

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département De Génie Mécanique

Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état en Génie
Mécanique

Thème

***Etablissement d'une méthodologie pour
l'audit énergétique: Application à
l'entreprise ABC PEPSI Rouiba***

Proposé et dirigé par :

Mr. Hocine BENNOUR

Mr. Amar BILEK

Réalisé par :

Mr. Marzouk ZAIR

Mr. Malik BOUDIA

Promotion: 2011/2012

Ecole Nationale Polytechnique, 10 Av. Hassan Badi, El Harrach, Alger, Algérie.

ملخص

قمنا في هذا العمل بمحاولة دراسة مختلف مراحل مجال مراجعة حسابات للطاقة، لشركة ABC Pepsi في الرويبة. أولاً، وصفنا كل المراحل التي يجب متابعتها من طرف مدقق الحسابات لكي يصل إلى انشاء تقرير التطبيق النهائي. ثانياً، حاولنا لعب دور مدقق الحسابات وقد تمكنا من قياس مدى الصعوبات التي يواجهها مدقق الحسابات في هذا النوع من المسح، بين عدم وجود أدوات القياس واستحالة وجود المعلومات الدقيقة باستجواب عمال الشركة. واضطررنا لاستخدام التقديرات المبنية على افتراضات تتفق مع ملاحظتنا. لاحظنا على وجه الخصوص أن أفضل صيانة المراجل وتشغيلها بشكل أكثر كفاءة، والقضاء على تسرب البخار وصمامات العزل، هي التدابير التي يمكن اتخاذها على الفور، كما لا تتطلب استثمارات كبيرة. هذه التدابير من المحتمل أن تكون مربحة بشكل سريع.

الكلمات المفتاحية: مراجعة حسابات الطاقة، التشخيص، البخار.

Résumé

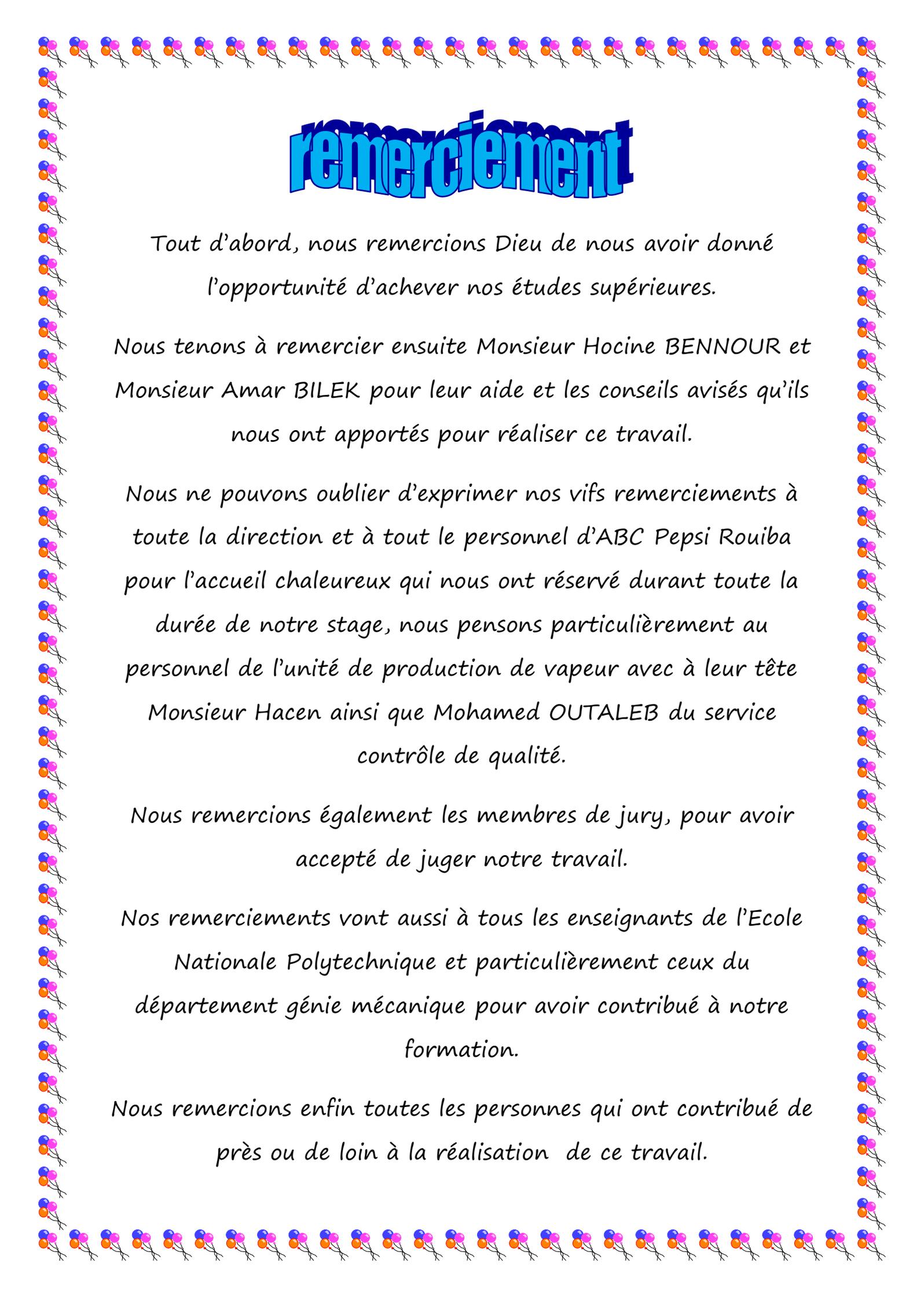
Nous avons, dans cette étude, tenté de suivre les différentes phases de l'audit énergétique sur le terrain de l'entreprise ABC PEPSI à Rouiba. Nous avons d'abord exposé la méthodologie que doit appliquer l'auditeur et décrit les différentes phases qui doivent l'amener de la prise de contact et l'enquête préliminaire jusqu'à l'établissement du rapport final d'audit. Ensuite, nous avons-nous-mêmes essayé de jouer les auditeurs auprès de PEPSI et nous avons pu mesurer l'ampleur des difficultés rencontrées dans ce type d'enquête. Entre le manque d'outils et l'impossibilité d'avoir des informations précises et fiables par la seule interrogation du personnel, nous avons été contraints de recourir à des évaluations fondées sur des hypothèses posées conformément à nos observations. Nous avons relevé notamment qu'un meilleur entretien des chaudières et leur exploitation de manière plus rationnelle, ainsi que l'élimination des fuites de vapeur et l'isolation des vannes, sont des mesures qui pourraient être prises immédiatement, car ne nécessitant aucun investissement lourd, ces mesures sont de nature à être rentabilisées très rapidement.

Mots clés : Audit énergétique, diagnostic, chaudière, vapeur, économie.

Abstract

We, in this study attempted to follow the different phases of the energy audit field for ABC PEPSI in Rouiba. At first, we described the methodology to be applied by the auditor and describe the different phases that must bring the touchdown and the preliminary hearing until the establishment of final audit report. Then we have-ourselves tried to play the audience with PEPSI and we could measure the extent of the difficulties encountered in this type of survey. Between the lack of tools and the impossibility of having accurate and reliable information for the sole question of staff, we were forced to use estimates based on assumptions consistent with our observations. We noted in particular that a better maintenance of boilers and their operation more efficiently, and the elimination of steam leaks and isolation valves, are measures that could be taken immediately, as requiring no major investment these measures are likely to be profitable very quickly.

Keywords: Energy audit, diagnosis, boiler, steam, economy.



remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné l'opportunité d'achever nos études supérieures.

Nous tenons à remercier ensuite Monsieur Hocine BENNOUR et Monsieur Amar BILEK pour leur aide et les conseils avisés qu'ils nous ont apportés pour réaliser ce travail.

Nous ne pouvons oublier d'exprimer nos vifs remerciements à toute la direction et à tout le personnel d'ABC Pepsi Rouiba pour l'accueil chaleureux qui nous ont réservé durant toute la durée de notre stage, nous pensons particulièrement au personnel de l'unité de production de vapeur avec à leur tête Monsieur Hacen ainsi que Mohamed OUTALEB du service contrôle de qualité.

Nous remercions également les membres de jury, pour avoir accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique et particulièrement ceux du département génie mécanique pour avoir contribué à notre formation.

Nous remercions enfin toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère Mère et mon très cher Père

A ma Grand Mère et à la mémoire de mon Grand Père

A mes chers frères et mes chères sœurs

*A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse
dans mes études*

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

*A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles
de ma vie*

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

A toute la famille BOUDIA

*A tous mes amis qui ont toujours été présents pour moi et
qui n'ont ménagé aucun effort pour me fournir leur aide et
leurs suggestions*

A tous mes camarades du Département de Génie Mécanique

MALIK



Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de mes parents

*A ma **Grand Mère** et à la mémoire de mon **Grand Père***

A mes chers frères et mes chères sœurs

*A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse
dans mes études*

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

*A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles
de ma vie*

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

*A toute la famille **ZAIR***

*A tous mes amis qui ont toujours été présents pour moi et
qui n'ont ménagé aucun effort pour me fournir leur aide et
leurs suggestions*

A tous mes camarades du Département de Génie Mécanique

MARZOUK

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités	3
I.1 Présentation de l'entreprise ABC PEPSI.....	3
I.1.1 Historique d'ABC PEPSI	3
I.1.2 Données sur les produits ABC PEPSI.....	3
I.1.3 Organigramme général d'ABC PPSI	4
I.1.4 Rôles des différentes directions	5
I.1.4.1 Direction des approvisionnements	5
I.1.4.2 Direction commerciale.....	5
I.1.4.3 Direction de la logistique	5
I.1.4.4 Direction administration générale	5
I.1.4.5 Direction de l'industrie	5
I.1.4.6 Direction des systèmes	5
I.1.4.7 Direction des finances	5
I.1.4.8 Direction des ressources humaines	5
I.1.5 Processus de fabrication	6
I.1.6 Processus utilités	6
I.1.7 Processus logistique	6
I.2 Description générale des unités	6
I.2.1 Unité de production de vapeur.....	6
I.2.1.1 Caractéristiques des chaudières.....	7
I.2.1.2 Isolation des chaudières de vapeur	8
I.2.1.3 Bâche d'eau.....	9
I.2.1.4 Traitement des eaux.....	11
I.2.1.4.1 Traitement chimique de l'eau.....	11
I.2.1.4.2 Traitement thermique de l'eau.....	12
I.2.1.4.4 Effets des dépôts.....	13
I.2.1.5 Alimentation en combustible.....	14
I.2.1.6 Le barillet vapeur (collecteur)	14
I.2.1.6.1 Construction et équipement du barillet.....	14
I.2.2 Description du réseau de distribution de vapeur	15
I.2.2.1 Tuyauteries de liaisons	16
I.2.2.2 Isolation de la tuyauterie.....	16

Sommaire

I.2.2.3 Description générale des vannes	18
I.2.2.3.1 Plage de fonctionnement	18
I.2.2.4 Description générale des purgeurs.....	19
I.2.2.4.1 Plage de fonctionnement	20
I.2.2.5 Description générale des filtres	20
I.2.2.5.1 Plage de fonctionnement	21
I.2.2.6 Description générale des Séparateurs	21
I.2.2.6.1 Plage de fonctionnement	23
I.2.2.7 Description générale du détendeur	23
I.2.2.7.1 Plage de fonctionnement	24
I.2.3 Unités de consommation de la vapeur	24
I.2.3.1 Siroperie.....	24
I.2.3.2 les laveuses.....	25
I.2.3.3 Description des échangeurs.....	25
I.2.3.3.1 Spécifications techniques et valeurs limites d'utilisation.....	26
I.2.3.3.2 Dimensions	27
Chapitres II : Méthodologie de l'audit énergétique	28
II.1 Introduction.....	28
II.2 Définition et Description de l'audit énergétique	28
II.3 Objectifs et principes généraux de l'audit énergétique	30
II.4 Métrologie et différentes phases de l'audit énergétique	31
II.4.1 Première phase (Analyse préalable).....	31
II. 4.1.1 Déroulement	31
II. 4.1.2 Approche méthodologique de la première phase	32
II. 4.1.3 Présentation des résultats.....	33
II.4.2 Deuxième phase (Analyse détaillée).....	34
II.4.2.1 Déroulement de la deuxième phase.....	34
II.4.2.2 Approche méthodologique de la 2 ^{ème} phase.....	35
II.4.2.3 Résultats	36
II.4.3 Troisième phase (Recherche des solutions d'amélioration)	37
II.4.3.1 Déroulement	37
II.4.3.2 Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase	37
II.5. les obligations.....	39
II.5.1. De l'auditeur envers l'établissement	39

Sommaire

II.5.2. De l'établissement vers l'auditeur	39
II.6. Les mesures.....	40
II.7 Instrumentation.....	41
II.8 Modalités de réalisation de l'audit énergétique [8]	41
II.8.1 Visite du site et investigations préliminaires :	41
II.8.2 Campagne de mesure	42
II.8.3 Détermination des économies.....	43
II.8.4 Rapport d'audit.....	43
II.8.5 Présentation des résultats	44
Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic	45
III.1 Introduction.....	45
III.2 Diagnostique des chaudières.....	45
III.2.1 Bilan thermique de la chaudière	45
III .2.1.1 La méthode directe.....	46
III.2.1.1.1 Débit du gaz naturel	46
III.2.1.1.2 Débit de vapeur	46
III.2.1.2 La méthode indirecte.....	47
III.2.1.2.1 Pertes de chaleur par la coquille (conduction et radiation).....	47
III.2.1.2.2 Pertes de chaleur par purge	48
III.2.1.2.3 Pertes de chaleur par les fumées	48
III.2.2 Application de la méthode indirecte pour l'évaluation du rendement de la chaudière principale.....	48
III.2.2.1 Estimation des pertes par les fumées	48
III.2.2.2 Estimation des pertes par purges	50
III.2.2.3 Estimation des pertes par la coquille (convection et rayonnement).....	52
III.2.2.4 Estimation du débit du gaz naturel et du rendement de la chaudière	53
III.3 Les réseaux de tuyauterie de vapeur et de condensat	54
III.3.1 Pertes de chaleur.....	54
III.3.1.1 Isolation thermique de la tuyauterie.....	54
III.3.1.1.1 Critères de sélection d'un système d'isolation.....	55
III.3.1.1.3 Pertes de chaleur dues à la dégradation de l'isolation	57
III.4 Pertes par Fuites de vapeur	58
III.5 Pertes par les différents appareils montés sur la tuyauterie	60
III.5.1 Perte dans les vannes	60

Sommaire

III.5.2 Pertes attribuables aux purgeurs de vapeur	61
III.6 Postes utilisant la vapeur	63
III.7 Récupération du condensat	63
III.8 Conclusion	64
Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie	65
IV.1 Introduction	65
IV.2 Amélioration des performances et de l'exploitation des chaudières	65
IV.2.1 Recommandations pour améliorer l'efficacité de la chaudière	66
IV.2.2 Méthodes de récupération de chaleur	67
IV.2.3 Discussion sur l'exploitation des chaudières	68
IV.3 Réseau vapeur	68
IV.3.1 Fuite de vapeur dans tout le réseau en dehors des purgeurs défectueux	68
IV.3.2 Fuite à travers les purgeurs défectueux.....	69
IV.3.3 Pertes par les vannes.....	69
IV.3.4 Amélioration de l'isolation de la tuyauterie.....	69
IV.4 Conclusion.....	70
Conclusion générale.....	71
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Chaudière à tubes de fumée.....	7
Figure I.2 : Isolation de la chaudière a tubes de fumée.....	9
Figure I.3 : Schéma d'une bâche d'eau.....	10
Figure I.4 : Equipement d'adoucissement double volumétrique à immersion automatique.	13
Figure I.5 : barillet vapeur (collecteur).....	15
Figure I.6: Schéma type d'un réseau de distribution de vapeur.....	16
Figure I.7 : Tuyauterie isolée.....	17
Figure I.8: Système d'isolation de tuyauterie.....	17
Figure I.9 : Schéma d'une vanne SpiraxSarco.....	18
Figure I.10: Plage de fonctionnement de la vanne.....	18
Figure I.11: Schéma du Purgeur à flotteur fermé.....	19
Figure I 12: Plage de fonctionnement d'un purgeur.....	20
Figure I.13: Schéma du filtre.....	21
Figure I.14: Plage de fonctionnement du filtre.....	21
Figure I.15: Schéma du Séparateur.....	22
Figure I.16: Plage de fonctionnement d'un séparateur.....	23
Figure I.17: Détendeur.....	23
Figure I.18 : Plage de fonctionnement d'un détendeur.....	24
Figure I.19: Echangeur de type U.....	26
Figure I.20: Dimensions d'un échangeur type U.....	27
Figure III.1: Bilan énergétique de la chaudière.....	45
Figure III.2: Déperdition d'énergie par les parois d'une chaudière en fonction de leur température.....	47
Figure III.3 : Profil de charge d'un cycle de fonctionnement de la pompe.....	51
Figure III.4 : Dimensions de la chaudière principale.....	53
Figure III.5: Schéma de transfert dans un cylindre creux multicouche.....	54
Figure III.6 : Représentation graphique de l'épaisseur d'isolation économique.....	55
Figure III.7 : Evolution de la perte de chaleur par rapport à l'épaisseur d'isolation pour la tuyauterie principale.....	57
Figure III.8: Perte de vapeur attribuable à une fuite, selon la longueur du panache.....	59
Figure III.9: Inspection des vannes par thermographie infrarouge.....	60
Figure III.10: Perte de vapeur à travers des purgeurs défailants.....	62

Liste des figures

Figure III.11 : Composants d'une canalisation vapeur-condensat.....	63
Figure IV.1 : Zone d'efficacité maximale de combustion.....	67

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques de la chaudière n°1	8
Tableau I.2 : Caractéristiques de la chaudière principale (n° 3).....	8
Tableau I.3 : Limites d'emploi de la vanne (ISO 6552).....	18
Tableau I.4 : Limites d'emploi de purgeur (ISO 6552).....	20
Tableau I.5 : Limites d'emploi de filtre (ISO 6552).....	21
Tableau I.6 : Limites d'emploi du séparateur (ISO 6552).....	22
Tableau I.7 : Limites d'emploi du détendeur (ISO 6552).....	24
Tableau I.8 : Dimensions de l'échangeur de chaleur.....	27
Tableau III.1: Composition du gaz naturel.....	40
Tableau III.2 : Extrait des tables donnant les enthalpies des gaz.....	49
Tableau III.2: Mesure du débit d'eau d'alimentation de la chaudière.....	50
Tableau III.4 : Données pour le tracé de la courbe de la figure III.6.....	51
Tableau III.5 : Perte de chaleur due à la dégradation de l'isolant de la tuyauterie de vapeur.....	56
Tableau III.6: Estimation des débits des fuites de vapeur dans le réseau PEPSI.....	58
Tableau III.7 : Pertes thermiques de vannes calorifuges et non calorifugées pour une vapeur sous une pression autour de 10 bars.....	61
Tableau III.8 : Pertes de chaleur attribuables aux vannes du réseau vapeur PEPSI Rouiba.	61
Tableau III.9 : Pertes de vapeur dues aux purgeurs défaillants.....	62
Tableau IV.1 : Longueur des tronçons défectueux dans les différentes conduites.....	70

Nomenclature

Nomenclature

e : Epaisseur (m)

h_a : Coefficient de convection naturelle air-cylindre ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_{le} : Enthalpie spécifique du liquide à l'entrée de la chaudière (kJ/kg)

h_{lsp} : Enthalpie spécifique du liquide purgé (kJ/kg)

h_v : Coefficient de convection forcée de vapeur saturée en écoulement dans un cylindre
($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_{vs} : Enthalpie spécifique de la vapeur à la sortie de la chaudière (kJ/kg)

L : Longueur (m)

\dot{m}_e : Débit d'eau d'alimentation de la chaudière (kg/h)

\dot{m}_{GN} : Débit du combustible (gaz naturel) (kg/h)

\dot{m}_p : Débit d'eau purgée (kg/h)

\dot{m}_v : Débit de la vapeur produite par la chaudière (kg/h)

Nu_D : Nombre de NEUSSELT

Pr : Nombre de Prandtl

Q : Quantité de chaleur fournie par le combustible (kJ)

q_c : Pertes de chaleur par les fumées (%)

q_f : Pertes de chaleur par la coquille (conduction et radiation) (%)

q_{nc} : Pertes de chaleur non comptabilisées (%)

q_p : Pertes de chaleur par purge(%)

\dot{Q} : Quantité de chaleur consommée effectivement par la vapeur (kJ)

Re_D : Nombre de REYNOLDS

T : Température ($^\circ C$)

t : Temps (s)

Lettres grecques

η : Rendement thermique de la chaudière (%)

λ_v : Conductivité thermique la vapeur ($W/m \cdot ^\circ C$)

λ_A : Conductivité thermique l'acier doux ($W/m \cdot ^\circ C$)

Nomenclature

λ_B : Conductivité thermique la laine de verre (W/m. °C)

λ_C : Conductivité thermique l'acier inox (W/m. °C)

μ_v : Viscosité dynamique de la vapeur saturée (kg .m⁻¹.s⁻¹)

ρ_v : Masse volumique (kg/m³)

φ : Flux de chaleur (W/m)

ϕ : Diamètre (m)

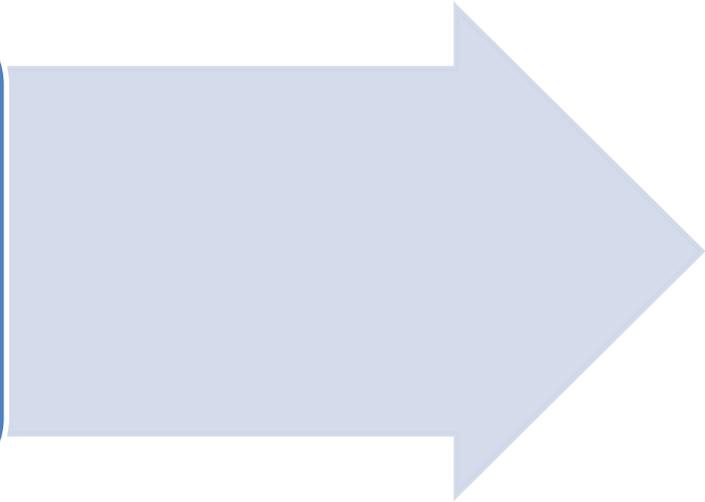
Abréviations

GN : Gaz naturel

PCI : Pouvoir calorifique inférieur

NUT : Méthode de nombre d'unités de transfert.

Introduction
générale



Introduction générale

Introduction générale

Les ressources naturelles s'épuisent. Le prix des énergies fossiles s'envole. Et l'activité humaine provoque un changement significatif du climat qui a d'ores et déjà des répercussions importantes : inondations, ouragans, sécheresse, canicules... Et ces phénomènes vont s'aggraver inexorablement. Les scientifiques ont déterminé que l'atmosphère terrestre évolue en raison des émissions de gaz à effet de serre qui empêchent la chaleur de s'en échapper. L'un des principaux gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO_2), qui provient principalement de la combustion de combustibles fossiles. Le méthane (CH_4), les oxydes d'azote (NO_x) et les produits halogénés contribuent également au réchauffement de la planète [19].

Les effets précis de ce changement dans l'atmosphère sont encore inconnus, mais de plus en plus de personnes croient qu'il est susceptible d'entraîner une grande modification du climat et des conditions météorologiques mondiales, notamment :

- les températures pourraient augmenter dans le monde, entraînant la fonte des calottes polaires, la hausse du niveau des océans, l'inondation des basses terres des régions côtières et la contamination des sources d'eau potable;
- les écarts extrêmes de température pourraient s'accroître, et le rythme des précipitations évoluer, perturbant ainsi les activités qui dépendent du climat, comme la foresterie, l'agriculture et la production d'hydroélectricité.

De tels changements auraient d'énormes répercussions socioéconomiques et, si l'on passe à l'action seulement lorsque ces effets extrêmes commenceront à se faire sentir, il sera peut-être impossible d'éviter des problèmes de taille.

Il existe des technologies qui permettent de promouvoir l'efficacité énergétique à plusieurs niveaux, de la réduction de la consommation d'énergie électrique au contrôle efficace des autres sources d'énergie. Une réglementation ambitieuse peut être nécessaire pour assurer un déploiement de ces technologies suffisamment rapide pour atteindre les objectifs dans le futur.

Les divers gouvernements partout dans le monde se donnent des objectifs d'économie d'énergie et introduisent les réglementations nécessaires pour les atteindre. La réduction des émissions de gaz à effets de serre est un objectif global formulé à la conférence sur l'environnement de Kyoto en 1997 et finalement ratifié par 169 pays en décembre 2006.

Pour éviter le pire, la communauté internationale s'est fixée comme but de diviser par deux les émissions de gaz à effet de serre avant 2050 à l'échelle de la planète. Les pays en voie d'industrialisation ne pourront respecter un tel objectif sans revoir leur mode de développement ; les pays industrialisés devront pour leur part consentir un effort particulier et diviser par quatre leurs émissions en moins de cinquante ans. L'Algérie adhère entièrement à cette stratégie et un décret sur l'audit énergétique est sorti au journal officiel en 2005 (voir annexe).

Introduction générale

L'énergie ne peut être économisée que si on connaît où et comment elle est utilisée et quand et, où son efficacité peut être améliorée, d'où la nécessité de recourir à un audit énergétique.

L'audit énergétique qui est un élément d'un programme d'efficacité énergétique, est entrepris dans le but d'élaborer un bilan de la situation énergétique globale de l'établissement, de quantifier les potentiels d'économies d'énergie et de définir les actions nécessaires à la réalisation de ces économies.

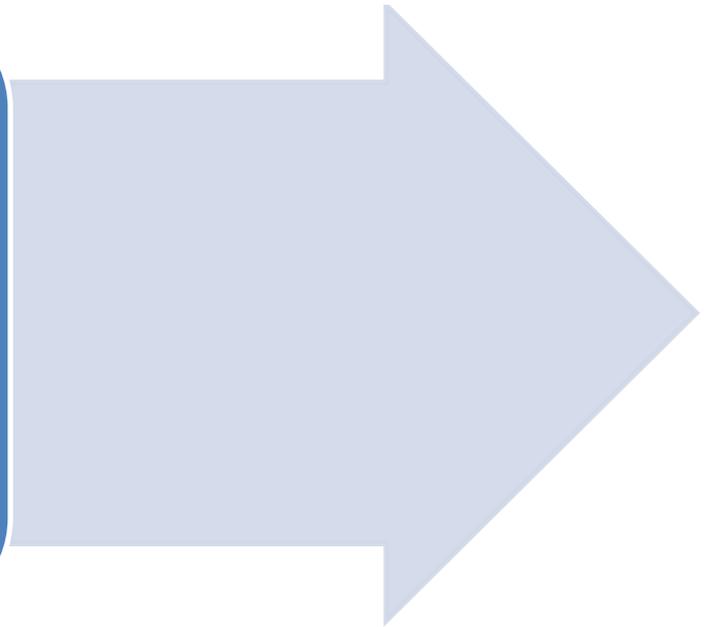
Pour répondre à ce souci, ce travail est réalisé de manière à donner les bases essentielles des différentes phases dans la réalisation d'un audit énergétique. Il décrit une approche organisée et une méthodologie dans la conduite de l'audit pour l'identification des gisements d'amélioration potentielle de l'efficacité énergétique. Le programme d'amélioration de l'efficacité énergétique découlant de l'audit énergétique doit constituer un éclairage important au responsable de l'établissement sur les investissements en efficacité énergétique sur les trois aspects : rentabilité, économie d'énergie et impact environnemental.

