$ prix du kW dans les heures pleines.

$N1=10$ en hiver et 11 en été : nombre des heures pleines par jour.

$\text{p.point}=1.24186$ prix du kW dans les heures de pointe.

$N2=5$ en hiver et 4.5 en été : nombre des heures de pointe par jour.

$\text{p.creuse}=0.648895$ prix du kW dans les heures creuse.

$N_3=1$ en hiver et 0.5 en été : nombre des heures pleines par jour.

Puissance=7.486kw le gain.

Donc le gain =1359dh/mois en hiver

=1353dh/mois en été

Le gain réel est supérieur si l'on tient compte du fait que le débit de fuite en plus d'être une source d'énergie gaspillée, il peut également contribuer à d'autres pertes d'exploitation. Les fuites provoquent une chute de la pression du système, ce qui peut rendre les outils pneumatiques moins efficaces et nuire à la production. De plus, en forçant l'équipement à circuler plus fréquemment, les fuites réduisent la durée de vie de presque tous les équipements du système (y compris l'ensemble du compresseur lui-même). L'augmentation du temps de fonctionnement peut également entraîner des besoins de maintenance supplémentaire et une augmentation des temps d'arrêt imprévus.

Conclusion.

Dans ce chapitre nous pouvons remarquer que les fuites d'air consomment 40% du débit total produit et avec la réparation d'un part de fuite on a réussi à le diminuer jusqu'au 27%, cette diminution de 13% du débit total produit il a engendré un gain de 3.325 kWh.

Chapitre 5 : Réduction de la consommation en limitant les cycles de fonctionnement à vide pour le compresseur de régulation.

Problématique.

La régulation de la pression par les cycles charge/vide fonctionnait avec un clapet d'aspiration, qui se ferme complètement lorsque le point de consigne haut est atteint ; le moteur continu à tourner mais dans le vide. Lorsque la pression descend en delà du point de consigne bas, la vanne s'ouvre à nouveau totalement et le compresseur fonctionne en charge. Le problème de ce type de régulation est que le compresseur consomme à vide presque 30% (mesuré) de sa puissance nominale (21 kW) sans produire de l'air comprimé.

De plus, la fréquence des cycles charge/vide est augmenté, donc la vanne d'inspiration s'ouvre et se ferme dans des petits intervalles du temps (16s pour le cycle charge et 10s pour le cycle vide) ce qui réduit la dure de vie de cette vanne.

1/ Régulation par tout ou rien.

Le principe de cette régulation consiste à mettre en marche ou arrêter le compresseur en fonction de la pression de refoulement. L'inconvénient est que le compresseur s'arrête lorsque la pression maximale de la consigne du compresseur est atteinte. Ceci peut endommager le moteur à cause du démarrage dans un intervalle de temps petit (10s), de même que l'appel du courant de démarrage (5 fois le courant nominal) chaque 10s peut endommager les autres appareils connectés au même réseau.

On peut augmenter le temps des cycles charge/vide en ajoutant un réservoir à grande pression entre le compresseur de régulation et le réservoir du réseau et d'installer un régulateur de pression à la sortie du compresseur. L'inconvénient de cette méthode est que le réservoir doit être de grande taille, ce qui rend difficile son intégration dans la centrale, sans oublier le prix élevé du réservoir, comparé au gain de cette opération, ce qui rendait cette opération infaisable.

2/ Régulation par variateur de vitesse.

2-1) Principe de régulation.

Le principe de la régulation de vitesse consiste à faire fonctionner le compresseur en limitant les cycles à vide en agissant sur la vitesse du moteur qui entraîne les vis du compresseur en utilisant les démarches suivantes :

- Augmenter la consigne de la pression maximale du compresseur de 0.2 BAR. Cette valeur dans le fonctionnement normal du compresseur n'est pas atteinte c'est seulement pour garder la vanne d'inspiration ouverte. Il se peut que cette valeur soit atteinte si on a l'arrêt d'une chaîne de production ce qui est très rare.
- Réguler par la pression minimale et la pression maximale d'un autre pressostat installer en amont du compresseur. Comme illustré sur la figure 15, les nouveaux cycles sont : marche à grand vitesse au démarrage du compresseur jusqu'à la pression minimale puis réduire la vitesse à une vitesse moyenne jusqu'à la pression maximale, ensuite passer à la petite vitesse en produisant un débit inférieur à la demande pour que la pente de la pression en fonction du temps soit décroissante et élargie.

► les avantages de la régulation à vitesse variable.

- * Réduire le courant du démarrage en choisissant un démarrage progressif.
- * Au lieu des cycles à vides on va produire un petit débit avec une consommation réduite de manière à avoir une pente de pression décroissante en fonction du temps.
- * Augmenter la durée de vie de la vanne d'inspiration.

► les inconvénients de la régulation à vitesse variable.

- * Nécessite un autre pressostat et un variateur de vitesse de puissance nominal 55 kW qui est un peu coûteux.

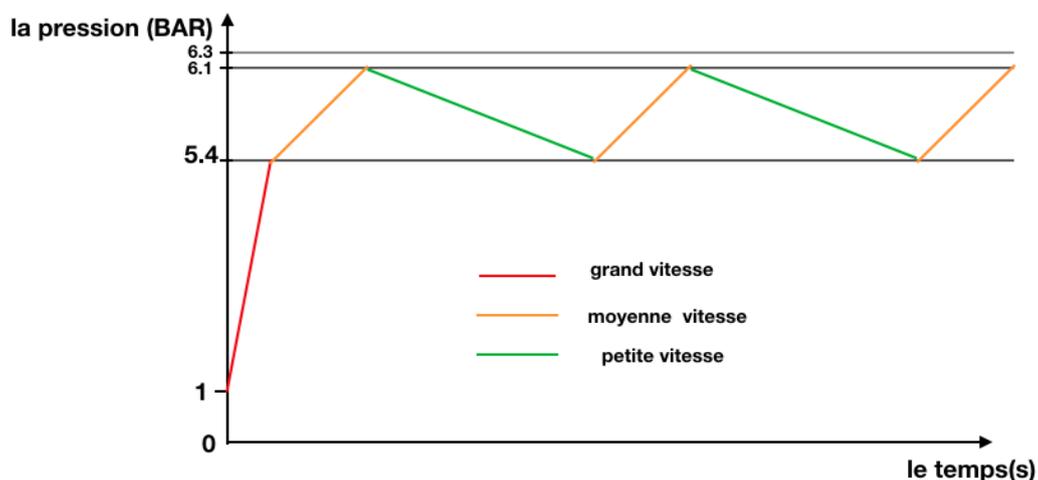


Figure 17 : distribution des vitesses selon l'évolution de la pression.

Dans ce graphe le compresseur assure les pressions 5.4 BAR et 6.3 BAR et le pressostat assure les pressions 5.4 BAR et 6.1 BAR.

2-2) Le principe de fonctionnement du variateur de vitesse.

