

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique.

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : ENERGIE et GENIE DES PROCEDES INDUSTRIELS

Présenté et soutenu publiquement le 25 juin 2012 par

Rodrigue DONGBE

Travaux dirigés par : **Pr. COULIBALY Yezouma**, Chef UTER-GEI-Fondation 2IE

Dr. Pousga E. J. C. KABORE, Expert industriel au BRMN

Ing. Gildas TAPSOBA, au LESEE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Mr Francis SEMPORE

Membres et correcteurs:

Pr. Yezouma COULIBALY

Dr. Pousga KABORE

Mr. Igor OUEDRAOGO



DEDICACES

Je dédie ce mémoire

➤ A mes parents :

Mon père **David DONGBE** et ma mère **Pauline NGUINDON**, pour l'encadrement et toute l'attention dont j'ai pu bénéficier de leur part.

➤ A mes proches parents :

Gabriel WANGA, Silas FOUNGA, Titiane NGUINDO, Chantale PELOU et Marguerite KOLE, pour leur soutien moral et matériel durant toute ma formation supérieure.

➤ A mon amie : **Mabelle Edia LEBISSABONA**, pour son aide significative au cours de ma formation universitaire.

➤ A mes frères et sœurs.

REMERCIEMENT

Nous tenons au terme de notre formation de Master d'ingénierie option énergie à prouver notre gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à cette formation.

Pour ce faire, nous saisissons l'opportunité que nous offre la rédaction du présent mémoire pour adresser du fond du cœur toute notre reconnaissance aux responsables de l'UTER GEI, et à tout le corps professoral de la Fondation ZIE.

En l'occurrence au **Pr. COULIBALY Yezouma**, pour son encadrement tout au long de ce mémoire, au **Dr AZOUMAH Yao** et au **Dr PABYAM Sido**. Et **Mr. Gildas TAPSOBA**, ingénieur de recherche au LESEE.

Nous remercions également :

Dr. Pousga E. J. C. KABORE, pour son aide inestimable dans la réalisation de ce mémoire et pour ses idées éclairées, expert industriel au BRMN.

Sylvanus TRAORE, Directeur de BRMN, pour nous avoir accepté au sein de son département pour ce stage.

Mr Barthelemy BAMOGO, expert financier au BRMN, pour toute la disponibilité dont il a fait preuve à notre égard au BRMN.

A tous mes collègues stagiaires, pour leur aide sincère dans la synthèse des idées.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**RESUME**

Cette étude est un diagnostic énergétique concernant les installations de FILSAH en vue d'identifier le potentiel d'économie d'énergie. Comme l'électricité coûte chère au Burkina Faso, il est recommandé d'analyser les factures d'électricité de l'entreprise afin d'identifier les points (par exemple la pénalité de facteur de puissance et de dépassement et le problème de puissance souscrite). Par la suite des propositions d'amélioration au niveau des principaux postes de consommation énergétique ont été formulées et démontre des économies d'énergies de **3%** pour les compresseurs d'air, **1,9%** pour la climatisation centrale. Cela a permettrait d'avoir un gain financier total de **20.687349, 69 Frs CFA**. L'optimisation des factures d'électricité permet d'obtenir un gain sur le nouveau bâtiment (**6.433.700 Frs CFA**) et de **15.020.760 Frs CFA** sur le second bâtiment.

L'étude du système d'humidification dans le nouveau bâtiment (**local chaud**) permet d'avoir un résultat (**installation des ventilateurs d'extracteurs**) qui nécessite un coût d'investissement (**4.254.225 Frs CFA**) sans retour de gain.

Mots clés : Diagnostic, énergétique, Installation, Production

ABSTRAT

This study is to evaluate the potential energy saving of major items of energy consumption (section preparation, utilities and twisting) identified the result of a comprehensive energy balance in two buildings. Because electricity is expensive in Burkina Faso, it is obvious to analyze the electricity bills of FILSAH to identify power factor penalties and excess and the problem of contracted power higher or lower compared to the power maximum recorded, in order to optimize. All proposals for improvements at each main station identified energy consumption leads to a reduction of the trial so that there is a power saving rate of **3%** for air compressors, **1.9%** for central air conditioning. This allowed having financial gain total **20,687,349. 69 Frs CFA**. The optimization of electricity bills gets two solutions namely gain new building (**6,433,700 CFA francs**) and the second building (**15,020,760 FRs CFA**). The study of humidification system in the new building (warm room) can have an effect (installation of extractor fans) that requires an investment cost (**4,254,225 Frs CFA**) for the benefit of having products with less loss (breakage of the son) and good conditions of workers.

Keywords: Diagnosis, energy, Installation, Production

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**LISTE DES ABREVIATIONS**

BRMN : Bureau de restructuration et Mise à Niveau

KW : Kilowatt

KWh : Kilowatt heure

VEV : Variateur Electronique de vitesse

H_i : Enthalpie (KJ/Kg)

X_i : Humidité absolue (Kg_{as}/Kg)

E_i : Humidité relative (%)

T_i : Température (°C)

H_0 : Les chaleurs dissipées dans le local (KW)

Q_{mas} : Débit massique de soufflage (Kg/h)

Q_{vas} : Débit volumique de soufflage (m³/h)

Q_{var} : Débit volumique de reprise (m³/h)

Q_{van} : Débit volumique d'air neuf (m³/h)

T_{an} : Taux de renouvellement d'air neuf (%)

T_{aR} : Taux de renouvellement d'air recyclé (%)

Q_{vaR} : Débit volumique d'air recyclé (m³/h)

M_{as} : Masse d'air de soufflage (Kg)

V : Volumique spécifique (m³/Kg)

Q_{mar} : Débit massique d'air de recyclé (Kg/h)

Q_{vam} : Débit volumique d'air mélangé (m³/h)

M_{eau} : Masse d'eau à injectée (Kg/s)

ΔP : Pertes de charges dans les conduites de réseau d'air comprimé (Pa)

Egie : Energie (KWh)

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Table des matières

DEDICACES	1
REMERCIEMENT	2
RESUME.....	3
LISTE DES ABREVIATIONS	4
I. INTRODUCTION	10
I.1. Contexte de l'étude	10
I.2. Problématique.....	10
I.3. Problèmes observés et solutions techniques.....	10
I.4. Objectifs de l'étude	10
I.5. Méthodologie de travail.....	11
I.6. Présentation de structure d'accueil	11
II. MATERIELS ET METHODES	12
II.1. MATERIELS.....	12
II.1.1 Description du processus de fabrication.....	12
A. Ancien bâtiment.....	12
B. Nouveau bâtiment.....	14
C. Description et mode de fonctionnement de climatisation centrale.....	14
D. Condition de fonctionnement de Breezair	17
II.2. METHODES	18
II.2.1 Méthodologie de l'ADEME	18
II.2.2. Pré diagnostic énergétique au sein de FILSAH	19
II.2.3 Diagnostic énergétique de FILSAH	20
II.2.4 Etude des factures d'électricité.....	20
A. Etude des factures d'électricité de nouveau bâtiment.....	21
B. Etude des factures de l'ancien bâtiment.....	21
II.2.5. Etude des principaux de consommation énergétique dans les deux bâtiments	22
II.2.5.1 Etude des utilités.....	23
A. Etude de la climatisation centrale dans l'ancien bâtiment	23
1. Détermination des paramètres de climatisation centrale	23
2. Calcul des paramètres de consignes dans le local	23
B. Etude de compresseur d'air	30
1. Pertes de charges dans le circuit d'air comprimé	30

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

2.	Mesures d'économie d'énergie.....	31
II.2.4.3	Système d'humidification par injection d'eau.....	32
A.	Dimensionnement des humidificateurs (Breezair)	32
III.	RESULTATS.....	34
III.1.	Factures d'électricité	35
A.	Factures de nouveau bâtiment	35
B.	Factures de l'ancien bâtiment.....	36
1.	Profil des puissances enregistrées par an	36
2.	Raccordement des machines sur le transformateur de nouveau bâtiment.....	36
III.2.	Utilités (Climatisation centrale et Compresseur d'air).....	37
A.	Climatisation centrale dans la salle de préparation.....	37
1.	Profil des humidités et des températures (données relevées).....	37
2.	Résultats de détermination des paramètres de consignes	38
3.	Résultats des dimensionnements	38
4.	Récapitulation des paramètres clés	39
5.	Mesures d'économie d'énergie.....	39
6.	Choix d'un ventilateur	39
7.	Caractéristiques des ventilateurs proposés	40
B.	Climatisation centrale dans la salle Open end	40
1.	Profil des humidités et des températures (données relevées).....	40
2.	Récapitulation des paramètres déterminés.....	41
3.	Mesures d'économie d'énergie.....	41
4.	Choix d'un ventilateur	41
5.	Caractéristique des ventilateurs anciens et nouveaux	42
C.	Compresseurs d'air.....	43
1.	Quelques caractéristiques des compresseurs	43
2.	Problèmes identifiés.....	44
3.	Pertes de charges calculées.....	45
D.	Système d'humidification.....	46
1.	Résultats des dimensionnements	46
2.	Récapitulation des paramètres calculés.....	47
3.	Ventilateurs d'extraction.....	47



Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

4. Coût d'investissement	48
5. Récapitulatif des gains.....	48
IV. ANALYSES ET DISCUSSIONS.....	49
IV.1. Climatisation centrale	49
IV.2. Salle de préparation	49
IV.3. Salle Open end	49
IV.4. Compresseurs d'air	50
V. RECOMMANDATIONS.....	50
V.1 Compresseurs d'air	50
V.2 Climatisation centrale	50
VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	51
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	52
VIII. Annexes	53

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Image de l'usine de FILSAH.....	12
Figure 2: processus de fabrication des fils	13
Figure 3: schéma de principe de fonction de climatisation centrale	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4: schéma du principe de fonctionnement de ce système	Erreur ! Signet non défini.
Figure 5: schéma du réseau d'air comprimé de l'ancien bâtiment.....	30
Figure 6: schéma du réseau d'air comprimé du nouveau bâtiment	31
Figure 7: Enceinte d'eau pulvérisée	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8: part de consommation d'énergie.....	34
Figure 9: courbe des puissances enregistrées en fonction des mois	35
Figure 10: Profil des puissances enregistrées par an	36
Figure 11: Profil des humidités et des températures en fonction de temps	38
Figure 12: Profil des humidités et des températures.....	40
Figure 13: compresseur d'air 90.....	43
Figure 14: compresseur d'air 55.....	44

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: les valeurs de facteurs de puissance et puissances enregistrées.. Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 2: Profil des puissances enregistrées, cos (phi) et puissance souscrite	36
Tableau 3: pénalité de dépassement réduite.....	37
Tableau 4: Résultats des paramètres de consignes	38
Tableau 5: résultats des dimensionnements	38
Tableau 6: Récapitulation des paramètres	39
Tableau 7: Caractéristiques des ventilateurs proposés	40
Tableau 8: mesures des humidités et des températures.....	41
Tableau 9: Caractéristique des ventilateurs actuels	42
Tableau 10: Caractéristique des ventilateurs choisis.....	42
Tableau 11: compresseur d'air	43
Tableau 12: compresseur d'air	44
Tableau 13: pertes de charges	45
Tableau 14: Résultats des dimensionnements.....	46
Tableau 15: débit d ventilateur d'extraction.....	47
Tableau 16: caractéristique de ventilateur d'extraction.....	48
Tableau 17: récapitulatif des gains et taux d'économie d'énergie	48

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte de l'étude

La compétitivité économique aujourd'hui mondiale exige que les entreprises africaines réduisent leurs coûts de production. Cette réduction passe nécessairement par une revue des habitudes de consommation énergétique et la mise en place de politiques rigoureuses d'économies d'énergie. Les économies d'énergie sont également devenues incontournables au niveau de l'administration et des industries. C'est ainsi que pour bon nombre de pays les factures d'électricité dues à la climatisation centrale et aux procédés industriels sont devenues insoutenables.

FILSAH (Filature du Sahel) est une entreprise qui produit des fils et de la toile maliwatt. Ses performances électriques nécessitent une attention particulière. Ainsi un premier audit énergétique a été mené dans le cadre du programme de restructuration et de mise à niveau des industries. De cet audit, sont ressortis les équipements sensibles et des propositions d'amélioration. Par la suite, un nouveau bâtiment a été construit et certains équipements y ont été transférés. La présente étude s'appuie sur l'audit précédent et intègre le nouveau bâtiment.

I.2. Problématique

FILSAH est un maillon très important de la chaîne de valeur du coton. Il transforme le coton en produits finis qui sont les fils de coton et la toile milwatt. Cette transformation se déroule selon plusieurs étapes dont certaines sont très énergétivores.

I.3. Problèmes observés et solutions techniques

Le diagnostic énergétique vise à apporter à l'industriel une expertise et une assistance technique et opérationnelle afin de lui proposer des outils de suivi des consommations énergétiques au niveau de la production et de l'utilisation de l'énergie dans l'entreprise. Dans notre analyse, les propositions sont quantifiées en évaluant techniquement et économiquement les différentes solutions proposées.

I.4. Objectifs de l'étude

1.4.1 Objectif global

FILSAH cherche à réduire ses consommations énergétiques. Cependant, elle est confrontée à certains problèmes de gestion d'énergie.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

1.4.2 Objectifs spécifiques

L'objectif principal est de :

- Faire un diagnostic énergétique des installations.
- Etudier les factures d'électricité pour les trois dernières années.
- Faire une étude des principaux postes de consommation énergétique dans les usines.
- Optimiser les consommations énergétiques de l'usine et évaluer le potentiel d'économies d'énergies.

I.5. Méthodologie de travail

Pour atteindre les objectifs fixés, les points suivants seront étudiés :

- recherches bibliographiques,
- phase d'enquête au sein de l'usine de FILSAH,
- Synthèse des enquêtes,
- Identification des principaux postes de consommation de l'usine et propositions,
- évaluation de gain économique des solutions proposées,
- rédaction de mémoire

I.6. Présentation de structure d'accueil

- **B.R.M.N (Bureau de Restructuration et de Mise à Niveau)**

Notre stage, pour le mémoire de fin d'étude, s'est déroulé au Bureau de restructuration et de mise à niveau de l'industrie (BRMN). Le BRMN a été créé par l'UEMOA pour mettre en œuvre le programme de restructuration et de mise à niveau de l'industrie (PRMN). Le PRMN est un programme qui vise la relance de la production industrielle, la promotion de l'investissement, de l'emploi et l'amélioration de la compétitivité des économies aux niveaux régional et international. Le BRMN est aussi en charge de l'exécution du programme de Restructuration des entreprises en difficulté, qui a été initié par le gouvernement du Burkina Faso.