Le présent travail porte sur l'établissement d'une méthodologie pour l'audit énergétique : à l'entreprise ABC PEPSI Rouiba.

Cette étude comporte les chapitres suivants :

- introduction générale ;
- chapitre I : ce chapitre est entièrement consacré à la présentation de l'entreprise ABC PEPSI Rouiba et à la description de ses unités ;
- chapitre II : méthodologie de l'audit énergétique ;
- chapitre III : inspection des équipements et diagnostic ;
- chapitre IV : dans ce chapitre, les constats trouvés précédemment seront analysés et quelques mesures corrigeant certaines anomalies et permettant de réaliser des économies d'énergie seront proposées ;
- conclusion générale.

Chapitre I:
Présentation de
l'entreprise ABC
PEPSI et
description des
unités



Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

I.1 Présentation de l'entreprise ABC PEPSI

I.1.1 Historique d'ABC PEPSI

ABC PEPSI est une société à responsabilités limités (SARL). Elle a été créée en 1995 suite à une franchise exclusive signée avec Pepsi Cola International (PCI) pour la mise en bouteille et la commercialisation de tous les produits de la marque Pepsi sur l'ensemble du territoire algérien. L'investissement total représente plus de 50 millions de dollars. A partir de cette signature, quatre années ont suffi pour que l'entreprise démarre la production, voici les étapes traversées :

1995 : Signature du partenariat ABC Pepsi

1996 : Lancement du projet de construction

1997 : Réalisation du génie civil

1998 : Finition et démarrage

1999 : Mise sur le marché des produits de Pepsi.

L'usine se trouve au niveau de la zone industrielle de Rouïba sur une superficie totale de 60000 m² dont 17000 m² couverts. Elle compte actuellement un effectif de 500 employés.

L'entreprise compte deux unités de production : la première se situe à Rouïba et assure une production continue (H 24) ; la seconde à Sétif spécialisée dans la production de limonade conditionnée dans les canettes. Ces deux unités fournissent une production qui couvre la majorité du territoire nationale.

L'entreprise dispose de trois canaux de distribution opérationnels :

- La vente directe : couvrant l'ensemble des points de vente se situant dans la zone qui s'étend de la gare Omar (Bouira) à douaouda marine et d'Alger à Blida ;
- La vente indirecte : couvrant l'ensemble des dépositaires et grossistes du territoire national ;
- Les centre de distribution : qui sont aux nombre de trois (Annaba, Setif, Oran), à leur tour, il font la vente directe (locale).

I.1.2 Données sur les produits ABC PEPSI

ABC PEPSI offre à ses client nationaux et étrangers (France, Tunisie, Libye..) une variété de boissons gazeuses ; en plusieurs parfums et en plusieurs formats d'emballage.

a) Parfums

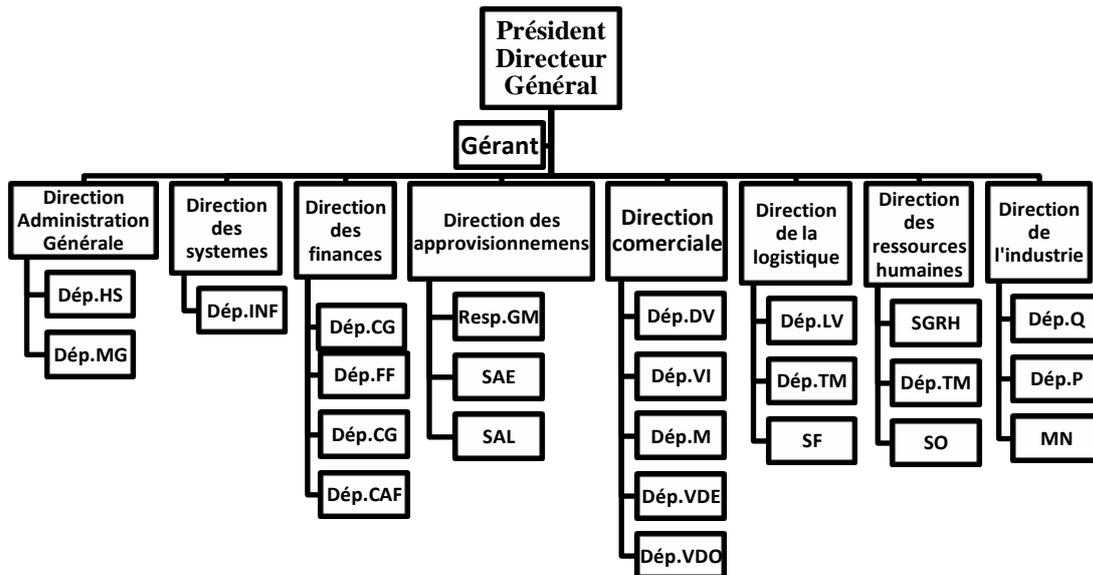
- Pepsi cola
- Miranda orange
- Miranda limon
- Miranda framboise (lancée en avril 2004)
- Miranda pomme
- 7UP

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

b) Formats

- Bouteille récupérable en verre (RB), 1 l et 30 Cl
- Bouteille non récupérable polytétranéthylène PET : 0.5 l, 1 l, et 2 l.

I.1.3 Organigramme général d'ABC PPSI



Légende	
<p>Dép. HS : Département hygiène</p> <p>Dép. MG : Département Moyens Généraux</p> <p>Dép. INF : Département Informatique</p> <p>Dép.CG : Département Comptabilité Générale</p> <p>Dép. FF : Département Finance et Fiscalité</p> <p>Dép. CG : Département Contrôle de Gestion</p> <p>Dép. CAF : Département Comptabilité Analytique d'exploitation</p> <p>Dép. GM: Responsable Gestion des magasins</p> <p>SAE: Service Achats Etrangers</p> <p>SAL: Service Achats locaux</p> <p>Dép. DV: Département Développement des ventes</p> <p>Dép. VI: Département Ventes indirectes</p>	<p>Dép. M: Département Marketing</p> <p>Dép. VDE : Département Vente Directe Est</p> <p>Dép. VDO : Département Vente Directe Ouest</p> <p>Dép. LV : Département Logistique des Ventes</p> <p>Dép. TM : Département Transport et Maintenance</p> <p>SF : Service facturation</p> <p>SGRH : Service Gestion des Ressources humaines</p> <p>SARH : Service Administration des Ressources humaines</p> <p>SO : Service Organisation</p> <p>Dép. Q : Département Qualité</p> <p>Dép. P : Département Production</p> <p>Dép. M : Département Maintenance</p>

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

I.1.4 Rôles des différentes directions

I.1.4.1 Direction des approvisionnements

Elle s'occupe principalement des achats afin de satisfaire les besoins de toutes les directions :

- Matières premières
- Pièces de rechanges
- Matériels bureautiques

I.1.4.2 Direction commerciale

Le territoire national est divisé en deux zones, la première correspond à la capitale et ses environs, elles-mêmes sont divisées en douze secteurs, le département de la vente directe s'occupe de ces secteurs, et le département des ventes indirectes s'occupe de la deuxième zone par l'intermédiaire de dépositaires et grossistes.

I.1.4.3 Direction de la logistique

Elle assure la gestion des flux physiques au sein de l'entreprise, principalement la gestion de la maintenance ainsi que l'exploitation de la flotte d'ABC PEPSI.

I.1.4.4 Direction administration générale

Elle s'occupe des moyens généraux, de l'hygiène et de la sécurité globale de l'entreprise.

I.1.4.5 Direction de l'industrie

Sa mission est la production de toute la gamme des produits PEPSI et MIRANDA répondant aux normes de qualité définies par PCI (Pepsi Cola International).

I.1.4.6 Direction des systèmes

Elle est chargée de la mise en place d'une politique relative aux technologies de télécommunications.

I.1.4.7 Direction des finances

Sa mission est de transcrire tous les frais de l'entreprise (entrée et sorties) et d'analyser les comptes. Elle s'occupe du suivi des créances et de la solvabilité des clients.

I.1.4.8 Direction des ressources humaines

Elle est chargée de définir et de mettre en œuvre l'exécution de la politique de gestion des ressources humaines.

I.1.5 Processus de fabrication

Les étapes de la production en trois sous processus :

- **Fabrication de sirop** : qui comporte :
 - ✓ Une station de traitement de l'eau brute

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

- ✓ Une siroperie qui produit un sirop à base d'eau traitée et de sucre et un sirop fini à base du concentré et d'eau traitée
- ✓ Une cuve de traitement de CO₂
- ✓ Une station de proportionning de la boisson finie à base de sirop fini, de CO₂ et d'eau traitée

➤ La mise en emballage PET

L'usine dispose de deux lignes automatisées. L'intervention de l'employé est réduite au réglage de la machine et à son contrôle de produit fini sortant de chaque ligne sous fardeau.

➤ La mise en emballage RB

L'usine dispose aussi de deux lignes entièrement automatisées.

I.1.6 Processus utilités

C'est le processus qui s'occupe principalement de produire la vapeur, du froid (eau de refroidissement), et d'air comprimé utilisé pour souffler les bouteilles PET. Il a aussi la responsabilité d'alimenter la chaîne de production par le CO₂ et d'assurer la climatisation industrielle.

I.1.7 Processus logistique

La logistique se définit comme l'ensemble des techniques et des moyens visant à obtenir une gestion optimale des flux d'information et de produits entre le fournisseur, le distributeur et le consommateur final.

La logistique comprend aussi bien la gestion des stocks, que la préparation des commandes et l'organisation des livraisons.

I.2 Description générale des unités

I.2.1 Unité de production de vapeur

L'unité comporte trois chaudières. La vapeur produite est destinée principalement à trois consommateurs géants :

- La siroperie
- La laveuse bouteilles
- La laveuse caisses

L'unité comporte trois chaudières mais deux chaudières seulement sont en marche, la troisième est en stand-by, les chaudières sont de type à tubes de fumées, fabriquées par BABCOCK WANSON.

Ce type de chaudière peut fournir un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, soit du fuel.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

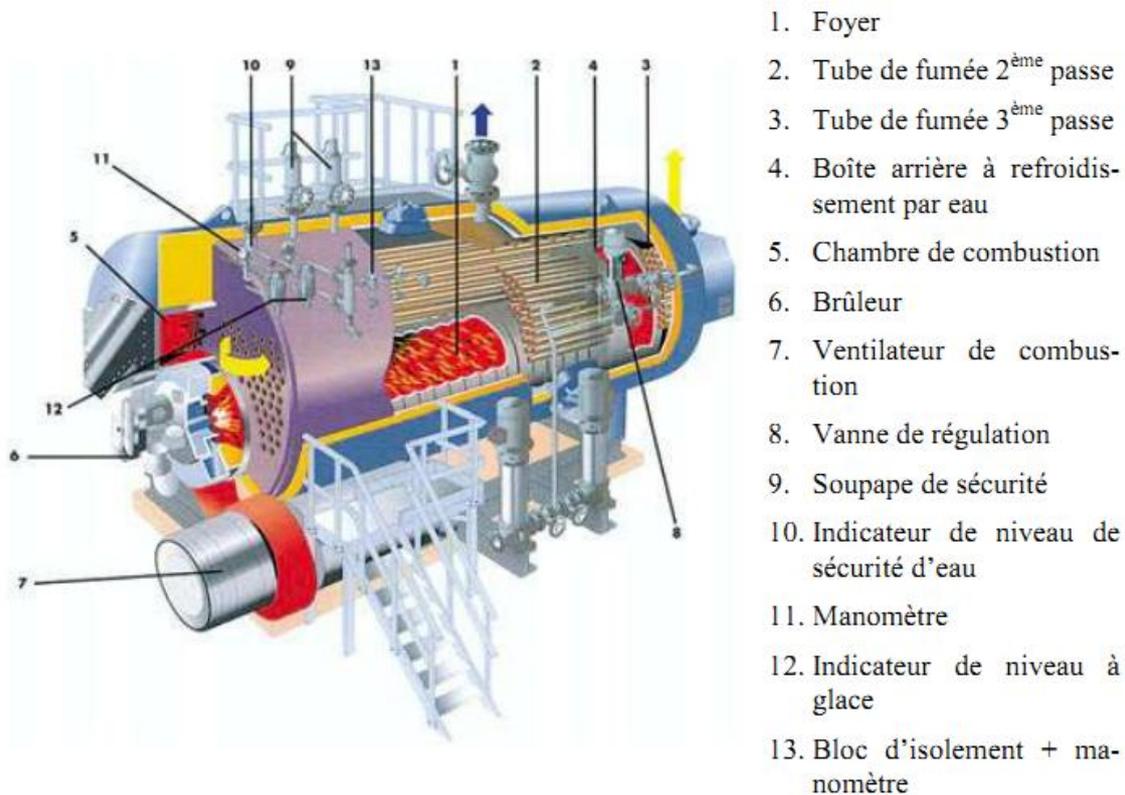


Figure I.1 : Chaudière à tubes de fumée [1]

Dans ce type de chaudières, les fumées circulent à l'intérieur des tubes et l'eau baigne ces tubes à l'extérieur. L'avantage principal est la réduction des pertes thermiques vers l'ambiance ; l'inconvénient est la perte de pression importante subie par les gaz dans les tubes. Ce qui nécessite de comprimer à une pression élevée l'air de combustion.

I.2.1.1 Caractéristiques des chaudières

Les caractéristiques principales d'une chaudière sont:

- la puissance exprimée en t/h de vapeur ou parfois en m^2 de surface de chauffe. 1 t/h de vapeur nécessite environ $30 m^2$ de surface de chauffe et une puissance thermique utile de 0,65 MW.
- le timbre : pression maximale de vapeur admissible en exploitation.

La chaudière N°1 est de type (steam bloc) cde n°YF11/53688, ses caractéristiques sont présentées au tableau suivant:

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

Tableau I.1 : Caractéristiques de la chaudière n°1 [2]

Type	200J
Timbre	12.0 bars
Capacité	3410 litres
Production de vapeur	2250 kg/h
Classe de générateur	Première catégorie
Tension	400 V (50 Hz)
Automaticité	230 V
Puissance électrique installée	7 Kw
Pression gaz naturel	0.3 bar
Surface de chauffe	49.5 m ²
Puissance	1535 kW
Eau d'alimentation	80°C

La chaudière n°2 est de type (steam bloc) cde n° YF11/53694, elle a exactement les mêmes caractéristiques que la précédente.

La chaudière n°3 est de type (steam bloc) cde n° YF11/53694, elle a des caractéristiques légèrement différentes des caractéristiques précédentes.

Tableau I.2 : Caractéristiques de la chaudière n° 3 [2]

Type	200J
Timbre	12.0 bars
Capacité	4545 litres
Production de vapeur	3000 kg/h
Classe de générateur	Première catégorie
Tension	400 V et 50 Hz
Automaticité	230 V
Puissance électrique installée	7 kW
Pression gaz naturel	0.3 bar
Surface de chauffe	65.5 m ²
Puissance	2045 kW
Eau d'alimentation	80°C

I.2.1.2 Isolation des chaudières de vapeur

Les fonctions essentielles de l'isolation des chaudières sont les suivantes :

- Réduction des déperditions calorifiques et par conséquent augmentation du rendement de la chaudière ;
- Protection contre les brûlures par minimisation de la température des surfaces;
- Prévention de l'échauffement de la chaufferie afin de garantir de bonnes conditions de travail

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

La partie cylindrique du générateur est revêtue d'un matelas isolant en laine de roche. Épaisseurs généralement utilisées :

- Timbre inférieur à 18 bars : 70 mm
- Timbre supérieur à 18 bars : 100 mm

Le calorifuge est protégé par une tôle inox ondulée d'une épaisseur de 0.6 mm.

Le Gueulard (protection autour du nez du brûleur) : le rayonnement direct de la flamme impose une qualité supérieure de réfractaire présentant les caractéristiques suivantes :

- Excellente résistance aux chocs thermiques
- Bonne résistance à la corrosion chimique
- Faible dilatation et retrait
- Résistance pyroscopique de l'ordre de 1600°C correspondant à une utilisation pouvant atteindre 1300°C

Porte arrière : la porte arrière est calorifugée par deux couches de matériaux isolants :

- La première couche sous forme de bloc isolant
- La deuxième couche en béton réfractaire

Porte avant : la porte avant est calorifugée par deux couches croisées de laine de roche d'une épaisseur de 70 mm chacune. L'isolation est protégée au moyen d'une tôle [2].

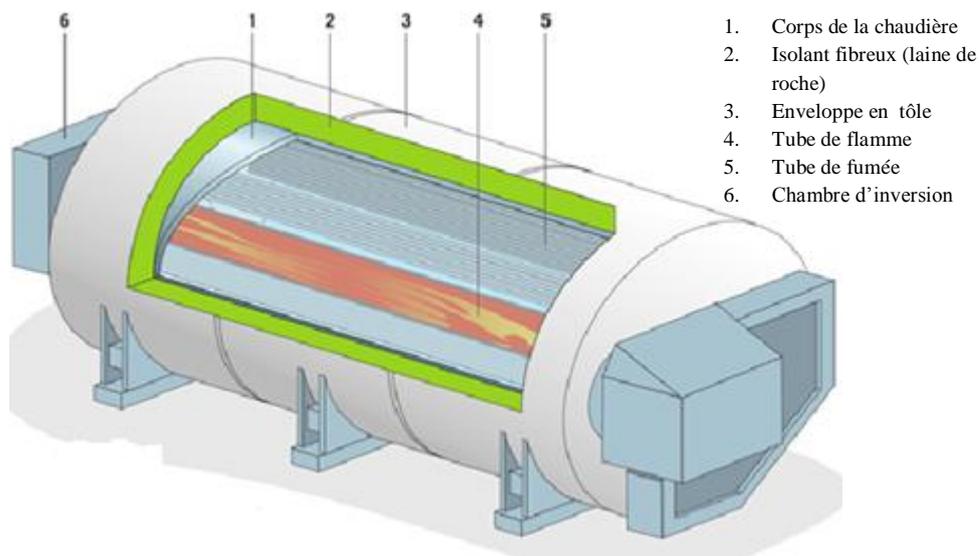


Figure I.2 : Isolation de la chaudière a tubes de fumées [1]

I.2.1.3 Bâche d'eau

L'importance de la bâche alimentaire dans une chaufferie est souvent sous estimée. La plupart des éléments d'une chaufferie sont en double. Mais il est rare d'avoir deux bâches alimentaires. Cet élément capital est souvent le dernier à être pris en compte dans la conception d'une chaufferie.

L'eau d'alimentation de la chaudière doit passer par le poste de traitement qui comporte la bâche d'eau. Les impuretés rencontrées dans les eaux naturelles sont la cause des divers

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

problèmes affectant les systèmes d'échange thermique. Le conditionnement de l'eau devient donc d'une importance vitale.

La nécessité du conditionnement d'eau pour une chaudière à vapeur provient de problèmes tels la formation de dépôts, la corrosion de la partie interne de la chaudière et de la tuyauterie de condensation, ainsi que l'écumage et l'entraînement.

Considérons certaines des fonctions de la bêche alimentaire :

- Comme réservoir d'eau pour équilibrer le débit d'eau d'alimentation de la chaudière entre les retours de condensat et l'eau d'appoint traitée.
- Comme élément de stockage thermique des calories provenant des condensats recyclés et des systèmes de récupération de chaleur.
- Comme un préparateur de l'eau d'alimentation de la chaudière

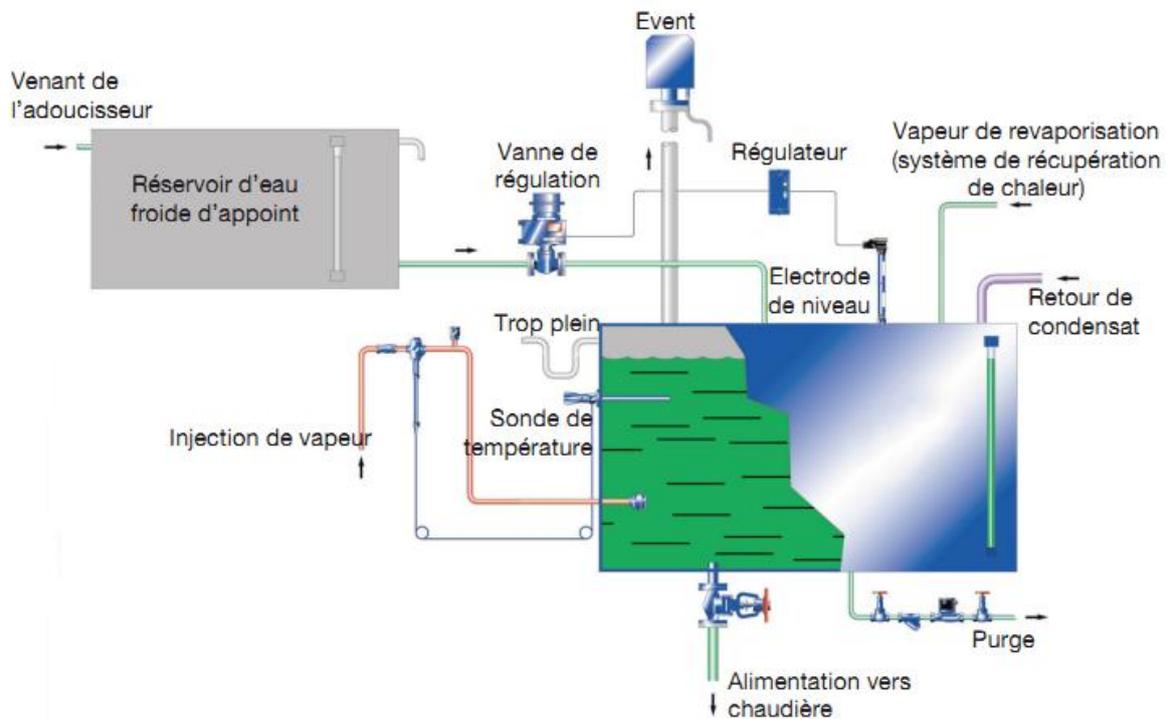


Figure I.3 : Schéma d'une bêche d'eau [3]

L'eau contenue dans la bêche alimentaire est à une température élevée, ceci étant dû aux retours condensats ou à la récupération de chaleur provenant d'autres installations. Une température trop élevée peut entraîner des problèmes de cavitation au niveau de la pompe. Un moyen d'éviter cela consiste à installer la bêche en hauteur pour créer une surpression en entrée de la pompe.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

I.2.1.4 Traitement des eaux

Il existe deux traitements de l'eau d'alimentation des chaudières :

- Traitement chimique ;
- Traitement thermique.

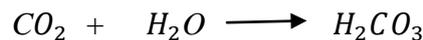
I.2.1.4.1 Traitement chimique de l'eau

I.2.1.4.1.1 Adoucissement par échange d'ions

La formation exacte du tartre est expliquée ci-dessous :

Le calcium et le magnésium sont dissous dans l'eau sous forme d'ions. Ces éléments sont considérés comme des agents de dureté. Pendant le fonctionnement de la chaudière et sous l'effet de la chaleur, ces corps se précipiteraient sous forme de tartre et formeraient des dépôts solides sur les surfaces de chauffe. Ce dépôt réduit les transmissions thermiques des fumées vers l'eau. L'on remarquerait au départ des températures de fumées plus élevées et donc une dégradation du rendement. Au fur et à mesure que le dépôt s'épaissit, les surfaces d'échange, qui ne sont pas refroidies, se détériorent.

Le dioxyde de carbone se mélange à l'eau pour former de l'acide carbonique:



Le calcaire (carbonate de calcium) est dissous par l'acide carbonique pour former le bicarbonate de calcium.



Dans la chaudière, on a la réaction suivante :



De la même façon, la magnésite (carbonate de magnésium) est dissoute par l'acide carbonique pour former du bicarbonate de magnésium.



Le dioxyde de carbone entraîné par la vapeur se dissout dans le condensat pour former l'acide carbonique.

L'adoucissement est réalisé par des équipements à résine échangeuse d'ions. Les échangeurs d'ions sont des billes de résine synthétique où se trouvent des groupes actifs.

On utilise un système constitué de bouteilles contenant la résine pour adoucir l'eau.

L'équipement fonctionne automatiquement et il ne faut ajouter que le sel gemme (sel gemme) pour la régénération. Comme il y a deux bouteilles d'échangeur d'ions, un échangeur est toujours disponible. La seconde bouteille sera régénérée ou est alors en réserve.

Les échangeurs d'ions employés pour l'adoucissement présentent des ions sodium comme groupe actif. Si l'eau dure passe par l'échangeur d'ions, les ions sodium présents sont remplacés par les ions calcium et magnésium. Les agents de dureté perturbant le fonctionnement de la chaudière sont ainsi éliminés de l'eau.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

Si l'échangeur d'ions est vide, c'est-à-dire que tous les ions sodium ont été remplacés par des ions calcium et magnésium, il est régénéré par une solution de chlorure de sodium. Les ions sodium sont dirigés en surplus sur les résines échangeuses d'ions et remplacent les agents de dureté qui se sont déposés. Puis, l'échangeur d'ions est à nouveau opérationnel. Ce processus peut être répété indéfiniment. [4]

Charge :



Régénération :



R :Echangeur d'ions (radicaux)

I.2.1.4.1.2 Injection de produits chimiques de correction (dégazage chimique)

Des produits chimiques de correction sont ajoutés après l'échange d'ions pour maintenir l'alcalinité de l'eau d'alimentation, lier la dureté restante et lier l'oxygène restant.

L'oxygène est la cause principale de la corrosion des tuyauteries d'alimentation, des pompes alimentaires et des chaudières. S'il y a aussi du dioxyde de carbone, le pH sera alors faible (l'eau sera acide) et la corrosion augmentera. Généralement, la corrosion apparaît comme une piqûre où, même si la perte métallique est faible, une pénétration en profondeur, et une perforation peuvent apparaître rapidement.

L'élimination de l'oxygène dissous peut être réalisée par des méthodes chimiques ou physiques ou plus généralement par une combinaison des deux.

On utilise un produit chimique (OBA CENTRAL BP) par injection directe et continue à l'aide d'une pompe doseuse dans l'eau d'appoint des générateurs de vapeur pour maintenir un PH proche de 9,5.