Le compresseur est entraîné par un moteur asynchrone de puissance 55 KW. Le champ magnétique du stator de ce compresseur fonctionne toujours à la fréquence du réseau (50 Hz). Mais avec le variateur de vitesse on va contrôler la vitesse du moteur en agissant sur la fréquence d'alimentation selon la relation : $n = f * \frac{60}{P}$

Avec n : la vitesse de synchronisme en tr/min.

f : la fréquence en HZ.

P : nombre de paires de pôles ($p=1$ dans notre cas).

Un variateur de vitesse est constitué d'un redresseur combiné à un onduleur. Le redresseur va permettre d'obtenir un courant quasi continu. À partir de ce courant continu, l'onduleur (bien souvent à modulation de largeur d'impulsion ou MLI16) va permettre de créer un système triphasé de tensions alternatives dont on pourra faire varier la fréquence.

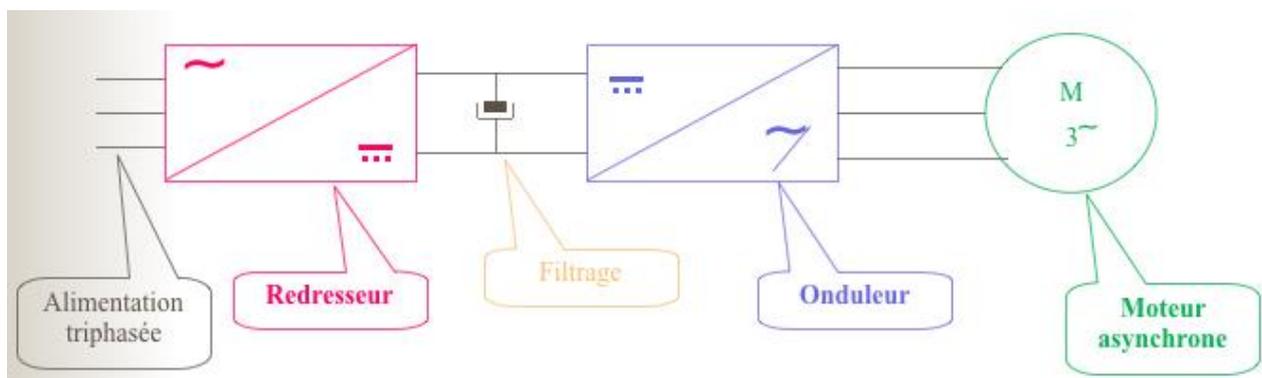


Figure 18: les blocs fonctionnelles du variateur de vitesse.

Les variateurs de fréquence appliqués aux moteurs à courant alternatif sont de loin les plus courants. Leur conception de base se compose de quatre éléments :

1. Redresseur : le principe de fonctionnement du redresseur est de changer l'alimentation du courant alternatif entrant (AC) en courant continu (DC). Différents modèles sont disponibles et ceux-ci sont sélectionnés en fonction des performances requises du variateur, La conception du redresseur influence sur les harmoniques électriques sont induites sur l'alimentation entrante.

Le redressement est en général un redressement triphasé en pont à trois alternances qui se compose de 6 diodes monté à anode commune ou a cathode commune montés en « tête-bêche ». L'avantage des redresseurs à trois alternances triphasées est que la tension de sortie est régulée et ne tombe pas à zéro. La tension de sortie est maintenue entre 86,6% de la tension maximale et la valeur de crête de la tension.

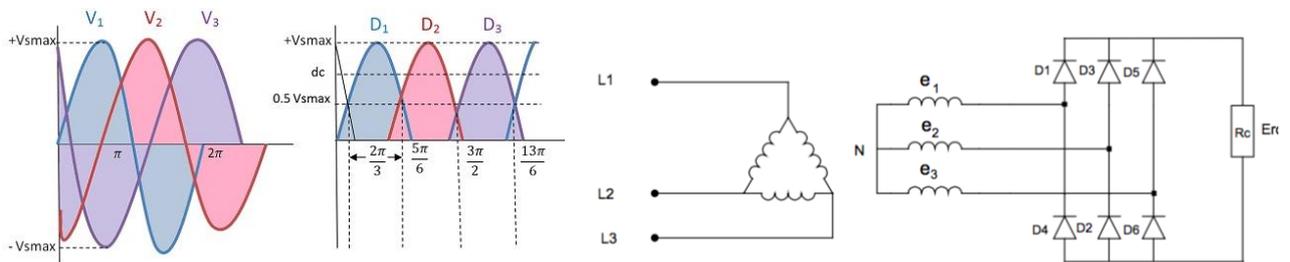


Figure 19: redresseur triphasé a 6 diodes.

2. Circuit intermédiaire (filtrage): l'alimentation continue redressée est ensuite conditionnée dans le circuit intermédiaire, normalement. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage "passe bas" (filtration des basses fréquences) et d'un condensateur "passe haut" (filtration des hautes fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle.

Pour un redresseur commandé, le circuit intermédiaire transforme la tension de sortie à ondulation résiduelle du redresseur en tension continue d'amplitude variable.

Pour un redresseur non-commandé, la tension à l'entrée de l'onduleur est une tension continue dont l'amplitude est constante.

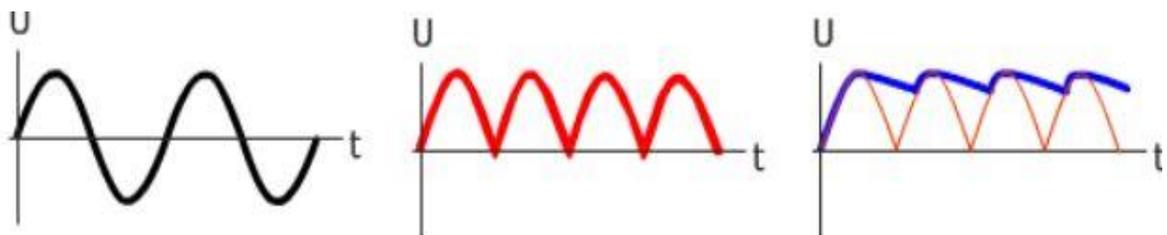


Figure 20: filtrage du signal redressé.

3. Inverseur : l'onduleur convertit le courant continu redressé et conditionné en une alimentation alternative de fréquence et de tension variables. Cette conversion est généralement réalisée grâce à l'utilisation de dispositifs électroniques de puissance telle que les transistors de puissance IGBT utilisant une technique appelée Pulse Width Modulation (PWM). La tension de sortie est activée et désactivée à une fréquence élevée, la durée d'activation ou la largeur de l'impulsion étant contrôlée pour se rapprocher d'une forme d'onde sinusoïdale.