- **FILSAH (Filature du Sahel)**

FILSAH est une entreprise cotonnière qui produit des fils et les milwatt (serpillière) au Burkina Faso plus précisément à Bobo Dioulasso dans le secteur industriel. Cette entreprise fonctionne vingt-quatre heures sur vingt-quatre heures, de lundi jusqu'au dimanche.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**Figure 1: Image de l'usine de FILSAH****II. MATERIELS ET METHODES****II.1. MATERIELS****II.1.1 Description du processus de fabrication****A. Ancien bâtiment**

Le fil de coton est un produit obtenu au bout d'un processus de fabrication appelé la filature. La filature est l'ensemble des opérations nécessaires pour passer des fibres aux fils. Ce processus **se déroule en cinq étapes principales groupées selon les sections suivantes :**

1. Préparation**Ouvraison**

Les fibres sont livrées en balles comprimées. L'ouvraison est une opération qui permet par arrachage de décomposer cet ensemble compact de fibres pour la transformation en flocons grossiers.

Battage

Il s'agit d'un traitement mécanique énergétique des flocons de fibres destiné à commencer le démêlage et à éliminer les impuretés solides telles que des boues séchées, des débris végétaux etc.

Cardage

Le cardage est une forme de brossage énergétique des flocons de matière, réalisé par l'action de garnitures métalliques en mouvement.

Le cardage est destiné à individualiser et à paralléliser les fibres. Il permet aussi d'éliminer des impuretés telles que chardons, fibres entremêlées.

L'alimentation de la carde, avec des fibres d'origines différentes permet également de procéder à des mélanges.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Etirage

Le ruban de fibres issu de la carte est assez irrégulier. Le parallélisme des fibres n'est pas encore parfait et leurs extrémités sont souvent repliées. Plusieurs doublages et étirages vont permettre de paralléliser les fibres et de régulariser la grosseur du ruban.

L'association de ruban d'origine différente permet aussi de procéder à des mélanges de matières.

2. Open end

Filage

Au stade de la filature Open End ou à bout libéré, il s'agit de l'introduction du ruban par un briseur qui libère les fibres sous forme d'un faisceau et elles se réunissent à nouveau librement en un point de rotation au moyen d'un rotor qui leur confère une torsion, les transforment ainsi en fil.

La figure ci-dessous représente le principe du processus de fabrication :

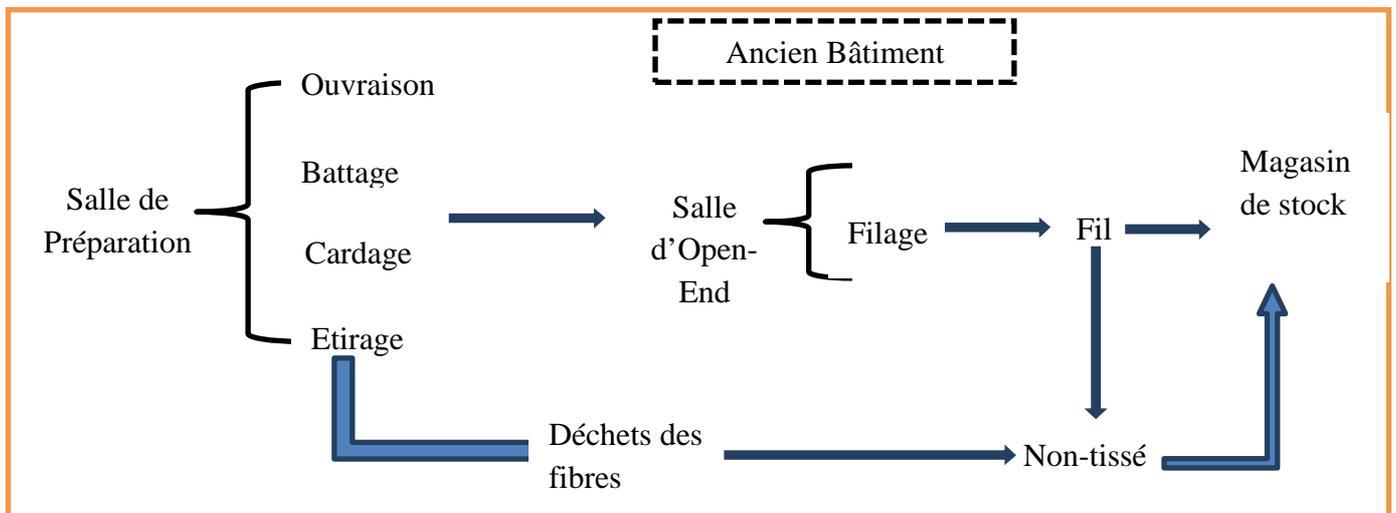


Figure 2: processus de fabrication des fils

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

B. Nouveau bâtiment

Dans cette partie, nous décrivons le rôle des machines et leur état :

- **Assembleuse** : est une machine qui sert à relier deux fils en un seul fil au cours de l'opération.
- **Retordeuse** : est une machine qui consiste à tordre de nouveau les fils au cours du processus de la fabrication. Elles consomment énormément de l'énergie électrique. Car la plus part fonctionne sans variateur électronique de vitesse.
- **Dévidoir** : est une machine qui permet de replier les fils en plusieurs tours lors du processus d'opération. L'ensemble de dévidoir ne fonctionne en un quart d'heure des autres machines, le reste du travail se fait manuellement.

En ce qui concerne le système d'humidificateur. Il est perturbé par l'air comprimé qui sert à soulever le fils sur les machines retordeuses.

C. Description et mode de fonctionnement de climatisation centrale

Le mode de fonctionnement de climatisation centrale est identique dans chacune des salles, mais ce qui change, c'est la caractéristique des moteurs et les débits d'air.

Les principaux composants de climatisation centrale sont :

- Ventilateur de soufflage : consiste à souffler de l'air humidifié dans le local.
- Ventilateur de reprise : permet d'extraire de l'air dans le local.
- Registres de l'air humidifié et de l'air neuf (registre de mélange).
- Filtre : son rôle est d'enlever les impuretés de l'air mélangé.
- Humidificateur évaporatif : il permet de rendre l'air humide.
- Diffuseur d'air : assure le soufflage et la reprise de réseaux aéraulique. Ce réseau est composé de réseau de soufflage d'air frais, réseau de reprise de l'air recyclé.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Principaux modes de fonctionnement de climatisation centrale dans la salle de Préparation

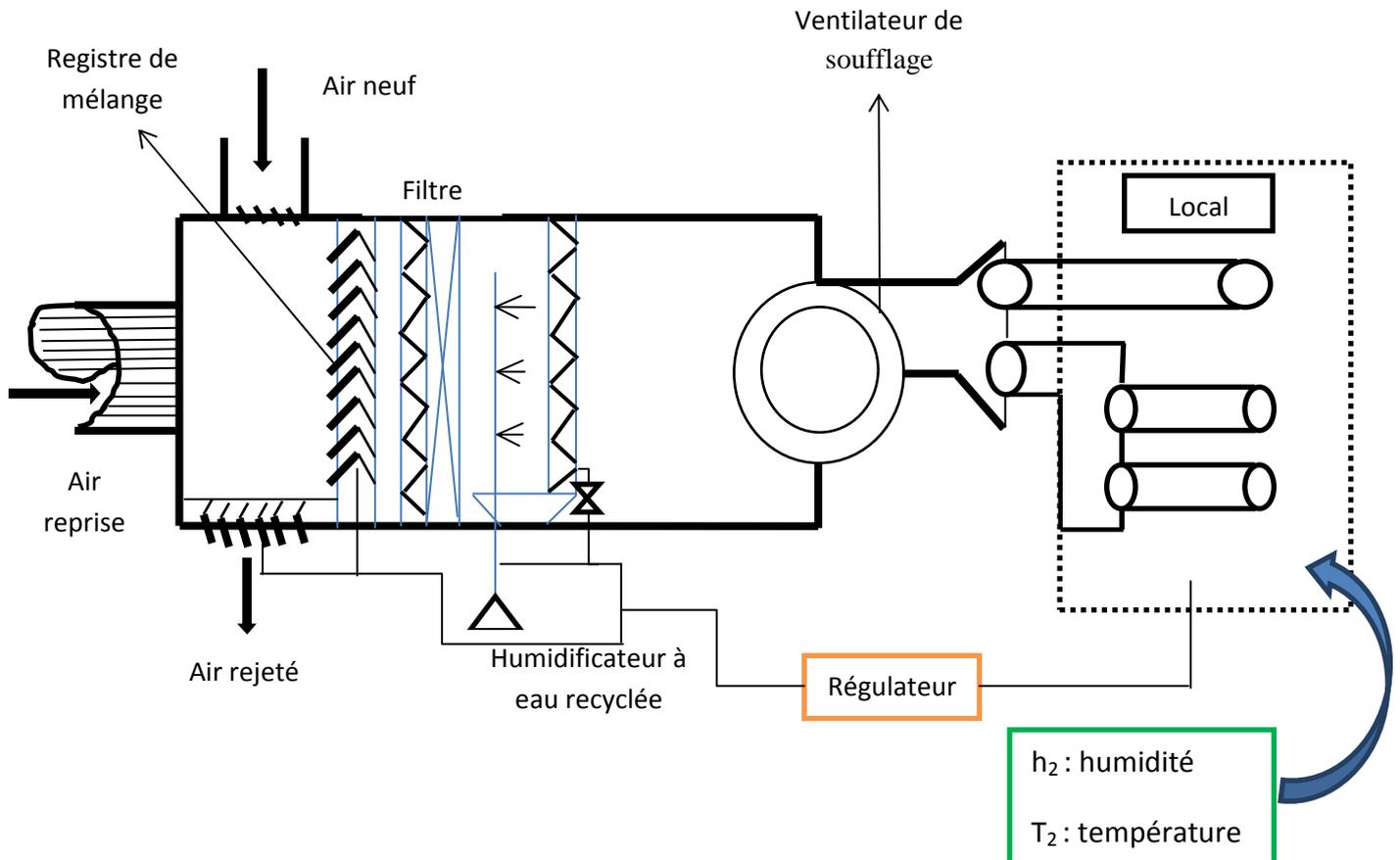


Figure 3: schéma de principe de fonction de climatisation centrale

Le principe de base est que l'air neuf et l'air repris se mélangent au niveau de registre de mélange, ensuite filtrer, puis humidifier pour que cet air humidifié soit soufflé dans le local et le cycle recommence, mais avec l'influence de l'extérieur d'où la nécessité d'une opération de la régulation pour le rendre le système performant en terme d'efficacité énergétique.

Opération de la régulation

La régulation d'humidité commande normalement la vanne d'humidificateur seulement.

Quand l'humidité :

- Décroît, la vanne d'humidification s'ouvre,
- Augmente, la vanne d'humidification se ferme.

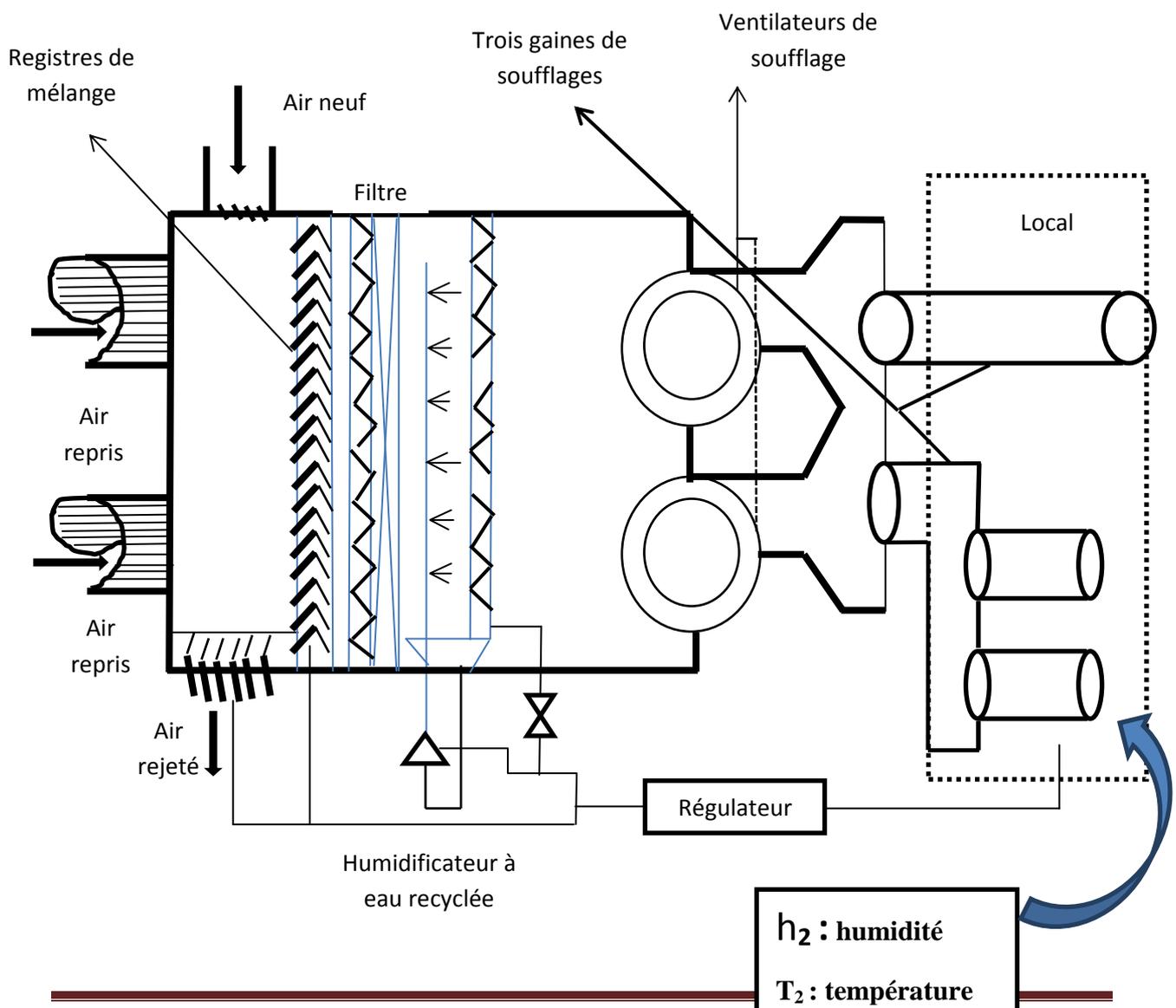
Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

La pompe s'arrête quand la vanne d'humidification est sur le point de se fermer. Elle démarre quand la sortie est devenue supérieur à 5% et au plus 2 minute après qu'elle se soit arrêtée pour éviter des démarrages trop fréquents qui pourraient endommager le moteur.

Sous certaines conditions climatiques, l'humidité peut devenir incontrôlable par ce seul moyen et il peut devenir nécessaire d'activer la fonction sèche-herse extérieur, ou la fonction Dé humidification, ou les deux. Dans ce cas la régulation d'humidité commande les registres de mélange.

Principaux mode de fonctionnement de climatisation centrale dans la salle d'Open end

Le mode du système est le même que la salle de la préparation mais la différence existe au niveau de ventilateur de soufflage et de l'air repris. Il y a deux ventilateurs de soufflage et de l'air repris.



Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Figure 4: schéma du principe de fonctionnement du système

Principaux paramètres de la climatisation centrale (Open end)

En réalité, le débit volumique de soufflage et de l'air repris sont des données inconnues lors de diagnostic énergétique mais la puissance de l'humidificateur était relevée. Il est important de déterminer ses débits et éventuellement la masse d'eau à injectée à l'aide des gicleurs au niveau de l'humidificateur.