Si l'eau est chauffée, le pouvoir de dissolution des gaz diminue. Dans le cas extrême, si l'eau se vaporise (situation rencontrée dans les chaudières à vapeur), tous les gaz dissous sont dégagés. Les gaz se combinent alors différemment. L'oxygène libre, par exemple, peut se combiner à l'acier ferrique de la chaudière. Dans le cas des chaudières à vapeur, ces composés induisent la corrosion cavernueuse tant crainte. Dans la zone de l'arrivée d'eau d'alimentation, des enlèvements de matière ponctuels peuvent rapidement apparaître.

Il est donc important d'éliminer de l'eau de chaudière des gaz dissous. Une solution éprouvée est le dégazage thermique de l'eau d'alimentation.

I.2.1.4.2 Traitement thermique de l'eau

L'eau à traiter est pulvérisée à la partie supérieure du dispositif de dégazage où elle entre en contact avec la vapeur à basse pression qui, après avoir barboté à travers l'eau de la bêche, pénètre dans le dôme. La vapeur se condense en cédant sa chaleur latente de vaporisation à l'eau dont la température monte rapidement à 80°C.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

L'eau pulvérisée est recueillie à la base du dôme sur un plateau perforé qui provoque son écoulement en pluie dans la bache. Cette eau est ainsi mise en contact une seconde fois avec la vapeur.

A la sortie du dôme, l'eau est à une température qui favorise son dégazage, les gaz incondensables dissous dans l'eau se dégagent alors et sont évacués dans l'atmosphère.

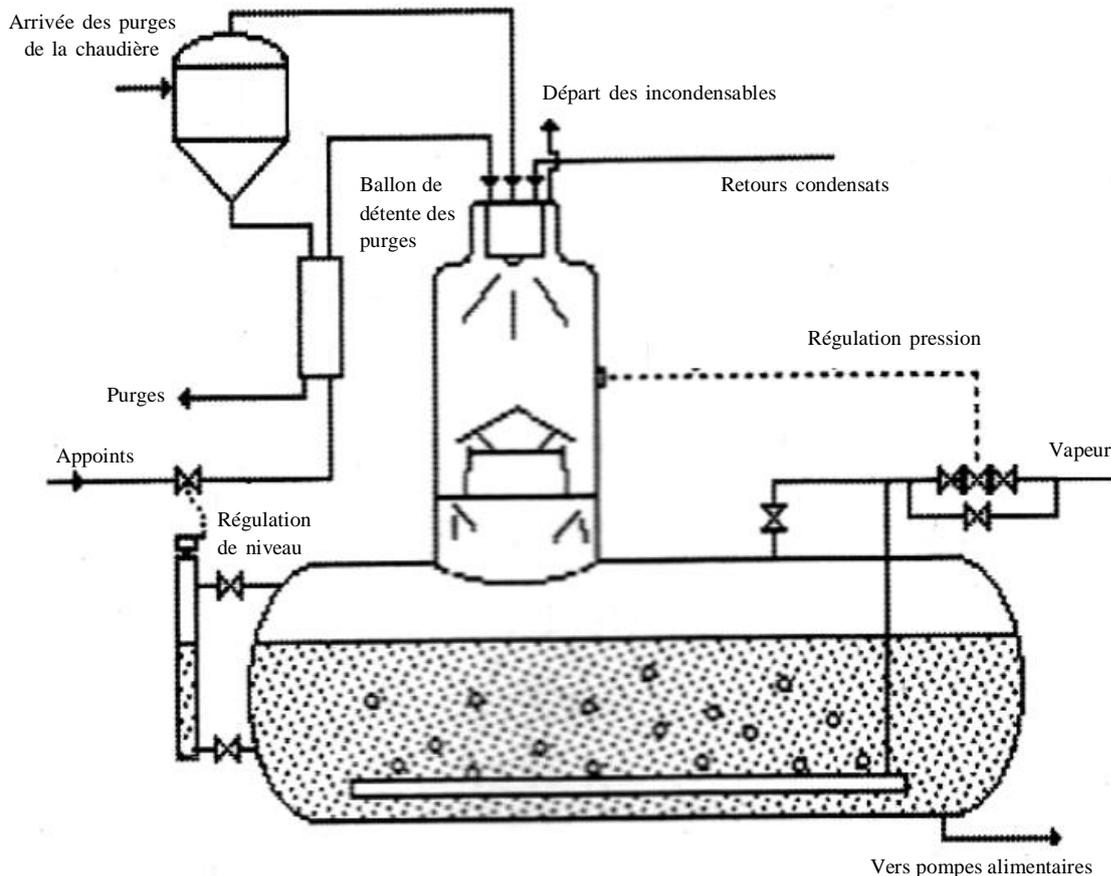


Figure I.4 : Schéma de dégazage de l'eau d'alimentation

I.2.1.4.3 Effets des dépôts

- **Perte d'énergie** : La couche de dépôts devient un isolant à l'échange thermique de la chaudière. Une interférence est créée parce que le tartre ou le dépôt retarde le transfert de chaleur en plus d'être huit fois plus isolant que l'amiante.
- **Perte d'efficacité** : Le tartre étant composé de sels minéraux qui adhèrent facilement où l'eau est bouillie, devient dur comme de la pierre. Alors selon l'épaisseur du tartre, un pourcentage de perte d'efficacité est créé. Exemple : $1/16'' = 12\%$ et $1/8'' = 24\%$.

Entretien : L'eau subit ce traitement pour préserver la chaudière des effets indésirables tel que (l'effet d'encrassement, l'entartage et la corrosion) et pour la garder fonctionnelle. Ce traitement est obtenu en injectant des éléments chimiques directement dans ou après la bache d'eau.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

I.2.1.5 Alimentation en combustible

L'alimentation en combustible pour le fioul domestique comprend les cuves de stockage, les dispositifs de remplissage, les cuves intermédiaires, les pompes à fioul, les conduites fioul avec robinetterie et les organes d'arrêt de sécurité.

Dans le cas du gaz, l'on prévoira une vanne à fermeture rapide pour le bâtiment, les conduites de gaz à l'intérieur du local de la chaufferie, les conduites d'aération et de purge d'air et la rampe à gaz.

I.2.1.6 Le barillet vapeur (collecteur)

Le barillet de distribution est un point clef de toute installation vapeur. Il a pour fonction de répartir le débit d'une ou plusieurs chaudières sur les différents points d'utilisation. Il comporte des robinets de sectionnement des arrivées des chaudières et des départs des lignes principales, plus divers accessoires. La performance et la fiabilité de ces équipements sont vitales pour le bon fonctionnement de toute unité industrielle. De plus, les possibilités d'arrêt total des chaudières pour intervention sur le barillet sont très réduites, pour des raisons de productivité. C'est pourquoi il est nécessaire de respecter certaines règles fondamentales de construction du barillet et des tuyauteries afin de garantir la fiabilité de l'ensemble.

I.2.1.6.1 Construction et équipement du barillet

➤ Position

Le barillet est installé dans la chaufferie, le long d'un mur porteur. Il est installé à hauteur d'homme pour la manœuvre des robinets. Il est nécessaire de prévoir un dégagement suffisant autour du barillet pour les interventions.

➤ Forme

Le barillet est une enveloppe tubulaire de diamètre important. Il est disposé généralement à l'horizontal en reposant sur des supports ou parfois en position verticale lorsque la place manque.

➤ Diamètre

Le barillet vapeur doit être de diamètre suffisant pour passer le débit total de la ou des chaudières. Il convient de prévoir un ou deux départs supplémentaires vers les ateliers, isolés par un robinet et une bride pleine afin de pouvoir construire facilement des extensions. Pour le calcul du diamètre, on veillera à retenir une vitesse au passage du barillet de l'ordre de 20 à 25 m/s

Barillet pour chaudière 15 tonnes/h, Vapeur saturée 15 bar, Vitesse admissible au passage du barillet : 20 m/s.

L'utilisation des abaques SPIRAX SARCO indique un diamètre nominal de 200 mm

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

➤ Longueur et Qualité du tube

Pour calculer la longueur du barillet, il faut prendre en compte la somme des diamètres des différentes lignes d'arrivée et départ chaudière mais surtout, les dimensions des volants des robinets d'isolement avec un espace suffisant entre eux pour la manœuvre.

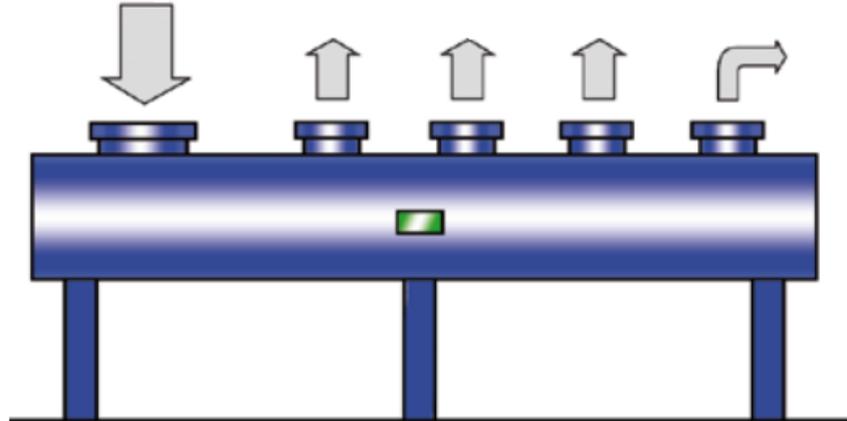


Figure I.5 : barillet vapeur

I.2.2 Description du réseau de distribution de vapeur

Un réseau type de distribution de vapeur comporte :

- des utilisations de vapeur avec ou sans retour de condensat ;
- une unité de traitement d'eau d'appoint qui élimine les substances minérales entartrant les conduites et les générateurs ; l'eau d'appoint compense les sorties d'eau ou de vapeur du système, c.-à-d Les condensats qui ne reviennent pas en chaufferie, les purges des chaudières, les fuites et le panache ;
- une bache alimentaire qui collecte les retours de condensat et l'eau d'appoint. Il est préférable de la maintenir en dessous de 90 °C pour obtenir un bon dégazage ;
- un dégazeur qui élimine de l'eau d'alimentation de chaudière des gaz dissous comme le CO₂ et l'O₂, cause de corrosions ; ce dégazage se fait en général à 105 °C sous une légère surpression de 0,2 bar par injection de vapeur.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

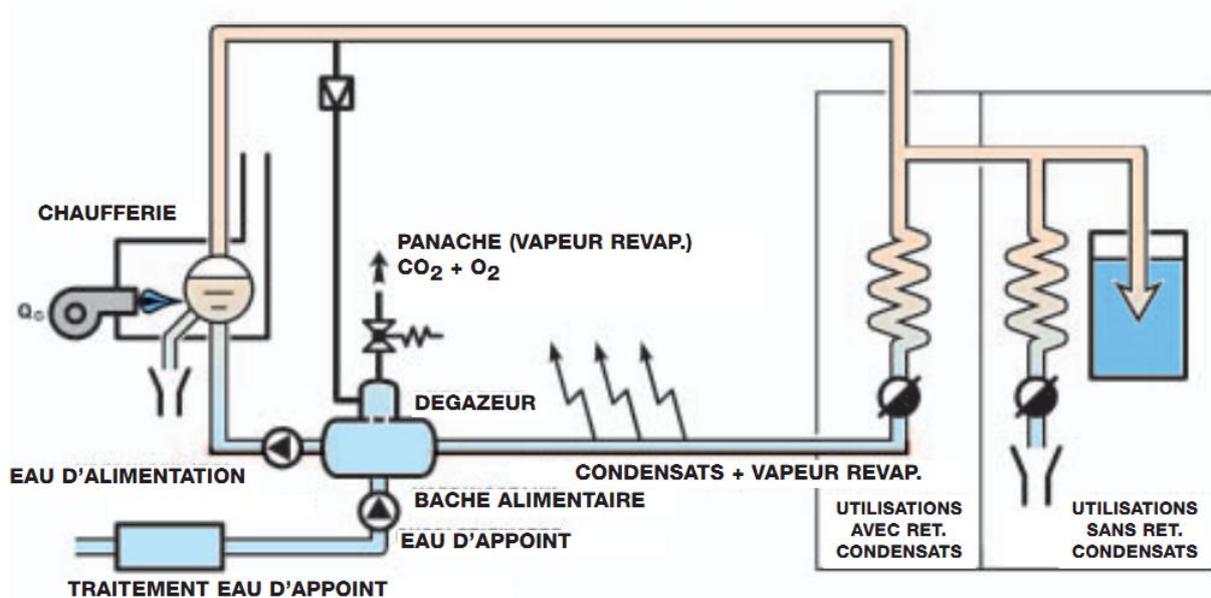


Figure I.6: Schéma type d'un réseau de distribution de vapeur [2]

I.2.2.1 Tuyauteries de liaisons

"Tuyauteries": tuyau ou réseau de tuyaux (ancien terme canalisation) destiné au transport de fluides à l'intérieur d'une entreprise.

Des tuyauteries communicantes peuvent être considérées comme un même réseau de tuyaux, pourvu qu'il contienne des substances ayant les mêmes propriétés, et qu'il soit conçu dans son ensemble pour la même pression maximale admissible.

Les canalisations vapeur sont réalisées en tôles d'acier roulées et soudées. Elles sont généralement soumises au vide et, de ce fait, équipées de frettes pour éviter le flambage. Elles sont, en outre, soumises à des efforts importants d'origine thermique (dilatations) et mécanique (efforts sur les fonds) .

Le réseau peut se différencier suivant le nombre de tubes, le mode d'installation des tuyauteries et le schéma général.

- dans le cas de vapeur avec condensat non récupéré, il y a un seul tube ;
- si le condensat est récupéré, il y a deux tubes, le tube de retour du condensat étant toutefois de diamètre plus faible que celui de vapeur.

L'installation des tuyauteries est en élévation à l'intérieur (dans les bâtiments ou en galerie technique accessible).

I.2.2.2 Isolation de la tuyauterie

Les systèmes de tuyauterie sont essentiels dans de nombreux processus de l'industrie chimique, de la pétrochimie ou de la production d'énergie, En effet, ils permettent de relier entre eux les équipements principaux (machines, colonnes, cuves, chaudières, turbines, etc.) afin de réaliser les transferts de matières et d'énergie. Les fluides circulant dans les tuyauteries doivent être maintenus dans des plages consignées de température, viscosité, pression, etc. pour garantir le bon déroulement des processus. Outre une isométrie correcte

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

des tuyauteries et la conformité de la fixation, l'isolation des conduits revêt une importance primordiale. En effet, elle permet une réduction permanente des déperditions calorifiques pour assurer un fonctionnement économique et efficace de l'installation. Ce n'est qu'à cette condition que la rentabilité maximale du processus peut être garantie tout au long de sa durée de vie, en évitant les pertes entraînées par les pannes et dysfonctionnements.



Figure I.7 : Tuyauterie isolée

Les systèmes d'isolation de tuyauteries comportent en général un matériau isolant adapté ainsi qu'un revêtement métallique – l'enveloppe – qui protège l'élément isolé et l'isolation des facteurs externes tels que les intempéries ou les contraintes mécaniques.

Dans notre cas l'isolant est fibreux (laine de verre) et Les isolants fibreux se présentent sous forme de coquilles.

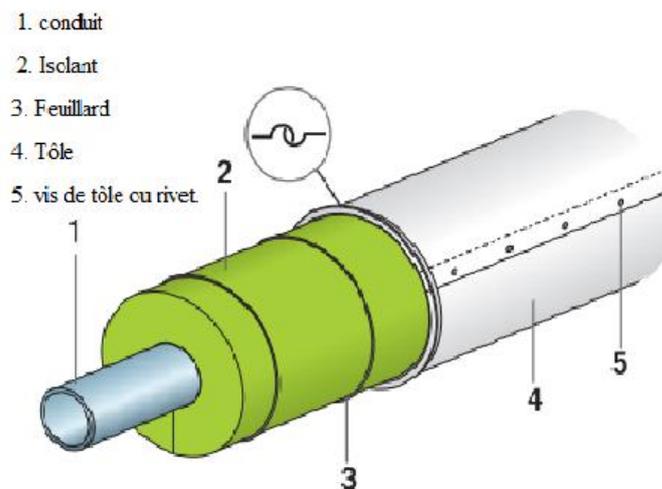


Figure I.8: Système d'isolation de tuyauterie [5]

Les faibles déperditions calorifiques et les températures superficielles peu élevées offertes par les coquilles d'isolation permettent d'obtenir un résultat optimal pour des

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

températures allant jusqu'à 620°C. Cela tient en particulier à leur faible conductivité thermique.

De plus, la plupart des coquilles isolantes sont rigides afin de pouvoir être mises en œuvre sans entretoises. On évite ainsi l'apparition de ponts thermiques qui augmentent la conductivité thermique de l'installation. Pour les températures supérieures à 300°C, la nécessité d'entretoises doit être examinée au cas par cas.

I.2.2.3 Description générale des vannes

Robinet à soupape avec soufflet d'étanchéité pour une utilisation sur les circuits de vapeur, de gaz, de liquides, de condensat et d'eau, avec une parfaite étanchéité de tige.

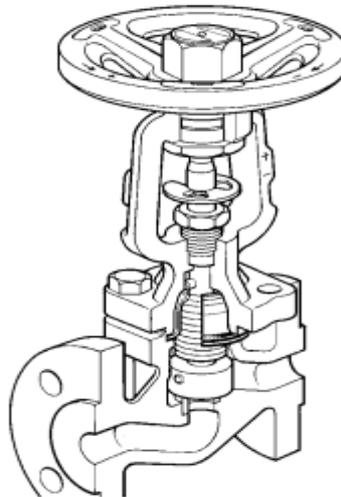


Figure I.9: Schéma d'une vanne SpiraxSarco [6]

Tableau I.3 : Limites d'emploi de la vanne (ISO 6552) [6]

Conditions de calcul du corps	PN 16
PMA - Pression maximale admissible	16 bar
TMA - Température maximale admissible	300 °C
Pression d'épreuve hydraulique	24 bar
DN diamètre nominale	100, 80, 65, 60, 40, 32, 25 mm

I.2.2.3.1 Plage de fonctionnement

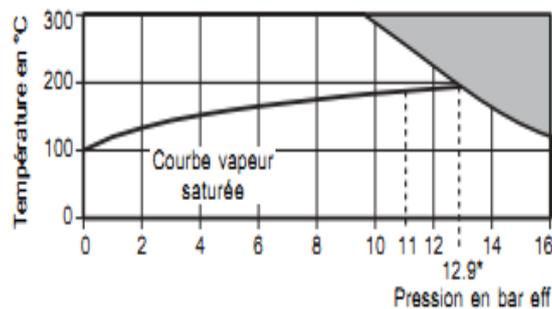


Figure I.10: Plage de fonctionnement de la vanne [6]

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

Cet appareil ne doit pas être utilisé dans la zone ombrée, Pression maximale de fonctionnement recommandée.

I.2.2.4 Description générale des purgeurs

Lorsqu'elle libère une partie de son enthalpie, la vapeur d'eau se condense et passe de l'état gazeux à l'état liquide. La présence d'eau est une barrière extrêmement efficace contre le transfert d'énergie. C'est aussi une source de détérioration des tuyauteries ou éléments des canalisations par entraînement à grande vitesse des particules d'eau en suspension dans le flux de vapeur. La qualité du dispositif de purge joue donc ainsi un rôle essentiel dans la durée de vie de l'installation, le rendement de l'installation vapeur et l'économie de combustible.

La fonction d'un purgeur :

Le purgeur est un organe mécanique d'isolement automatique qui doit être ouvert en présence d'eau et fermé en présence de vapeur. A noter que l'élimination de la phase liquide n'est pas du ressort du purgeur mais qu'elle est la conséquence de la différentielle de pression entre le réseau vapeur et le réseau de retour condensat. D'une manière générale, on peut classer les purgeurs en trois groupes principaux : - mécanique -thermostatique - thermodynamique, la définition des groupes étant basée sur la technologie mise en œuvre pour la détection des phases.

Le cadre de notre étude on se limite à la description d'un purgeur thermodynamique à flotteur fermé.

La gamme des purgeurs à flotteur fermé comporte des appareils en fonte, en acier carbone, en acier inox et en fonte. Tous ces purgeurs à flotteur fermé sont fournis avec purgeur d'air thermostatique incorporé. Ils sont disponibles avec des raccords à brides pour installation horizontale ou verticale (désigné par le suffixe "V"). Un système anti bouchon de vapeur est également disponible et est désigné par le suffixe "C". Sur demande, le couvercle peut être percé et taraudé pour l'implantation d'un robinet de vidange.

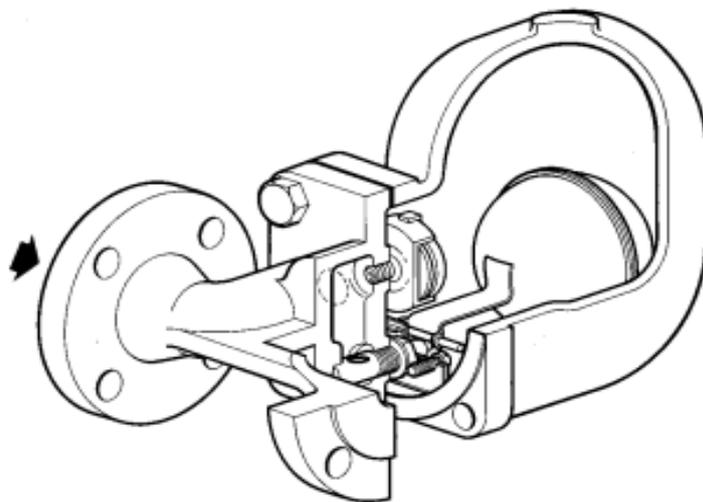


Figure I.11: Schéma du Purgeur à flotteur fermé [6]

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

Tableau I.4 : Limites d'emploi de purgeur (ISO 6552) [6]

Conditions maximales de calcul du corps	PN 16
PMA - Pression maximale admissible	16 bar
TMA - Température maximale admissible	220 °C
PMO - Pression maximale de fonctionnement	13 bar
TMO - température maximale de fonctionnement	220 °C
Pression d'épreuve hydraulique	24 bar
DN-Diamètres nominale	15 à 100mm

I.2.2.4.1 Plage de fonctionnement

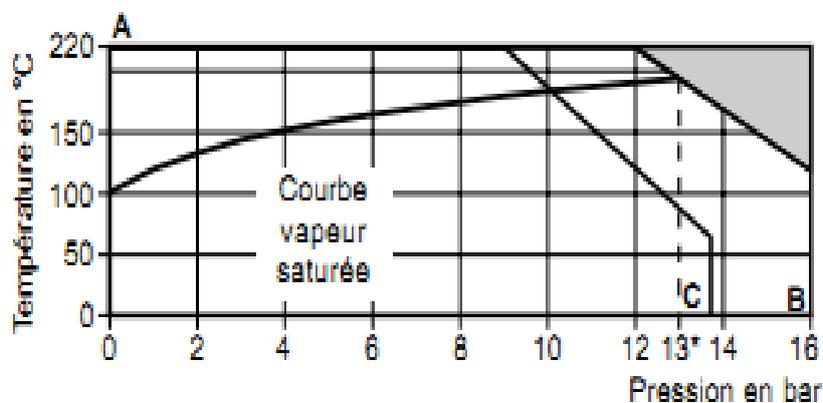


Figure I.12: Plage de fonctionnement d'un purgeur [6]

Cet appareil ne doit pas être utilisé dans la zone ombrée, Pression maximale de fonctionnement recommandée sur de la vapeur saturée à 13 bar.

I.2.2.5 Description générale des filtres

Les appareils concernés sont tous des filtres "Y" avec raccords à brides. Ils servent à protéger les appareils sensibles contre les dommages qui peuvent être occasionnés par les débris ou les impuretés présents dans le système. En standard, les filtres "Y" sont fournis avec une crépine en acier inox avec une perforation de 0,8 mm. En option, des crépines sont disponibles uniquement pour les filtres "Y".

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

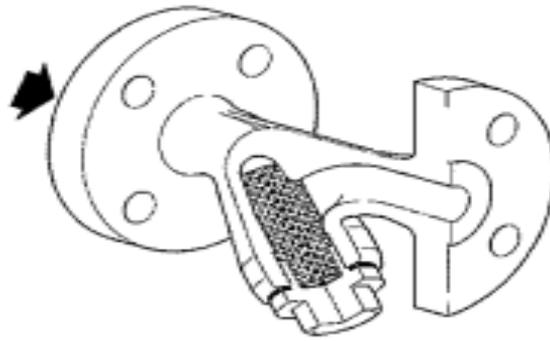


Figure I.13: Schéma du Filtre [6]

Tableau I.5 : Limites d'emploi de filtre (ISO 6552) [6]

Conditions de calcul du corps	PN25
PMA Pression maximale admissible	25 bar
TMA Température maximale admissible	250°C
Température minimale de fonctionnement	0°C
Pression maximale d'épreuve hydraulique	38 bar

I.2.2.5.1 Plage de fonctionnement

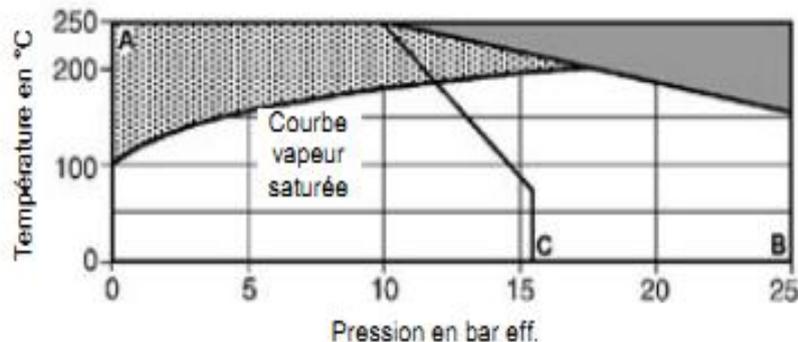


Figure I.14: Plage de fonctionnement du filtre [6]

Cet appareil ne doit pas être utilisé dans la zone ombrée. Pour être utilisé dans la zone hachurée, la fonderie doit être imprégnée.

I.2.2.6 Description générale des Séparateurs

L'efficacité du séparateur exprime une proportion du poids de l'eau séparée par rapport au poids total de l'eau transportée le long de la tuyauterie. Toutefois, il existe un problème : les gouttelettes d'eau ne sont pas distribuées uniformément sur la section de la tuyauterie.

L'eau s'écoulant le long de la partie inférieure de la tuyauterie est relativement facile à séparer de la phase gazeuse alors que les gouttelettes de tailles diverses en suspension sont

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

plus difficiles à éliminer. Nos séparateurs sont aussi conçus pour collecter les petites gouttelettes d'eau et les séparer des gaz circulant dans les tuyauteries.

Même dans les meilleures installations de vapeur propre, il peut se produire une dégradation du titre, entraînant une diminution inacceptable de la qualité de la vapeur rendant celle-ci non conforme aux spécifications de stérilisations. Ces appareils sont des déflecteurs à chicanes pour séparer de petites particules de liquides dispersées dans un flux gazeux tel que la vapeur d'eau, l'air comprimé ou les autres gaz. L'installation d'un matelas isolant est recommandée afin d'améliorer la performance du séparateur.