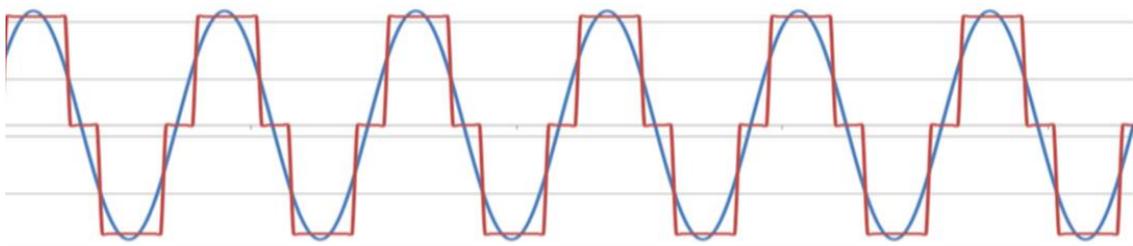


Figure 21 : signal de sortie du variateur.

2-3) Le choix du variateur de vitesse.

Le choix du variateur est basé sur plusieurs critères économiques et techniques. En plus d'avoir un prix raisonnable, il faut qu'il soit compatible avec le moteur utilisé, qui a une puissance nominale de 55 kW, une tension d'alimentation de 400 V, et courant maximal égal à : $i = p / (\sqrt{3} * u) 79.38 \text{ A}$

Donc le courant maximal du variateur doit être supérieure ou égale à ce courant et doit supporter au moins 2 entrées tout ou rien pour la variation de vitesse.

Le variateur que nous pensons être le plus compatible avec la situation étudiée est le variateur VFD550CP43S-21 de la marque delta.

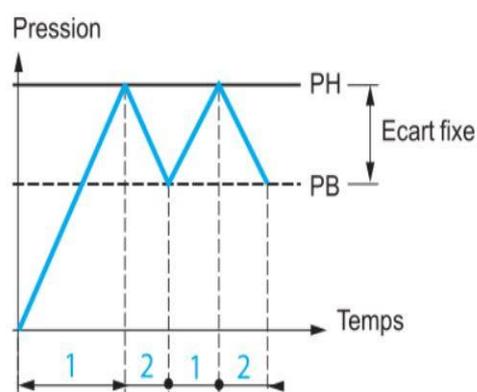
2-4) Le choix du pressostat.

Le pressostat a pour fonction de contrôler ou de réguler une pression ou une dépression dans un circuit hydraulique ou pneumatique.

Ils transforment un changement de pression en signal électrique "Tout ou rien" lorsque les points de consigne affichés sont atteints.

Équipés de contacts électriques standard, ils sont destinés à commander des bobines de contacteurs, relais, électrovannes, entrée d'automates, et dans notre cas on va les connecter dans les entrées relay du variateur de vitesse.

Pour avoir un contact qui se ferme et s'ouvre selon les cycles croissants et décroissants de la pression on va utiliser le pressostat du contrôle d'un seuil en un seul point de consigne réglable (PH=6.1 BAR). L'écart entre le point haut et le point bas (PH - PB=0.7BAR) est fonction des caractéristiques de l'appareil.



Exemple :
représentation des
contacts de XMLA

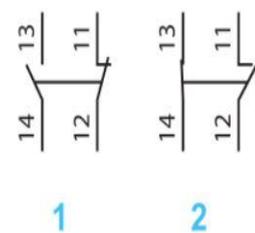


Figure 22 : l'état des contacts du pressostat en fonction des cycles de pression.

Avec :

PH=6.1 BAR

PB=5.7 BAR

Le pressostat doit être sensible aux petites variations de la pression pour cela, et suite à une étude du marché, j'ai proposé le pressostat de la marque Schneider XMLA010A2C11 avec une pression maximal 10 bar ; il m'a semblé être le mieux adapte.

2-5) Le choix des vitesses du variateur

Nous allons installer le variateur sur le moteur du compresseur Atlas Copco ga55+ car avec ce compresseur on a un tableau des vitesses en fonction du débit produit selon le constructeur.

Vitesse tr/min	Fréquence (Hz)	Débit (m3/min)	Puissance de kWh par m3(kWh/m3)	Puissance absorbe (kWh)
900	15	2.8	0.1392	24.22
1000	16	3.2	0.1302	25.47
1500	25	5	0.1108	32.57
2000	33	6.6	0.1102	43.56
2500	42	8.2	0.1092	53.72
2700	45	9.01	0.1090	58.92
3000	50	9.91	0.1087	64.61

Le variateur se caractérise par 3 vitesses paramétriques, à savoir :

- Démarrage par la vitesse nominale du moteur pour avoir la pression de fonctionnement dans un petit intervalle du temps jusqu'à l'atteinte de la pression de fonctionnement (5.4 bar) avec un démarrage progressif pour limiter le courant de démarrage.
- Lorsque la pression de 5.4 bar est atteinte, on passe à une moyenne vitesse qui permet d'avoir une pente de pression croissante dans un temps inférieur au cycle en charge sans variateur. Le but étant de diminuer la fréquence des cycles croissants et de préparer le moteur au fonctionnement avec une petite vitesse. Avec un démarrage à faible vitesse, la pression va croître en fonction du temps avec une bonne consommation par rapport au débit fournie jusqu'à la pression 6.1 bar.
- La 3^{ème} vitesse est une petite vitesse de tel sort d'avoir une pente décroissante avec un rapport consommation /débit raisonnable.

La combinaison la plus adaptée des vitesses est la suivante:

- Grande vitesse : la vitesse nominal 3000tr/min
- Moyenne vitesse : 2700 tr/min
- Petite vitesse : 1500 tr/min

2-6) Câblage et configuration du variateur.

Electriquement, un variateur de vitesse est installé en série entre l'alimentation électrique du réseau et le moteur.

Le variateur a 3 entrées TOR (tout ou rien) avec 8 vitesses possibles dans notre cas. Comme nous n'avons besoin que de 3 vitesses, on va connecter le contact (13 14) du pressostat entre l'entrée TOR et l'alimentation 10V du variateur (relay1) de tel sort d'avoir 0V si la pression est croissante (moyenne vitesse) et 10V si la pression est décroissante (petite vitesse).

La grande vitesse est réalisée par un contact interne du compresseur, c'est le contact de la soupape de la pression minimal, il sera connecter à la 2^{ème} entrée TOR du variateur (relay2) de tel sort d'avoir 10V a cette entrée si la pression est supérieure ou égale à la pression minimale 5.4 BAR.

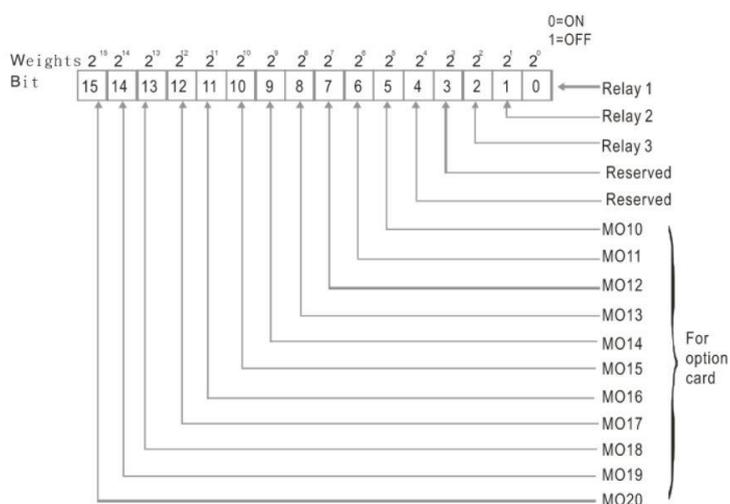


Figure 23 : les entrées TOR du variateur.