D. Condition de fonctionnement de Breezair

Pour que les Breezair soient efficaces, il faut que le bâtiment ait suffisamment d'ouvertures pour évacuer l'air chaud vers l'extérieur par les deux portes. Pour faciliter la circulation de l'air, il faut ouvrir les fenêtres ou les portes les plus distantes. Dans la pièce contenant des diffuseurs d'air, il faut prévoir une ouverture dont la dimension est de 2 à 2.5 fois celle du diffuseur. Quand l'agencement du bâtiment ne permet pas une évacuation adéquate de l'air, il faut prévoir une évacuation mécanique telle qu'un ventilateur aspirant.

Ce système consiste à humidifier l'intérieur du nouveau bâtiment pour éviter que les fils se cassent et assure la bonne condition des travailleurs. Nous constatons qu'il fait très chaud à l'intérieur de nouveau bâtiment. Alors il est important de redimensionner le système pour savoir quel est le problème. Le système était sous dimensionné ou bien dimensionner.

Pour remédier à ce problème, il faut qu'on sache le principe et condition de fonctionnement de type des humidificateurs installés. Le type des humidificateurs est la marque Breezair.

Ce principe consiste, dans un premier temps à amener l'eau de forage via un supprimeur dans un petit bassin d'eau, cette eau sera montée à travers une pompe à eau dans une enceinte au niveau des humidificateurs, puis pulvériser à l'aide des gicleurs. Un ventilateur de soufflage est position en amont à bien souffler l'air neuf dans l'enceinte ou l'eau est pulvérisée, alors l'air se charge en humidité, puis continuer dans le local.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

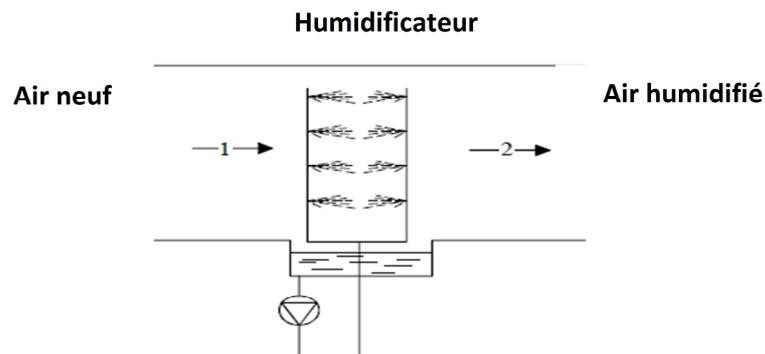


Figure 5: Enceinte d'eau pulvérisée

E. Rôle de compresseurs d'air

Dans l'industrie, les utilisations de l'air comprimé sont multiples : machines-outils les plus diverses, permet d'actionner le vérin et l'attacheur des fils. Le compresseur d'air sert à :

- Nettoyer pendant l'entretien.
- Transporter.
- Soulever et abaisser.
- Maintenir.

II.2. METHODES

II.2.1 Méthodologie de l'ADEME

Notre travail est basé sur la démarche proposée par l'ADEME (**Agence de l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie**) dérive sur le guide des bonnes pratiques sur le diagnostic énergétique des entreprises textiles (ADEME/IFTH, 1998-2002). Les étapes décrites sont les suivantes : collecte des données, visite globale des installations et analyse des données.

A. Collecte des données

Cette partie consiste à relever les données :

- des puissances électriques sur les plaques signalétiques des machines,
- de consommations énergétiques de différentes sections au sein des usines,
- de l'humidité et de températures dans l'ancien bâtiment et le nouveau bâtiment.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

B. Visite globale des installations

L'entreprise met un responsable à la disposition du prestataire afin de lui faire visiter toutes les installations. Le responsable lui explique le principe de fonctionnement de chacune des installations et les problèmes fréquemment rencontrés.

C. Analyse des données

Cette partie consiste à traiter les données collectées et à examiner les installations. Cette analyse se base nécessairement sur une évaluation de bilan énergétique complet de deux bâtiments. Ce bilan énergétique permet d'identifier les principaux postes de consommation énergétique énergétivores. Après avoir identifié les postes de consommation, il est possible de faire les propositions d'amélioration sur les différentes bonnes pratiques que l'entreprise peut être appliquée pour réduire la consommation énergétique afin d'avoir un taux d'économie d'énergie. Nous avons les différentes pratiques suivantes :

- les actions nécessitant un coût d'investissement sur le remplacement des vieux moteurs par les moteurs de meilleur rendement (plus économique),
- l'action qui agit sur la gestion optimale de la durée de fonctionnement des procédés,
- l'action qui permet de mettre en place un planning de suivi de consommation et d'entretien de différentes sections
- l'action qui agit sur les paramètres (la puissance électrique des machines et le temps de fonctionnement des installations) des machines sur la chaîne de production.

II.2.2. Pré diagnostic énergétique au sein de FILSAH

Dans le cadre de la mise à niveau de FILSAH, un audit énergétique dans l'ancien bâtiment a été commandité et a été exécuté par un consultant commis par l'ONUDI. L'audit a permis de faire ressortir un certain nombre d'aspects qui sont :

- La répartition de la consommation de l'usine par des postes principaux;
- Les consommations spécifiques de l'usine et des postes ;
- Des recommandations sur des investissements qui sont :
 - La mise en place de compteurs divisionnaires ;
 - La mise en place d'un système de gestion de l'énergie ;
 - La mise en place d'un système de contrôle de l'humidité ;
 - L'achat d'une alimentation sans interruption.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Cependant, plusieurs de ces recommandations mériteraient une investigation plus poussée notamment l'achat d'une alimentation sans interruption qui serait dimensionnée pour l'usine. Dans ce qui suit, le rappel des principaux résultats de l'audit est donné ainsi que les points de l'investigation plus poussée.

Les résultats de l'audit ont montré une variation de la production et de la consommation spécifique d'énergie électrique principale forme de d'énergie utilisée dans l'usine.

Il ne comprenait pas le nouveau bâtiment car il n'était pas en fonctionnement.

II.2.3 Diagnostic énergétique de FILSAH

La FILSAH est une entreprise qui dispose deux bâtiments (usines) de production où elle mène ses activités. Il y a l'ancien bâtiment et le nouveau bâtiment qui a été récemment construit. Ses activités sont menées à l'aide de trois équipes qui s'alternent à tour de rôle pendant 24 heures.

Le diagnostic énergétique consiste à examiner de près les aspects qui ont été ressortis lors de pré diagnostic énergétique des installations de production, à bien d'identifier les principaux postes de consommations énergivores, qui constituent le gisement d'économie d'énergie.

Les principaux postes de consommation qui constituent le gisement d'économie d'énergie sont obtenus à l'aide de bilan énergétique complet de deux usines :

- Open-end
- Préparation
- Utilités (climatisation centrale et compresseur d'air)
- Retordage.

Il a été convenu avec le cahier de charge de se focaliser sur le système de climatisation (humidificateur des deux bâtiments) après avoir analysé la consommation globale de l'usine.

II.2.4 Etude des factures d'électricité

Dans un premier temps, cette étude s'est focalisée sur les factures d'électricité de trois dernières années afin d'analyser comme convenu les consommations globales d'électricité. Ces factures concernent chaque bâtiment de l'usine. FILSAH reçoit deux factures d'électricité, une pour le nouveau bâtiment et une autre pour l'ancien bâtiment.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

A. Etude des factures d'électricité de nouveau bâtiment

Ce bâtiment vient de démarrer les activités en 2011. Aussi, ce sont les factures d'électricité de juin jusqu'en décembre qui ont été étudiées. Cette étude des factures d'électricité consiste à identifier la pénalité de facteur de puissance, le dépassement de la puissance souscrite et les postes de consommation.

La méthode appliquée pour analyser les factures d'électricité du mois de juin jusqu'au mois de décembre du nouveau bâtiment permet de soulever les points suivants :

- l'installation a un bon facteur de puissance,
- les puissances enregistrées sont en deçà de la puissance souscrite,
- les puissances enregistrées n'atteignant pas la puissance souscrite, la différence avec la puissance maximale enregistrée est payée sous la forme de prime fixe. Ceci constitue une perte à FILSAH,
- Réduire la puissance souscrite à la limite de la puissance enregistrée maximale.

B. Etude des factures de l'ancien bâtiment

Les factures d'électricité des trois dernières années sont collectées afin de les analyser, pour identifier les éventuels problèmes des pénalités, dans le but de les optimiser. La méthode utilisée a pour but d'identifier les éventuels problèmes sur les factures. Les points identifiés sont :

- il y a des dépassements importants de la puissance souscrite et en conséquence des pénalités (problèmes),
 - le facteur de puissance est bon et il y a une bonification sur le facteur de puissance,
 - La bonification sur le facteur de puissance.

Pour optimiser les factures d'électricité de l'ancien bâtiment, il est nécessaire de réduire la pénalité due aux dépassements. Cela revient à faire des propositions suivantes :

- Les machines rotatives de la section Open end qui se trouvent dans la salle d'extension, peuvent être connectées sur l'armoire de distribution de nouveau bâtiment ou déplacées dans le dit bâtiment.
- Le transformateur de nouveau bâtiment est surdimensionné par rapport à sa charge, il est donc possible d'ajouter la charge supplémentaire pour que la puissance enregistrée atteigne approximativement la puissance souscrite.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

II.2.5. Etude des principaux de consommation énergétique dans les deux bâtiments

Dans les deux bâtiments, il existe plusieurs postes de consommation énergétique. On s'intéresse à ceux qui sont énergétivores.

En ce qui concerne l'ancien bâtiment, il y a trois principaux postes de consommation énergétique :

- Utilités (Climatisation centrale et compresseurs d'air)

Pour le nouveau bâtiment, il y a une section énergétivore (Retardage) et un problème sur le système d'humidificateur évaporatif. Les études se sont portées sur :

- le système d'humidification.

L'étude des principaux postes de consommation énergétique consiste à identifier les process qui sont énergivores, afin de faire des propositions d'amélioration pour réduire la consommation d'énergie. Toute proposition d'amélioration a une signification la facture d'électricité de deux bâtiments.

La méthodologie appliquée pour calculer un taux d'économie d'énergie comprend les points suivants :

- la collecte de données. Les données collectées ont permis de calculer la consommation énergétique de principaux postes de consommation E' (KWh),
- l'analyse et la proposition de solutions. Toutes les solutions proposées sur les postes de consommation permettent de calculer la consommation réduite E'' (KWh) des principaux postes,
- évaluation d'économie d'énergie E (KWh). En faisant la différence entre la consommation énergétique de poste et la consommation réduite de poste.

$$E \text{ (KWh)} = E' - E''$$

- le prix de KWh est calculé à l'aide des données de factures par an, il vaut : **90 Frs CFA.**

- Evaluation de gain annuel : $G_{\text{annuel}} \text{ (Frs CFA)} = E \text{ (KWh)} * \text{Prix de KWh}$

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

II.2.5.1 Etude des utilités

A. Etude de la climatisation centrale dans l'ancien bâtiment

Il existe deux systèmes de climatisation centrale au sein de ce bâtiment. Celui-ci dispose deux grandes salles (**Préparation et Open end**) de fabrication

1.) Détermination des paramètres de climatisation centrale

Les paramètres comme le débit volumique de soufflage et débit volumique de l'air recyclé fournis par leurs ventilateurs respectifs ne sont pas connus, alors il est important de déterminer ses paramètres à l'aide des données collectées lors de l'expertise à FILSAH.

Les données comme la puissance de l'humidificateur, les puissances des machines, les paramètres de consignes et la condition de l'extérieur ont été collectées dans le but de déterminer le débit volumique de l'air recyclé, le taux de renouvellement d'air neuf afin de remplacer ses ventilateurs existant avec les ventilateurs qui fournissent la même quantité d'air soufflé et extrait mais avec une faible puissance

2.) Calcul des paramètres de consignes dans le local

Ce calcul nous permet de savoir, quel est le débit d'air à injecter la température T_{local} (°C) et H_{local} (%) :

$$T_2 \text{ (}^\circ\text{C)} = T_{ext} - \frac{L(X_{sat} - X_2)}{(C_{pas} + X_{sat} * C_{pv})}$$

$$E_2 \text{ (%) } = \frac{P_v}{P_{sat}(T)}$$

Où les différentes variables sont définies par :

T_2 : Température de local (°C), T_{ext} : Température de l'extérieure (°C), L : Chaleur latente de vaporisation (KJ.Kg⁻¹), X_{sat} : humidité absolue (Kgas/Kg) au point de saturation (surface d'échange), X_2 : humidité absolue (Kgas/Kg) dans le local, C_{pas} : capacité calorifique massique de l'air sec (KJ. Kg⁻¹.K⁻¹),

C_{pv} : Capacité calorifique massique de vapeur d'eau (KJ. Kg⁻¹.K⁻¹),

E_2 : humidité relative dans le local en %.

Pour déterminer tous les paramètres, nous fixons la condition de l'extérieur, de l'intérieur et la condition de soufflage au niveau de l'humidificateur. Cette condition est basée sur la température et l'humidité relative. En utilisant le diagramme psychrométrique par rapport à

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

chaque condition, cela permet de lire les autres grandeurs comme x_i (humidité absolue), h_i (enthalpie) et v_i (volume spécifique) directement sur le diagramme.

Condition de l'intérieur

$$T_2 (\text{°C}) = 29$$

$$E_2(\%) = 55,4$$

$$X_2(\text{Kg/Kgas}) = 0,0116$$

$$h_2 (\text{KJ/Kgas}) = 58,4$$

$$v_2 (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,859$$

Condition de l'extérieur

$$T_1 (\text{°C}) = 38$$

$$E_1(\%) = 25$$

$$X_1(\text{Kg/Kgas}) = 0,0082$$

$$h_1(\text{KJ/Kgas}) = 59,4$$

$$V_1 (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,886$$

Condition de soufflage :

$$\Delta T (\text{°C}) = 9$$

$$T_{\text{inter}}(\text{°C}) = 29$$

$$T_{\text{souf}}(\text{°C}) = \Delta T (\text{°C}) - T_{\text{inter}}(\text{°C}) = 20$$

$$E_s(\%) = 94,4$$

$$X_s(\text{Kg/Kgas}) = 0,0116$$

$$H_s(\text{KJ/Kgas}) = 52,1$$

$$v_s (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,834$$

$$\Delta x(\text{Kg/Kgas})=0,0048$$

Le soufflage se fait avec une humidité absolue qui est égale à l'humidité absolue de l'intérieur de la salle de préparation $\{x_s(\text{Kg/Kgas})=X_2(\text{Kg/Kgas})=0,0116.\}$ et en tenant compte de la température soufflage

Les apports du local à vaincre

Les apports du local H_0 (KW) sont la quantité de chaleur dégagée par les machines, les occupants (travailleurs) et les influences d'extérieur. En faisant le bilan des puissances de toutes les machines, puis en tenant compte de métabolisme humain des occupants et le rayonnement solaire, On a :

H_0 (KW)= $\sum P_i$ (machines) + $\sum P_i$ (métabolisme humain) + $\sum P_i$ (Rayonnement solaire à travers les parois).