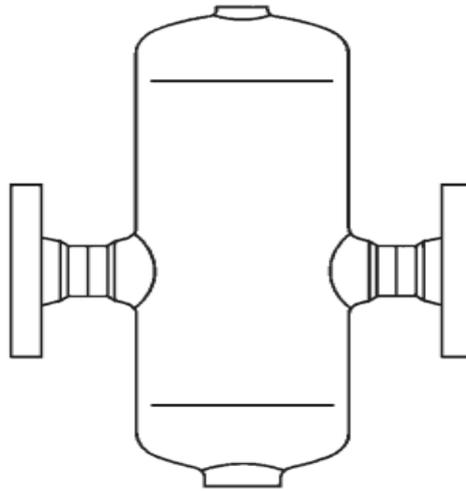


Figure I.15: Schéma du séparateur [6]

Tableau I.6 : Limites d'emploi du séparateur (ISO 6552) [6]

Conditions de calcul du corps	PN25
PMA Pression maximale admissible	25 bar
TMA Température maximale admissible	350°C
Température minimale admissible	-10°C
PMO Pression maximale de fonctionnement sur de la vapeur saturée	PN16
TMO Température maximale de fonctionnement	350°C
Température minimale de fonctionnement	-10°C
Pression maximale d'épreuve hydraulique	24 bar

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

I.2.2.6.1 Plage de fonctionnement

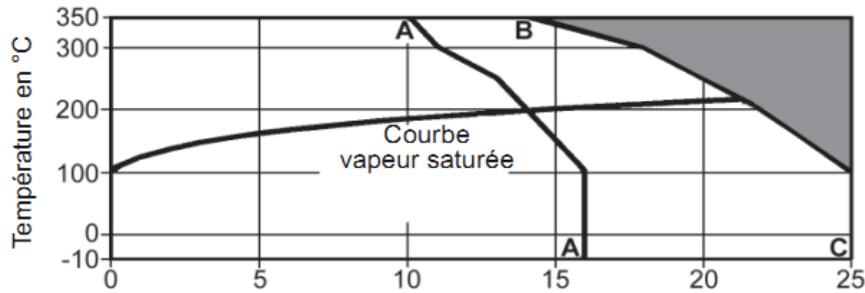


Figure I.16: Plage de fonctionnement d'un séparateur [6]

Cet appareil ne doit pas être utilisé dans la zone ombrée, Pression maximale de fonctionnement recommandée.

I.2.2.7 Description générale du détendeur

Les détendeurs à action directe sont fabriqués avec les pièces en contact avec le fluide en acier inox. Ils sont conçus pour des applications de vapeur, liquides ou gaz. Le détendeur standard à une étanchéité souple ;

Les détendeurs à action directe sont les appareils de régulation les plus simples que vous trouverez sur le marché. Ils disposent de nombreux avantages :

Simplicité de fonctionnement : Il y a peu de pièces en mouvement, ce qui rend sa construction facile, une très grande fiabilité, et une maintenance réduite et accessible à une équipe non spécialisée en régulation.

Appareil autonome : L'énergie pilotant le mouvement du clapet est le fluide traversant le corps de la vanne, vapeur. Comme tout appareil autonome, il n'y a pas besoin d'air instrument ou d'électricité.

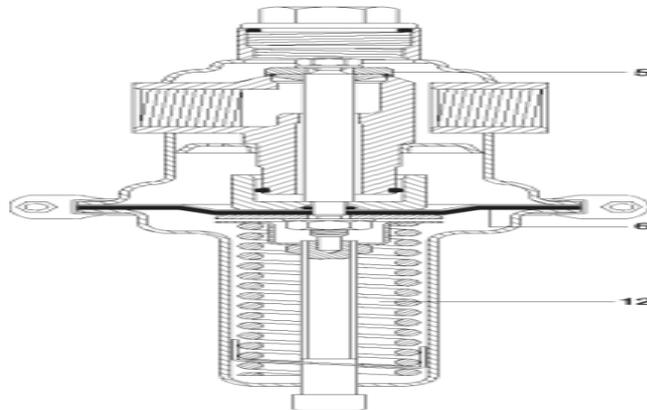


Figure I.17: Schéma du détendeur [6]

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

En position normale, avant le démarrage, le clapet (5) est en position ouverte qui résulte de la force transmise par le ressort (12). Lorsque la vapeur ou autre fluide de fonctionnement passe à travers la vanne, la pression aval de la vanne augmente et est transmise par l'intermédiaire de la prise d'impulsion (non montrée) au-dessus de la membrane (6), de façon à opposer une force au ressort. Lorsque la pression aval est à la pression de réglage, les forces générées par le ressort et le fluide sur la membrane sont en équilibre et la vanne tend à maintenir les conditions de détente. Lorsque la pression aval dépasse la valeur réglée, les forces ne sont plus équilibrées et la vanne se ferme. De même, lorsque la pression aval est en dessous de la valeur réglée, la vanne s'ouvre.

Tableau I.7 : Limites d'emploi du détendeur (ISO 6552) [6]

Conditions de calcul du corps	PN16
Pression maximale admissible	15.2 bar
Température maximale admissible	300°C
Température minimale admissible	-10°C
Pression différentielle maximale	8.6 bar
Température maximale de fonctionnement	190°C
Température minimale de fonctionnement	-10°C
Pression maximale d'épreuve hydraulique	24 bar

II.2.2.7.1 Plage de fonctionnement

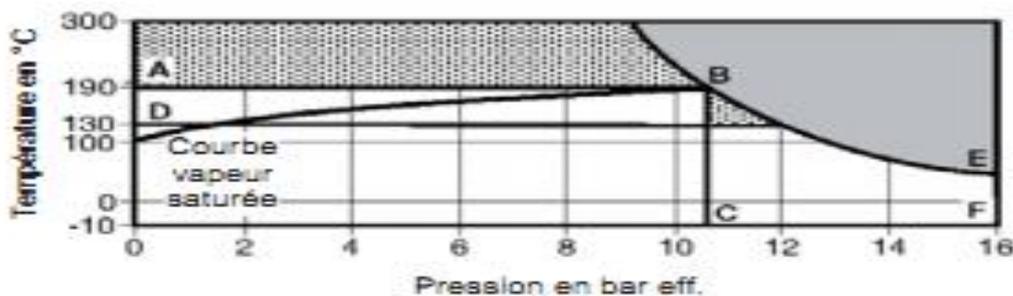


Figure I.18: Plage de fonctionnement d'un détendeur [6]

Cet appareil ne doit pas être utilisé dans la zone ombrée, Pression maximale de fonctionnement recommandée.

II.2.3 Unités de consommation de la vapeur

II.2.3.1 Siroperie

C'est l'un des consommateurs de la vapeur qui se trouvent au sein de l'entreprise, la vapeur sort de la chaudière à une pression élevée approximativement de 9 bars et arrive à travers la tuyauterie ou elle subit une détente jusqu'à 5 bars ; car les organes sont dimensionnés de façon à fonctionner à cette pression.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

La vapeur est utilisée pour chauffer l'eau suivant deux processus :

➤ **Processus n°1**

Ce processus comporte trois échangeurs de chaleur qui sont décrits précédemment pour chauffer l'eau qui sera utilisé par la suite dans la production du sirop (sucre et l'eau chaude). L'eau est chauffée sont contacte avec la vapeur pour ne pas changer ces caractéristiques chimique.

➤ **Processus n°2**

La siroperie comporte trois fondoirs pour mélanger le sucre et l'eau chaude (le sirop) à une température donnée. On utilise la vapeur pour maintenir le mélange à cette température en utilisant un système d'échange de chaleur sur chaque fondoir.

II.2.3.2 les laveuses

Il existe deux laveuses au sein de l'entreprise sont équipées d'échangeurs de chaleur pour le lavage de bouteilles ou de caisses bouteilles, la vapeur est utilisé pour chauffer l'eau de lavage sans contacte afin d'assurer la propreté totale des bouteilles.

II.2.3.3 Description des échangeurs

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.).

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

Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit.

Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.

Dans le cadre de notre étude on se limite à la description d'un Échangeurs de chaleur de type "U" Série standard UPC.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

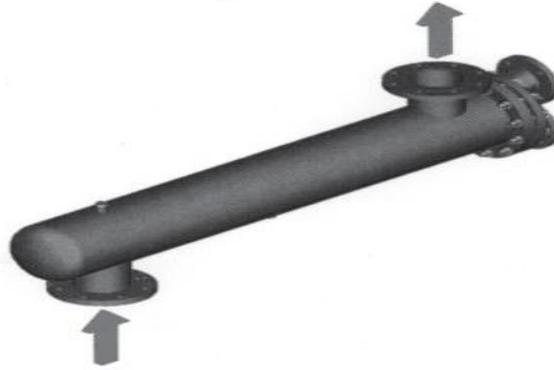


Figure I.19 : Echangeur type U [6]

Les échangeurs de chaleur à faisceau de tubes en "U" sont les plus couramment utilisés pour la production d'eau chaude ou pour les processus industriels, en raison de leur faible coût de fabrication et de leur solidité.

Les caractéristiques de ces unités les rendent particulièrement adaptées aux applications dont le fluide primaire est de la vapeur, de l'eau surchauffée ou de l'huile diathermique. Ce fluide chaud circule dans les tubes. Ceux-ci, en forme de "U", sont fixés à une plaque tubulaire en acier au carbone et l'ensemble, constituant le faisceau, peut être extrait en démontant la tête frontale.

En standard, la PMA de calcul est de 16 bar. Avec des brides PN16. Les tubes en "U" sont au cuivre (Série UPC). La calandre est en acier au carbone. Les raccords de purge et de drainage sont intégrés à l'anneau de raccordement sur la tête frontale. La bride arrière peut sur demande être de type axial afin de réduire les problèmes de vibrations.

II.2.3.3.1 Spécifications techniques et valeurs limites d'utilisation

TMA – Température maximale admissible : Côté calandre 110°C

Côté tubes 204,4°C

PMA – Pression maximale admissible : Côté calandre 16 bars

Côté tubes 16 bars

Les tests hydrauliques sont effectués avec une pression de 23 bars pour les deux circuits.

Calorifuger en Laine de verre recouverte d'acier inox (0,8 mm épaisseur).

Chapitre I : Présentation de l'entreprise ABC PEPSI et Description générale des unités

II.2.3.3.2 Dimensions

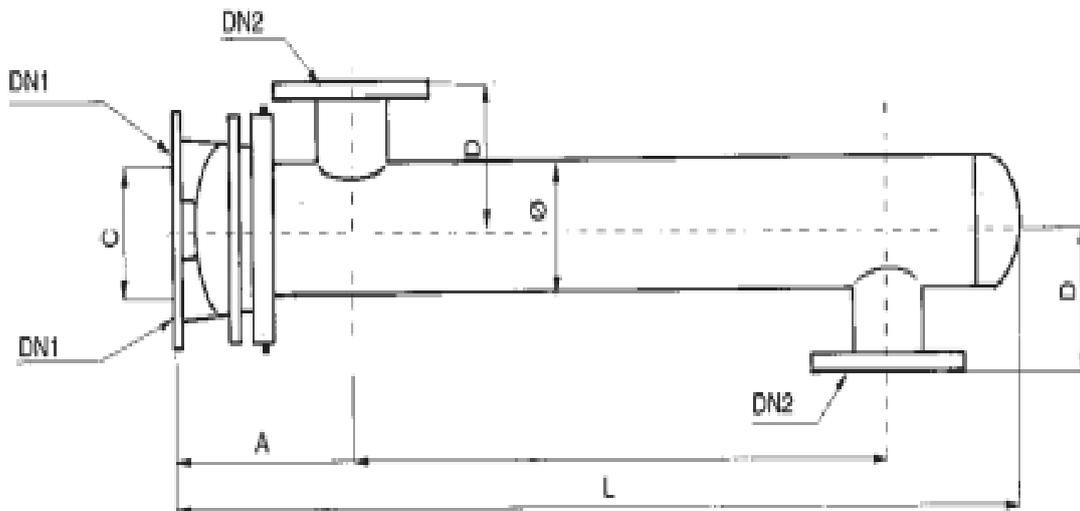
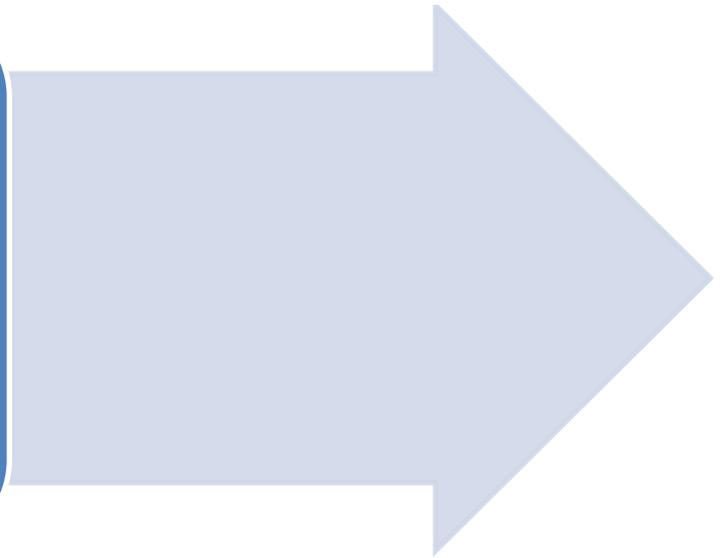


Figure I.20: Dimensions d'un échangeur type U [6]

Tableau I.8 : Dimensions de l'échangeur [6]

DN1 (mm)	56
DN2 (mm)	125
A (mm)	301
C (mm)	186
L (mm)	2108
D (mm)	220
ø (mm)	219

Chapitre II:
Méthodologie de
l'audit
énergétique



II.1 Introduction

Le présent travail concerne les audits énergétiques des sites industriels. Il précise le contenu et les modalités de réalisation de ces études qui seront effectuées par des auditeurs extérieurs à l'entreprise auditée. Ce document rappelle notamment les investigations à mener et les données minimales que l'auditeur doit restituer aux responsables du site industriel concerné (ratios, etc.).

Il donne également des recommandations concernant l'établissement du rapport et la présentation des résultats.

II.2 Définition et Description de l'audit énergétique

On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements d'un établissement. Cet examen a pour but de parvenir à une utilisation rationnelle de l'énergie, en analysant où, pourquoi, comment, combien et quand on consomme de l'énergie, l'audit fournit des indications permettant de savoir où et comment des mesures d'économie d'énergie, et par conséquent de frais, peuvent être appliquées, où et comment une récupération d'énergie est possible ou une conversion à d'autres sources d'énergie, alternatives ou non[7].

L'audit énergétique dans l'industrie est entreprise dans le but d'effectuer une quantification précise du potentiel d'économies d'énergie d'un site industriel et de définir les travaux ou autres modifications nécessaires à la réalisation de ces économies.

Afin que le maître d'ouvrage bénéficie d'un regard d'expert extérieur à l'entreprise, l'audit devra être réalisé par un intervenant ci-après dénommé « l'auditeur », ayant les compétences nécessaires et les références attestant de ces compétences.

De plus, dans un souci de qualité, l'auditeur s'attachera à respecter les règles suivantes :

- chiffrer au mieux les économies d'énergie réalisables sur les sites industriels faisant l'objet d'une étude d'aide à la décision, et en préciser les conditions économiques de réalisation ;
- suivre une démarche rigoureuse explicitée et justifiée dans ses rapports d'études ;
- être exhaustif dans ses recommandations et fournir toutes les informations objectives nécessaires au maître d'ouvrage pour décider des suites à donner ;
- ne pas privilégier a priori un type d'énergie ni certaines modalités de fourniture d'énergie ou de tout autre utilité (vapeur, froid, chaud, air comprimé, ...) ;
- ne pas intervenir dans un établissement vis-à-vis duquel il ne présenterait pas toute garantie d'objectivité, notamment sur des installations conçues, réalisées ou gérées pour l'essentiel par lui-même ;
- n'adjoindre aucune démarche commerciale concernant des biens ou services (ayant un lien avec les recommandations) au cours de son intervention.

Lors de cet audit, l'auditeur fera l'analyse de l'existant, en prenant en compte l'ensemble des principaux postes de consommation énergétique dont notamment, les procédés de fabrication, les services généraux ("utilités") et les locaux de travail sous tous leurs aspects énergétiques. Au cas où un pré-audit aurait déjà été réalisé, l'audit devra

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

permettre de valider les préconisations du pré-audit et d'approfondir, notamment grâce à la mesure, les pistes d'investigation identifiées comme prioritaires lors du pré-audit.

Dans tous les cas, la proposition commerciale de l'auditeur précisera le détail des opérations couvertes par l'audit proposé ainsi que les mesures qui seront effectuées.

Dans ce sens, la proposition établira également la liste des matériels de mesure nécessaires en précisant ceux qui auraient intérêt à être installés à demeure accompagnée le cas échéant d'une proposition financière concernant la fourniture desdits matériels.

L'auditeur pourra, le cas échéant, adapter son intervention en fonction des singularités d'un site industriel. Dans ce cas, il en expliquera clairement les raisons à ses interlocuteurs et les portera également dans le rapport.

L'établissement de la liste des gisements d'économie jugés intéressants -et donc des secteurs et/ou équipements à auditer- est ainsi un préalable à l'audit énergétique et en détermine l'objet.

L'identification et la quantification des gisements potentiels d'économies d'énergie seront effectuées sur la base des données de consommation suffisamment précises et représentatives. Lorsque de telles données seront non disponibles ou encore incomplètes ou imprécises, des campagnes de mesure spécifiques seront réalisées et feront parties de l'audit.

Les préconisations de l'auditeur pourront être classées en trois catégories :

- Action immédiate, permettant une économie d'énergie sans nécessiter d'investissement.
- Action prioritaire, à mener à court terme car ayant un niveau de rentabilité élevé.
- Action utile, à mettre en œuvre car de rentabilité certaine mais pouvant être différée du fait d'implications sur le fonctionnement de l'entreprise plus lourdes à gérer ou d'interactions avec des actions prioritaires.

Cette action ne manquera pas d'être mise en cohérence avec une éventuelle démarche de management environnemental (notamment le Plan Environnement Entreprise).

Les préconisations pourront porter (à titre indicatif non limitatif) sur les aspects suivants :

- modification d'un mode opératoire,
- modification ou remplacement d'un ou plusieurs équipements particuliers,
- modification et/ou création d'un système ou de tout ou partie d'une installation,
- modification des modes de production ou de fourniture d'énergie,
- adaptation éventuelle des différents contrats liant l'entreprise aux fournisseurs d'énergie, de fluides ou de services.

Cette détermination passe par une phase de réflexion préalable sur la réduction éventuelle des besoins énergétiques. Elle passe aussi par un contrôle du dimensionnement des équipements en place par rapport aux besoins et par l'analyse de l'état de fonctionnement, de leurs conditions d'exploitation et la recherche des modifications nécessaires.

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

Les conditions de mise en place de ces modifications (unité en marche, arrêt programmé, ...) et leur coût opératoire éventuel seront également abordés.

Les investissements correspondants et leurs temps de retour seront précisés à partir de l'expérience de l'expert, des données existant sur le site et de quelques consultations préliminaires auprès des fournisseurs d'équipement permettant d'établir une estimation budgétaire préliminaire à plus au moins 20 %. La détermination précise des montants d'investissement est un des objets de l'étude de faisabilité qui, en cas de poursuite du projet, peut être décidé à l'issue de l'audit. Cette dernière nécessitera alors, si sa réalisation est décidée, des études et moyens appropriés [8].

II.3 Objectifs et principes généraux de l'audit énergétique

Le but de l'audit est de formuler un certain nombre de propositions de mesures concrètes justifiées du point de vue de l'économie de l'établissement, pour parvenir à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. L'application de ces mesures doit toutefois faire partie d'une stratégie systématique et logique. L'audit ne peut donc rester une action isolée, mais il doit s'insérer dans un plan global de gestion énergétique. L'économie d'énergie doit également être un souci constant des gestionnaires de l'établissement.

Les audits énergétiques sont donc préconisés dans le cadre de ce programme de conservation de l'énergie dans le but de fournir aux établissements des moyens exacts d'enregistrer la consommation et le coût de l'énergie, ainsi que les renseignements nécessaires à l'identification de réelles possibilités d'économie d'énergie et de leur impact sur l'environnement.

De plus, dans un souci de qualité, l'auditeur s'attache à respecter les règles suivantes :

- être à l'écoute du gestionnaire de l'établissement et instaurer un dialogue permanent avec lui ;
- effectuer une proposition d'intervention claire et transparente ;
- chiffrer les économies d'énergie réalisables et préciser les conditions économiques de réalisation ;
- fournir toutes les informations objectives nécessaires au responsable de l'établissement pour décider des suites à donner ;
- ne pas privilégier a priori un type d'énergie ni certaines modalités de fourniture d'énergie ou de toute autre utilité (vapeur, froid, chaleur, air comprimé, eau, etc.) ;
- Lors de cette intervention, l'auditeur fait l'analyse de l'existant, en prenant en compte l'ensemble des principaux postes de consommation énergétique dont notamment, les procédés de fabrication, la gestion des utilités, les bâtiments, sous tous leurs aspects énergétiques et tout équipement nécessitant une fourniture d'énergie ;
- Afin de déterminer le niveau d'intervention, une visite préalable du site est nécessaire ;
- L'identification et la quantification des gisements potentiels d'économies d'énergie seront effectuées sur la base des données de consommation suffisamment précises et représentatives. Lorsque de telles données ne seront pas

disponibles, incomplètes ou imprécises, des campagnes de mesures spécifiques seront réalisées [8].

II.4 Métrologie et différentes phases de l'audit énergétique

Première phase : dans cette phase de l'audit énergétique doit permettre, à partir d'une analyse des données disponibles dans l'établissement :

- De réaliser une première approche du bilan énergétique ;
- De comparer les performances énergétiques à des références connues dans son activité ;
- De dresser une première évaluation des gisements d'économies d'énergies envisageables ;
- D'orienter le responsable de l'établissement vers des interventions simples à mettre en œuvre dans le cadre de l'évolution de son établissement et de l'environnement local ;
- D'identifier les domaines à développer dans les phases suivantes de l'étude [7].

Deuxième phase : lors de cette phase le travail de l'auditeur consiste à approfondir l'analyse sur les principaux gisements identifiés dans la première étape et choisis conjointement avec le responsable de l'établissement. Pour cela, il est nécessaire d'établir le bilan énergétique sur la base d'une analyse détaillée de l'existant :

- à partir de données et de calculs ;
- à partir de mesures [7].

Troisième phase : il convient dans cette phase :

- De déterminer les actions à mener sur les procédés et utilités d'une entreprise ou leur mode d'exploitation, afin de réaliser des économies d'énergie ;
- D'identifier et de décrire les solutions aussi précisément que possible et de donner une première approche du coût de mise en œuvre et du temps de retour [7].

II.4.1 Première phase (Analyse préalable)

II.4.1.1 Déroulement

Cette étape se déroule en quatre étapes :

1. la préparation de l'audit avec le responsable de l'établissement ;
2. la collecte d'informations sur site : réunion d'enclenchement, entretiens avec les différents acteurs du site, visite des installations ;
3. une analyse des données et la rédaction d'un rapport ;
4. la restitution de l'analyse préalable.

Pour le bon déroulement de l'audit, il convient que le responsable de l'établissement désigne un interlocuteur chargé du suivi de l'audit. Cette personne met en relation l'auditeur avec les personnes concernées par l'achat, la production et l'utilisation de l'énergie.

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

a) Préparation de l'audit

L'auditeur adresse au responsable de l'établissement la liste des documents à fournir lors de la réunion d'enclenchement. Cette liste comprend :

- Un plan masse du site, un descriptif des installations «utilités» et «procédés», des schémas et modes de fonctionnement, les moyens existants de suivi, de comptages et de mesures de l'énergie ;
- Les données de production, les relevés des compteurs, les contrats et factures d'énergie, les consommations d'énergie détaillées ;
- Les études déjà réalisées dans le domaine énergétique, les projets d'investissements.

b) Collecte d'informations

Lors de la réunion d'enclenchement avec l'auditeur, le responsable de l'établissement remet les documents demandés, fait une présentation générale du site comprenant une description de l'organisation et des procédés mis en œuvre et planifie le déroulement de la visite et des entretiens.

La visite des installations «utilités» et «procédés» permet d'investiguer de manière qualitative les postes consommateurs d'énergie. Des relevés et quelques mesures ponctuelles peuvent être réalisés.

Les entretiens avec les différents acteurs du site permettent de comprendre le fonctionnement technique et le mode d'exploitation des installations.

c) Analyse des données et rédaction du rapport préliminaire

A l'issue de la visite et des entretiens, l'auditeur traite les données, et rédige le rapport comprenant le bilan de la situation énergétique du site et un programme d'actions.

d) Présentation du rapport préliminaire

L'analyse préalable est présentée et discutée avec le responsable de l'établissement. La restitution orale est l'occasion pour le responsable de l'établissement et l'auditeur d'échanger leurs points de vue pour permettre au responsable de l'établissement de décider des suites à donner.

II.4.1.2 Approche méthodologique de la première phase

Les éléments méthodologiques concernent l'analyse des données et l'identification des gisements d'économies.

a) Analyse des données

Il s'agit :

- De réaliser une première approche du bilan énergétique du site, à partir des factures énergétiques et des volumes de production ;
- D'établir les ratios des consommations énergétiques par unité représentative ;

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

- D'estimer la répartition des consommations énergétiques, à partir des relevés de compteurs divisionnaires ou à partir des puissances installées et des temps de fonctionnement.

En fonction des données disponibles, des ratios complémentaires peuvent être calculés (consommations spécifiques et de la distribution des utilités, des procédés, etc.). Tous les ratios calculés peuvent être analysés mois par mois sur une ou deux années de référence.

À partir des consommations d'énergie détaillées, l'auditeur analyse les fortes variations, les consommations associées aux différentes configurations du site (tranches horaires, week-end, etc.) et l'incidence des conditions climatiques. Les performances énergétiques du site sont comparées à des références connues dans son activité.

b) Identification des gisements d'économies d'énergie

Les gisements d'économies envisageables sont détectés à partir des consommations spécifiques et de la comparaison du fonctionnement des installations aux meilleures pratiques énergétiques.

Cette comparaison peut se répertorier selon cinq domaines d'intervention :

- Les méthodes de production : examen de l'adéquation de l'installation avec la production et les conditions dans lesquelles on la fait fonctionner. La puissance installée est-elle adaptée (sur ou sous dimensionnement) ? L'utilisation de l'outil de production est-elle optimale ?
- Les conditions d'exploitation du matériel : conditions générales de service, état et condition d'entretien du matériel, personnel de maintenance ;
- Les équipements par l'amélioration du rendement dans les bonnes conditions d'exploitation et de réglages ;
- D'éventuels dysfonctionnements, sources d'améliorations potentielles de consommation ;
- Les possibilités de valorisations énergétiques de pertes et rejets.
- La quantification des gisements d'économies est estimée à partir du bilan énergétique et des profils de consommation.