La vitesse	L'état des contacts
Grande vitesse	000
Moyenne vitesse	010
Petite vitesse	011

Pour La configuration du variateur il y'a 2 types de configuration : par connexion avec un ordinateur (avec le câble d'internet rj-45) et configuration dans le logiciel TPEEDITOR ou simplement par un clavier et une interface homme-machine (afficheur) du variateur.

La configuration du variateur contient principalement :

- Définition des éléments de protection du moteur : la plage de fréquences, la tension maximale et le courant maximal.
- Affectation de chaque code binaire représentant l'état des contacts a sa fréquence convenable.
- Définition de l'accélération du moteur : 6S pour limiter le courant de démarrage

2-7) Calcul du gain de la régulation a vitesses variables.

Le calcul du gain revient à faire la différence entre la consommation de la régulation avec les cycles charges/vides est la régulation à vitesse variable pour cela on a besoin d'analyser la consommation avec les deux méthodes.

La variation de pression en fonction du temps peut être représentée approximativement comme une droite linéaire de coefficient a déterminé:

*calcul les pentes des droites des cycles charge vide (l'état actuel)

- La pente de la droite du cycle en charge : $p = \alpha t + 5.4$
Avec $\alpha = (p_{\max} - p_{\min}) / (t_{\max} - 0) = (6.1 - 5.4) / 16 = 0.04375$
Donc $P = 0.04375t + 5.4$
- La pente de la droite du cycle en vide : $p = \alpha t + 6.1$
Avec $\alpha = (p_{\max} - p_{\min}) / (0 - 10) = (6.1 - 5.4) / -10 = -0.07$
Donc $p_{\text{vide}} = -0.07t + 6.1$
- La pente de la pression produite par le compresseur =
= La pente du cycle en charge + | la pente du cycle à vide | = 0.11375.

On a pris la valeur absolue du cycle de fonctionnement à vide parce que la pente de cycle est décroissante (négatif), et la pente de la pression produit c'est la somme de la pente du cycle en charge (accumuler dans le circuit pneumatique) et la pente du cycle à vide (consommer par le circuit pneumatique lors du cycle en charge).

*calcul les pentes des droites croissants décroissants (avec le variateur de vitesse)

-> la pente du cycle croissant.

La vitesse de ce cycle est : 2700tr/min avec un débit produit de 9.01 m³/min qui représente une diminution de 9% sur le débit produit à la vitesse nominale (9.91 m³/min).

Sachant que la compression est une compression à température constante à l'aide d'un système de refroidissement (isotherme) donc une diminution du débit de 9% représente presque la même diminution de la pente de charge de la pression en fonction du temps.

D'où la pente de pression produite est la même que celle trouvée sans variateur avec une diminution de 9%. La pente trouvée est : $0.11375 - 0.11375 * 9\% = 0.1035$.

La pente du cycle croissant est =

$$= \text{la pente de pression produite} - |\text{pente du cycle en vide}| = 0.0335$$

Car le circuit pneumatique consomme de l'air lors du cycle croissant de pression cette consommation est la même que celle trouvée au cycle à vide du compresseur de régulation

Donc $P_{cr} = 0.0335t + 5.4$

→ Temps du cycle (le temps pour que la pression atteigne 6.1 bar) $t = 20.89\text{S}$.

-> la pente du cycle décroissant

La vitesse de ce cycle est : 15000tr/min avec un débit produit de $5\text{ m}^3/\text{min}$ qui représente une diminution de 49.5% par rapport au débit produit à la vitesse nominale ($9.91\text{ m}^3/\text{min}$), sachant que la compression est une compression à température constante à l'aide d'un système de refroidissement (isotherme), donc une diminution du débit de 49.5% représente presque la même diminution de la pente de charge de la pression en fonction du temps.

La pente de pression produite est la même que celle trouvée sans variateur avec une diminution de 49.5%. La pente trouvée est : $0.11375 - 0.11375 * 49.5\% = 0.0574$

La pente de charge = la pente de pression produite - |pente du cycle à vide|

$$= -0.0125$$

Parce que le circuit pneumatique consomme de l'air lors du cycle croissant de pression, cette consommation est la même que celle trouvée pour le cycle à vide du compresseur de régulation.

Donc

$$P_{dec} = -0.0125t + 6.1$$

→ Temps du cycle (le temps pour que la pression atteigne 5.4 bar) $t = 56\text{S}$

*la consommation électrique de la régulation par variation de vitesse

cycle	État des contacts	Durée moyenne (S)	Vitesse de synchronisation (tr/min)	Consommation (kW)
Croissant	010	20,89 (27%)	2700	58,89
Décroissant	011	76,89 (73%)	1500	32,75

Le temps total pour faire un cycle croissant et un cycle décroissant est :

$$56+20.89=76.89S$$

- Le cycle croissant représente 27% du temps total avec une consommation de 58.92kw
- Le cycle décroissant représente 73% du temps total avec une consommation de 32.57kw

Donc la consommation totale est : $58.89*27\%+32.57*73\%=39.68kw$

Le gain de cette régulation par rapport à celle des cycles charges vides est : 7.486kw

Le gain en dh= $nbrj*(p.pleine*n1+p.point*n2+p.creuse*n3)*puissance$

Donc le gain =3059.44dh/mois en hiver

$$=3047.9dh/mois \text{ en été}$$

*le cout de l'investissement

Variateur de vitesse :16600 dh

Pressostat : 1518 dh

Main d'œuvre (technicien du centre) : 4heures*40dh=160dh

Donc le cout d'investissement est : 18278 dh rentable presque dans 6 mois.

Conclusion.

Les cycles à vide consomment 30% de la puissance nominale du compresseur de régulation, ce qui représente presque $19.83 \text{ kW} * 40\% = 7.932 \text{ kwh}$ (car le compresseur fonctionne 40% à vide), et avec la régulation a vitesse variable on a réussi à diminuer la consommation de 7.486 kwh (presque la même que celle du fonctionnement à vide).

Chapitre 6 : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque de puissance 112kwh/jr.