Débit massique de soufflage

Par définition ce débit est obtenu à l'aide la formule suivante :

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

$$Q_{\text{mas}} (\text{Kgas/h}) = \frac{H0(\text{KW}) * 3600}{\Delta T (\text{°C})}$$

Avec $C_p * \Delta T (\text{°C}) \longrightarrow \Delta T (\text{°C})$, car C_p est sensiblement égale 1,009 KJ/Kg/°C

Débit volumique de soufflage dans le local

Le débit volumique de soufflage est obtenu avec une humidité absolue identique à celle du local, ce débit est calculé à l'aide de formule suivante :

$$Q_{\text{vas}} = v_s * Q_{\text{mas}} \quad \text{avec } v_s = 0,834 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Débit volumique d'air neuf

En fonction des occupants dans le bâtiment et les machines, on considère un renouvellement d'air neuf 45 m³/h par occupant.

On considère un renouvellement d'air neuf pour les machines = 76512 m³/h

$$Q_{\text{an}} (\text{m}^3/\text{h}) = \text{nombre des occupants} * 45 + 76512$$

Débit massique d'air neuf

Ce débit est évalué afin de déterminer le taux de renouvellement d'air neuf, ce débit est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q_{\text{man}} (\text{Kg/h}) = (Q_{\text{an}} (\text{m}^3/\text{h})) / (v_1 (\text{m}^3/\text{Kg})) ; v_1 (\text{m}^3/\text{h}) = 0,887$$

Débit volumique d'air de reprise

Le débit volumique d'air de reprise est la quantité d'air humidifié extrait du local pour mélanger à l'air neuf dans la zone de mélange.

$$Q_{\text{var}} (\text{m}^3/\text{h}) = q_{\text{mas}} * v_r \quad \text{avec } v_r = v_s = 0,863 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Taux de renouvellement d'air neuf

Le taux de renouvellement est la quantité d'air neuf renouvelé au sein de local :

$T_{\text{aN}} = \frac{Q_{\text{man}}}{Q_{\text{mas}}}$ avec Q_{man} : débit massique d'air neuf et Q_{mas} : débit massique d'air de soufflage.

Caractéristique de l'air recyclé

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Débit massique de soufflage = Débit massique de l'air recyclé + Débit massique de l'air neuf

$$Q_{\text{mas}} = Q_{\text{mar}} + Q_{\text{man}}$$

D'où $Q_{\text{mar}} = Q_{\text{mas}} - Q_{\text{man}}$

Débit volumique d'air recyclé

Débit volumique d'air recyclé= débit volumique d'air soufflé – débit volumique d'air neuf

$$Q_{\text{var}} = Q_{\text{vas}} - Q_{\text{van}}$$

Taux de renouvellement d'air recyclé

Le taux de renouvellement d'air recyclé est la quantité d'air recyclé dans le local :

$$T_{\text{aR}} = \frac{Q_{\text{aR}}}{Q_{\text{ar}}}$$

avec Q_{aR} : débit d'air recyclé et Q_{ar} : débit d'air repris

Mélange de l'air neuf et de l'air recyclé

Pour connaître les caractéristiques du mélange de l'air neuf avec l'air recyclé

L'enthalpie du mélange : $h_m = (m_{\text{as}_1}h_1 + m_{\text{as}_2}h_2) / (m_{\text{as}_1} + m_{\text{as}_2})$

L'humidité absolue du mélange : $x_m = m_{\text{as}_1} * x_1 + m_{\text{as}_2} * x_2$.

Air neuf	Air recyclé
$T_1 (\text{°C}) = 38$	$T_r (\text{°C}) = 25$
$E_1 (\%) = 25$	$E_r (\%) = 50$
$x_1 (\text{Kg/Kgas}) = 0,0103$	$x_r (\text{Kg/Kgas}) = 0,0103$
$h_1 (\text{KJ/Kgas}) = 64,1$	$h_r (\text{KJ/Kgas}) = 50,3$
$m_{\text{as}_1} (\text{kg}) = 0,859$	$m_{\text{as}_2} (\text{kg}) = 0,350$
$Q_{\text{van}} (\text{m}^3/\text{h}) = 76962$	$Q_{\text{var}} (\text{m}^3/\text{h}) = 217660,941$

A l'aide de condition de l'air neuf et recyclé présente ci-dessus, elle permette de calculer h_m et x_m :

$$h_m (\text{KJ/Kg}) = 60,60 \text{ et } X_m (\text{Kg/kgas}) = 0,0123$$

En insérant h_m et X_m sur le diagramme psychrométrique, cela permet de déterminer les autres paramètres :

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**Air mélange**

$$T_m (\text{°C}) = 25$$

$$E_m (\%) = 50$$

$$x_m (\text{Kg/Kgas}) = 0,0123$$

$$h_{rm} (\text{KJ/Kgas}) = 50,3$$

$$V_m (\text{m}^3/\text{kg}) = 0,862$$

Débit volumique du mélange

Le débit volumique du mélange est :

Débit volumique du mélange = Débit volumique de l'air recyclé + Débit volumique de l'air neuf

$$Q_{vmélange} (\text{m}^3/\text{h}) = 155700,45$$

Débit d'eau injectée

Le débit d'eau a injecté à l'aide des gicleurs au niveau de l'humidificateur. Ce débit est calculé, en utilisant la formule suivante :

$$P (\text{KW}) = M_{\text{eau}} * h, \text{ soit } M_{\text{eau}} = \frac{P (\text{KW})}{h}$$

La puissance de l'humidificateur est connue lors des données collectées et l'enthalpie massique n'est pas connue. Alors **P(KW) = 10,93**

A partir des conditions du mélange (T_m et h_m) et en se fixant un taux de saturation de l'air à 95% au point de température humide, permet de caractériser l'air mélange au niveau de la surface d'échange (point de saturation où l'air mélangé se charge en humidité). Les paramètres sont obtenus à l'aide de diagramme de l'air humide.

$$T (\text{°C}) = 21,5$$

$$E (\%) = 93,5$$

$$x (\text{Kg/Kgas}) = 0,0153$$

$$h (\text{KJ/Kgas}) = 60,6$$

$$V (\text{m}^3/\text{kg}) = 0,843$$

On obtient la masse d'eau injectée : M_{eau} est la quantité eau injectée par second lorsque l'humidificateur est en marche.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

3. Condition de dimensionnement de la climatisation centrale (Open end)

Condition de l'intérieur

$$T_2 (\text{°C}) = 28$$

$$E_2 (\%) = 55$$

$$X_2 (\text{Kg/Kgas}) = 0,013$$

$$h_2 (\text{KJ/Kgas}) = 61,4$$

$$v_2 (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,859$$

Condition de l'extérieur

$$T_1 (\text{°C}) = 38$$

$$E_1 (\%) = 20$$

$$X_1 (\text{Kg/Kgas}) = 0,082$$

$$h_1 (\text{KJ/Kgas}) = 54,4$$

$$V_1 (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,886$$

Condition de soufflage :

$$\Delta T (\text{°C}) = 9$$

$$T_{\text{inter}} (\text{°C}) = 28$$

$$T_{\text{souf}} (\text{°C}) = \Delta T (\text{°C}) - T_{\text{inter}} (\text{°C}) = 19$$

$$E_s (\%) = 94,4$$

$$x_s (\text{Kg/Kgas}) = 0,013$$

$$h_s (\text{KJ/Kgas}) = 52,1$$

$$v_s (\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,834$$

Le soufflage se fait avec une humidité absolue qui est égale à l'humidité absolue de l'intérieur de la salle de préparation $\{x_s (\text{Kg/Kgas}) = X_2 (\text{Kg/Kgas}) = 0,013.\}$ et en tenant compte de la température soufflage

Mélange de l'air neuf et de l'air recyclé

Pour connaître les caractéristiques du mélange de l'air neuf avec l'air recyclé

L'enthalpie du mélange : $hm = (m_{as1}h_1 + m_{as2}h_2) / (m_{as1} + m_{as2})$

L'humidité absolue du mélange : $x_m = m_{as1} * x_1 + m_{as2} * x_2$.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique**Air neuf**

$$T_1 (^\circ\text{C}) = 38$$

$$E_1 (\%) = 20$$

$$X_1 (\text{Kg/Kgas}) = 0,082$$

$$h_1 (\text{KJ/Kgas}) = 59,4$$

$$\text{mas1 (kg)} = 0,177$$

$$Q_{\text{van}} (\text{m}^3/\text{h}) = 88420,6$$

Air recyclé

$$T_{\text{aR}} (^\circ\text{C}) = 28,5$$

$$E_{\text{aR}} (\%) = 54$$

$$x_{\text{aR}} (\text{Kg/Kgas}) = 0,0132$$

$$h_{\text{aR}} (\text{KJ/Kgas}) = 62,3$$

$$\text{mas2 (kg)} = 0,852$$

$$Q_{\text{vaR}} (\text{m}^3/\text{h}) = 364467$$

A l'aide des valeurs ci-dessus, elles permettent de calculer h_m et x_m :

$$h_m (\text{KJ/Kg}) = 61,8 \text{ et } X_m (\text{Kg/kgas}) = 0,0127$$

En insérant h_m et X_m sur le diagramme psychrométrique, cela permet de déterminer les autres paramètres :

Air mélange

$$T_m (^\circ\text{C}) = 29,2$$

$$E_m (\%) = 50$$

$$x_m (\text{Kg/Kgas}) = 0,0127$$

$$h_m (\text{KJ/Kgas}) = 61,8$$

$$V_m (\text{m}^3/\text{kg}) = 0,863$$

A partir des conditions du mélange (T_m et h_m) et en se fixant un taux de saturation de l'air à 95% au point de température humide. On les caractéristiques suivants :

$$T (^\circ\text{C}) = 22$$

$$E (\%) = 93,8$$

$$x (\text{Kg/Kgas}) = 0,0156$$

$$h (\text{KJ/Kgas}) = 61,8$$

$$V (\text{m}^3/\text{kg}) = 0,844$$

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

On obtient M_{eau} est la quantité d'eau injectée par second lorsque la pompe est en marche.

B. Etude de compresseur d'air

La méthode utilisée pour étudier les compresseurs d'air se déroule de la manière suivante :

- la détermination des pertes de charges dans le réseau,
- les mesures d'économie d'énergie.

1. Pertes de charges dans le circuit d'air comprimé

Dans les deux circuits d'air comprimé ont un même diamètre (3 pouces) et même section des conduites au niveau de la cuve à sa sortie jusqu'à l'intérieur du bâtiment. A la sortie du compresseur d'air jusqu'à l'entrée de la cuve, le diamètre de la conduite vaut 1,5 pouces.

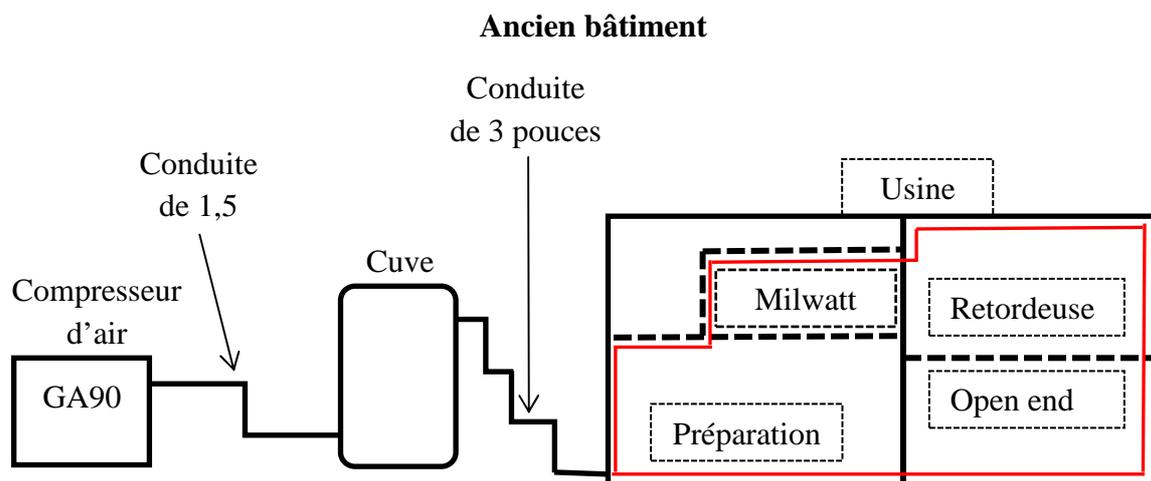


Figure 6: schéma du réseau d'air comprimé de l'ancien bâtiment

Les pertes en charge totale dans ce circuit d'air comprimé sont évaluées par la formule suivante :

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_S$$

Avec ΔP_L : pertes linéaires dépendent de la longueur de conduite du réseau d'air comprimé et ΔP_S : pertes singulières liées aux coudes de circuit.

Nouveau bâtiment

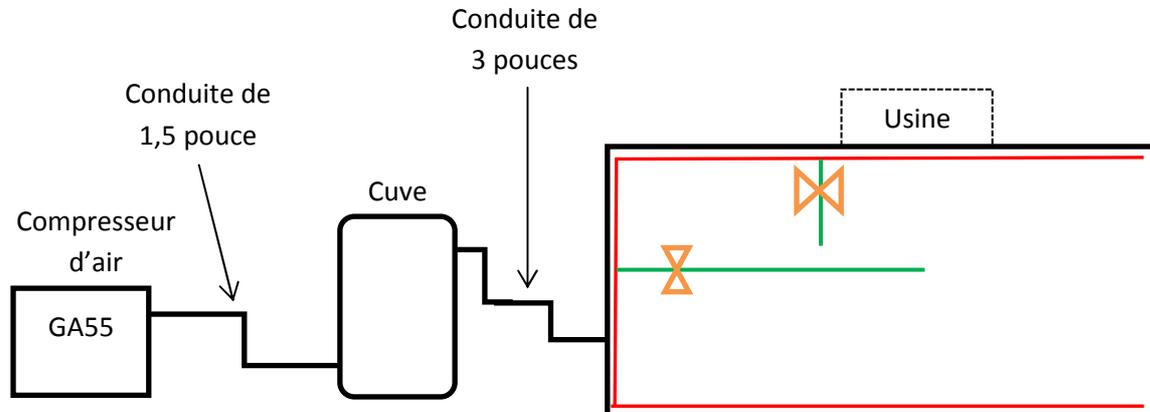


Figure 7: schéma du réseau d'air comprimé du nouveau bâtiment

Dans ce circuit, la perte de charge totale est définie par :

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_S$$

Avec ΔP_L : pertes linéaires dépendent de la longueur de conduite du réseau de l'air comprimé et ΔP_S : pertes singulières liées aux coudes de circuit.

2. Mesures d'économie d'énergie

L'air doit être utilisé à la bonne puissance et au bon débit pour chaque application. Un air comprimé coûte cher. C'est pourquoi il faut éviter les surproductions d'air comprimé aussi bien en puissance qu'en débit. Quand les besoins sont variables il faut installer une série de compresseurs qui permettent de moduler l'offre d'air en fonction des besoins. On arrive à des économies considérables en faisant attention à cette notion d'adaptation de l'offre et de la demande. Il faut éviter de mettre en place un seul gros compresseur pour des besoins très variables dans le temps.