II.4.1.3 Présentation des résultats

Une restitution des résultats de cette première étape est réalisée auprès du chef de l'établissement sous forme d'un rapport préliminaire comprenant notamment :

- Un descriptif simplifié des principales installations ;
- La première approche du bilan énergétique (répartition des consommations, consommations spécifiques, profils de consommation, comparaison à des ratios de référence) ;
- L'analyse des paramètres de fonctionnement ;
- L'identification et la justification des gisements d'économies, ainsi que la quantification des gains potentiels ;
- La description des interventions simples à mettre en œuvre ;

- La description de la poursuite de l'analyse détaillée (phase 2).

II.4.2 Deuxième phase (Analyse détaillée)

Selon les résultats de la première phase, le responsable de l'établissement en concertation avec l'auditeur décide d'orienter l'audit sur tout ou partie des gisements d'économies identifiés.

Pour cela, il est nécessaire de préciser le bilan énergétique du site ou des postes contenant les gisements potentiels.

L'analyse détaillée réalisée par l'auditeur doit apporter les éléments nécessaires afin :

- D'approfondir les gisements d'économie d'énergie retenus ;
- De consolider le bilan énergétique global du site.
- D'évaluer les émissions polluantes dues aux consommations énergétiques.

II.4.2.1 Déroulement de la deuxième phase

L'auditeur approfondit les axes de travail préférentiels retenus à l'issue de l'analyse préalable, en établissant les besoins en énergie (en quantité et qualité, suivant les cycles de production ou de fonctionnement et dans le temps) des différents processus, et les moyens énergétiques associés, ainsi que la fourniture en utilités.

a) Collecte d'informations complémentaires

Cette phase comprend :

- Les entretiens avec les responsables de la conduite, du suivi, de l'exploitation, de la maintenance des matériels et équipements, et des travaux neufs ;
- Les relevés de comptage et de mesures existants ;
- Les campagnes de mesures éventuelles ;
- La documentation complémentaire.

b) Analyse

L'auditeur analyse les données complémentaires et établit la consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement, à partir de calculs, de simulations ou d'estimation. La consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement est comparée aux données réelles.

L'analyse est poursuivie jusqu'à la convergence acceptable entre les calculs théoriques et les consommations relevées permettant d'aboutir à la consommation de base.

c) Présentation des résultats

L'auditeur rédige les documents de l'analyse détaillée. Après échanges et discussion avec le responsable de l'établissement, il remet le rapport de son analyse.

II.4.2.2 Approche méthodologique de la 2^{ème} phase

Ce processus comporte quatre étapes :

a) Définition des besoins

L'auditeur doit partir des besoins (quantifier et qualifier les fluides nécessaires) et remonter à la distribution et à la production des fluides. Les éventuels dysfonctionnements sont repérés et quantifiés comme source potentielle d'amélioration.

b) Analyse des données et mesures

Au niveau du site ou du système étudié, l'analyse des données et des résultats de la campagne de mesures consiste à :

- comparer les résultats aux données de fonctionnement ;
- rechercher les périodes de fonctionnement pour lesquelles les consommations d'énergie paraissent anormales ;
- déterminer et calculer des indicateurs (par fluide, par atelier, etc.) permettant d'évaluer la performance énergétique ;
- identifier les paramètres limitants ;
- étudier l'adéquation entre les dimensionnements, les systèmes de régulation et les besoins ;
- appréhender les conditions de conduite, d'entretien et de maintenance ;
- D'identifier et améliorer les paramètres ayant un impact sur l'environnement.
- Sur la base de ces éléments (informations complémentaires, résultats validés de la campagne de mesures) ainsi que de la connaissance de la problématique étudiée par l'auditeur, la quantification du besoin réel est détaillée.

L'auditeur en déduit le gisement de manière précise, par rapport à la situation existante, en fonction des caractéristiques et des contraintes du système.

L'analyse des indicateurs de performance énergétique et des dysfonctionnements conduit à confronter les relevés :

- aux données théoriques (ratios de la profession) ;
- aux besoins réels identifiés ;
- au dimensionnement de l'installation.

c) Réalisation des bilans

En fonction des éléments complémentaires recueillis, l'auditeur établit des bilans (thermiques, électriques, économiques, etc.) des systèmes étudiés. Ces éléments sont réintégrés dans le bilan global du site.

La consolidation du bilan global du site consiste à recouper les résultats de calculs basés sur les données divisionnaires (instrumentation en place et campagne de mesures pour les données manquantes ou douteuses) avec les consommations totales annuelles

issues des factures énergétiques ; La répartition des usages des énergies primaires sur le site est détaillée par grands secteurs utilisateurs (unités de production ou ensemble d'unités, bâtiment, production d'utilités, etc.).

La synthèse des diagrammes de flux des différents secteurs permettra d'étudier les synergies possibles, comme par exemple :

- la valorisation d'un rejet thermique sortant d'un secteur et entrant dans un autre ;
- l'organisation de l'activité des différents secteurs pour limiter les puissances instantanées appelées (démarrage différé, délestage, etc.).
- Le bilan énergétique du site permet d'aboutir à l'établissement :
 - de la part fixe et de la part variable de la consommation énergétique ;
 - d'un diagramme de flux énergétiques, mettant en évidence, l'énergie entrante, l'énergie produite, récupérée, l'énergie utile, l'énergie perdue (pertes par les parois, rejets gazeux, effluents liquides, etc.) ;
 - des rendements.

d) Description des gisements d'économie d'énergie

Pour établir le gisement potentiel d'économies, l'auditeur compare, chaque fois que possible, les éléments de son bilan aux ratios de référence de l'activité et aux performances des équipements les plus efficaces au plan énergétique, disponibles sur le marché.

En partant des indicateurs calculés, les gisements d'économies d'énergie sont argumentés.

Après avoir établi le gisement potentiel d'économies, l'auditeur recherche les causes des dérives, par exemple :

- les modes de gestion, de régulation ;
- les choix technologiques ;
- le dimensionnement des équipements ;
- les phénomènes d'usure, d'encrassement, de dégradation ;
- les conditions de maintenance.

II.4.2.3 Résultats

Une restitution des résultats de cette 2^{ème} phase est réalisée auprès du chef de l'établissement au cours d'une réunion où sont recueillis ses commentaires. Un rapport lui est remis ; il comprend :

- un descriptif simplifié des principales installations techniques : celui-ci doit permettre de situer rapidement les différents postes consommateurs d'énergie sur le site, les lieux concernés par les préconisations et la position des moyens de mesures ou de comptage ;
- les résultats de la campagne de mesures.
- un tableau présentant les caractéristiques générales de chaque équipement étudié ;
- les bilans énergétiques, assortis des hypothèses utilisées et le bilan global du site ;
- une appréciation sur les réseaux de fluides et les comptages primaires (électricité, gaz, eau...)

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

- l'indication des principaux ratios utilisés pour l'analyse énergétique ;
- la consolidation de l'évaluation énergétique des gisements ;
- l'analyse de l'auditeur sur les causes des dérives.

II.4.3 Troisième phase (Recherche des solutions d'amélioration)

Sur la base de l'analyse détaillée de la 2^{ème} phase et des commentaires du chef de l'établissement, l'auditeur recherche les solutions pour atteindre tout ou partie des gisements.

II.4.3.1 Déroulement

A partir du bilan énergétique validé correspondant à la consommation de base l'auditeur :

- analyse les dysfonctionnements ;
- identifie, quantifie, chiffre et décrit les solutions d'amélioration envisageables à mener pour réduire la facture énergétique ;
- compare les solutions envisageables entre elles ;
- propose des indicateurs de performance énergétique et leur suivi périodique.
- L'auditeur rédige le rapport final et le présente au chef de l'établissement. Les échanges doivent permettre d'aider le gestionnaire de l'établissement dans le choix des solutions à retenir.

II.4.3.2 Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase

a) Identification des solutions

Les actions possibles sont identifiées par l'auditeur sur la base :

- de sa propre expertise ;
- de l'âge du matériel, de son état, de son mode d'exploitation et de conduite ;
- de la technologie du matériel existant par rapport aux équipements les plus efficaces disponibles sur le marché.

b) Description des solutions

L'auditeur présente :

- la liste des actions à mettre en place concernant la sensibilisation, la formation du personnel, les comptages de l'énergie et leur suivi ;
- la liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé ;
- la liste des modifications à apporter aux modes opératoires ;
- les incidences sur le mode d'exploitation, sur l'entretien et sur la durée de vie des équipements sont signalées, ainsi que les éventuelles contraintes de mise en œuvre, les incidences environnementales.

c) Quantification des économies d'énergie

Les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits en termes de productivité, de maintenance, de qualité de production, sont évalués. Les retombées positives sur certains critères comme par exemple sur les

conditions de travail, de préservation de l'environnement, la sécurité, etc., sont mentionnées. Ces améliorations sont introduites dans le bilan énergétique établi afin d'en faire une simulation, d'estimer leur impact sur la consommation de base et le gain potentiel, en tenant compte des éventuels échanges entre les postes consommateurs d'énergie.

d) Évaluation des solutions

Les coûts liés aux solutions d'amélioration sont évalués (études, investissement, bonnes pratiques, etc.), ainsi que l'impact sur le bilan d'exploitation du site, afin d'établir notamment les temps de retour brut. Les investissements correspondants et leur temps de retour seront précisés à partir de l'expérience de l'auditeur, des données existant sur le site et de quelques consultations préliminaires auprès des fournisseurs permettant d'établir une estimation budgétaire. La détermination précise des montants d'investissement est un des objets de l'étude de faisabilité faisant éventuellement suite à l'audit.

e) Présentation des solutions

Afin de permettre une aide à la décision dans le choix des solutions étudiées, celles-ci sont présentées d'abord de façon indépendante les unes des autres (actions unitaires), puis de façon combinée (plusieurs actions unitaires cohérentes entre elles).

❖ Actions unitaires

Pour chaque action possible, préalablement étudiée, l'auditeur établit une fiche récapitulative comprenant :

- sa classification dans une des trois catégories possibles d'amélioration, pour mémoire : modification des comportements, optimisation des processus, ou évolutions rendant nécessaires des investissements ;
- une description détaillée ;
- le chiffrage de la solution :
 - le gain potentiel en kWh/an ou th/an;
 - le coût d'investissement, éventuel, et dans ce cas la fiche mentionne le temps de retour brut;
 - l'incidence sur les coûts d'exploitation et de maintenance, y compris sur les contrats de fourniture des énergies (abonnement, puissance ou débit souscrit) ;
 - l'incidence éventuelle avec d'autres critères d'amélioration (qualité, productivité, etc.) ;
 - les hypothèses de la simulation (coûts énergétiques, durées et périodes de fonctionnement, etc.) ;
 - la durée de vie usuelle ;
- les répercussions sur la formation du personnel, la conduite, l'entretien ;
- les contraintes de mise en œuvre ;
- les cohérences, et les éventuels impacts avec les autres actions ;

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

- les formes de soutien financier éventuel : aides, subventions, incitations fiscales, etc.

❖ Actions combinées

Il sera utile d'étudier les actions de façon combinée dans le cas où :

- plusieurs actions unitaires apparaissent cohérentes entre elles ;
- plusieurs actions interfèrent entre elles, notamment en cas d'impact négatif de certaines sur d'autres. Une fiche récapitulative concernant la combinaison de ces actions pourra être établie sur une base identique à celle décrite précédemment. Cela permettra de dégager le gain réel de ces actions associées (ce gain n'est pas forcément égal à la somme des gains obtenus pour chaque action unitaire), et de définir éventuellement un plan d'engagement commun de ces actions.

II.5. les obligations

II.5.1. De l'auditeur envers l'établissement

a) Transparence

S'il s'agit d'un prestataire extérieur, l'auditeur s'engage à la transparence vis-à-vis des responsables de l'établissement.

À ce titre, il fournit toutes les informations relatives à :

- son statut juridique ;
- son actionnariat, ainsi que celui de ses principaux actionnaires ;
- ses différentes filiales ;
- ses liens financiers ou autres avec des producteurs ou fournisseurs de biens ou de services en rapport avec ses domaines d'intervention.

b) Confidentialité

L'auditeur s'engage à maintenir strictement confidentiels toutes les informations, documents et résultats produits en exécution de la prestation ainsi que toutes les données et informations qui lui auront été communiquées par le maître d'ouvrage.

c) Respect des consignes du site

L'auditeur doit respecter le règlement intérieur de l'établissement, ainsi que les règles d'hygiène et de sécurité [7].

II.5.2. De l'établissement vers l'auditeur

Pour être efficace dans son étude, l'auditeur, s'il s'agit d'une personne extérieure au site, a besoin que les responsables de l'établissement :

- lui adjoigne une personne du site pouvant le guider dans ses contacts avec les autres personnes du site, et dans ses déplacements en toute sécurité dans l'établissement ;
- lui donne accès aux parties du site concernées par son étude ;
- lui donne accès aux documents nécessaires à la réalisation des différentes phases du diagnostic énergétique.

II.6. Les mesures

Il est impossible de calculer avec exactitude des bilans énergétiques et massiques, et les gisements d'économies sans avoir des données exactes, à cet effet des campagnes de mesures doivent être réalisées sur le site de l'audit pour confirmer les informations fournies et les compléter dans le cas échéant. La liste suivante présente les mesures qui doivent être prises lors de la réalisation de l'audit énergétique.

Tableau II.1 : Mesures de contrôle énergétique

Procédé	Variable	Action requise
Utilisation de combustible liquide	Débit du combustible	Mesuré
	Température du combustible	Mesurée
Utilisation d'électricité	Consommation unitaire	Mesurée ou déduite
	Courant	Mesuré ou déduit
	Tension	Mesurée ou déduite
	Facteur de puissance	Mesuré
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d'utilisation	Mesuré ou déduit
	Bilan de puissance	Mesuré ou déduit
	Compensation de l'énergie Réactive	Mesurée ou déduite
Combustion	Température des fumées	Mesurée
	Débit des fumées	Mesurée
	Produits de combustion	Dérivés
	Air rejeté	Dérivé
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d'utilisation	Mesuré ou déduit
Gaz	Débit du volume	Mesuré
	Température	Mesurée
	Teneur en humidité	Mesurée
Chaleur	Débit du flux	Mesuré
	Température	Mesurée
	Pression	Mesurée
Air comprimé	Analyse du réseau	
	Taux de fuite	Mesuré ou calculé
	Rendement	Mesuré ou calculé
Groupe de froid	Etude du système	
	Rendement	Mesuré ou calculé
Perte de chaleur des surfaces	Température	Mesurée
	Superficie	Mesurée
	Vitesse de l'air	Mesurée ou calculée

Types de mesures :

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

- Mesures instantanées : Suffisantes pour déterminer la valeur d'un paramètre recherché dans des conditions stables de fonctionnement, par exemple la perte de chaleur d'une surface, les conditions de combustion d'un brûleur, etc. ...
- Mesures instantanées répétées : Nécessaires quand le régime de fonctionnement n'est pas stable.
- Mesures continues : Nécessaires d'effectuer des enregistrements pendant une période assez longue dans des situations où le régime de fonctionnement varie constamment. Ces mesures sont aussi utiles pour déterminer le modèle d'utilisation ou de consommation d'énergie pendant la nuit ou le week-end.

II.7 Instrumentation

Les instruments de base portables qui sont généralement nécessaires pour effectuer un audit énergétique sont :

1. Analyseur d'oxygène
2. Analyseur de gaz de combustion (oxygène et gaz carbonique)
3. Tube Pitot ou manomètre (pour mesurer débit des fumées)
4. Pyromètre à infrarouge
5. Thermomètres avec différentes sondes de température
6. Débitmètre
7. Hygromètre ou thermo-hygromètre
8. Analyseur de réseau électrique (tension, courant, $\cos \alpha$, consommation d'énergie etc.)
9. Ampèremètres
10. Appareils de mesure du $\cos \alpha$
11. Appareils de mesure de l'éclairement (luxmètre)
12. Analyseur d'harmoniques
13. Multimètre
14. Pincés ampérométrique

II.8 Modalités de réalisation de l'audit énergétique [8]

II.8.1 Visite du site et investigations préliminaires :

L'auditeur effectuera une visite détaillée du site industriel afin d'investiguer de manière précise les postes consommateurs d'énergie.

Pour le bon déroulement de l'audit, le maître d'ouvrage désignera une personne chargée de suivre le déroulement de l'audit et de servir d'interlocuteur à l'auditeur.

De même, l'auditeur devra avoir accès aux données dont dispose le maître d'ouvrage exploitant le site en matière de consommations d'énergie (factures d'énergie, études déjà

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

réalisées, rapports des contrôles réglementaires, procédés consommateurs mis en œuvre, schémas correspondants, ...).

La collecte des informations pourra se faire en amont de l'intervention sous forme d'échanges préalables qui permettront :

- de gagner du temps pendant la période d'expertise et donc de diminuer le coût d'intervention ;
- à l'intervenant de préparer son plan d'action et de rassembler des éléments de comparaison extérieurs ;
- de présenter un devis pour son intervention en explicitant la méthode qu'il se propose de suivre.

En tout état de cause, les informations et documents concernant les matériels et les consommations énergétiques devront être fournis par le maître d'ouvrage à l'auditeur au plus tard à son arrivée sur le site concerné.

Au cas où l'audit objet de ce travail fait suite à un pré-audit, le rapport sera fourni à l'auditeur, lequel basera sa prestation sur les résultats et préconisations du dit pré-audit.

II.8.2 Campagne de mesure

Cette campagne concernera les paramètres caractéristiques du site industriel et des équipements à auditer.

L'auditeur définira dans sa proposition les mesures et calculs à effectuer, ainsi que leur niveau de précision nécessaire. Il lui appartiendra de fournir les équipements de mesure et d'acquisition de données nécessaires, en complément de l'équipement de l'usine, et permettant un suivi continu, pendant la période déterminée, des paramètres retenus et des grandeurs à mesurer. Il en restituera une trace sous forme de tableaux de mesures, de calculs et de courbes.

Afin d'optimiser la qualité de la campagne de mesures, l'auditeur devra préciser également les périodes de scrutation et d'enregistrement des données d'acquisition.

Au cas où certains matériels de mesure peuvent être installés à demeure afin de faciliter le suivi ultérieur des consommations de l'entreprise, l'auditeur en fera la proposition écrite et chiffrée ou fournira lui-même le matériel au maître d'ouvrage, lequel se chargera de faire effectuer, à ses frais, la mise en place du matériel préalablement à l'intervention de l'auditeur.

Les campagnes de mesures à effectuer et les conditions particulières d'essais devront faire l'objet d'un document écrit avant toute intervention, pour validation préalable par le maître d'ouvrage.

Pour les fluides, les équipements de mesures devront être adaptés à la nature de la grandeur mesurée et aux conditions d'utilisation qui ont été identifiées lors de l'audit.

La démarche s'effectuera dans le respect des procédures d'intervention correspondant à la législation et aux usages du site.

II.8.3 Détermination des économies

A partir des mesures et calculs effectués, l'auditeur établira les bilans énergétiques correspondant aux différents secteurs et matériels étudiés et en fera l'analyse afin de déterminer les économies possibles pour chaque équipement ou secteur et de préciser les modifications éventuellement nécessaires.

De même il chiffrera le coût et la rentabilité attendus de ses préconisations.

II.8.4 Rapport d'audit

A l'issue de cette visite d'investigation, l'auditeur procédera à une analyse des données recueillies sur le site et rédigera un rapport faisant état des résultats de son analyse.

Ce rapport contiendra notamment :

- a) La présentation de la situation

Le rapport final de l'audit devra faire apparaître les résultats de l'investigation.

Afin de situer l'audit, il sera précisé les secteurs et les équipements concernés, les campagnes de mesures et calculs associés réalisés ainsi que leurs conditions d'exécution, le matériel de mesure et d'acquisition de données mis en œuvre, les données et informations recueillies lors de l'audit.

- b) Il sera notamment fourni

Un descriptif des installations concernées par l'audit ainsi que de la liste des documents remis par le maître d'ouvrage (données de base) ;

La liste des équipements audités, leurs caractéristiques, leur dimensionnement, leur mode d'exploitation et leur environnement ;

- c) Le descriptif des mesures effectuées avec :

La liste des instruments de mesure utilisés, les périodes de mesures, de scrutation, d'enregistrement, les conditions d'essais, les calculs effectués et le traitement des données (logiciels utilisés) et les commentaires nécessaires à la compréhension des conclusions.

Le résultat de l'audit, à savoir

- le coût global de fonctionnement des installations auditées, y compris les coûts de maintenance et d'exploitation afin de servir de référence pour le calcul des économies éventuelles à réaliser,
- la liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé,
- la liste des modifications à apporter aux modes opératoires,
- les investissements correspondants (budget) et une première estimation du planning de réalisation,
- les propositions d'organisation du travail et de formation du personnel,
- les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits de productivité, de maintenance, de qualité de production,

Chapitre II: Méthodologie de l'audit énergétique

- les temps de retour bruts estimés des différentes solutions d'amélioration préconisées,
- une analyse de l'impact de ces modifications sur l'environnement (émissions de gaz à effet de serre, effluents, résidus de production, cogénération, emploi éventuel d'énergies renouvelables, etc.).

Une proposition d'équipements de mesures et de gestion (plan de comptage, indicateurs préconisés, calculs correspondants) nécessaires au suivi des économies qui seront réalisées par la mise en œuvre des actions retenues par l'industriel.

Une fiche de synthèse sera rédigée selon le modèle donné en annexe au présent cahier des charges. Placée en tête du rapport, elle rassemblera les principaux résultats issus de l'audit ainsi que les préconisations faites par l'auditeur au responsable du site industriel.

II.8.5 Présentation des résultats

L'auditeur présentera au maître d'ouvrage le rapport de l'audit.

Lors de cette présentation, il précisera suivant les cas :

a) Les économies réalisables et les modifications à mettre en œuvre :

- Modification opératoire ;
- Modification ou remplacement d'un ou plusieurs équipements ;
- Modification et/ou création d'un système ou de tout ou partie d'une installation.

b) Les investissements à réaliser avec :

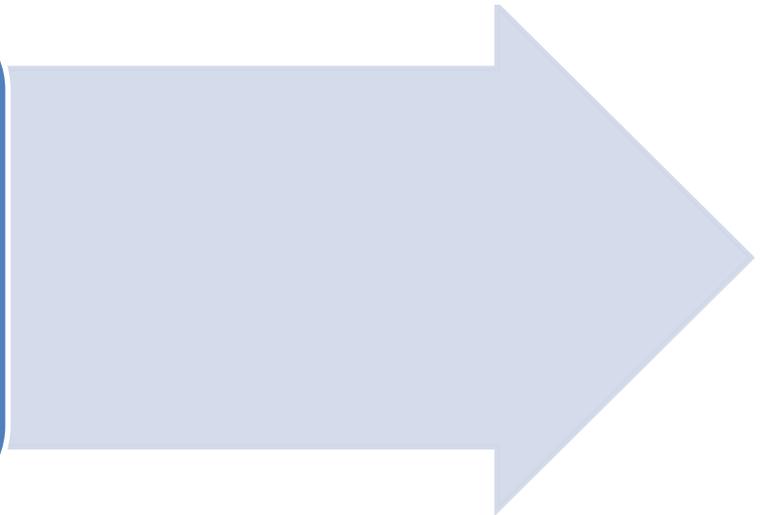
- Un descriptif succinct ;
- Une évaluation budgétaire du coût ;
- Une rentabilité calculée suivant les modalités définies en annexe ;
- Une première estimation du planning de réalisation et de ses contraintes.

c) Il proposera enfin un plan de suivi des résultats obtenus avec les tableaux de bord nécessaires.

Cette présentation devra permettre :

- de commenter à l'ensemble des responsables représentant le maître d'ouvrage, les résultats de l'audit,
- de faire réagir le maître d'ouvrage sur les résultats obtenus,
- de les mettre en cohérence avec les objectifs stratégiques de l'entreprise,
- de convaincre de la pertinence des actions préconisées,
- de définir les priorités, les délais, les responsables de la mise en œuvre des actions au sein de l'entreprise.

Chapitre III:
Inspection des
équipements et
diagnostic



III.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré au diagnostic énergétique de la division "utilités" de l'unité production de ABC PEPSI Rouiba, qui comprend :

- la chaufferie ;
- le réseau vapeur ;
- les équipements consommateurs, qui seront traités simplement comme des échangeurs de chaleur.

Pour tous ces équipements, nous établirons les bilans thermiques en fonction des informations que nous avons pu recueillir sur place.

III.2 Diagnostique des chaudières

Le bilan thermique d'un ensemble de chaudière est l'une des caractéristiques fondamentales qui permettent d'apprécier correctement l'efficacité et l'économie de son exploitation. Un travail exhaustif doit être mené pour pouvoir connaître l'état et la situation réelle de la chaudière afin d'établir une méthodologie de calcul pour remédier à des problèmes éventuels.

Comme décrit au chapitre II, la chaufferie comporte trois chaudières : une chaudière principale d'une capacité de 3000 kg/h qui opère à plein régime d'une façon permanente et deux chaudières identiques d'une capacité de 2550 kg/h chacune et dont une est utilisée en régime variable pour produire le surplus de la demande qui ne peut être satisfait par la chaudière principale et l'autre reste en réserve.

Notre diagnostic concernera la chaudière principale.

III.2.1 Bilan thermique de la chaudière

Pour vérifier le bon fonctionnement d'une chaudière, on doit établir un bilan thermique et relever les anomalies qui pourraient éventuellement apparaître dans ses composants représenté à la figure III.1 ci-dessous.

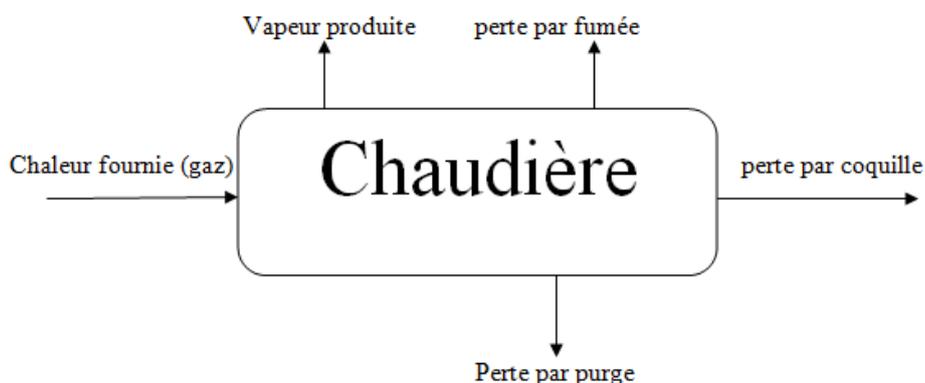


Figure III.1: Bilan énergétique de la chaudière

Deux méthodes peuvent être utilisées pour établir le bilan thermique de la chaudière : la méthode directe et la méthode indirecte.