Introduction :

Au cours des dernières années, les pays et les entreprises se sont intéressés à l'investissent dans l'énergie solaire. Cependant, il représente un faible pourcentage de l'énergie total produite. La planète Terre peut fournir en 90 minutes les besoins en lumière à base du soleil pour toute une année. Par conséquent, le domaine de l'énergie solaire connaît une croissance très rapide accompagnée d'amélioration de technologies. Les panneaux solaires photovoltaïques appelés les PV sont les plus populaires lorsqu'on parle de l'énergie solaire. Cette technologie est célèbre parce qu'elle est extrêmement modulaire, facile à installer et accessible. Ce chapitre sera dédié à une étude du dimensionnement de ces PV pour l'alimentation partielle du centre en général et de la centrale de l'air comprimé en particulier, en produisant une puissance journalière d'au moins 112kwh/j qui est suffisante pour alimenter un sécheur frigorifique triphasé de puissance 7kw.

1) Définition de l'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (WC) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques connectés entre elles en séries ou en parallèle.

Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles elles se trouvent.

2) Les types des systèmes photovoltaïques.

Il y'a principalement deux types d'installation photovoltaïque : autonomes (ou hybride) ou reliées au réseau public.

2-1) L'installation autonomes.

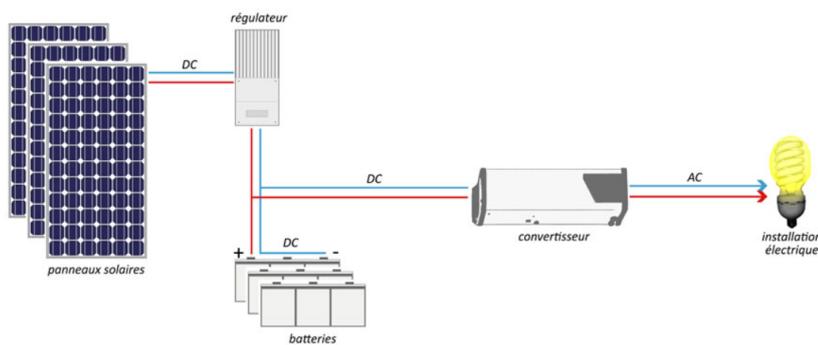


Figure 24 : les blocs fonctionnels d'une installation PV autonome.

Comme le montre la figure 24, une installation autonome est composée des éléments suivants :

- Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- L'onduleur (convertisseur) transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteurs AC.
- Les batteries stockent l'énergie produite et la délivrent la nuit et quand l'ensoleillement ne sera pas suffisant.

Ce type d'installation est mieux adapté pour les consommateurs éloignés du service public pour lesquelles le raccordement au réseau serait trop onéreux. Les inconvénients de ce type d'installation sont principalement :

- Elles nécessitent l'achat et l'entretien des batteries d'accumulateurs qui requièrent un grand investissement financier et qui ont une durée de vie limitée (l'ordre de 20 ans), sans compter leur impact environnemental polluant.
- Elles requièrent un dimensionnement adéquat de façon à répondre à tous les besoins électriques.

2-2) L'installation raccordé au réseau ONEE.

Les installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique représentent la majorité des installations photovoltaïques actuellement installées dans le monde. En effet, ces installations photovoltaïques sont les plus simples, leurs coûts sont plus bas et toute l'électricité produite est injectée sur le réseau pour être utilisée. Son avantage principal est le coût par kWh que ces systèmes photovoltaïques offrent, qui est plus

faible que les autres types d'installation, ce qui explique la forte Pénétration du marché et intérêt commercial.

Le 27 août 2015, le conseil du gouvernement Marocain avait autorisé l'injection de l'énergie solaire sur le réseau national d'électricité basse tension. Le 13 septembre 2015, l'autorité Nationale de Régulation de l'Electricité (ANRE) a été nommée. Elle est censée jouer le rôle d'arbitre entre les fournisseurs, et les régies de distribution et fixer les tarifs d'utilisation des réseaux de l'ONEE. Enfin, **la loi a été publiée dans le bulletin officiel N.6436 du 04 février 2016.**

Il y'a lieu de préciser qu'il a 2 type d'installation pour injecter l'énergie produite sur le réseau :

- * Installation centralisée : génération de la puissance Photovoltaïque à grand - échelle centralisée dans les stations de puissance Photovoltaïque.
- * Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissances distribuée dans les unités situées directement dans le lieu du consommateur (qui est notre cas).

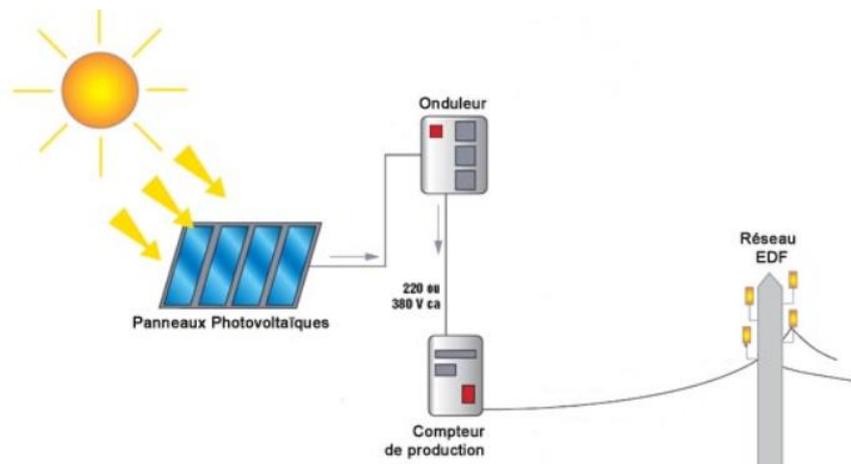


Figure 25: les blocs fonctionnels d'une installation raccordé au réseau.

Comme illustré sur la figure 25 les composants d'une installation photovoltaïque sont :

- Les panneaux photovoltaïques pour produire le courant électrique continu.
- L'onduleur (convertisseur) qui transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteurs AC.
- Le compteur : il permet de déterminer la quantité d'électricité produite par les panneaux solaires PV.

3) Critères de choix des composantes.

3-1) Choix des panneaux solaires.

Comme nous l'avons déjà précisé, les panneaux solaires convertissent l'énergie solaire en électricité, qui dans notre cas sera principalement injecter au réseau ONEE. Il existe trois principaux types de panneaux solaires, tel qu'indiqué sur la figure 26.

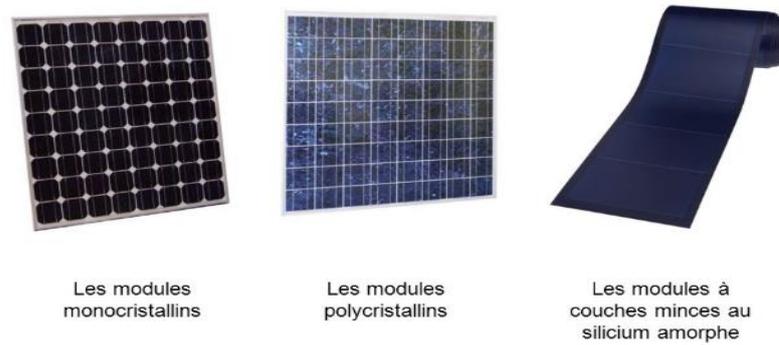


Figure 26: les types des panneaux PV.