Les fuites d'air sont fréquentes dans toutes les installations de production et d'utilisation d'air comprimé. Quand elles sont importantes elles sont nettement audibles. Dans tous les cas les fuites sont inévitables. Aucune installation n'a ses équipements totalement étanches à cent pour cent. Le minimum de fuites tolérable est de 10 %. Au-dessus de cette valeur il faut penser à une action de réparation. Il faut remarquer qu'il est difficile d'évaluer les quantités d'air de fuite.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Pour optimiser la gestion d'air comprimé dans chacun des circuits, il est nécessaire d'installer un variateur électronique de vitesse selon la technologie, la consommation devient proportionnelle au débit d'air produit.

L'air comprimé constitue une charge financière non négligeable pour les entreprises. Ces dépenses peuvent être réduites par des moyens simples et peu onéreux à mettre en place, comme :

- Le suivi des consommations sous forme de ratios (Wh/Nm³).
- L'entretien, la détection et la réparation des fuites d'air comprimé.
- La réduction progressive de la pression de consigne.
- la réduction de la température d'entrée d'air du compresseur.
- l'arrêt du compresseur lorsqu'il n'est pas sollicité (les week-ends notamment).

Pour une réduction de **0,5 bar** dans le réseau permet aux compresseurs d'air de fonctionner entre **30 à 70%** de sa puissance électrique, selon les études de l'ADEME (**étude menée sur 5 ans avec 6000 heures d'exploitation d'un compresseur - ATEE, ATLAS COPCO, ACE**) sur le compresseur d'air GA concernant les bonnes pratiques de maîtrise d'énergie.

II.2.4.3 Système d'humidification par injection d'eau

Pour toucher de doigt ce problème, il faut redimensionner ce système à bien savoir la quantité d'air humidifié soufflé dans le local pour vaincre la quantité de chaleur dissipée à l'intérieur de nouveau bâtiment et également la puissance électrique des humidificateurs, permettant d'avoir une valeur constante de la température et de l'humidité dans le nouveau bâtiment.

A. Dimensionnement des humidificateurs (Breezair)

Fixons les paramètres de condition intérieure de nouveau bâtiment et celle de l'extérieure afin de donner une différence de températures pour avoir la condition soufflage d'air humidifié au niveau des humidificateurs.

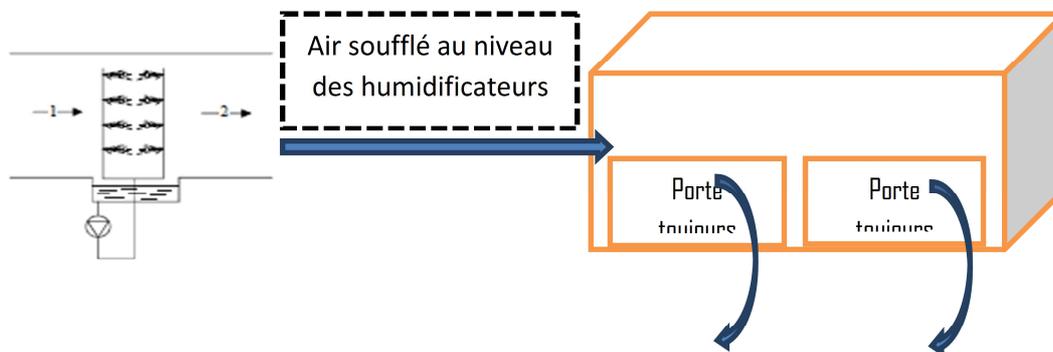


Figure 8: schéma air soufflé dans le bâtiment

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

Conservation de la masse

Bilan de masse d'air sec à l'entrée et la sortie, on obtient :

$Q_{mas_1} - Q_{mas_2} = 0$ avec $Q_{mas_1} = Q_{mas_2} = Q_{mas}$ avec Q_{mas} est le débit massique d'air sec.

Bilan de masses d'eau :

$Q_{mas_1} * X_1 - Q_{mas_2} * X_2 + M_{eau} = 0$ avec X_1 et X_2 sont les humidités absolues.

$M_{eau} = Q_{mas_2} * X_2 - Q_{mas_1} * X_1 = Q_{mas} * (X_2 - X_1)$

Condition intérieure :

$$T_2 (°C) = 27$$

$$E_2(\%) = 50$$

$$X_2(\text{Kg/Kgas}) = 0,0116$$

$$h_2(\text{KJ/Kgas}) = 58,4$$

$$v_2(\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,859$$

Condition extérieure :

$$T_1 (°C) = 37$$

$$E_1(\%) = 20$$

$$X_1(\text{Kg/Kgas}) = 0,0078$$

$$h_1(\text{KJ/Kgas}) = 57,3$$

$$v_1(\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,883$$

En fonction des paramètres de consignes T_i et E_i fixés, dans les deux conditions, ceux-ci ont permis de déterminer les valeurs de x_i , h_i et v_2 à l'aide du diagramme psychrométrique.

Condition de soufflage :

$$\Delta T (°C) = 10$$

$$T_{inter}(°C) = 27$$

$$T_{souf}(°C) = 17$$

$$E_s(\%) = 95,7$$

$$x_s(\text{Kg/Kgas}) = 0,0118$$

$$h_s(\text{KJ/Kgas}) = 46,5$$

$$v_s(\text{m}^3/\text{Kg}) = 0,883$$

$$\Delta x(\text{Kg/Kgas}) = 0,0038$$

Le soufflage se fait avec une humidité absolue qui est égale à l'humidité absolue de l'intérieur du nouveau bâtiment $\{x_s$

$(\text{Kg/Kgas}) = X_2(\text{Kg/Kgas}) = 0,0118\}$.

Et en tenant compte de la température de soufflage.

Les apports du local à vaincre

Les apports du local H_0 (KW) sont la quantité de chaleur dégagée par les machines, les occupants (travailleurs) et les influences d'extérieur. En faisant le bilan des puissances de toutes les machines, puis en tenant compte de métabolisme humain des occupants et le rayonnement solaire.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

$$H_0 \text{ (KW)} = \sum P_i \text{ (machines)} + \sum P_i \text{ (métabolisme humain)} + \sum P_i \text{ (Rayonnement solaire à travers les parois)}$$

Débit massique de soufflage

Par définition ce débit est obtenu à l'aide la formule suivante :

$$Q_{\text{mas}} \text{ (Kgas/h)} = \frac{H_0 \text{ (KW)} * 3600}{\Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}}$$

Avec $C_p * \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$ \longrightarrow $\Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$, car C_p est sensiblement avec 1,009 KJ/Kg/°C

Débit volumique de soufflage dans le local

Ce débit est soufflé au niveau de l'humidificateur, il est calculé à l'aide de formule suivante :

$$Q_{\text{vas}} = v_s * Q_{\text{mas}} \text{ avec } v_s = 0.828 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Débit d'eau injectée

Le débit d'eau a injecté au niveau de l'humidificateur. Ce débit est calculé en utilisant la formule suivante :

$$M_{\text{eau}} = Q_{\text{mas}} * (X_2 - X_1)$$

Puissances des humidificateurs

C'est la puissance globale des humidificateurs à installer dans le nouveau bâtiment. Cette puissance est définie par :

$$P \text{ (KW)} = M_{\text{eau}} * h_s$$

III. RESULTATS

Le diagnostic énergétique nous a permis de collecter les données permettant d'évaluer le bilan énergétique complet des usines.

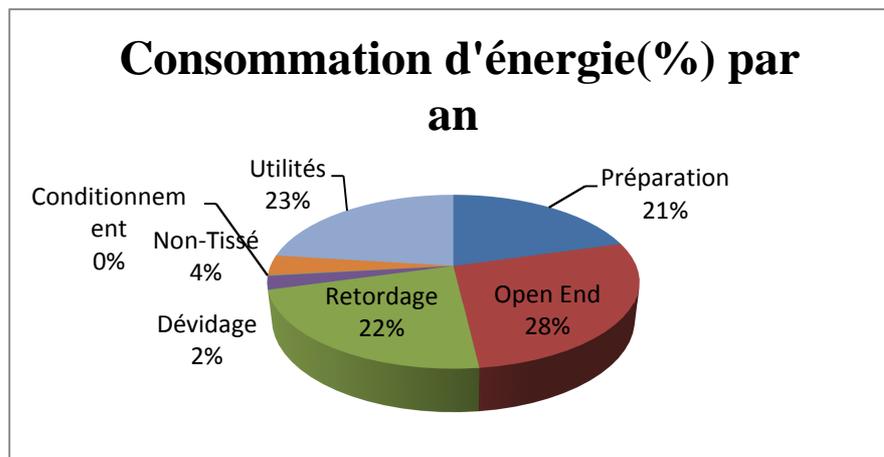


Figure 8: part de consommation d'énergie

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

D'après toutes les propositions d'amélioration par rapport aux principaux postes de consommation énergétique dans les deux bâtiments ont permis de ressortir au plus clair le taux d'économie d'énergie avec le gain sans investissement et avec investissement.

La moyenne de consommation électrique par an sur les différentes factures de :

- ❖ Nouvelle usine vaut : **614859 KWh**
- ❖ l'ancienne usine est : **9775853 KWh**

Le prix de KWh est fixé à **90 Frs CFA** sur la feuille d'optimisation de facture.

III.1. Factures d'électricité

A. Factures de nouveau bâtiment

D'après l'étude ci-dessus (II.4, A), elle nous a permis de faire ressortir les valeurs de facteurs de puissance, les puissances enregistrées :

Profil de puissances enregistrées et la puissance souscrite en fonction des mois

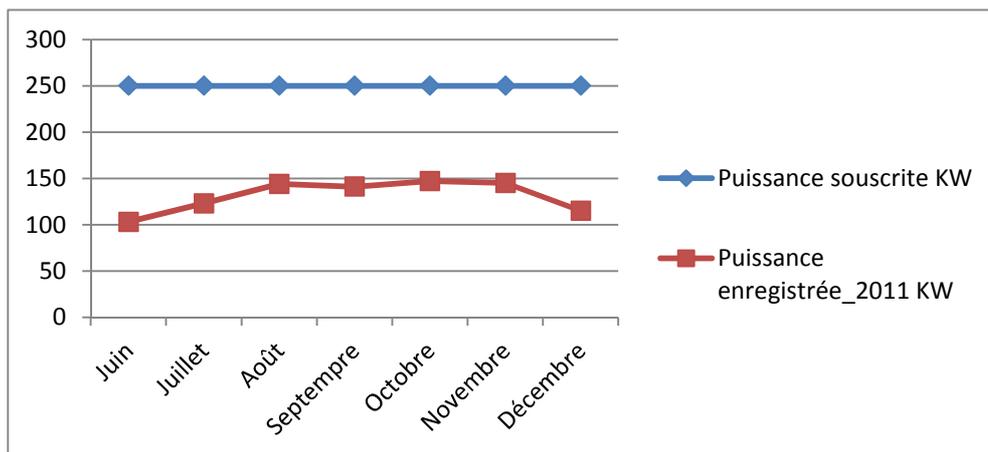


Figure 9: courbe des puissances enregistrées en fonction des mois

D'après le profil ci-dessous, on constate que la puissance enregistrée n'atteint pas **150 KW** et cette installation électrique un bon facteur de puissance moyen de **0,83**.

Pour optimiser ces factures, il suffit de diminuer la puissance souscrite à la limite des puissances enregistrées (**150 KW**). Cette réduction joue sur la prime fixe (**64337 Frs CFA** par an). En faisant la différence entre la puissance souscrite et la puissance réduite, la réduction vaut **100 KW**.

Le gain annuel= 100* 64337= 6.433.700 Frs CFA par an, soit **536141,66FrsCFA** par mois sans investissement. Il suffit de faire une correspondance auprès de SONABEL de réduire la puissance souscrite à **150KW**.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

B. Factures de l'ancien bâtiment

1. Profil des puissances enregistrées par an

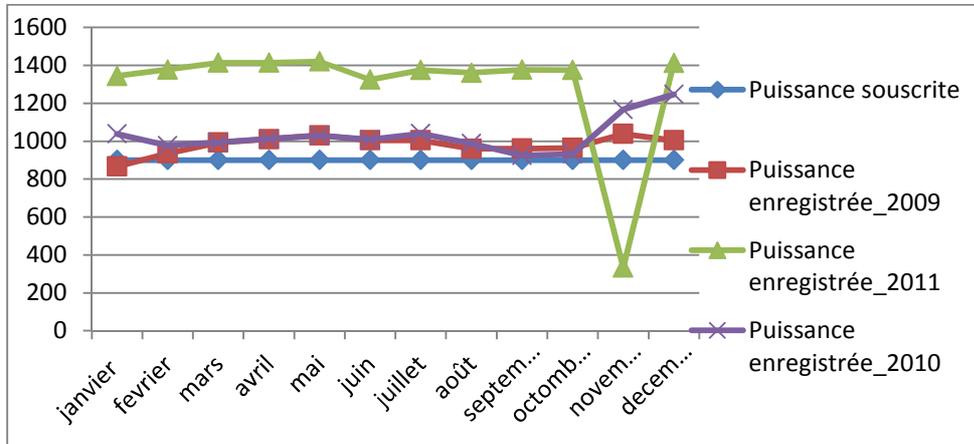


Figure 10: Profil des puissances enregistrées par an

Ce profil montre la consommation énergétique à travers les puissances enregistrées pendant les trois dernières années (2009, 2010 et 2011). Nous considérons les factures d'électricité de l'année où il y a la puissance maximale enregistrée pour les optimiser.

2. Raccordement des machines sur le transformateur de nouveau bâtiment

Cette partie consiste à calculer la puissance des machines à ajouter sur l'armoire de distribution de nouveau bâtiment.

Tout le calcul se fait par mois :

Tableau 1: Profil des puissances enregistrées, cos (phi) et puissance souscrite

	Cos (phi) moyen	Puissance souscrite (KW)	Puissance moyenne enregistrée (KW)	Transformateurs (KVar)
Nouveau bâtiment	0,83	250	0	630
Section Open end	0,92	900	1294	800

La pénalité de dépassement par an vaut : **18.751.380 Frs CFA.**

La moyenne des puissances enregistrées par an vaut : **1294 KW.**

L'écart entre la puissance enregistrée moyenne et la puissance souscrite vaut : **394 KW.**

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

La puissance Totale des machines à ajouter sur le transformateur de nouveau bâtiment : **375 KW.**

Nous soutirons une puissance de **375 KW** sur l'installation de l'ancien bâtiment pour ajouter sur le transformateur (armoie de distribution) de nouveau bâtiment permet de réduire la pénalité de dépassement :

- La différence entre la puissance enregistrée moyenne et la puissance des machines à soutirer vaut : **20 KW.**

La pénalité de dépassement par mois vaut : **3250 Frs CFA.**

La pénalité de dépassement est réduite par rapport aux machines soutirées de la section pour ajouter sur le nouveau bâtiment.