III .2.1.1 La méthode directe

Selon cette approche, le rendement η de la chaudière se calcule par le rapport de la quantité de chaleur consommée effectivement par la vapeur, \dot{Q} , sur la quantité de chaleur fournie par le combustible, Q :

$$\eta (\%) = \frac{\dot{Q}}{Q} \times 100 \quad (\text{III-1})$$

La chaleur fournie par le combustible à l'ensemble de la chaudière s'obtient par la connaissance du débit du combustible \dot{m}_{GN} et de son pouvoir calorifique inférieur PCI :

$$Q = \dot{m}_{GN} \times PCI \quad (\text{III-2})$$

La chaleur utile qui sert à la production de la vapeur nécessite la connaissance du débit de vapeur produite \dot{m}_v et de l'état thermodynamique de l'eau à l'entrée et à la sortie de la chaudière, elle est donnée par :

$$\dot{Q} = \dot{m}_v \times (h_{vs} - h_{le}) \quad (\text{III-3})$$

où h_{vs} et h_{le} sont l'enthalpie spécifique de la vapeur à la sortie de la chaudière et celle du liquide à l'entrée respectivement.

Pour être en mesure de calculer le rendement de la chaudière par la méthode directe, on doit pouvoir mesurer les débits du gaz naturel et de la vapeur.

III.2.1.1.1 Débit du gaz naturel

En principe, le débit du gaz naturel doit être mesuré au niveau du brûleur avant sa consommation.

Les brûleurs montés sur les chaudières de PEPSI sont munis d'un manomètre pour mesurer la pression d'alimentation en gaz et d'une sonde pour la température. Or, en plus du fait que ces deux indicateurs ne sont pas suffisants pour déterminer le débit du gaz, les sondes de températures sont endommagées et inopérantes. Nous n'avons donc disposé d'aucun dispositif qui nous aurait permis de connaître avec une précision suffisante le débit du gaz naturel. Notons cependant que sur la plaque signalétique des brûleurs il est indiqué qu'à 0.3 bar relatif et 15°C, le brûleur pourrait délivrer un débit de 177 kg/h.

III.2.1.1.2 Débit de vapeur

Il n'existe aucun dispositif dédié à la mesure du débit de vapeur produit au niveau de la chaufferie, ni même de celui consommé au niveau des équipements utilisateurs. Seul le débit nominal des pompes alimentaires, indiqué sur leur plaque signalétique, pourra nous servir d'indicateur sur la quantité d'eau utilisée.

A la lumière de ce qui vient d'être mentionné sur l'impossibilité de mesurer les débits de gaz et de vapeur, il apparaît clairement qu'on ne peut pas utiliser l'approche directe pour calculer le rendement de la chaudière.

III.2.1.2 La méthode indirecte

Cette méthode consiste à calculer le rendement en retranchant de l'unité les différentes fractions représentant les pertes dans l'ensemble de la chaudière. Cette méthode a le mérite de quantifier les pertes par catégorie et de mettre ainsi le doigt sur les types de pertes qui pénalisent le rendement et qu'il faudra réduire en priorité, mais elle donne une valeur de rendement moins précise que la méthode directe. Les quatre catégories de pertes principales qui s'appliquent aux chaudières alimentées au gaz naturel et au mazout sont : les pertes dans les fumées (q_f), les pertes par purges (q_p), les pertes par la coquille (q_c) et les pertes non comptabilisées (q_{nc}). Le rendement sera donc donné par l'expression :

$$\eta (\%) = [100 - (q_f + q_p + q_c + q_{nc})] \quad (\text{III-4})$$

En principe, l'évaluation de ces différentes pertes se base sur l'utilisation de formules empiriques qui ne sont pas toujours disponibles.

III.2.1.2.1 Pertes de chaleur par la coquille (conduction et radiation)

Ce sont des pertes à travers les parois de la chaudière dues au rayonnement et à la convection. Ces pertes de chaleur pénalisent non seulement la chaudière en baissant son rendement mais aussi l'environnement de la chaufferie en faisant monter la température ambiante.

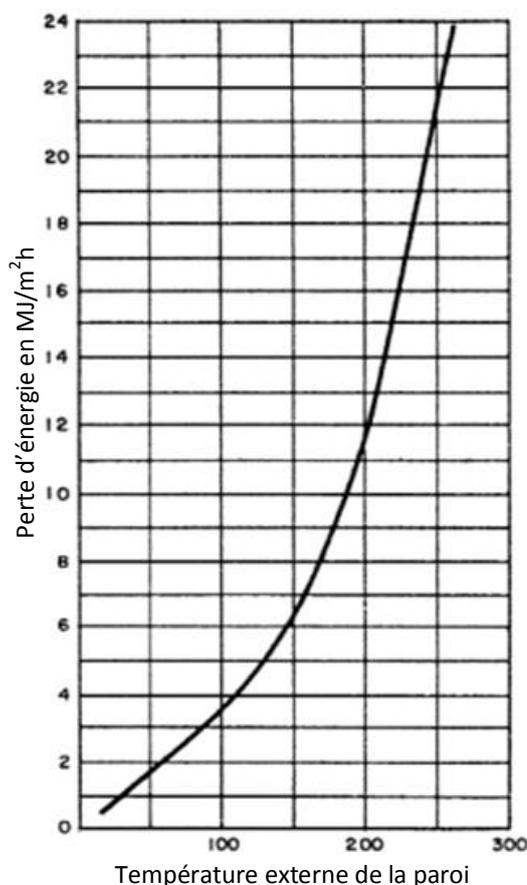


Figure III.2: Déperdition d'énergie par les parois d'une chaudière en fonction de leur température. [9]

Pour minimiser ces pertes, on a recours à l'isolation thermique de la chaudière. A cet effet, on utilise habituellement des matériaux d'isolation tels que le silicate de calcium, la fibre minérale, la fibre en céramique, les ciments, le verre cellulaire et la fibre de verre. Une indication de la perte de chaleur des parois chaudes d'une chaudière est donnée à la Figure III.2 ci-dessus. Le graphe nous fournit la déperdition en MJ par heure par mètre carré de surface de la paroi de température T donnée.

III.2.1.2.2 Pertes de chaleur par purge

La perte de chaleur par purge est la chaleur perdue lors de la purge de la chaudière, cette perte est estimable en connaissant la quantité d'eau purgée et sa température.

La quantité d'eau purgée doit être réduite au minimum nécessaire. Dans le cas où les quantités d'eau purgée sont importantes, il pourrait être intéressant d'envisager de récupérer leur énergie, on pourrait ainsi réaliser des économies d'énergie associées aux purges pouvant atteindre 50%. [9]

➤ Calcul de chaleur perdue

$$Q_p = \dot{m}_p \times (h_{lsp} - h_{le}) \quad (\text{III-5})$$

h_{lsp} : Enthalpie spécifique du liquide purgé.

\dot{m}_p : Débit d'eau purgée.

III.2.1.2.3 Pertes de chaleur par les fumées

La perte de chaleur dans les fumées dépend du coefficient d'excès d'air et fortement de la température de sortie des fumées, cette perte est d'autant plus grande que le coefficient d'excédent d'air et la température des fumées sont plus importants. La température de sortie dépend de divers facteurs constructifs et d'exploitation.

On calcule les pertes de chaleur dans les fumées par la différence entre la chaleur totale contenue dans les produits de combustion à la sortie de la dernière surface de chauffe et la chaleur totale contenue dans l'air froid qui entre dans l'ensemble chaudière.

III.2.2 Application de la méthode indirecte pour l'évaluation du rendement de la chaudière principale

En dépit du fait que la méthode indirecte est moins précise que la méthode directe, nous sommes contraints, étant donné l'impossibilité d'effectuer les mesures nécessaires à l'application de la méthode directe, de recourir à l'estimation des différentes pertes mentionnés ci-dessus pour évaluer le rendement de la chaudière par la méthode indirecte.

III.2.2.1 Estimation des pertes par les fumées

Afin d'évaluer ces pertes, il est nécessaire de connaître la composition des fumées. A défaut d'appréhender par la mesure cette composition (ne disposant d'aucun moyen pour

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

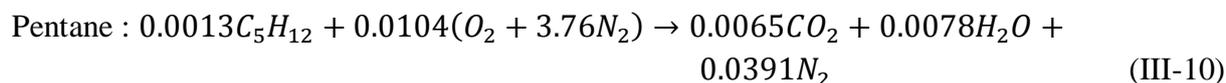
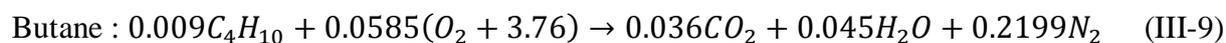
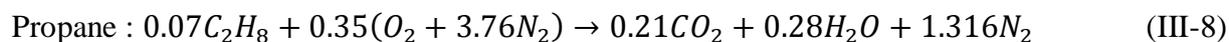
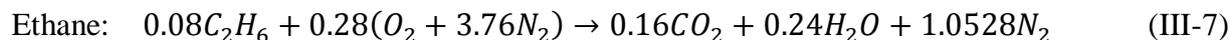
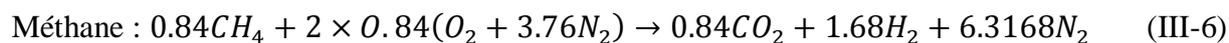
analyser les gaz), nous adoptons une approche par le calcul de cette composition en analysant la combustion du gaz naturel avec un excès d'air de 10% qui est de nature à nous garantir tout juste une combustion complète, donc sans perte par imbrûlés [14].

Pour ce faire, nous allons nous baser sur la composition molaire du gaz naturel donnée au tableau III 1 ci-après.

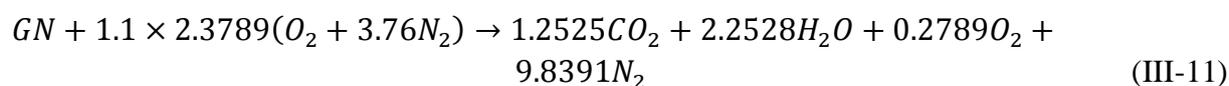
Tableau III.1: Composition du gaz naturel [10]

Espèce chimique	Composition molaire (%)	Masse molaire [kg/kmole]	Pouvoir calorifique inférieur [kJ/kg]
Méthane (CH_4)	84.00	16.043	50010
Ethane (C_2H_6)	8.00	30.07	47484
Propane (C_3H_8)	6.97	44.043	46353
Butane (C_4H_{10})	0.90	58.123	45714
Pentane (C_5H_{12})	0.13	72.151	45351

Les réactions de combustion stœchiométriques pour les différents constituants du gaz naturel sont données ci-dessous pour 1 kilomole de gaz.



La réaction globale s'obtient en sommant les différentes réactions ci-dessus, puis en multipliant le facteur de l'air par 1.1 pour tenir compte des 10% d'excès d'air. On obtient donc :



Nous allons calculer les pertes en faisant comme si le gaz carbonique et l'eau des fumées, sont entrés, comme l'air à une température de 300 K et quittent par la cheminée à 500 K.

Cette dernière valeur est assez représentative de la température mesurée à la cheminée et qui fluctue entre une valeur minimale de 180°C (453 K) et une valeur maximale de 250°C (523 K). Ainsi le CO_2 , le O_2 et le N_2 prendront à la chaudière la chaleur sensible qui les réchauffera de 300 K correspondant à leur température d'entrée supposée jusqu'à 500 K correspondant à la température à laquelle ils sont évacués dans l'atmosphère. Quant à l'eau, elle absorbera d'abord la chaleur latente qui lui permettra de s'évaporer à 300 K puis elle absorbera la chaleur sensible qui la portera à 500 K.

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Ainsi les fumées correspondant à une kilomole de gaz naturel évacueront dans l'atmosphère l'énergie suivante :

$$\bar{q}_f = 1.2525(\Delta h^{500 K} - \Delta h^{300 K})_{CO_2} + 2.2528(\Delta h^{500 K} - \Delta h^{300 K} + h_{fg}^{300 K})_{H_2O} + 0.2789(\Delta h^{500 K} - \Delta h^{300 K})_{O_2} + 9.8391(\Delta h^{500 K} - \Delta h^{300 K})_{N_2}$$

Avec les enthalpies indiquées au tableau III.2 ci-dessous et l'enthalpie de vaporisation de l'eau ($h_{fg}^{300 K}$)_{H₂O} = 2430 kJ/kg, la perte à la cheminée pour une kilomole de gaz naturel sera donc :

$$\bar{q}_f = 183634,6 \text{ kJ/kmole de GN}$$

Tableau III.2 : Extrait des tables donnant les enthalpies des gaz [11]

Substance	$\Delta h^{300 K}$ [kJ/kmole]	$\Delta h^{500 K}$ [kJ/kmole]
CO ₂	67	8314
H ₂ O	63	6920
O ₂	54	6088
N ₂	54	5912

Pour faire intervenir ces pertes dans le bilan et calculer le rendement, il est nécessaire de les ramener à l'énergie correspondante du combustible. On a donc besoin du pouvoir calorifique du combustible qui se calcule à partir de sa composition molaire et des pouvoirs calorifiques de ses constituants, soit :

$$PCI = 0.84 \times 16(50010) + 0.08 \times 30(47484) + 0.07 \times 44(46353) + 0.009 \times 58(45714) + 0.0013 \times 72(45351)$$

$$PCI = 956971 \text{ kJ/kmole de GN}$$

Les pertes par fumées s'expriment à présent aisément en pourcentage du PCI :

$$q_f(\%) = \frac{\bar{q}_f}{PCI} \times 100 = \frac{183634.6}{956971} = 0.192$$

$$q_f(\%) = 19.2\%$$

III.2.2.2 Estimation des pertes par purges

D'après notre enquête auprès des opérateurs, les purges se font manuellement à raison de trois purges par semaine avec une durée moyenne d'une heure et demie pour chaque purge. En temps normal le taux de charge moyen de la pompe alimentaire, évalué à partir du tableau d'observation ci-dessous, est de 0.225 heures d'opération en régime nominal par heure de fonctionnement de l'unité.

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Tableau III.2: Mesure du débit d'eau d'alimentation de la chaudière

Débit de la pompe [m^3/h]	Temps de fonctionnement pendant une heure [h]	Volume d'eau consommée par heure [l/h]
5.8	0.1980	1148.40
5.8	0.2225	1290.50
5.8	0.2608	1512.64
5.8	0.2255	1307.90
5.8	0.2122	1230.76
5.8	0.2314	1342.12

Par ailleurs, nous avons constaté qu'en moyenne la pompe s'arrête et redémarre cinq fois dans l'heure. On pourrait modéliser le profil de charge de la pompe pour chaque cycle de fonctionnement qui dure environ deux 2 minutes et 42 secondes comme représenté à la figure III 3 ci-dessous.

Pour tenir compte des phases de démarrage et d'arrêt, introduisons un facteur de 0.85 pour pondérer le débit nominal de la pompe qui est de $5.8 m^3/h$.

Le débit moyen supposé régulier avec lequel la chaudière sera alimentée en dehors des périodes où les purges sont effectuées sera donc :

$$\dot{m}_e = 0.225 \times 5.8 \times 0.85 = 1.110 m^3/h$$

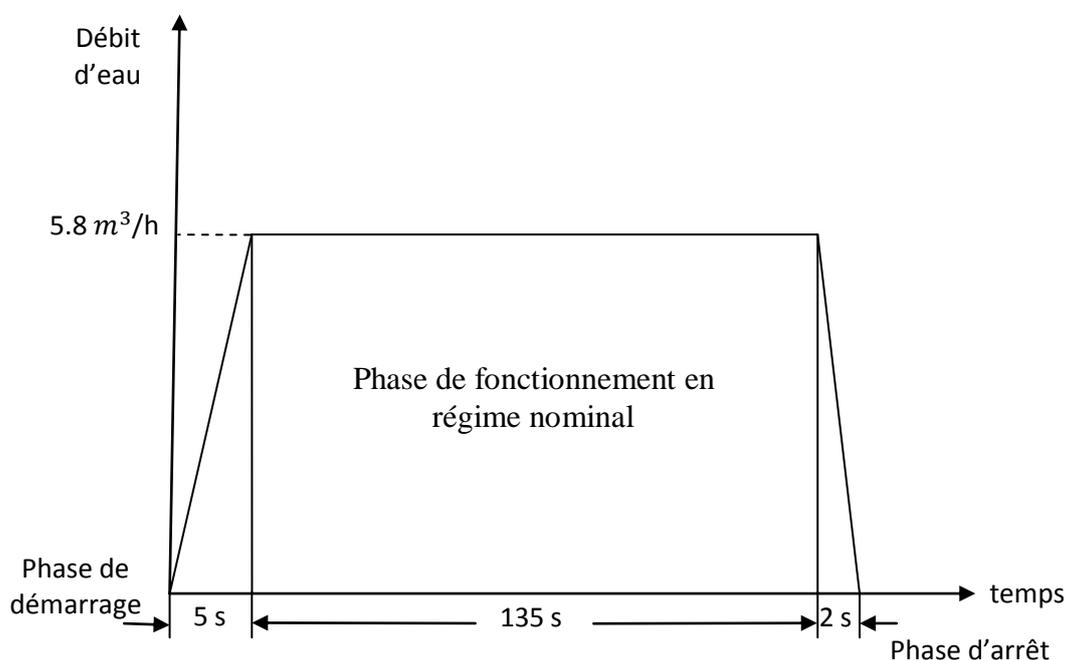


Figure III.3 : Profil de charge d'un cycle de fonctionnement de la pompe

Soit, avec une valeur de $992 kg/m^3$ pour la masse volumique de l'eau à $40^\circ C$, $\dot{m}_e = 1.11 \times 992 = 1100 kg/h$. Ce débit sera supposé le même que celui de la vapeur produite à la sortie de la chaudière.

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

$$\dot{m}_v = \dot{m}_e = 1100 \text{ kg/h}$$

Pendant la purge, la pompe alimentaire fonctionne en régime nominal sans interruption, il serait donc légitime de considérer que pendant les purges le débit qui excède les besoins en vapeur de l'unité correspond au débit purgé. Ce dernier sera par conséquent :

$$\dot{m}_p = (1 - 0.225) \times 5.8 \times 992 = 0.775 \times 5.8 \times 992 = 4459 \text{ kg/h}$$

Soit à chaque purge dont la durée est d'une heure trente minutes:

$$4459 \times 1.5 = 6688.5 \text{ kg}$$

En une semaine qui compte trois purges, la quantité d'eau purgée sera donc de :

$$6688.5 \times 3 = 20065.5 \text{ kg}$$

En un mois, la masse d'eau s'élèvera en moyenne à 80 tonnes. Ramenée à l'heure de production, cette masse donnera un débit horaire moyenné sur un mois :

$$\dot{m}_p = \frac{80000}{24 \times 25} = 133.3 \text{ kg/h}$$

A présent, on peut estimer les pertes d'énergie dues aux purges en considérant que l'eau purgée est saturée sous une pression de 10 bars absolus, elle va donc évacuer l'énergie qu'elle a reçue dans la chaudière et grâce à laquelle elle a été portée d'un état de liquide saturé à 40°C à l'entrée à un état de liquide saturée à 10 bars absolus. On aura donc en appliquant l'équation (III-5) avec : $\dot{m}_p = 133.3 \text{ kg/h}$; $h_{isp} = 762.81 \text{ kJ/kg}$; $h_{ie} = 167 \text{ kJ/kg}$:

$$\dot{q}_p = 133.3 \times (762.81 - 167) = 79421.5 \text{ kJ/kg}$$

Soit, $\dot{q}_p = 79421.5 \text{ kJ/kg}$

III.2.2.3 Estimation des pertes par la coquille (convection et rayonnement)

La chaudière est de forme cylindrique de diamètre extérieur 1.5 m et de longueur 5 m. les températures des surfaces sont mesurées à l'aide d'une sonde ; nous avons pu relever ainsi que la base qui porte le brûleur présente une température quasiment égale à la température ambiante, la perte par cette face peut donc être négligée. Sur la base opposée on a pu relever une valeur de 120°C alors que sur la surface latérale elle a été mesurée à 68°C (voir figure III.4 ci-dessous).

Avec les températures mesurées, le graphe de la figure III.2 donne les pertes suivantes par m² de surface :

- Pour la base : 4.3 (MJ/h)/m²
- Pour la surface latérale : 2.1 (MJ/h)/m²

Ces deux surfaces valant respectivement :

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi 1.5^2}{4} = 1.7617 \text{ m}^2 \quad \text{et} \quad \pi \cdot D \cdot L = \pi \times 1.5 \times 5 = 23.56 \text{ m}^2,$$

Les pertes totales en MJ/h pour chacune de ces surfaces seront :

$$1.7617 \times 4.3 = 7.6 \text{ MJ/h} \quad \text{et} \quad 23.56 \times 2.1 = 49.48 \text{ MJ/h}$$

En sommant ces deux valeurs, on obtient la perte totale par la coquille en kJ/h, soit :

$$\dot{q}_c = (7.60 + 49.48) \times 10^3 = 57080 \text{ kJ/h}$$

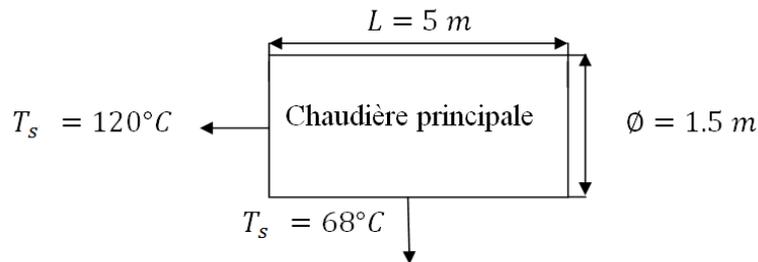


Figure III.4 : Dimensions de la chaudière principale

III.2.2.4 Estimation du débit du gaz naturel et du rendement de la chaudière

Pour évaluer le rendement de la chaudière par la méthode indirecte il reste à convertir les pertes par la coquille et les pertes par les purges en fractions de la chaleur fournie par le combustible qui dépend du débit de ce dernier comme dans l'approche directe. Nous sommes donc en présence d'un problème qui comporte deux équations à deux inconnus ; ces équations étant celles qui donne le rendement par la méthode directe (équation III-1) et celle qui donne ce rendement par la méthode indirecte (équation III-4) et les deux inconnus étant le rendement lui-même et le débit du combustible. Comme le débit du combustible intervient de façon implicite dans les fractions q_c et q_p , ce problème sera résolu par une procédure itérative qui commence par une supposition d'une valeur pour le débit qui permettra de calculer les fractions q_c et q_p puis le rendement par la méthode indirecte, ensuite le calcul du débit par la méthode directe permettra de corriger la valeur supposé et la reprise de la procédure qui sera exécutée ainsi jusqu'à la convergence selon l'algorithme suivant :

- Données : \dot{m}_v ; h_{vs} ; h_{le} ; PCI ; q_f ; q_{nc} ; \dot{q}_c ; \dot{q}_p
- Choix d'une valeur pour le débit de GN : \dot{m}_c
- Calcul de $q_c = \frac{\dot{q}_c}{\dot{m}_c \times PCI}$
- Calcul de $q_p = \frac{\dot{q}_p}{\dot{m}_c \times PCI}$
- Calcul du rendement par la méthode indirecte équation (III-4)
- Calcul du débit du gaz naturel par la méthode directe équation (III-1)
- Comparaison des deux valeurs du débit
- Refaire les calculs avec la nouvelle valeur du débit tant que la comparaison donne des valeurs différentes à la précision près
- Afficher les résultats

Le calcul a été effectué à l'aide du logiciel MATLAB et voici les résultats obtenus :

$$\dot{m}_c = 76.4 \text{ kg/h} ; q_p = 0.0215 ; q_c = 0.0151 ; \eta = 0.76692 = 76.92 \%$$

III.3 Les réseaux de tuyauterie de vapeur et de condensat

Dans les réseaux vapeur, les purgeurs de vapeur peuvent tomber en panne en moyenne jusqu'à 25 % du temps. Les fuites de vapeur des raccords de tuyaux, des robinets et des purgeurs peuvent provoquer des pertes d'énergie importantes. De plus, l'eau qui fuit doit être remplacée, traitée chimiquement et chauffée. Il s'agit là de conséquences moins évidentes, mais pourtant coûteuses. Les réseaux de vapeur peuvent également être sujets à ce problème.

Le simple fait de réparer un raccord de tuyau de vapeur qui fuit contribue à protéger l'environnement et permet de faire des économies. Il faut procéder régulièrement à la vérification des réseaux de tuyauterie de vapeur et de condensat. Une quantité importante d'énergie est gaspillée par les fuites de vapeur, les purgeurs de vapeur défectueux et les tuyaux mal isolés.

On peut identifier trois types de pertes d'énergie sur un réseau de tuyauteries :

- Pertes de chaleur
- Pertes de fluide (vapeur)
- Pertes de charge

III.3.1 Pertes de chaleur

La tuyauterie de vapeur est modélisée par un cylindre creux multicouche traversé dans la direction radiale par un flux de chaleur stationnaire, problème pour lequel on ne connaît que les températures des fluides en contact avec les surfaces interne et externe du cylindre (voir figure III.5)

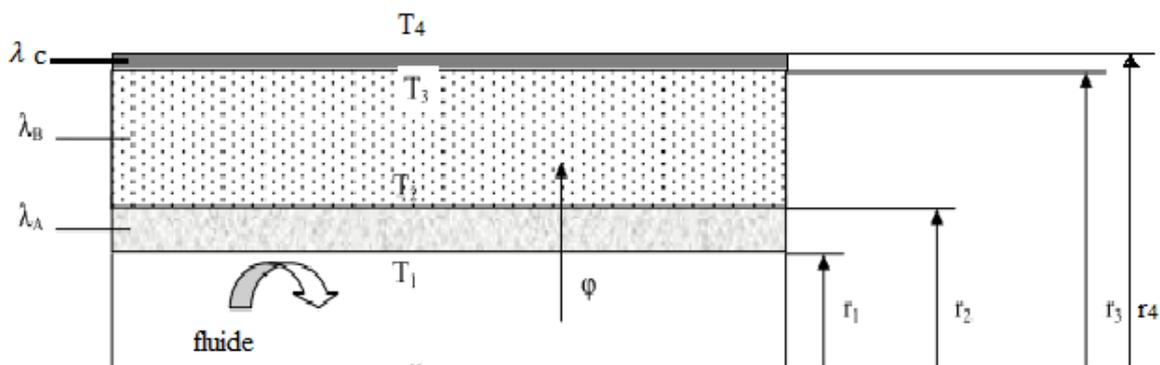


Figure III.5: Schéma de transfert dans un cylindre creux multicouche

III.3.1.1 Isolation thermique de la tuyauterie

La sélection et la conception d'un système d'isolation adéquat pour une installation technique sont essentielles afin de garantir le fonctionnement efficace, la sécurité, la durabilité et les performances environnementales de l'installation. L'augmentation des coûts énergétiques n'est pas prise en compte lors de la conception d'un système d'isolation.