Cellules solaires monocristallines

Cette cellule solaire est faite de fines couches de silicium qui sont découpées dans un cristal cylindrique. Ce type est le plus cher ; c'est aussi la technologie photovoltaïque la plus efficace. Elle permet de Convertir environ 15 à 24% de la lumière solaire en électricité.

Cellules solaires polycristallines

Ce type est également connu sous le nom de cellules multicristallines. Il est fabriqué à partir de cellules de silicium qui sont coupées à partir d'une barre de silicium fondu et recristallisé. Ces barres sont ensuite coupées en très fines couches. Ce type est moins cher à produire que le premier, mais leur efficacité est également plus faible, elle est d'environ de 12%. Aussi ils offrent un rendement surfacique légèrement moins élevé mais une production plus régulière tout au long de l'année. Leur procédé de fabrication consomme moins de ressources et ils disposent d'un **meilleur rendement que les panneaux Mono en cas de températures élevées** qui se trouve être notre cas.

Cellules solaires amorphes

Ce type est également appelé « film mince », c'est le type le moins cher de cellules solaires. Ils sont produits de manière différente des cellules monos et du polycristallin. Dans ce cas, le silicium est déposé sur un mince substrat. Leur efficacité est d'environ 6%, ce qui signifie que ce type nécessite une zone double de panneaux pour produire la même énergie.

Dans notre projet, nous allons utiliser le polycristallin car ils sont efficaces, et c'est la technologie qui domine le marché des panneaux solaires 47%. Après avoir consulté un ensemble de fabricants de panneaux solaires, j'ai choisi des modules polycristallins du

Fabricant BLUESUN SOLAR qui offre un bon rendement (16.77%) par rapport au surface occupée (1.94 m²). Avec les caractéristiques suivantes :

- Modèle : BSM330P-72
- Protection : IP67 Rated
- Puissance maximal : 335W
- Tension de fonctionnement : 37.17V
- Courant maximal : 8.74A
- Courant de court-circuit : 9.05A
- Dimension : 1956*992*40
- Tension maximal du system : 1000V
- Prix unitaire : 952dh

3-2) Le choix de l'onduleur.

Le choix et le nombre d'onduleurs sont basés sur trois critères :

Compatibilité de tension :

Une tension d'entrée maximale admissible U_{max} caractérise un onduleur. Si la tension délivrée par les modules est supérieure à U_{max} , l'onduleur sera irrémédiablement et automatiquement détruit.

Compatibilité de courant :

Un onduleur est caractérisé par un courant maximal admissible dans son entrée appelée I_{max} . Ce courant d'entrée limite correspond au courant maximal pouvant être supporté par le côté DC.

Compatibilité de puissance :

Un onduleur est caractérisé par une puissance d'entrée maximale admissible. La valeur de la puissance d'entrée maximale de l'onduleur limitera la quantité de modules du groupe photovoltaïque connecté à l'onduleur.

La puissance délivrée par le groupe photovoltaïque varie en fonction de la luminosité et de la température. Pour le calcul de conception, une puissance égale à la somme des puissances de pointe de tous les modules du groupe photovoltaïques peut être considéré. Il faut donc s'assurer que cette puissance calculée est inférieure à la puissance maximale autorisée par l'onduleur.

4) Dimensionnement de l'installation PV.

4-1) L'orientation et l'inclination.

La meilleure façon de produire de l'énergie à haute puissance à partir des panneaux solaires est de choisir la bonne direction vers le soleil. Ainsi, l'angle d'inclinaison et la surface inclinée augmentent la productivité et permettent une utilisation optimisée du rayonnement solaire. Une orientation précise des panneaux solaires est primordiale pour tirer le maximum d'irradiation solaire .

Par conséquent, cette inclinaison dépend de deux paramètres importants qui sont: l'angle d'inclinaison et l'angle d'azimut du générateur solaire. L'angle d'azimut solaire n'est rien d'autre que l'angle de la direction du soleil. En conséquence, un mauvais angle d'azimut peut réduire la production des panneaux PV.

En utilisant le METEONORM 7.1 et le PVSYS 6.7.2, qui sont des logiciels de gestion d'énergie propre, nous pouvons localiser la région que nous voulons étudier (par Google maps Latitude 33.99 ; Longitude -5.1; Altitude 408) afin de récupérer les températures nécessaires (METEONORM) pour trouver l'angle d'inclinaison par PVSYS.

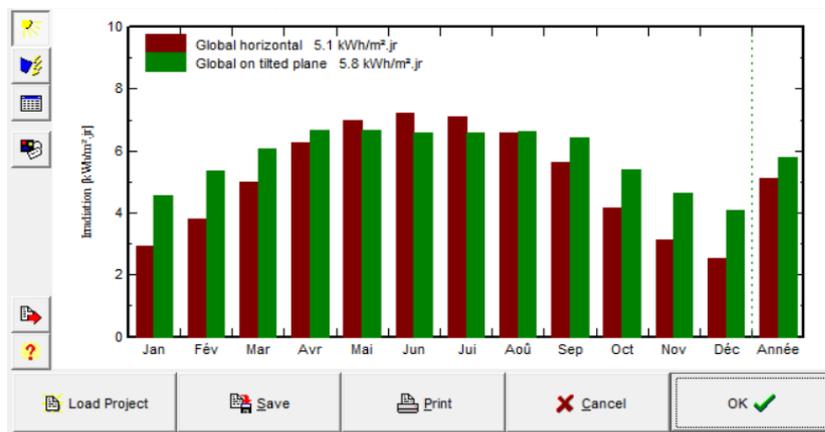


Figure 27 : l'impact de l'angle d'inclinaison sur l'irradiation solaire (en vert l'irradiation dans un Plan horizontal et en rouge avec l'angle de 30°.

	Gh kWh/m ²	Gk hor kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Janvier	97	154	31	156	9,9	4,8	3,1
Février	103	139	42	120	11,3	6,1	3,3
Mars	161	195	49	192	14	8	3,3
Avril	183	193	67	176	15,1	9,1	3,3
Mai	208	200	72	200	18,9	10,7	3,2
Juin	232	212	70	227	24,1	12,5	3
Juillet	245	229	62	255	26,5	13,2	2,8
Août	223	228	60	236	26,5	14,1	2,9
Septembre	169	194	53	185	22,9	13,2	3
Octobre	139	183	43	173	19,5	11,4	2,9
Novembre	101	152	33	151	14,2	7,6	3,2
Décembre	88	144	28	149	11,1	6,3	3,3
Année	1946	2222	611	2220	17,8	9,7	3,1

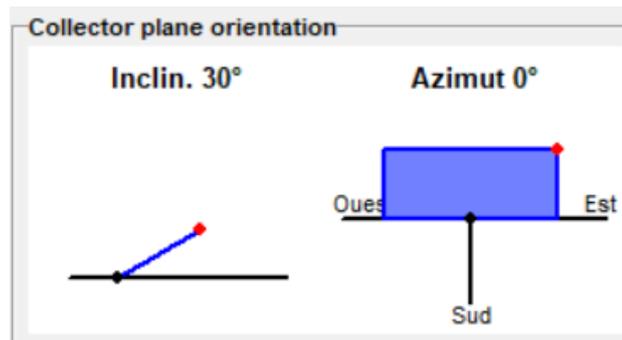


Figure 29 : l'orientation et l'inclinaison trouve par PVSYS (vers l'Est avec l'inclinaison = 30° et l'azimut=0°.