Tableau 2: pénalité de dépassement réduite

	Mois	Année
Pénalité de dépassement (Frs CFA)	61.750	741.000

Gain obtenu : $G = 18.751.380 - 741000 = 18.010.380$ Frs CFS

Coût d'investissement sur les câbles : **21.000.000 Fr CFA**

La bonification de facteur de puissance par an vaut : **53.848.455 Frs CFA**

Le gain annuel réel : $21.000.000 - 18.010.380 = + 2.989.620$ Frs CFA. (Perte)

En deuxième année, le gain est: $2.989.620 - 18.010.380 = - 15.020.760$ Frs CFA (Gain en deux ans).

Cette proposition est la meilleure pour l'entreprise car elle ressoude le problème de pénalité dans l'ancien bâtiment tandis que le nouveau bâtiment fonctionnera normalement (sans pénalité des dépassements et de facteur de puissance).

III.2. Utilités (Climatisation centrale et Compresseur d'air)

A. Climatisation centrale dans la salle de préparation

1. Profil des humidités et des températures (données relevées)

Dans cette partie, il sera question de faire ressortir les points principaux caractérisant le fonctionnement actuel du système.

Les données de l'humidité et de la température de consignes ont été relevées de huit heures à seize heures afin de savoir si les paramètres de consignes sont régulés. L'humidité de relative et la température de consignes sont respectivement fixées à **55%** et **33°C**.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

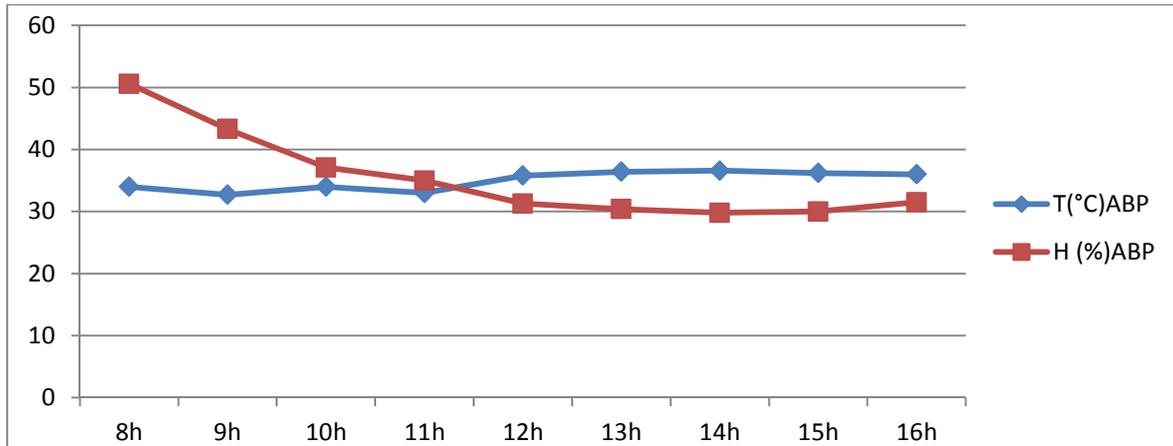


Figure 11: Profil des humidités et des températures en fonction de temps

Ce profil montre qu'au cours de fonctionnement de ce système les humidités et les températures n'étaient pas régulés.

2. Résultats de détermination des paramètres de consignes

Tableau 3: Résultats des paramètres de consignes

Paramètres de consignes	Préparation	Open end
T_{local} (°C)	28,24	27,68
E (%)	53,19	52,54

3. Résultats des dimensionnements

Tableau 4: résultats des dimensionnements

Variables	Résultats (Open end)	Résultats (Préparation)
H_o (KW)	853,67	1316,77
Q_{mas} (Kg/h)	180457	149689
Q_{vas} (m3/h)	151136	124845
Q_{an} (m3/h)	76962	88420,6
Q_{var} (m3/h)	155700	128709,5
T_{an} (%)	25,4	18,95
Q_{man} (m3/h)	86736	99826,84
Q_{vaR} (m3/h)	78738	40289
T_{aR} (%)	73,88	80,47
$Meau$ (Kg/s)	0,2	0,3
P (KW)	10,93	18,5

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

4. Récapitulation des paramètres clés

Le dimensionnement de ce système nous a permis de déterminer les paramètres clés suivants.

Tableau 5: Récapitulation des paramètres

	Récapitulation de la préparation	
Désignation	Valeurs	
		3 gaines de soufflage
débit volumique de soufflage (m3/h)	151116	50378,78
		50378,78
		50378,78
Débit volumique d'air reprise (m3/h)	155700	
Taux de renouvellement d'air neuf(%)	25,401	
Taux de renouvellement d'air recyclé(%)	73,878	
Puissance de l'humidificateur (KW)	10,93	

5. Mesures d'économie d'énergie

Vue la consommation énergétique de climatisation centrale dans la salle de préparation. La solution envisageable est de remplacer les ventilateurs existant par des ventilateurs qui fournissent la quantité des débits d'air mais avec une puissance moindre.

6. Choix d'un ventilateur

Un ventilateur est choisi en fonction de la caractéristique pression statique par rapport au débit par l'intermédiaire d'une courbe caractéristique (ou caractéristique) donnée par les catalogues de constructeur. Dans une installation aéraulique ce choix se fait dans l'ordre suivant :

- ❖ Le débit volumique de soufflage.
- ❖ La pression statique : $P_{statique} = \frac{1}{2}(\rho * V^2)$ avec $V (m/s) = Q_{vasG} (m^3/s) / S_{gaine} (m^2) = 27,95$ et $\rho (Kg/m^3) = 1,28$ d'où $P_{statique} = 500Pa$.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

7. Caractéristiques des ventilateurs proposés

Tableau 6: Caractéristiques des ventilateurs proposés

Désignation	Ventilateur de soufflage	Ventilateur de reprise
Puissance (KW)	30	30
Débit volumique (m³/h)	152000	152000
Marque	VENTMECA	VENTMECA
Type	AXIAL	AXIAL
Prix		
Pression (Pa)	600	500



B. Climatisation centrale dans la salle Open end

1. Profil des humidités et des températures (données relevées)

Les données ont été relevées de huit heures à seize heures dans le but de savoir si l'humidité et la température sont régulées au cours de fonctionnement de ce système. A l'aide des données nous permettent de tracer un profil ci-dessous :

L'humidité et température sont en ordonnées et les heures en abscisse.

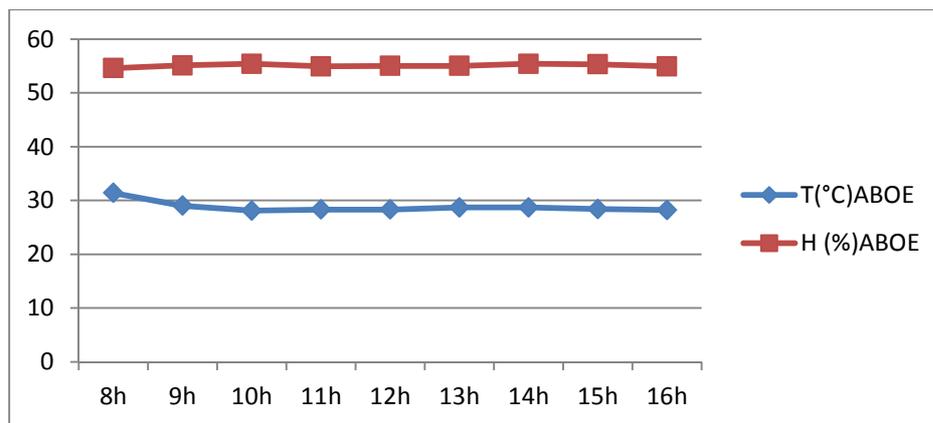


Figure 12: Profil des humidités et des températures

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

2. Récapitulation des paramètres déterminés

Il s'agit de regrouper les paramètres clés dans un tableau ci-dessous :

Tableau 7: mesures des humidités et des températures

Désignation	débit global (m3/h)	débit unitaire (m3/h)
deux ventilateurs de soufflage	124845	62423
		62423
Deux ventilateurs de reprise	128710	64355
		64355

3. Mesures d'économie d'énergie

La consommation énergétique de ce système en place et les valeurs des paramètres ainsi déterminé ci-dessus permettent de remplacer les ventilateurs existant par les ventilateurs avec une puissance moindre.

4. Choix d'un ventilateur

Un ventilateur est choisi en fonction de la caractéristique pression statique par rapport au débit par l'intermédiaire d'une courbe caractéristique (ou caractéristique) donnée par les catalogues de constructeur. Dans une installation aéraulique ce choix se fait dans l'ordre suivant :

- ❖ Le débit volumique de soufflage.
- ❖ La pression statique : $P_{statique} = \frac{1}{2}(\rho * V^2)$ avec $V (m/s) = Q_{vasG} (m^3/s) / S_{gaine} (m^2) = 25,17$ et $\rho (Kg/m^3) = 1,28$ d'où $P_{statique} = 380Pa$.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

5. Caractéristique des ventilateurs anciens et nouveaux

Tableau 8: Caractéristique des ventilateurs actuels

SIEMEINS	Caractéristique des ventilateurs actuels		
Désignation	débit (m ³ /h)	Puissance (Kw)	Pression (Pa)
Ventilateur de soufflage	62423	30	398,64
Ventilateur de reprise	62423	22	398,64

Tableau 9: Caractéristique des ventilateurs choisis

AXICIAT CIAT	Caractéristique des ventilateurs choisis		
Désignation	débit (m ³ /h)	Puissance (Kw)	Pression (Pa)
Ventilateur de soufflage	65000	18,5	500
Ventilateur de reprise	65000	15	398,64

En effectuant le remplacement les anciens ventilateurs par les nouveaux ventilateurs dans les deux systèmes de climatisation centrale permettent d'avoir un taux de réduction d'énergie de **21,1%**.

La consommation énergie ce poste vaut **23%**, soit **E'(KWh)= 2852496**.

La de consommation réduite calculée **E''(KWh)= 266675479**

En faisant la différence entre la consommation énergétique **E'(KWh)** et la de consommation réduite calculée **E''(KWh)** permet d'avoir une économie d'énergie **E(KWh)**, soit **1.9%** de taux d'économie d'énergie.

Le prix d'un KWh calculé vaut **90 Frs CFA**.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

$$E(\text{KWh}) = E'(\text{KWh}) - E''(\text{KWh}) = 185741,21.$$

$$G_{\text{annuel}} = E(\text{KWh}) * \text{prix de KWh}$$

Gain annuel : $G_{\text{annuel}} = 16.716.708,63$ Frs CFA

C. Compresseurs d'air

1. Quelques caractéristiques des compresseurs

Chaque bâtiment a un réseau d'air comprimé :

❖ **L'ancien bâtiment**

Tableau 10: compresseur d'air

Marque	Atlas copco
Type	GA90
Puissance de moteur	90 KW
Débit volumique d'air comprimé	906 m ³ /h
Nombre de tour de rotor	2978 tr/min
Pression maximale	7,8 bars



Figure 13: compresseur d'air 90

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

❖ **Nouveau bâtiment**

Tableau 11: compresseur d'air

Marque	Atlas copco
Type	GA55
Puissance de moteur	55 KW
Débit volumique d'air comprimé	538,8m ³ /h
Nombre de tour de rotor	2978 tr/min
Pression maximale	7,5bars

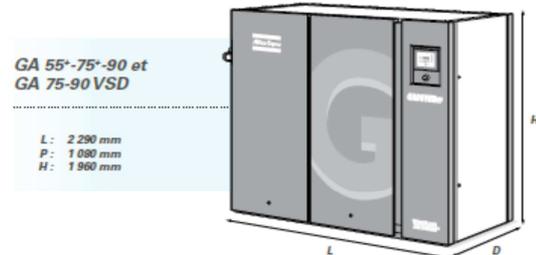


Figure 14: compresseur d'air 55

2. Problèmes identifiés

Il existe sur le site deux circuits d'air comprimé dont :

- L'un est installé dans l'ancien bâtiment où il existe plusieurs coudes de 90° en forme cylindrique entre la sortie de la cuve et l'entrée du bâtiment et également dans le circuit principal à l'intérieur du bâtiment, qui engendrent plus de pertes singulières dont les pertes charges totales sont énormes. L'air comprimé est 7 bars dans ce circuit d'air comprimé, mais il existe une fuite dans le circuit dont la dimension de trou est méconnue.
- L'autre est installé dans le nouveau bâtiment dont il y a plus de coudes de 90° en forme cylindrique entre la sortie de cuve et à l'entrée du bâtiment dont ils sont à l'origine des pertes de charges dans le circuit d'air comprimé. L'air comprimé est 6 bars dans ce circuit.
- Il n'existe pas de variateur électronique de vitesse permettant de gérer le débit d'air comprimé par rapport au besoin de la charge.
- De surcroît la pression utilisée dans le réseau d'air comprimé au niveau bâtiment actuellement fluctue entre 6,5 à 6,7 bars tandis qu'à l'ancien bâtiment, elle oscille entre 7,4 à 7,6 bars dans le réseau. D'où la nécessité d'installer un variateur de vitesse électronique de vitesse.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

3. Pertes de charges calculées

Nous récapitulons les pertes des charges pour les deux réseaux ci-dessous :

Tableau 12: pertes de charges

	Pertes de charges (Pa)	Pertes de charges (%)	Pression réelle de réseau (bar)
Nouveau bâtiment	66334,59	9,35	7
Ancien bâtiment	21098,98	3,37	6

Les propositions d'amélioration faites ci-dessus sur l'installation d'un variateur d'électronique de vitesse, permet de fournir un débit proportionnellement à la charge. Pour réduire une pression de **0,5bar** dans les deux cas. Les compresseurs d'air fonctionnent de **30 à 70%** de la puissance électrique. Ceci permet de calculer une économie d'énergie de **E(KWh)**. Cette information est obtenue à l'aide d'une étude réalisée par l'ADEME sur les compresseur GA. Une réduction de **0,5 bar** de la perte en ligne maximum génère un gain de **3 %** sur la consommation électrique.

a.) Nouveau bâtiment

La consommation énergie ce poste est calculée, en faisant la moyenne des consommations énergétiques de cette dans sa globalité **E'(KWh)= 512712,41**

La consommation réduite **E''(KWh)** est obtenue, en diminuant progressivement la pression de consigne de 0.5 bar. Ce qui explique, Les compresseurs d'air fonctionnent de 30 à 70 % de leurs puissances électriques **E''(KWh)= 494266,66**.