III.3.1.1.1 Critères de sélection d'un système d'isolation

Les critères suivants doivent être pris en compte pour la sélection d'un système d'isolation approprié :

- Exigences fonctionnelles
- Sécurité
- Optimisation des coûts
- Protection de l'environnement
- Protection anticorrosion

III.3.1.1.2 Epaisseur optimale de l'isolant

Une épaisseur optimale d'isolation permet de prendre en compte les enjeux liés à l'augmentation des coûts énergétiques. De plus l'investissement est généralement amorti en quelques années après l'installation. Les adaptations ultérieures telles qu'une augmentation des épaisseurs d'isolation sont souvent impossibles par manque d'espace et constituent un investissement additionnel conséquent. Un système d'isolation correctement dimensionné dès la conception contribue de manière efficace à l'économie d'énergie et à la protection de l'environnement. Si le respect de l'environnement et la rentabilité ont longtemps été considérés comme contradictoires, ils sont aujourd'hui complémentaires et indissociables d'une gestion optimale.

D'une façon générale, l'épaisseur d'isolation économique est considérée comme étant celle pour laquelle la somme des coûts d'isolation et des coûts entraînés par les déperditions calorifiques est la plus faible. Le graphique ci-dessous fournit une représentation qualitative de ce calcul de coût.

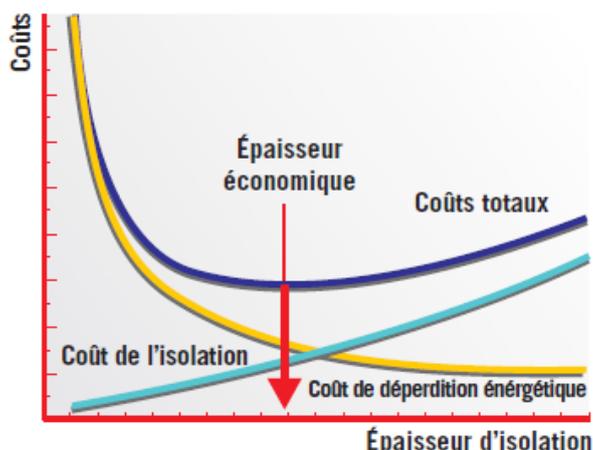


Figure III.6 : Représentation graphique de l'épaisseur d'isolation économique [5]

Les coûts d'isolation comportent les coûts des matériaux, de main-d'œuvre et de maintenance ainsi que les frais financiers. Les coûts entraînés par les déperditions thermiques sont calculés sur la base du prix de l'énergie, du taux de ces déperditions et du temps de service annuel de l'installation. Le prix de l'énergie ne doit pas être basé sur le prix actuel, il doit prendre en considération une tendance à la hausse des prix de l'énergie.

Afin d'évaluer l'épaisseur économique de l'isolant, il est nécessaire de connaître son coût. A défaut d'appréhender ce coût par les données requises sur place, nous adoptons une approche par comparaison graphique.

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Pour que l'isolation puisse être conforme aux normes de sécurité, elle doit maintenir la température de la surface externe de la tuyauterie aussi proche que possible de la température ambiante. Nous allons, dans un premier cas qu'on prendra comme référence, fixer une valeur minimale de 40°C pour la surface extérieure et calculer le flux de chaleur φ_i pour différentes valeurs de l'épaisseur d'isolation, ensuite la courbe d'évolution des pertes en fonction de l'épaisseur sera tracée et comparée à celle de la figure III.6 ci-dessus.

Les calculs seront exécutés par application de l'équation III.12 ci-dessous qui exprime la perte en Watt par mètre de tube en fonction des différentes résistances thermiques traversées entre l'intérieur du tube où se trouve la vapeur et le milieu ambiant.

$$\varphi = \frac{T_1 - T_a}{\frac{1}{2\pi r_1 h_v} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda_A L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \lambda_B L} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi \lambda_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 h_a}} \quad (\text{III-12})$$

Les données pour l'application de l'équation (III.12) sont portées au tableau III.4 ci-dessous et correspondent à la tuyauterie qui relie la chaudière principale au collecteur de vapeur. Le coefficient de convection naturelle du côté air est évalué à une température de surface fixée à 40°C [14], pour une température ambiante de 25°C à l'aide de la corrélation de GRASHOF [12] :

$$h_a = 1.32 \left(\frac{T_4 - T_a}{D_4} \right)^{0.25} \quad (\text{III-13})$$

Le coefficient de convection forcée du côté vapeur est calculé à l'aide de la corrélation de Dittus-Boelter [13] :

$$Nu_D = \frac{h_v D_1}{\lambda_v} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (\text{III.14})$$

Avec pour la vapeur saturée à 10 bars absolus [13] : $Pr = 1.14$; $\lambda_v = 31.1 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$; $\mu_v = 14.85 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^{-1}\text{s}^{-1}$;

Le nombre de Reynolds sera calculé à partir du débit total de vapeur qui transite en entier par la conduite qui relie le collecteur à la chaudière principale :

$$Re_D = \frac{\rho_v V_v D_1}{\mu_v} = \frac{4 \dot{m}_v}{\pi D_1 \mu_v}$$

Tableau III.4 : Données pour le tracé de la courbe de la figure III.6

r_1 [m]	r_2 [m]	r_3 [m]	r_4 [m]	T_1 [°C]	T_a [°C]
Rayon intérieur du tube	Rayon extérieur du tube	Rayon externe de la couche d'isolant	Rayon externe de la protection en inox	Température de la vapeur	Température ambiante
0.05	0.055	$r_2 + x$	$r_3 + 0.002$	175	25
λ_a [W/m.°C]	λ_b [W/m.°C]	λ_c [W/m.°C]	h_a [W/m ² .°C]	h_v [W/m ² .°C]	
Coefficient de conduction de l'acier doux [13]	Coefficient de conduction de la laine de verre [14]	Coefficient de conduction de l'acier inox [13]	Coefficient de convection naturelle air-cylindre horizontal [12]	Coefficient de convection forcée vapeur saturée en écoulement dans un cylindre [13]	
45	0.0445	14.9	3.659	160,84	

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Les résultats des calculs sont présentés graphiquement par la courbe de la figure III.7 ci-dessous.

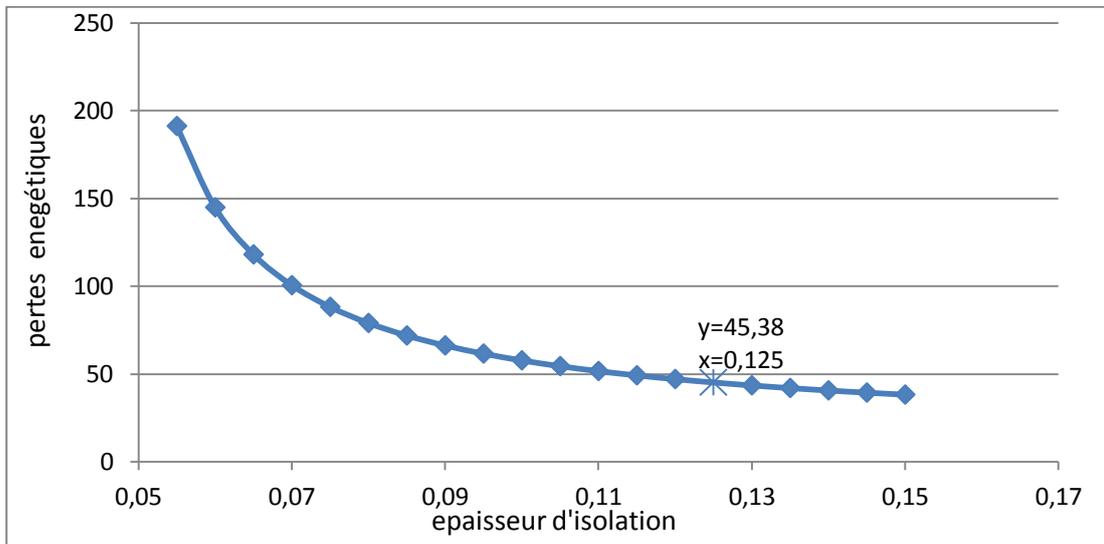


Figure III.7 : Evolution de la perte de chaleur par rapport à l'épaisseur d'isolation pour la tuyauterie principale

Le point marqué par une étoile sur le graphe correspond à l'épaisseur d'isolation utilisée sur les conduites de vapeur d'ABC PEPSI. Notons que si l'on réduisait de 10 mm l'épaisseur de l'isolant, les pertes de chaleur augmenteraient seulement de 4 W/m, donc on remarque clairement que cette épaisseur de 70 mm n'est pas l'épaisseur d'isolation économique.

Remarque : Par comparaison générale des courbes d'évolution des pertes en fonction de l'épaisseur de l'isolant des figures III.6 et III.7, nous pouvons constater que la couche d'isolant utilisée sur la tuyauterie du réseau PEPSI, définie par la position de l'étoile sur le graphe de la figure III.7, est surdimensionnée par rapport à l'épaisseur économique dont la position se trouve largement plus à gauche sur le graphe de la figure III.5. Ceci semble quelque peu étonnant étant donné le prix avantageux de l'énergie pour les industriels algériens.

III.3.1.1.3 Pertes de chaleur dues à la dégradation de l'isolation

A présent, nous allons considérer l'isolation avec son épaisseur actuelle, soit 70 mm de laine de verre pour la conduite principale, et à l'aide de mesures de températures prises, grâce à une sonde, à différents points de la surface de la tuyauterie, nous procéderons à l'évaluation de la perte en appliquant l'équation de Newton (III.15) qui exprime le flux de chaleur dissipé dans l'air en fonction de la différence de température entre la surface (température mesurée) et le milieu ambiant (supposée à 25°C comme précédemment).

$$\varphi = h_a(2\pi r_e)(T_4 - T_a) \quad (\text{III-15})$$

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Ensuite, le flux de chaleur étant maintenant connu, nous utiliserons l'équation (III.16) qui n'est autre que l'équation (III.12) sans les résistances convectives, pour évaluer le coefficient de conductivité thermique actuel de l'isolant. Dans cette évaluation nous avons négligé la résistance convective du côté vapeur et nous avons considéré que la température de la paroi intérieure de la conduite est égale à celle de la vapeur. La valeur calculée de la conductivité de la laine de verre nous renseignera sur son état de dégradation.

$$\varphi = \frac{T_1 - T_4}{\frac{r_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{r_3}{\ln \frac{r_3}{r_2}} + \frac{r_4}{\ln \frac{r_4}{r_3}} + \frac{1}{2\pi\lambda_A L} + \frac{1}{2\pi\lambda_B L} + \frac{1}{2\pi\lambda_C L}} \quad (\text{III-16})$$

Tableau III.5 : Perte de chaleur due à la dégradation de l'isolant de la tuyauterie de vapeur

Ligne de vapeur	Température de la surface externe (T ₄) [°C]	Le coefficient de convection de l'air h [w/m ² . °C]	Le flux de chaleur perdue φ[w/m]	Coefficient de conductivité thermique de la laine de verre λ [w/m. °C]	Le flux de chaleur perdu à T ₄ =40°C φ[w/m]	La perte de chaleur due à la dégradation de l'isolant φ[w/m]
Entre la chaudière et le distributeur φ = 100mm, e=70mm L=m	51.4	4.215	88.794	0.094	45.38	43.414
RB 60 vers la laveuse n°01 φ = 80mm, e=50mm L= 47.5m	48.8	4.404	63.229	0.061	46.972	16.256
RB 30 vers la laveuse n°02 φ = 100mm e=70mm L=73m	60.3	4.532	127.664	0.1455	45.38	82.284
Siroperie n°01 φ = 80mm e=50mm L=150m	61.4	4.898	107.546	0.1144	46.972	60.573
Siroperie n°02 φ = 80mm e=50mm L=103.5m	50.8	4.494	69.939	0.068	46.972	22.966

III.4 Pertes par Fuites de vapeur

Les fuites de vapeur aux raccords des tuyaux, aux valves, aux robinets et aux purgeurs peuvent entraîner des pertes d'énergie considérables. En outre, il faut remplacer l'eau qui fuit du réseau et la traiter au moyen de produits chimiques. Les fuites de vapeur constituent un vrai fléau énergétique. Un trou de 2 mm² qui laisse s'échapper une vapeur sous 10 bars de pression occasionne une perte de 8 kW [15].

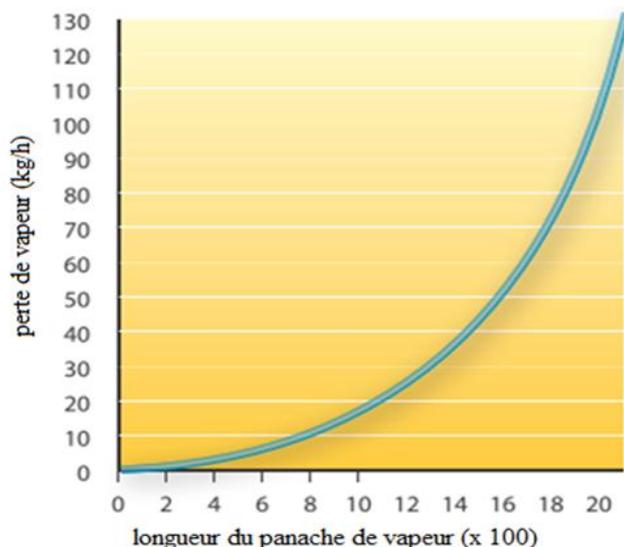


Figure III.8: Perte de vapeur attribuable à une fuite, selon la longueur du panache [15]

On peut avoir une idée des pertes par fuites de vapeur simplement en mesurant la longueur du panache, soit la distance approximative entre la source de fuite et le point où la vapeur se condense en eau. Le graphe de la figure III.8 ci-dessus donne le débit de fuite de vapeur en fonction de la longueur du panache.

Nous avons procédé à un recensement des fuites au niveau de l'ensemble du réseau de l'unité et nous avons, pour chaque fuite, mesurée à l'aide d'un réglet la longueur du panache ; ensuite nous avons utilisé le graphe ci-dessus pour estimer les débits des différentes fuites de vapeur. Les résultats sont portés au tableau III.6 ci-dessous.

Tableau III.6: Estimation des débits des fuites de vapeur dans le réseau PEPSI

Longueur du panache [m]	Longueur du panache [mm/100]	Perte de vapeur [Kg/h]
0.95	9.5	14
0.92	9.2	13.4
0.90	9.0	12
0.88	8.8	11.6
0.53	5.3	8
0.36	3.6	3
0.20	2.0	2.5
0.17	1.7	2
0.15	1.5	1.7
0.13	1.3	1.4
0.11	1.1	1.0
0.10	1.0	0.9
0.08	0.8	0.8
Débit total des fuites		72.3

III.5 Pertes par les différents appareils montés sur la tuyauterie

III.5.1 Perte dans les vannes

Les vannes, brides et raccords sont une source fréquente de perte d'énergie. Les fabricants expriment souvent ces pertes en « longueur équivalente » de tuyauterie.

La figure III.9 illustre la vue par thermographie infrarouge de vannes non calorifugées par rapport à des vannes calorifugées montées sur un collecteur de vapeur. De toute évidence, les vannes non calorifugées, en affichant à la surface des températures relativement élevées, sont le siège de pertes importantes. D'une façon générale, il est toujours plus économique de calorifuger une vanne que de la laisser dénudée. Or, il nous a été donné de constater qu'au niveau de PEPSI Rouiba, toutes les vannes sont dénudées.

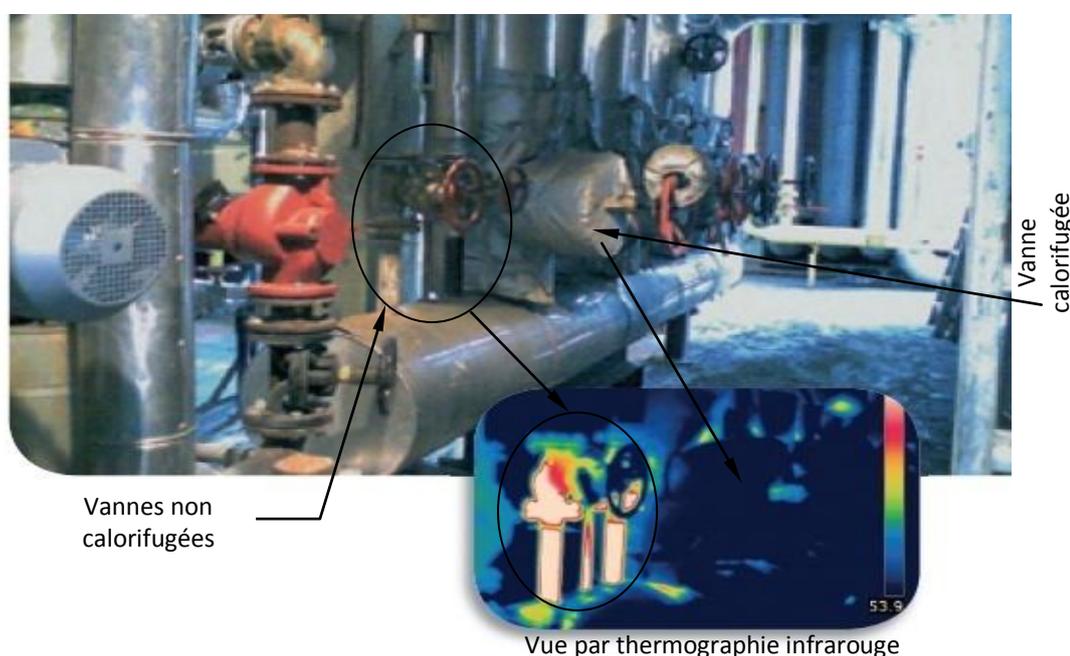


Figure III.9: Inspection des vannes par thermographie infrarouge [15]

Le tableau III.9 ci-dessous compare, dans le cas de vannes de différentes dimensions, les pertes de chaleur correspondant aux cas avec et sans calorifuge, il donne également l'économie d'énergie que permet de réaliser le calorifugeage de la vanne.

Tableau III.7 : Pertes thermiques de vannes calorifuges et non calorifugées pour une vapeur sous une pression autour de 10 bars [15]

Pertes thermiques des vannes				
Diamètre intérieur (pouces)	Diamètre extérieur (mm)	Vanne non isolée (W/m ²)	Vanne isolée (W/m ²)	Economie (W/m ²)
½	21	48	17	31
1	33	88	31	57
1 ½	48	124	43	81
2	60	158	55	103
3	89	226	79	147
4	114	292	102	190
5	140	358	125	233
6	169	420	147	273

Source : Rockwool

En tenant compte du fait que les vannes du réseau PEPSI Rouiba sont toutes non calorifugées, le tableau ci-dessus nous permet de dresser le tableau III.8 où les pertes sont indiquées pour toutes les vannes recensées :

Tableau III.8 : Pertes de chaleur attribuables aux vannes du réseau vapeur PEPSI Rouiba

Appareil	Nombre	Diamètre [mm]	Perte unitaire [kJ/h]	Perte totale [kJ/h]
Vanne	5	100	684.00	3420
Vanne	5	80	576.50	2822.4
Vanne	2	65	482.05	964.08
Vanne	1	60	444.96	444.96
Vanne	2	40	311.44	622.88
Vanne	2	32	226.65	525.31
Vanne	4	25	228.00	912
			Pertes totales [kJ/h]	9711.63

III.5.2 Pertes attribuables aux purgeurs de vapeur

Les purgeurs sont des éléments clés dans un réseau vapeur-condensat efficace. Toutefois, un purgeur défectueux, difficile à détecter, est une source de perte majeure. Plusieurs causes peuvent être l'origine de ces pertes :

- Le purgeur reste en position ouverte et laisse s'échapper la vapeur ;
- Le type ou la grosseur du purgeur ne convient pas ;
- Le purgeur est installé au mauvais endroit ;
- La méthode employée pour installer le purgeur n'est pas adéquate.

Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Dans le cas où les purgeurs sont directement reliés au retour de condensat, les auditeurs estiment “par expérience” à 10% leur taux de défaillance dans chaque installation de vapeur [15]. La défaillance d’un purgeur peut également être notée lors d’un contrôle visuel de routine.

C’est ainsi que nous avons noté qu’à la sortie de deux échangeurs de la partie siroperie, il y a deux purgeurs, identiques, montés l’un à l’inverse de l’autre, ce qui, de toute évidence, signifie que l’un d’eux ne pourrait pas remplir sa fonction. L’ensemble du réseau contient quatorze purgeurs, nous pouvons donc en nous fiant à la règle empirique des auditeurs, supposer une défaillance de plus, ce qui nous fait deux purgeurs défaillants, dont les caractéristiques sont données au tableau III.8 ci-après, sur les quatorze existants.

La figure III.10 ci-dessous nous donne directement la perte de vapeur exprimée en kilogramme par heure en fonction de la dimension du purgeur et de la pression. Le tableau III.8 comprend également les pertes occasionnées par nos deux purgeurs défaillants, déterminées à partir de l’abaque III.10.

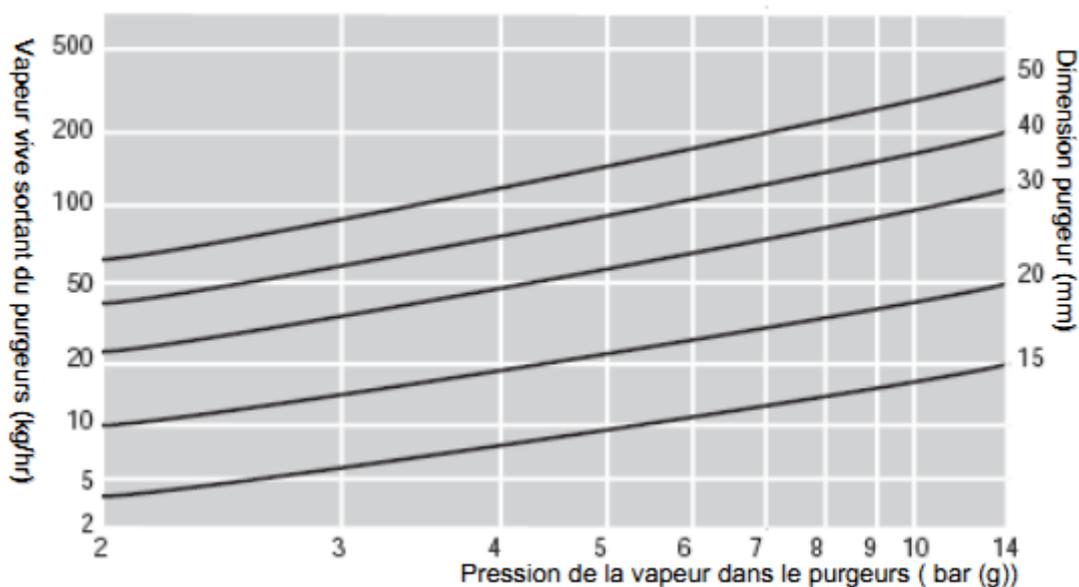


Figure III.10: Perte de vapeur à travers des purgeurs défaillants [16]

Tableau III.9 : Pertes de vapeur dues aux purgeurs défaillants

Purgeur	Pression de fonctionnement [bar]	Dimension [mm]	Perte de vapeur [kg/h]	Pertes totales [kg/h]
I	5	15	10	52
II	8	20	42	

III.6 Postes utilisant la vapeur

Les équipements utilisateurs de la vapeur se trouvent dans la siroperie et dans les laveuses. Ces équipements pourraient essentiellement être modélisés par des échangeurs de chaleur de type à surface où la vapeur sert simplement de fluide caloporteur.

Il est bien connu en thermique qu'il existe deux approches principales pour étudier les échangeurs :

Une approche pour dimensionner les échangeurs, les débits des fluides chaud et froid ainsi que leurs température sont connus aux entrées et aux sorties, il s'agira alors essentiellement de déterminer la surface d'échange requise, la méthode généralement attribuée dans ce cas est celle de la différence de température moyenne logarithmique, car elle permet d'effectuer un calcul direct étant donné que les températures sont connues.

Une autre approche pour évaluer la performance de l'échangeur, dans ce cas ce dernier existe et est en opération, on connaît les conditions des fluides aux entrées, mais on ne connaît pas les conditions aux sorties qui dépendent justement de sa performance actuelle que nous voulons déterminer. La méthode utilisée dans ce cas est celle dite du nombre d'unités de transfert "NUT".

Malheureusement, en ce qui nous concerne, au niveau de PEPSI il nous a été impossible de recueillir des informations utiles à une telle évaluation comme par exemple les quantités de vapeur consommées au niveau de chaque appareil ainsi que les débits des fluides traités qui transitent par ces appareils.

III.7 Récupération du condensat

Après utilisation de la vapeur, le condensat qui en résulte doit être évacué loin de l'équipement terminal pour lui permettre de remplir correctement sa fonction. Trois possibilités peuvent se présenter pour le condensat :

- le condensat peut être absorbé dans le procédé et quitter le circuit vapeur ;
- le condensat peut être simplement gaspillé et évacué avec les eaux usées ;
- le condensat peut être récupéré et recyclé en empruntant un réseau dit de retour de condensat qui le ramène vers la chaudière comme une eau d'alimentation.

La figure ci-dessous illustre la disposition des différents éléments constitutifs d'un réseau type vapeur-condensat.

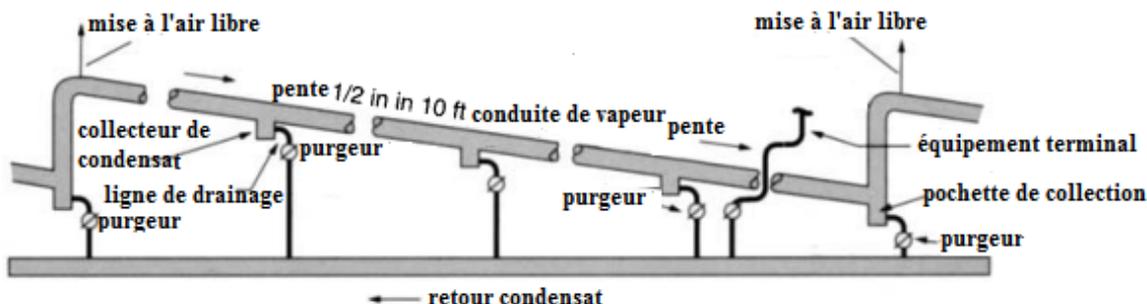


Figure III.11 : Composants d'une canalisation vapeur-condensat

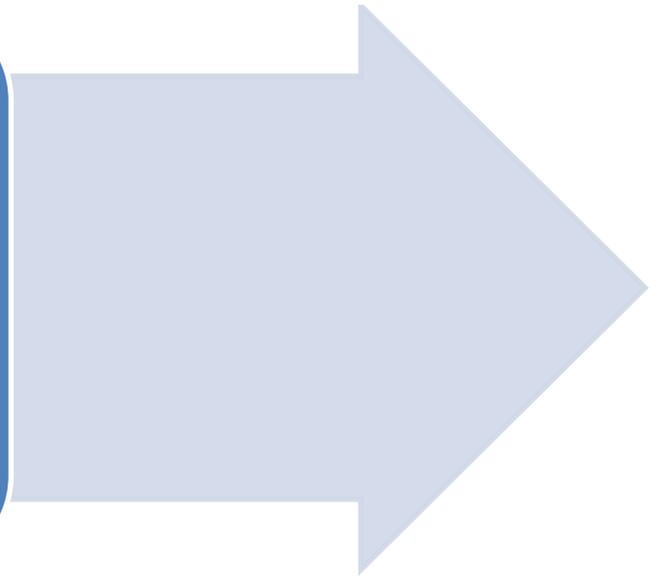
Chapitre III : Inspection des équipements et diagnostic

Les installations PEPSI sont toutes dotées d'un réseau prévu pour ramener le condensat vers les chaudières, d'autant plus que ce dernier ne subit aucune contamination au cours de l'utilisation, puisqu'il n'entre en contact avec aucun contaminant possible, mais seul le condensat de la siroperie est actuellement recyclé, celui des laveuses étant évacué vers l'égout. La raison qui nous a été donnée au niveau de l'unité est que les pompes de condensat tombaient très souvent en panne et leur maintenance et réparation coûtent assez cher pour qu'on ait préféré plutôt renoncer au recyclage du condensat.