4-2) Dimensionnement des panneaux PV.

La puissance crête de l'installation est la puissance maximale que le system PV peut délivrer au réseau électrique. Sont unités est le Wc, elle dépend de plusieurs critères dont : l'irradiation solaire, le type des panneaux, les pertes sur les dispositifs ...

On peut calculer la puissance crête par la formule suivante :

$$PC = E_{ele} * \frac{P_i}{I_r * P_r} = 53.33 \text{ kwc}$$

Avec :

- * $E_{ele} = 112 \text{ kWh/jr}$ le besoin énergétique.
- * $P_i = 1 \text{ kw/m}^2$ la puissance radiative dans les conditions normales de test.
- * $I_r = 2.8 \text{ kW/m}^2/\text{jr}$ l'irradiation du mois le moins ensoleillé.
- * $P_r = 0.75$ est le ratio de performance de l'installation PV, il dépend principalement du lieu d'installation tel que préciser ci-après :
 - Installation bien ventilée style central PV au sol : $PR = 0,8$.
 - Installation moyennement ventilée style surimposition toiture : $PR = 0,75$ (qui est notre cas).
 - Installation mal ventilée style intégration toiture : $PR = 0,70$.

Sachant que la puissance unitaire des panneaux est égale à 335W, nous allons avoir besoin de 160 panneaux.

La surface de l'installation étant de 360m² selon le logiciel PVSYS ; le lieu le plus convenable est par conséquent le toit du réfectoire.

Le nombre maximal des panneaux installés en série est calculé selon :

$$N = \frac{U_{max}}{U_{co} * 1.05} = 24 \text{ panneaux}$$

Avec :

$U_{max}=950V$ tension maximale admissible par l'onduleur.

$U_{co}=37.4V$ tension des PV à vide.

1.05 : coefficient de sécurité.

Le nombre maximal des chaînes installer en parallèle dans une entrée MPPT vaut :

$$N = \frac{I_{max}}{I_{pv}} = 3 \text{ chaînes}$$

Avec :

$I_{max} = 28A$ le courant maximal admissible par l'onduleur.

$I_{pv} = 8.74A$ le courant maximal des panneaux PV.

4-3) Dimensionnement de l'onduleur PV.

Le logiciel PVSYS dispose une option permettant de choisir les onduleurs convenables à l'installation cible avec leurs fiches techniques. Le critère de choix de l'onduleur est un critère essentiellement économique car l'onduleur peut couler jusqu'à 30% du cout de l'investissement.

Pour ces considérations j'ai choisi l'onduleur SG50KTL qui coute 58 717dh.

The screenshot shows the 'Définition d'un onduleur pour le réseau' window in PVSYS. The 'Paramètres principaux' tab is active, showing the following data:

Entrée (CC, Champ PV)		Sortie (Réseau AC)	
Modèle	SG50KTL	Fabricant	Sungrow
Nom fichier	Sungrow_SG50KTL.OND	Version des données	Manufacturer 2016
Original PVSyst database		Prod. depuis	2014 à 2014
Tension MPP minimale	300 V	Fréquence	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz
Tension min. pour PNom	N/A V	Tension du réseau	400 V
Maximum current per MPPT	N/A A	Puissance AC nominale	50.0 kW
Tension MPP nominale	620 V	Puissance AC maximale	55.0 kW
Tension MPP maximale	950 V	Courant AC nominal	72.2 A
Tension PV max. absolue	1000 V	Courant AC maximum	80.0 A
Puissance seuil	250 W	Efficacité	
Spécification contractuelle, sans réelle signification physique	?	Efficacité maximale	98.90 %
	Obligatoire	Efficacité EURO	98.50 %
Puissance PV nominale	56.2 kW	<input type="checkbox"/> Efficacité définie pour 3 tensions	
Puissance PV maximale	56.2 kW		
Courant PV maximum	104.0 A		

Buttons at the bottom: Export vers table, Imprimer, Annuler, OK.

Figure 30 : les données de la température et l'ensoleillement par METEONORM.

4-4) Câblage des panneaux.

Dans notre installation nous avons 160 panneaux et un onduleur a 4 entrée MPPT indépendants. Chaque entrée peut supporter 3 chaines en parallèles de 24 panneaux d'où la configuration suivante des PV :

MPPT	Nombre total de panneaux	Chaine 1 (nombre de panneaux)	Chaine 2 (nombre de panneaux)	Chaine 3 (nombre de panneaux)	Tension (V)	Courant (A)	Puissance (w)
MPPT1	48	16	16	16	594.72	26.25	15 611.4
MPPT2	48	16	16	16	594.72	26.25	15 611.4
MPPT3	48	16	16	16	594.72	26.25	15 611.4
MPPT4	16	8	8	0	297.36	17.5	5203.8

4-5) Dimensionnement des câbles.

Le choix de la section des câbles est basé sur 2 critères :

Le courant (permanent) admissible : c'est la valeur maximale du courant électrique qui peut parcourir en permanence le câble, sans que sa température de régime permanent, soit supérieure à la valeur spécifiée. Il peut être calculé selon le nombre des chaines en parallèles.

$I_z \geq 1.25 \times I_{cc}$ si on a 1 ou 2 chaines parallèles (cas du rangée installer au mppt4).

$I_z \geq 2.5 \times I_{cc}$ si on a 3 chaines parallèles (cas des rangées installer au mppt1/2/3).

La chute de tension admissible : les câbles se comportent comme de faibles résistances. Mais lorsque le courant qui traverse le câble est important la chute de tension devient remarquable, selon le guide 'UTE C15-712' des installation PV, la chute de tension dans la partie de la tension continue est inférieure à 3%.

La section du câble peut être calculer selon la formule:

$$S = \rho \times 2L \times \frac{I}{\Delta U_{\max} \times U}$$

Avec :

ρ : sa résistivité ($\rho = 0,02314 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ à 20°C pour le cuivre)

L : la longueur du câble.

ΔU_{max} : la chute de tension (=0.03)

U : tension a l'origine du câble.