En faisant la différence entre la consommation énergétique **E'(KWh)** et la de consommation réduite calculée **E''(KWh)** permet d'avoir une économie d'énergie **E(KWh)**.

$$E(KWh) = E'(KWh) - E''(KWh) = 18445,77$$

Le prix d'un KWh calculé vaut **90 Frs CFA**.

$$G_{\text{annuel}} = E(KWh) * \text{prix de KWh} = 1.660.119,3 \text{ Frs CFA}$$

Gain annuel avec investissement : **1.660.119,3 Frs CFA**.

b.) Ancien bâtiment

La consommation énergie ce poste est calculée, en faisant la moyenne des consommations énergétiques de cette dans sa globalité **E'(KWh)= 815208,38**.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

La consommation réduite $E''(\text{KWh}) = 778424,91$

L'économie d'énergie est obtenue de la manière suivante :

$$E(\text{KWh}) = E'(\text{KWh}) - E''(\text{KWh}) = 25672,36$$

$$G_{\text{annuel}} = E(\text{KWh}) * \text{prix de KWh} = 2.310.521,76 \text{ Frs CFA}$$

Gain annuel : 2.310.521,76 Frs CFA.

D. Système d'humidification**1. Résultats des dimensionnements****Tableau 13: Résultats des dimensionnements**

Variabes	Résultats N. Bâtiment
H0(KW)	394,02
Qmas (Kg/h)	226540,8
Qvas (m3/h)	187533,77
Meau (Kg/h)	0,24
Puissance globale(KW)	11,12
Puissance unitaire(KW)	1,11

D'après la condition de fonctionnement ce système, le nouveau bâtiment est bien aéré à l'aide de deux portes (15 m^2), grandement ouverte 24 heures sur 24 heures. Durant les trois jours, nous constatons que, chaque matin où l'humidité relative à l'extérieur dépasse généralement 50%, mais à l'intérieur du local, la température minimale est de 34°C et une humidité minimale de 42%, cela veut dire, il y a un problème dû au dégagement des chaleurs des machines, et des occupants.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

2. Récapitulation des paramètres calculés

Tableau 16: Paramètres clés de système d'humidificateur

	Puissance globale	Puissance unitaire
Breezair	11,12	1,11
Débit (m ³ /h)	187533,77	18753,38

Les résultats de redimensionnement montrent que le système a été bien dimensionné mais le système ne fonctionne pas un débit convenable pour pouvoir vaincre la chaleur dissipée par les machines, les apports du solaire et le métabolisme humain. Deux solutions envisageables :

- En augmentant le débit d'air frais soufflé dans le local pour que l'humidité et la température soient régulées.
- Dans le cas contraire, il est primordial d'installer les ventilateurs d'extraction d'air dans le local pour que l'humidité et la température soient régulées.

3. Ventilateurs d'extraction

Il est important de déterminer le débit d'air extrait dans le local pour qu'on sache le nombre de ventilateurs d'extraction à installer.

Le débit volumique d'air extrait est défini par : $Q_{VAE}(m^3/h) = Q_{MAS} * V_2$ avec

$$V_2 (m^3/Kg) = 0,859 \text{ (volume massique dans le local)}$$

$$Q_{VAE}(m^3/h) = 48655,67$$

Vue la dimension (75mX30m) du local, il est important d'installer cinq ventilateurs d'extracteur, cela revient à diviser ce débit par le nombre de ventilateur fixé afin d'avoir un débit volumique d'air extrait pour chaque ventilateur (unitaire).

Tableau 14: débit de ventilateur d'extraction

	Débit global (m ³ /h)	Débit de chaque ventilateur (m ³ /h)
Ventilateur d'extraction	48655,67	9731,13

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

4. Coût d'investissement

Tableau 15: caractéristique de ventilateur d'extraction

Désignation	Ventilateur d'extraction
Puissance électrique (KW)	1,5
Débit volumique d'air extrait (m ³ /h)	9800
Prix	1299€/ 850845 Frs CFA
Marque	AXICIAT
Type	CIAT 550.9

Le coût total d'investissement vaut : **6495€ soit 4254225Frs CFA.**

5. Récapitulatif des gains

Tableau 16: récapitulatif des gains et taux d'économie d'énergie

Postes de consommation énergétique	d'économie d'énergie (KWh)	Gain annuel (Frs CFA)
Climatisation centrale	185741,21	16.716.708,63
Compresseur d'air	18445,77 et 25672,36	3.970.641,06

Le gain total sur l'optimisation des factures d'électricité :

- Le nouveau bâtiment par an : **6433700 Frs CFA.**
- L'ancien bâtiment sur deux ans : **15.020.760 Frs CFA**, sans gain d'optimisation des factures d'électricité de nouveau bâtiment.

Le gain total annuel sur les principaux postes de consommation vaut : **20.687349, 69 Frs CFA**, avec un coût d'investissement des ventilateurs et des variateurs électroniques (**compresseurs et retordeuses**). Le coût d'investissement sur le câble dans la section open end. Puis sans investissement dans la salle de préparation.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

La limite de mon travail est basée sur les données que nous ne disposons pas et la carence de l'information fiable et leur mode de fonctionnement des procès dans la section Open end afin que nous puissions optimiser la consommation énergétique.

IV. ANALYSES ET DISCUSSIONS

IV.1. Climatisation centrale

Dans cette partie, nous analysons les données (humidité et température) qui ont été relevées pour qu'on sache l'état de fonctionnement et les équipements électriques.

IV.2. Salle de préparation

Les données de l'humidité et de la température de consignes ont été relevées de huit heures à seize heures afin de savoir si les paramètres de consignes sont régulés. L'humidité de relative et la température de consignes sont respectivement fixées à **55%** et **33°C**.

Ce jour était la journée d'entretien de climatisation centrale dans cette salle, alors ce système était arrêté à partir de onze heures. Mais après l'entretien les mesures n'ont pas été relevées pour savoir exactement si le problème était résolu.

D'après l'analyse de ce profil (**figure 15**) ci-dessus de huit heures à onze heures montre qu'aussi l'humidité n'est pas régulée. La solution proposée est de reprogrammer ce système au niveau de l'armoire de commande pour activer la fonction sécheresse afin que ce système tienne compte de l'influence de l'extérieur en période de saison sèche.

IV.3. Salle Open end

Les données ont été relevées de huit heures à seize heures dans le but de savoir si l'humidité et la température sont régulées au cours de fonctionnement du système.

Ce profil (**Figure 12**) montre que l'humidité et la température sont régulées au cours de fonctionnement mais le problème se situe au niveau de sa consommation énergétique.

Ce système devient énergétivore, cela est dû à la durée de vie des ventilateurs et de l'humidificateur qui tend vers le vieillissement ou dépasse la durée de vie. Il est judicieux de connaître le débit de soufflage, de l'air repris et la pression à laquelle l'air humidifié est soufflé dans le local afin de faire un choix de nouveaux ventilateurs.

Cette proposition d'amélioration nous a permis d'avoir un taux d'économie d'énergie de **1,9%**. Ce résultat est compris est **1,5 à 7,5%** par rapport à l'étude de l'ADEME sur le diagnostic énergétique d'une entreprise de secteur textile (Fiche technique, prisme 4).

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

IV.4. Compresseurs d'air

Les résultats obtenus ci-dessus nous permettent de comparer avec les résultats de l'ADEME sur le compresseur d'air GA. La proposition d'installer un VEV permet à aux compresseurs d'air de fournir un débit proportionnellement au besoin de la pression dans le réseau. Nous constatons qu'il y a plus de pertes de charges **9,35%** dans le circuit et les fuites dans l'ancien bâtiment tandis que **3,37%** dans le nouveau bâtiment. Cependant, il est important de contrôler régulièrement le réseau d'air comprimé pour éviter les fuites. En tenant compte de la proposition de l'étude précédente (C., 2.), nous obtenons un taux d'économie d'énergie de **3%**. Ce résultat est à la limite minimale de la plage du résultat que l'ADEME (pour **0,5** ou **1** bar réduit correspond un taux d'économie de **3** à **30%**) a trouvé sur les compresseurs d'air GA (**Fonctionnant de 30 à 70% de la puissance électrique**).

V. RECOMMANDATIONS

V.1 Compresseurs d'air

L'air comprimé coûte cher. Son utilisation entraîne une précaution à prendre sur les mesures d'économie d'énergie telle que :

- Le contrôle régulier des fuites du réseau durant les périodes d'arrêt de l'activité;
- L'optimisation de la régulation (Elektronikon) des compresseurs et l'étude de l'usage d'une VEV en fonction du taux de charge ;
- Toute la pression produite est utile lorsque le compresseur GA est placé à proximité immédiate du point d'utilisation de l'air comprimé.

V.2 Entretien des installations

Pour le bon fonctionnement des machines, il est très important d'établir un planning d'entretien régulier au sein des usines.

V.3 Climatisation centrale

Dans ce système de climatisation, le principal paramètre à réguler est l'humidité à cause des fils produits. Cet air humidifié est obtenu à l'aide de l'eau pulvérisée au niveau de l'humidificateur, alors il est nécessaire de :

- Traiter de l'eau recyclée avec le chlore dans le petit bassin afin d'éviter que l'air humidifié contienne des bactéries (**Légionelloses**) pour assurer la santé des travailleurs.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude nous a permis de ressortir les principaux postes de consommation énergétique à l'aide de bilan énergétique complet de deux usines afin d'identifier ceux qui sont énergivores dans l'intérêt de faire une proposition d'amélioration de consommation énergétique. C'est dans cette optique que toutes les propositions d'amélioration permettront de rentabiliser chacun des principaux postes de consommation tels que :

- La climatisation centrale aurait un gain annuel : **16.716.708,63 Frs CFA.**
- Les compresseurs d'air dont le gain annuel : **3.970.641,06 Frs CFA.**

L'analyse des factures d'électricité aboutit à deux solutions proposées :

- La proposition sur la réduction de la puissance souscrite à la limite de la puissance maximale enregistrée permet d'avoir un gain annuel de : **6.433.700 Frs CFA.**
- La seconde proposition consiste à raccorder sept machines de la section Open end sur le transformateur (Armoire de distribution) au nouveau bâtiment permet d'avoir un gain sur deux ans : **15.020.760 Frs CFA**, sans avoir un gain au nouveau bâtiment, plus la situation a changé.

A cet effet, il est important d'ajouter le coût d'investissement (**4.254.225 Frs CFA**) sur les ventilateurs axiaux (extracteurs) à installer dans le nouveau bâtiment pour extraire de l'air chaud afin d'assurer la régulation de l'humidité dans le local.

En perspective, il est possible d'associer les compresseurs d'air GA afin de fonctionner d'une manière automatisée. Une simple étude suffit pour activer la fonction de gestion multi compresseur, intégrée à un régulateur Elektronikon de contrôle et piloter jusqu'à 3 ou 6 compresseurs (GA18 à 90). La consommation énergétique peut être réduite grâce à une pression moyenne plus basse.

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

VII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Y. COULIBALY, .2011. Cours : Économies d'énergies dans le bâtiment et l'industrie MGEER
- [2] : Sayon SIDIBE, 2012. Cours : Conditionnement d'air
- [3] : Thématique : Le diagnostic énergétique d'une entreprise textile, Fiches techniques PRISME n°3, 4, 5.
- [4] : ECONOTEC : Economie d'énergie dans l'industriel
- [5] : Thématique : Référentiel sur le diagnostic dans l'industrie, fiches techniques PRISMES n°8
- [6] : Technofluid (2004), Installation d'une centrale d'air comprimé : conseils techniques
- [7] : Energie + (2003), Air comprimé, un gisement important d'économies rentables, Energie Plus, 300, 15-02-2003, 41-44
- [8] : ADEME (2003), Entreprises : optimisez vos consommations énergétiques
- [9] : Thématique : Les systèmes de ventilation et climatisation, fiches techniques PRISME n°5.
- [10] : AFME, Les guides industriels, Economies d'électricité dans ses usages classiques
- [11] : Charneux, J.-B., Siemens (2006), Optimisation de la performance énergétique de la force motrice : haut rendement et régulation de vitesse, in Icedd : Utilisation rationnelle de l'énergie et de l'électricité, séminaire Région wallonne, DGTRE, 13 octobre 2006.

Sites Internet

- [i] <http://www.energieplus-lesite.fr> (consulté en Mars 2012)
- [ii] <http://www.aene.fr> (Consulté en Mars 2012)
- [iii] www.aesa.fr (consulté le 5 Mai 2012)
- [iv] <http://www.ventmeca.com> (consulté le 12 Mai 2012)
- [vi] <http://www.atlascopco.com> (consulté le 14 Mai 2012)
- [vii] <http://www.ademe.fr> (consulté le 16 Mai 2012)

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

VIII. Annexes

**VIII.1. Annexe 1 : Données de puissances des machines et des ventilateurs
l'ancien bâtiment**

A. Salle de préparation (climatisation centrale)

	Puissances (KW)
Moteur de soufflage(KW)	45
Moteur de reprise (KW)	45
Puissance d'humidificateur	11

B. salle open end (climatisation centrale)

	Ventilateurs de soufflage	Ventilateurs de reprise
Moteur de soufflage(KW)	30	22
Moteur de reprise (KW)	30	22
Puissance d'humidificateur	18,5	18,5

C. Temps de fonctionnement des usines

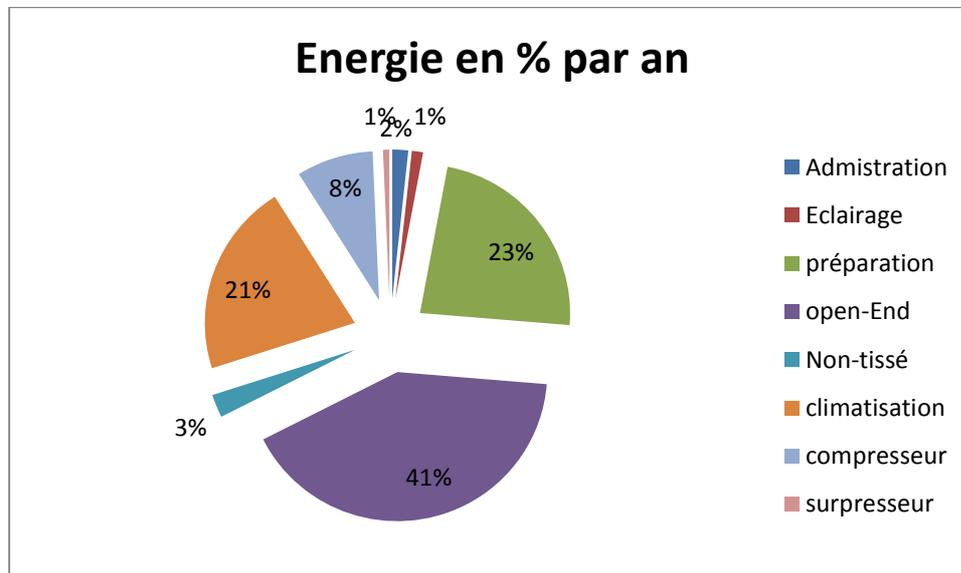
Jour (heures)	24
Mois (heures)	648
An (heures)	7776