Le tableau suivant résume la distribution des sections selon sa position et sa longueur :

Position des câbles	Section calculé (mm ²)	Section du constructeur (mm ²)	Longueur (estimé) (m)	Prix (dh)
Câble du couplage en série (chaines MPPT1/2/3).	2.7	4	48	585
Câble du couplage avec l'onduleur (chaines MPPT1/2/3).	5.4	6	48	729
Câble du couplage en série (chaines MPPT4).	0.45	0.75	8	36
Câble du couplage avec l'onduleur (chaines MPPT4).	0.9	1.5	8	92
La sortie de l'onduleur vers le compteur + la sortie du compteur vers le réseau ONEE	32.19	35	20	2450
Câble de la terre de tous les dispositifs	16	16	100	1900

4-6) Dimensionnement des fusibles de protection.

Les fusibles sont considérés comme des protections de cordes couramment utilisées par les concepteurs de panneaux solaires photovoltaïques. Ces fusibles déconnectent le circuit lorsqu'une erreur ou un dysfonctionnement se produit. Cependant, cet outil est simple à utiliser et à être installé dans un porte fusible placer dans la boîte de jonction de l'onduleur, le calibre des fusibles doit être entre 1.5 et 2 fois le courant nominal.

L'emplacement	Courant nominal (A)	Prix avec porte fusible (dh)
Les 13 chaines du MPPT 1/2/3/4	15	886

5) Bilan économique.

La puissance produite par l'installation PV dépend de l'irradiation solaire de chaque mois comme illustré dans le tableau suivant :

Mois	Irradiation kWh/m ² /jour	La puissance produit (kwh/mois)	Prix(dh)
Janvier	3.1	124*31=3844	3406
Février	4.0	160*28=4480	3969.5
Mars	5.4	216*31=6696	5933
Avril	6.3	252*30=7560	6698.6
Mai	6.7	268*31=8308	7357
Juin	7.7	307*30=9210	8160.6
Juillet	7.8	312*31=9672	8570
Aout	7.1	284*31=8804	7801
Septembre	5.6	224*30=6720	5954
Octobre	4.6	184*31=5704	5054
Novembre	3.3	132*30=3960	3509
Décembre	2.8	112*21=2352	2084

Donc le gain annuel de cette installation a été de 68 496.7 DH/an ce qui représente 74% de l'alimentation annuelle des sécheurs.

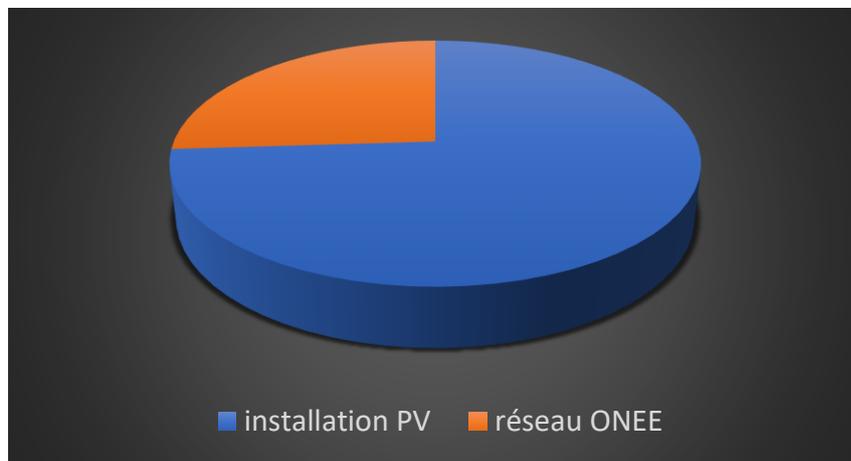


Figure 31 : le taux annuel d'alimentation PV par rapport à celle du réseau ONEE des sécheurs.

Le cout de l'investissement est comme indiqué sur le tableau suivant.

Les dispositifs	Panneaux PV	L'onduleur	Câbles	Fusible	Installation (techniciens du centre)
Prix (DH)	152 320	58 717	5 792	886	5 000

D'où le cout total d'investissement qui s'élève à 222 715 DH. Il sera amorti et deviendra rentable au bout de 3 ans et 3 mois après l'installation.

5) Conclusion.

L'objectif de ce projet chapitre était de dimensionner une installation PV de puissance de 112kWh/jr pour l'alimentation partielle du centre sur une surface de 360 m². J'ai trouvé que l'angle d'inclinaison convenable est de 30° et que les panneaux PV peuvent être installés en série et en parallèle pour avoir une tension et un courant compatible avec l'onduleur. J'ai choisi de protéger le côté DC par des fusibles installer sur chaque chaine des panneaux.

Pour avoir un gain annuel de 68 496.7 DH/an, un investissement de 222 715 DH est nécessaire, avec un retour sur investissement de 3 ans et 3 mois.

Conclusion générale.

Ce stage m'a beaucoup intéressée. J'ai pu découvrir les différents postes de l'entreprise et avoir un aperçu global sur son fonctionnement. Il m'a, aussi permis de me familiariser avec les différents services et d'avoir une approche réelle du monde de travail.

J'ai pu faire le rapprochement entre ce que j'avais appris en cours durant mon parcours à FST-FES et ce qui se passe vraiment dans l'entreprise. Ce qui n'a pas toujours été facile car chaque entreprise a ces particularités.

Mon expérience au sein de la société SALAM GAZ m'a permis d'assister à toutes les étapes d'emplissage du GPL et de me familiariser avec le fonctionnement de certaines machines dont le fonctionnement théorique a été étudié dans le cadre de cours comme : le transformateur moyenne / base tension, transformateur d'éclairage, les armoires de commandes

Le travail d'équipe est très important car les services sont liés et doivent communiquer entre eux. Une bonne ambiance règne dans l'entreprise et tout le personnel a été coopératif et attentif à mes questions.

Enfin, je tiens à exprimer ma satisfaction d'avoir pu travailler dans un environnement agréable.

BIBLIOGRAPHIE :

[1] professeur Hassan EL markhi, support du cour : « Electrotechnique ».

[2] Les Documents du centre emplisseur FES/MEKNES.

-les factures d'électricité.

-les fiches techniques des compresseurs.

-Consigne générale de sécurité : « CGS 107, REV 2».

- Unifilaire Chantier 10 circuits TGBT/N : « AFFAIRE N3, PLAN N2».

[3] Les documents de la société KAESER (société sous-traitante avec le centre).

-Cour de la gestion des centrales de l'air comprimé.

-Analyse des compresseurs du centre emplisseur Fès/Meknès.

WEBOGRAPHIE.

[1] <http://www.photovoltaique.guidenr.fr>

[2] <https://elfa-solaire.com/blog/l-injection-d-electricite-autorisee-au-maroc/>

[3] <http://www.fiac.it/wwwassfiac/moduli/pdf/manuali/7346940000.PDF>

[4] <http://salamgaz.ma/>

[5] <http://www.memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/get/pdf/2389>

[6] <http://www.aui.ma/sse-capstone-repository/pdf/spring-2017/Dimensioningof5MW.pdf>

[7] Suisse énergie : <http://www.air-comprime.ch>

[8] Schneider Electric: <https://www.schneider-electric.fr>

[9] www.tesensors.com

[10] www.atlascopco.com