D. Bilan énergétique des moteurs des ventilateurs.

Somme des puissances des moteurs	246,25
Energie par an KWh	1914840

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

E. Bilan des puissances des différentes sections dans l'ancien bâtiment.

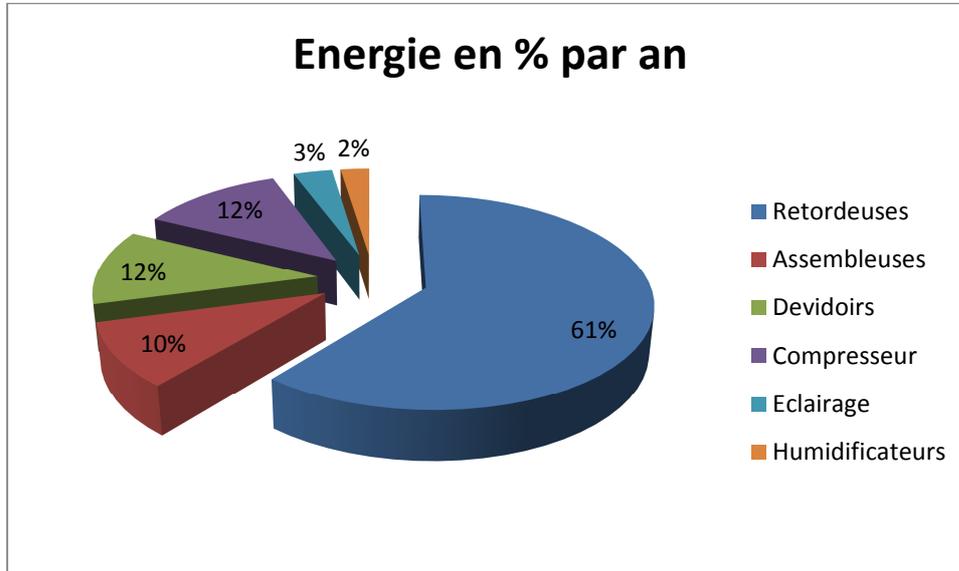


F. Puissances de compresseurs d'air

COMPRESSEUR							
durée d'actmt(h)	24 Mois		648 an		7776		Puissances
N° 01	M1	Moteur principal 37 Kw 400V 50 Hz 2940 tr/mn 33,5/194 A					37
N° 02	M2	Moteur principal 18,5 Kw 400 V 50 Hz 2940 tr/mn 33,5/194 A					18,5
N° 03	M3	Moteur principal 18,5 Kw 400 V 50 Hz 2940 tr/mn 33,5/194 A					18,5
N° 04	M4	Moteur principal 11 kw.					11
N° 05	M5	Moteur principal 90 kw.					90
N° 06	M6	Moteur principal 55 kw.					55
Somme :							230

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

VIII. 3. Annexe 3 : Données de nouveau Bâtiment



Humidificateurs	
Puissance (kw)	11,04
Egie Kwh/jr	264,96
EgieKwh/mo	7153,92
Egie Kwh/an	85847,04

Compresseur	
Machine	Puissance (kW)
Cpsr GA55	55
Egie Kwh/jr	1320
EgieKwh/mo	35640
Egie Kwh/an	427680

VIII.4. Annexe 4 : Mesures d'économie d'énergie**Motorisation (Voir fiche technique de PRISME sur le sujet)**

- Constitution d'un plan de suivi du parc des moteurs (historique, implantations, fiches d'identité, fréquence d'interventions et des pannes, etc.)
- Choix des moteurs en fonction de l'utilisation (type, puissance, rythme d'utilisation). Limiter les marges de sécurité trop importantes sur la puissance
- Possibilité d'équipement en variation électronique de vitesse pour certains usages tels que le réglage de débit d'air comprimé, d'un ventilateur ou d'une pompe, d'un convoyeur (variation de charge?), ainsi que des applications plus spécifiques au textile telles que encolleuses, machines à tordre et à retordre, machines de blanchiment, machines de teinture, machines de mercerisage, bobineuses, enrouleuses, extrudeuses...
- Suppression des types de transmission tels que courroies, poulies et engrenages dès que la possibilité se présente
- Renouvellement des moteurs anciens par des moteurs neufs de meilleure efficacité
- Arrêt des rebobinages trop fréquents de moteur, qui détériorent le rendement et dont le coût est parfois équivalent à celui de l'achat d'un moteur neuf

Air comprimé

- Dimensionnement adapté de la production d'air comprimé à l'utilisation
- Bouclage du réseau
- Abaissement de la pression à son bon niveau
- Contrôle régulier des fuites du réseau durant les périodes d'arrêt de l'activité
- Analyse de la gestion de priorité des compresseurs et l'intérêt de l'installation d'un automate de gestion
- Optimisation de la régulation des compresseurs et l'étude de l'usage d'une VEV en fonction du taux de charge

Conditionnement/ventilation (Voir fiche technique de PRISME sur le sujet)

- Entretien de l'installation
- Isolation en humidité et température des machines
- Optimisation du recyclage d'air
- Régulation sur les extractions d'air et le conditionnement
- Intérêt d'installer une VEV



Tableau 2: Mesures d'économie d'énergie potentielle

Poste utilisateur	Économie min / max
Air comprimé	6% / 30%
Motorisation procédé	4% / 20%
Climatisation – Ventilation	1,5% / 7,5%
Pompage	1% / 5%
Éclairage	0.5% / 2.5%

VIII.5. Annexe 5 : Bilan énergétique complet de l'ancien bâtiment à des puissances des machines ci-dessus

Répartition de consommation de l'usine par an			Motorisation						
	Administration	Eclairage	préparation	open-End	Non-tissé	climatisation	Compresseur	suppresseur	Total
Puissances	50	35	652,10	1 189,00	72,50	468,25	230	18,5	2715,35
Energie/an	388800	272160	5232450,4	9245664	563760	4535352	1854720	148444	22241350,4
Energie en % par an	1,748	1,224	23,526	41,570	2,535	20,392	8,339	0,667	100,000

A. Bilan énergétique complet de l'ancien bâtiment à des puissances des machines ci-dessus

- Pour la salle de préparation, nous proposons que les activités se fassent pendant les heures pleines (17 heures).
- Pour diminuer la pénalité de dépassement, proposons d'enlever 7 machines équivalent à 375 KW pour raccorder sur le transformateur de nouveau bâtiment dans sa puissance apparente vaut 630 KVar avec moins de charge.
- L'installation un VEV permet de fournir un débit proportionnel au besoin, cette proposition permet de réduire au minimum 0,5 bar dans le réseau (compresseur fonctionne 30 à 70% de sa puissance absorbée).

Toutes les propositions permettent d'avoir un taux d'économie d'énergie sur la facture d'électricité de FILSAH.

Répartition de consommation de l'usine par an			Motorisation						
	Administration	Eclairage	préparation	open-End	Non-tissé	climatisation	compresseur	surpresseur	Total
Puissances	50	35	652,10	1 189,00	72,50	468,25	230	18,5	2715,35
Energie/an	388800	272160	5232450,4	9245664	563760	4535352	1854720	148444	22241350,4
Energie en % par an	1,748	1,224	23,526	41,570	2,535	20,392	8,339	0,667	100,000
Conso. Réduite (%)	1,748	1,224	17,646	38,568	2,535	18,492	5,338	18,5	99,146
Taux d'économie Egie(%)			5,88	3,00		1,9	3,002		

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

B. Bilan énergétique de nouveau bâtiment

Répartition de la consommation de nouveau bâtiment							
	Retordeuses	Assembleuses	Dévidoirs	Compresseur	Eclairage	Humidificateurs	Total
Puissances	280	45	53	55	15	11,04	459,04
Energie par an	2177280	349920	412128	427680	116640	85847,04	3569495,04
Energie en % par an	60,997	9,803	11,546	11,982	3,268	2,405	100

Les bilans énergétiques de deux bâtiments évalués à l'aide des puissances permettent d'avoir un taux d'économie d'énergie sur les factures d'électricité de chaque bâtiment.

3.1 Mesures d'économie d'énergie

- **Installation de VEV permet de réduire la consommation de la section retordeuse. Les retordeuses fonctionnent avec une intensité de 40 A sans VEV. Une des retordeuses a été installée un VEV, l'intensité décroît à**

VIII. 6. Annexe 6 : catalogue des compresseurs d'air et des nouveaux ventilateurs

Caractéristiques techniques GA 37-90 VSD

MODÈLE DE COMPRESSEUR	Pression de service max. compresseur Tout en Un		Débit d'air libre (FAD)*			Puissance du moteur installé		Niveau sonore** (50/60 Hz)	Poids Tout en Un	Poids Tout en Un Full Feature
	bars(e)	psig	l/s	m³/min	cfm	kW	ch	dB(A)	kg/lbs	kg/lbs
VERSION 50/60 Hz										
GA 37 VSD	4	58	26-122	1,5-7,3	54-259	37	50	67/68	1000/2205	1120/2469
	7	102	25-121	1,5-7,3	54-256	37	50	67/68	1000/2205	1120/2469
	10	145	24-104	1,4-6,2	52-220	37	50	67/68	1000/2205	1120/2469
	13	188	23-84	1,3-5,0	51-178	37	50	67/68	1000/2205	1120/2469
GA 45 VSD	4	58	26-144	1,5-8,7	54-307	45	60	69/72	1030/2447	1150/2712
	7	102	25-143	1,5-8,7	54-303	45	60	69/72	1030/2447	1150/2712
	10	145	24-125	1,4-7,5	52-265	45	60	69/72	1030/2447	1150/2712
	13	188	23-99	1,3-5,9	51-210	45	60	69/72	1030/2447	1150/2712
GA 55 VSD	4	58	26-172	1,5-10,3	54-365	55	75	69/72	1145/2524	1305/2877
	7	102	25-172	1,5-10,3	54-363	55	75	69/72	1145/2524	1305/2877
	10	145	24-152	1,4-9,1	52-322	55	75	69/72	1145/2524	1305/2877
	13	188	44-128	2,6-7,7	93-271	55	75	69/72	1145/2524	1305/2877
GA 75 VSD	4	58	40-247	2,4-14,8	85-523	75	100	69/70	1680/3703	1830/4034
	7	102	38-245	2,3-14,7	81-519	75	100	69/70	1680/3703	1830/4034
	10	145	36-201	2,2-12,1	76-426	75	100	69/70	1680/3703	1830/4034
	13	188	33-171	2,0-10,3	70-362	75	100	69/70	1680/3703	1830/4034
GA 90 VSD	4	58	41-286	2,5-17,2	87-606	90	125	73/74	1730/3813	1880/4145
	7	102	38-285	2,3-17,1	81-604	90	125	73/74	1730/3813	1880/4145
	10	145	36-241	2,2-14,5	76-511	90	125	73/74	1730/3813	1880/4145
	13	188	32-200	1,9-12,0	68-424	90	125	73/74	1730/3813	1880/4145

Pression de service maximale pour les machines VSD : 13 bars(e)



**Ventilateurs
axiaux**

AXICIAT VA

TABLEAU DE SÉLECTION - AIR A +20 °C - PRESSION 1013 HPA

Les débits d'air en m³/h sont à sélectionner dans les zones correspondant au type du ventilateur et à la pression disponible en Pa.

AXICIAT VA	100 Pa m³/h / kW	150 Pa m³/h / kW	200 Pa m³/h / kW	300 Pa m³/h / kW	400 Pa m³/h / kW	500 Pa m³/h / kW	600 Pa m³/h / kW
500.6	5000 - 7000 / 1,1	4000 - 5000 / 1,1					
500.9	7000 - 9000 / 1,1	5000 - 7000 / 1,1	4000 - 5000 / 1,1				
550.6	9000 - 11000 / 1,1	7000 - 9000 / 1,1	5000 - 7000 / 1,1				

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

550.9	11000 - 12500 / 1,1	9000 - 11000 / 1,1	7000 - 11000 / 1,5		
630.6	11500 - 16000 / 2,2	11000 - 13000 / 1,5 13000 - 15000 / 2,2	10500 - 12500 / 1,5 13000 - 15000 / 2,2		
630.9	15000 - 2000 / 2,2	10000 - 13900 / 1,5 13000 - 17000 / 2,2	11000 - 13000 / 1,5	7000 - 9000 / 1,5 9000 - 11000 / 2,2	
700.6	15000 - 24000 / 3	11800 - 15000 / 1,5 16000 - 20000 / 2,2	13000 - 15000 / 1,5		
700.9	17000 - 25000 / 3	15000 - 18000 / 2,2 18000 - 22000 / 3	15000 - 17000 / 2,2 17000 - 20000 / 3	11000 - 13000 / 2,2 13000 - 17000 / 3	
800.6	18000 - 28000 / 4	22000 - 25000 / 3 25000 - 28000 / 4	20000 - 22000 / 3 22000 - 28000 / 4	17000 - 20000 / 3 20000 - 22000 / 4	
800.12	25000 - 36000 / 7,5	28000 - 32500 / 5,5 32500 - 35000 / 7,5	28000 - 32500 / 5,5 32500 - 35000 / 7,5	20000 - 25000 / 5,5 25000 - 28000 / 7,5	9000 - 11000 / 2,2
900.6		35000 - 40000 / 5,5 40000 - 42500 / 7,5 42500 - 47500 / 11	35000 - 42500 / 7,5	28000 - 32500 / 5,5 32500 - 35000 / 7,5	18000 - 25200 / 5,5 26000 - 32000 / 7,5

Exemple de sélection
vous cherchez un ventilateur ayant
un débit de 15000 m³/h
un pression disponible de 280 Pa
vous sélectionnez un ventilateur
VA 700-9 - moteur 3 kW

900.6		35000 - 40000 / 5,5 40000 - 42500 / 7,5 42500 - 47500 / 11	35000 - 42500 / 7,5	28000 - 32500 / 5,5 32500 - 35000 / 7,5	18000 - 25200 / 5,5 26000 - 32000 / 7,5	
900.9			25000 - 32000 / 7,5 33000 - 40000 / 9	35000 - 40000 / 7,5	11000 - 13000 / 3 13000 - 20000 / 4 20000 - 25000 / 5,5 25000 - 28000 / 7,5	9000 - 11000 / 3 11000 - 15000 / 4
1000.6		47500 - 50000 / 7,5	42500 - 50000 / 7,5 50000 - 60000 / 11	40000 - 42500 / 7,5 42500 - 50000 / 11	28000 - 35000 / 7,5 35000 - 47500 / 11 47500 - 50000 / 15	15000 - 20000 / 5,5 20000 - 22000 / 7,5 22000 - 35000 / 11
1000.9			35200 - 45000 / 7,5 45000 - 55000 / 11	33000 - 40000 / 7,5 41000 - 52000 / 11	31000 - 45000 / 11 46000 - 58000 / 15	22000 - 28000 / 7,5 28000 - 42500 / 11 42500 - 50000 / 15
1120.3			60000 - 65000 / 11			10000 - 18000 5,5 18000 - 25000 7,5 25000 - 26000 11
1120.6				50000 - 60000 / 11	50000 - 55000 / 15	50000 - 55000 / 15 26000 - 35000 11
1250.3				60000 - 65000 / 11	55000 - 57500 / 15 57500 - 65000 / 15	
1250.6						35000 - 37500 / 11 55000 - 60000 / 15/ 60000 - 65000 / 18,5 37500 - 52500 / 15 52500 - 62500 / 18,5 62500 - 65000 / 22

Diagnostic énergétique des installations de production à FILSAH. Suite de l'audit énergétique

VIII.7. Annexe 7 : Catalogue des ventilateurs de la salle de préparation