III.8 Conclusion

Le travail abordé dans ce chapitre consiste dans un premier temps en l'inspection et le diagnostic de la chaudière principale, après quoi nous avons évalué les différentes pertes existantes à travers le réseau vapeur (tuyauterie et ses accessoires), Finalement nous avons tenté d'étudier les appareils consommateurs sans y arriver car nous ne disposions pas d'assez d'informations et de matériels nécessaires.

Chapitre IV:
Analyse des résultats
du diagnostic et
proposition de mesures
pour économiser
l'énergie



Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

IV.1 Introduction

Au cours du chapitre précédent, nous avons abouti à certains constats concernant le fonctionnement des chaudières et la tuyauterie de distribution de vapeur. Dans ce chapitre, ces constats seront analysés et quelques mesures corrigeant certaines anomalies et permettant de réaliser des économies d'énergie seront proposées.

IV.2 Amélioration des performances et de l'exploitation des chaudières

Dans La division " utilités" de l'unité de production, c'est l'appareillage de chaufferie qui constitue le consommateur principal d'énergie.

Dans la chaufferie, notre analyse à été concentrée sur la chaudière principale qui est la seule à fonctionner en permanence. Etant donné l'insuffisance des informations recueillies aussi bien par la mesure et l'investigation, nous avons procédé à l'évaluation du rendement de la chaudière en combinant l'approche directe et l'approche indirecte et en complétant les données nécessaires à cette évaluation par des hypothèses conformes au mode d'exploitation des équipements.

Comparativement au niveau des rendements du type de chaudières utilisés à l'unité, soit des chaudières à tubes de fumée de capacité moyenne qui tourne autour de 92 à 94 % ; le rendement calculé qui vaut seulement 76 % est un indicateur d'un fonctionnement inefficace de la chaudière. L'analyse des pertes montre que les pertes par les fumées sont de loin les plus importantes ; elles s'élèvent en effet à 19 % alors que pour une chaudière dont l'efficacité est jugée satisfaisante elles devraient se situer entre 4 et 5 % seulement. Et pourtant, dans notre évaluation nous avons considéré seulement 10 % d'excès d'air ce qui est tout juste suffisant afin de garantir une combustion complète sans imbrûlés. Ce choix ne peut donc pas être exagéré au point de justifier ce niveau de perte. En revanche, la température des fumées elle semble exagérément élevée par rapport à ce qu'elle devrait être et cette température est une moyenne des températures mesurées au niveau de la chaudière, elle justifie donc parfaitement l'importance des pertes. Cette élévation de la température des fumées est, selon toute vraisemblance, imputable à l'encrassement des surfaces d'échange. En effet, notre enquête auprès du personnel exploitant concernant le protocole de maintenance appliqué aux chaudières n'a pas donné lieu à un résultat concluant. Les réponses sont toujours mitigées, on procède au décrassage des surfaces d'échange mais pas de façon régulière, de temps en temps, personne n'a été capable de nous dire si le décrassage se fait toutes les semaines, tous les mois ou une fois tous les trois mois. La seule chose sur laquelle on reçu une réponse tranchée c'est le réglage des brûleurs par un prestataire extérieur à qui on fait appel quand on remarque un changement de la couleur de la flamme. Si l'on peut donc admettre que les brûleurs sont toujours bien réglés, il restera l'encrassement des surfaces d'échange pour expliquer la montée de la température des fumées.

En ce qui concerne les purges, la méthode employée n'est pas adéquate. Nous rappelons ici que les purges se font trois fois par semaine et chaque fois pendant une heure trente minutes en moyenne. Nous avons estimé le volume d'eau purgé à chaque opération et nous l'avons trouvé égale à 6742.5 litres, soit environs 1.5 fois la capacité de la chaudière qui vaut 4545

Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

litres. Ainsi, à chaque purge la chaudière est quasiment vidée deux fois en une heure trente minutes. Tout d'abord, cette façon de procéder expose la chaudière à des contraintes thermiques exagérées et il n'est pas sur que pendant les purges elle continue de produire de la vapeur avec les caractéristiques requises ; d'ailleurs on a remarqué que la chaudière d'appoint fonctionne à plein régime à chaque fois que la chaudière principale est en purge. En outre, le fait d'espacer ainsi les purges laisse le temps aux dépôts de durcir sur les surfaces et la vidange complète de la chaudière ne garantit en rien l'efficacité des purges. D'ailleurs, le constructeur préconise soit une purge quotidienne d'une demi-heure, de préférence au moment où la demande est la plus faible, soit encore deux purges d'un quart d'heure chacune tous les jours. Il est clair qu'une telle procédure présente tous les avantages par rapport à la pratique actuelle en matière de purge au niveau de l'unité, mais là encore personne n'a pu nous donner une explication rationnelle sur cette façon de d'aller à l'encontre des recommandations du constructeur.

Même si les pertes par la coquille que nous avons évaluées à 1.5 % paraissent insignifiantes, elles sont néanmoins relativement élevées par rapport à celles d'une coquille bien protégée qui n'excèdent guère 1 %. Nous avons remarqué qu'à certains endroits les tôles sont déformées et laissent circuler l'air à travers les joints vers la laine de roche qui isole la chaudière du milieu ambiant. L'humidité parvient ainsi jusqu'au matériau isolant et dégrade graduellement sa capacité d'isolation.

IV.2.1 Recommandations pour améliorer l'efficacité de la chaudière

A la lumière des constats et de l'analyse des coûts des pertes ci-dessus, nous recommandons de :

- 1- Redresser les tôles et les assembler de façon à empêcher l'air ambiant et l'humidité de parvenir jusqu'au matériau isolant. Notons que cette mesure ne coûte quasiment rien du tout, il suffit de se décider à ne rien négliger ;
- 2- Procéder régulièrement au nettoyage des tubes et à leur décrassage et détartrage en suivant strictement les recommandations du constructeur ;
- 3- Revenir à la procédure préconisée par le constructeur pour purger la chaudière.
- 4- Si les gaz de combustion renferment un trop grand excès d'air, un technicien qualifié en brûleurs devrait ajuster le brûleur et les registres d'air comburant pour réduire le niveau d'excès d'air par rapport à la plage de fonctionnement de la chaudière. La chaudière devrait fonctionner dans la « Zone d'efficacité maximale de combustion » (voir la figure IV.1). On doit se rappeler également qu'en plus de limiter l'excès d'air comburant dans le brûleur, il est tout aussi important de prévenir l'infiltration (admission) d'air indésirable dans la chambre de combustion de la chaudière ou le conduit de fumée en colmatant les fuites et en couvrant les fenêtres d'observation, les garnitures défectueuses et les autres ouvertures.

Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

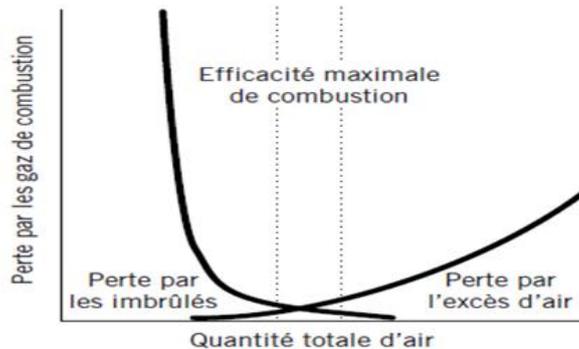


Figure IV.1: Zone d'efficacité maximale de combustion [14]

Toutes ces mesures ne doivent pas coûter grand-chose, aucun investissement supplémentaire, il y a juste le coût des produits d'entretien et l'obligation pour le personnel à se conformer à une discipline stricte dans l'application des programmes d'entretien d'intervention pour la maintenance et la purge de la chaudière.

IV.2.2 Méthodes de récupération de chaleur

Si après avoir appliqué toutes les mesures proposées ci-dessus, la température des fumées reste encore relativement élevée, il y a encore la possibilité de récupérer la chaleur des fumées. En utilisant un équipement qui détourne l'énergie thermique des gaz de combustion vers les autres éléments de l'appareillage de chaufferie, on peut réduire considérablement la perte de chaleur par les gaz de combustion. Ainsi, les échangeurs de chaleur appelés « économiseurs » transfèrent la chaleur de ces gaz à l'eau d'alimentation de la chaudière et les préchauffeurs utilisent l'énergie des gaz de combustion chauds pour chauffer l'air comburant.

Un moyen particulièrement écoénergétique de récupérer la chaleur consiste à avoir recours à un condenseur de gaz de combustion à contact direct, qui pulvérise de l'eau dans les gaz de combustion et fait passer l'eau chaude reconstituée à partir des gouttelettes par un échangeur de manière à transférer la chaleur à l'eau d'appoint de la chaudière. Les condenseurs de gaz de combustion récupèrent la chaleur latente de condensation et une bonne partie de la chaleur sensible de la vapeur d'eau contenue dans les fumées; ils peuvent ramener à 40°C la température des gaz de combustion. Une réduction de 20 °C de la température des gaz de combustion produira une amélioration de 1% du rendement de la chaudière. [14]

La température de l'eau d'alimentation pourra ainsi être remontée à 80°C comme recommandé par le constructeur au lieu de 40°C actuellement. La température des fumées étant de 230°C, en utilisant un condenseur de fumées à contact direct, conduirait donc à une baisse de température de l'ordre de 180°C ce qui est équivalent à un gain de rendement de 9 %.

Actuellement le rendement de la chaudière a été évalué à 76.92 %, la chaudière consomme 76.4 kg de GN par heure. Si la chaudière est dotée d'un condenseur de fumées qui ramènerait la température des gaz à 50°C, le rendement sera amélioré de 9 % et permettra d'économiser 8.2 kg de GN par heure de fonctionnement. La chaudière fonctionne 7200 heures par année, en se basant sur un coût du combustible de 21 DA/m³ (d'après la facture

Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

SONELGAZ du mois de mai 2012) et en rappelant la masse volumique du GN calculée au chapitre III, soit 1.073 kg/m^3 , on pourrait estimer l'économie annuelle en DA comme suit :

$$\text{Economie annuelle} = \frac{8.2}{1.073} \times 7200 \times 21 = 1\,123\,393 \text{ DA}$$

Le coût de l'équipement de récupération comprenant le condenseur de fumées, l'échangeur de chaleur et le réseau de tuyauterie peut être estimé à 1500 000 DA [17]. On peut ainsi obtenir une estimation de la période de retour sur investissement de la mesure proposée :

$$\text{Période de rentabilité} = \frac{\text{Coût de l'équipement}}{\text{Economie annuelle}} = \frac{1500000}{1123393} = 1.335 \text{ an}$$

La période de la rentabilité de cet investissement serait donc d'un an et quatre mois.

IV.2.3 Discussion sur l'exploitation des chaudières

La chaufferie dispose d'une capacité de production de vapeur sécurisé (3000 + 2550) soit 5250 kg/h alors qu'apparemment les besoins actuels en vapeur s'élèvent en moyenne à seulement environ de 2000 kg/h, si l'on tient compte de l'apport de la chaudière d'appoint qui n'est utilisée que très partiellement. Ce constat soulève une question légitime : la chaufferie n'est elle pas dimensionnée pour satisfaire les besoins d'une production qui ferait le double de l'actuelle ? En effet, n'est il pas possible qu'en installant la chaufferie, on pensait déjà à doubler la capacité de production de l'usine dans l'avenir ?

Pour nous cette question est restée sans réponse. En tout cas, le mode d'exploitation actuel des chaudières serait plus efficace si la chaudière principale opérait effectivement à plein régime pour un débit proche de son débit nominal qui est de 3000 kg/h.

Avec la capacité de production actuelle, l'une des deux chaudières de 2550 kg/h sera suffisante et il aurait fallu utiliser une chaudière d'appoint de plus faible capacité, car il est bien connu qu'aux régimes fortement réduits les rendements deviendront très mauvais.

IV.3 Réseau vapeur

C'est aux purgeurs ainsi qu'aux fuites de vapeur au niveau des raccords des tuyaux, que sont attribuables les pertes les plus importantes

IV.3.1 Fuite de vapeur dans tout le réseau en dehors des purgeurs défectueux

Une quantité importante d'énergie est gaspillée par les fuites de vapeur sur le réseau de tuyauterie. Pour conserver cette énergie et réduire les coûts il faut simplement mettre en œuvre un programme d'entretien et réparer ces fuites.

Sur tout le réseau on a une perte totale de vapeur par fuite de 72.3 kg/h (voir tableau III.6). Le coût de la vapeur peut être évalué de la manière suivante :

Nous avons évalué le débit de GN nécessaire pour produire un débit de 1100 kg/h de vapeur. Ce débit vaut 76.4 kg/h. si l'on ne tient pas compte du coût de traitement de l'eau

Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

(simplement parce que nous n'avons aucun élément pour l'évaluer), le coût annuel des fuites se calcule alors par l'expression :

$$\frac{76.4 \frac{kg \text{ de } GN}{h}}{1100 \frac{kg \text{ vap}}{h}} \times \frac{1}{1.073} \frac{m^3 \text{ GN}}{kg \text{ GN}} \times 72.3 \frac{kg \text{ vap fuite}}{h} \times 7200 \frac{h}{an} \times 21 \frac{DA}{m^3 \text{ GN}} = 707\,605 \text{ DA/an}$$

IV.3.2 Fuite à travers les purgeurs défectueux

Dans le chapitre III, nous avons relevé à l'inspection des purgeurs qu'il y en avait deux de défectueux, bloqués à la position ouverte et laissait s'échapper la vapeur. Les pertes au niveaux de ces purgeurs étaient estimées à 52 kg/h, dont le coût annuel se calcule comme ci-dessus :

$$\frac{76.4 \frac{kg \text{ de } GN}{h}}{1100 \frac{kg \text{ vap}}{h}} \times \frac{1}{1.073} \frac{m^3 \text{ GN}}{kg \text{ GN}} \times 52 \frac{kg \text{ vap fuite}}{h} \times 7200 \frac{h}{an} \times 21 \frac{DA}{m^3 \text{ GN}} = 508927.7 \text{ DA/an}$$

Le coût de remplacement d'un nouveau purgeur, y compris la main d'œuvre a été évalué à 100 000 DA [18]. Ce qui donne une période de retour sur investissement :

$$\begin{aligned} \text{Période de rentabilité} &= \frac{100000 \times 2}{481614.5} \\ &= 0.1965 \text{ an} \end{aligned}$$

La période de rentabilité de cet investissement est de 2 mois et 12 jours.

IV.3.3 Pertes par les vannes

Les pertes attribuables aux vannes non isolées, estimées au chapitre précédent à 9711.63 kJ/h. L'isolation de ces vannes engendrera directement l'élimination de ces pertes, cette solution est d'un point de vue économique très rentable. Le coût annuel des pertes par les vannes se calcule comme suit :

$$\frac{9711.6 \frac{kJ \text{ vap}}{h}}{\eta = 0.7692 \frac{kJ \text{ vap}}{kJ \text{ GN}}} \times \frac{1}{PCI = 48900} \frac{kg \text{ GN}}{kJ \text{ GN}} \times \frac{1}{1.073} \frac{m^3 \text{ GN}}{kg \text{ GN}} \times 7200 \frac{h}{an} \times 21 \frac{DA}{m^3 \text{ GN}} = 36383 \text{ DA/an}$$

Le coût de cet investissement est estimé à 120000 DA. D'où un temps de retour sur investissement de 3 ans, 3 mois et 19 jours.

IV.3.4 Amélioration de l'isolation de la tuyauterie

Le tableau (III.5) donne les pertes thermiques dues à la dégradation du matériau isolant pour les différentes conduites du réseau vapeur. Sur chacune de ces conduites, nous avons relevé les longueurs des tançons défectueux. Ces données sont rassemblées au tableau (IV.1) ci-après.

Chapitre IV : Analyse des résultats du diagnostic et proposition de mesures pour économiser l'énergie

Tableau IV.1 : Longueurs et pertes des tronçons défectueux dans les différentes conduites

Conduite	Entre la chaudière et le distributeur $\phi = 100mm$, $e=70mm$ $L=11 m$	RB 60 vers la laveuse n°01 $\phi = 80mm$, $e=50mm$ $L= 47.5m$	RB 30 vers la laveuse n°02 $\phi = 100mm$ $e=70mm$ $L=73m$	Siroperie n°01 $\phi = 80mm$ $e=50mm$ $L=150m$	Siroperie n°02 $\phi = 80mm$ $e=50mm$ $L=103.5m$
Perte due à la dégradation de l'isolant [w/m]	43.414	16.256	82.284	60.573	22.966
Longueur défectueuse (m)	11	4	4	10	10

Une réparation de l'isolation des tronçons défectueux permettrait de réaliser une économie d'énergie annuelle qu'on peut calculer à partir du tableau ci-dessus comme suit :

$$(11 \times 43.414) + (4 \times 16.256) + (4 \times 82.284) + (10 \times 60.573) + (10 \times 22.966) = 1707 W$$

$$\frac{6145.2 \frac{kJ}{h}}{\eta = 0.7692 \frac{kJ}{kJ GN}} \times \frac{1}{PCI = 48900 \frac{kg GN}{kJ GN}} \times \frac{1}{1.073 \frac{m^3 GN}{kg GN}} \times 7200 \frac{h}{an} \times 21 \frac{DA}{m^3 GN} = 23022 DA/an$$

Le coût de remplacement de l'isolant est de 156000 DA. D'où un temps de retour sur investissement :

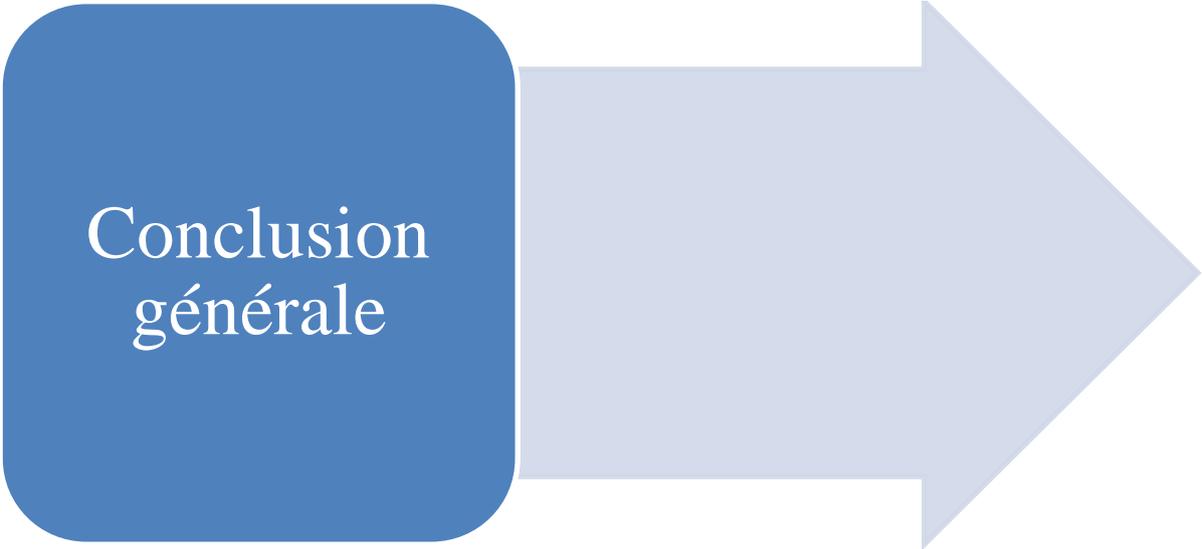
$$\text{Période de rentabilité} = \frac{156000}{6875.6} = 6.51 \text{ ans}$$

La période de retour sur investissement est de 6 ans et 6 mois.

Dans ce cas, on voit que le remplacement ne semble pas très justifié compte tenu du délai d'amortissement élevé.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons interprété les résultats trouvés précédemment dans le chapitre III, en donnant des explications aux problèmes rencontrés d'une façon rationnelle. Nous avons aussi proposé quelques solutions afin de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer les performances des équipements.



Conclusion
générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons eu l'occasion de nous initier au métier, o combien d'actualité, de l'auditeur et avons pris connaissance de l'ensemble des éléments constitutifs d'un audit énergétique approfondi.

Cette étude a été menée de manière à établir les bases essentielles des différentes phases par lesquelles on doit passer pour réaliser un audit énergétique. Lors de la première phase nous avons visité les installations de la division "utilités" de l'unité de production, au cours de cette phase, nous avons pu établir le contact avec le personnel et avoir une idée sur le mode de fonctionnement des postes et équipements consommateurs d'énergie.

Lors de cette première phase, nous avons identifié les gisements potentiels pour réaliser des économies d'énergie, ensuite nous avons entamé les campagnes de mesures. Malheureusement, n'étant pas auditeurs de métier et n'ayant donc pas notre boîte à outils propre, nous avons espéré trouver au moins quelques appareils de mesure installés sur les équipements pour bien surveiller et contrôler leur fonctionnement en cours d'exploitation ; hélas, ça n'a pas été le cas. Sans un analyseur des gaz de combustion, sans débitmètres pour savoir la quantité de vapeur que consomme chaque équipement, sans thermomètres pour mesurer les températures aux entrées et sorties de ces équipements, sans même une alimentation électrique adéquate qui permettrait par exemple de mesurer la puissance consommée par les pompes lors du fonctionnement, il était impossible de recueillir toutes les informations utiles nécessaires pour effectuer les bilans de matière et d'énergie des appareils de façon à établir une évaluation précise.

L'analyse, fondée sur des hypothèses faites avec le peu d'information que nous avons pu récolter sur place, nous a tout de même permis de quantifier quelques pertes comme par exemple les fuites de vapeur dans le réseau de tuyauterie, qui sont considérables (72,3 Kg de vapeur par heure). Pour éliminer ces pertes, aucun investissement supplémentaire n'est nécessaire, il y a juste le coût de l'entretien et de la réparation de ces fuites. Un meilleur entretien et une exploitation plus rationnelle de la chaufferie pourrait également conduire à des économies substantielles. Nous recommandons donc pour conclure de sensibiliser le personnel à une discipline stricte dans l'application des programmes de maintenance et de se conformer aux recommandations du constructeur des équipements.

Les effets induits par la mise en œuvre de l'audit énergétique et les correctifs qu'il entraîne sur la consommation nationale d'énergie comportent, non seulement un volet

Conclusion générale

économique évident mais répondent également aux obligations relatives à la protection de l'environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. V.Ganpathy industrial Boilers and Heat Recovery Steam generators design, application and calculation Ed Marcel Dekker, 2003;
- [2]. Manuel de fonctionnement de la chaudière Babcock Wanson, STEAMBLOC, YF11/53688, 1998 ;
- [3]. F.LICHTERVELDE, A.R.G.B. industrial, Vapeur et usage directes du gaz Naturel ;
- [4]. Technique de l'ingénieur, J.PARISOT, B1461, conception et calcul des chaudières
- [5]. ROCKWOOL Technical insulation, manuel d'isolation industrielle ;
- [6]. Spirax Sarco, Notice de montage et d'entretien, 1998 ;
- [7]. Ministère de l'Energie et des Mines, Guide Méthodologique « Annexe II » ;
- [8]. Ministère de l'Energie et des Mines, les cahiers des charges définissant la méthodologie le rapport d'audit et sa synthèse « Annexe I » ;
- [9]. GUIDEBOOK 2 boilers and furnaces Source:(Canadian Gov.) (Energy Management Séries 7) ;
- [10]. Données SONELGAZ ;
- [11]. Gordon J.VAN WYLEN et Richard E.SONTAG ; Thermodynamique Appliquée ; John Wiley et sons ; 2^{ème} Edition ;
- [12]. B. EYGLULENT (Heremes) [manuel de thermique], département Génie civil et d'urbanisme ; INSA de LYON 2006 ;
- [13]. Incropera. DeWITT. Bergman. Lavine ; Fundamentals of Heat and Mass Transfer ; 6^{ème} Edition ;
- [14]. Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique, n° de catalogue : M926239/2002F ,2002 ;
- [15]. D.SIMON ; Economie d'énergie dans l'industrie ; Edition Septembre 2010 ;
- [16]. THERMAL ENERGY. INTERNATIONAL INC ;
- [17]. Appareillage de chaufferie, série de la gestion d'énergie, 6^{ème} Edition ;
- [18]. Réseau de vapeur et de condensat, série de la gestion d'énergie, 8^{ème} Edition ;
- [19]. Conférence sur l'efficacité énergétique, Schneider Electric

Annexe

Annexe

DECRET EXECUTIF N° 05-495 DU 24 DHOU EL KAADA 1426 CORRESPONDANT AU 26 DECEMBRE 2005 RELATIF A L'AUDIT ENERGETIQUE DES ETABLISSEMENTS GRANDS CONSOMMATEURS D'ENERGIE.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport conjoint du ministre de l'énergie et des mines et du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, notamment son article 23 ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu le décret n° 85-235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie ;

Vu le décret présidentiel n° 95-102 du 8 Dhou El Kaada 1415 correspondant au 8 avril 1995 portant création du conseil national de l'énergie (CNE) ;

Vu le décret présidentiel n° 04-136 du 29 Safar 1425 correspondant au 19 avril 2004 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 04-144 du 8 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 28 avril 2004 portant ratification du protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, fait à Kyoto, le 11 décembre 1997 ;

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 96-214 du 28 Moharram 1417 correspondant au 15 juin 1996 fixant les attributions du ministre de l'énergie et des mines ;

Vu le décret exécutif n° 2000-116 du 25 Safar 1421 correspondant au 29 mai 2000 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé fonds national pour la maîtrise de l'énergie ;

Vu le décret exécutif n° 01-08 du 12 Chaoual 1421 correspondant au 7 janvier 2001 fixant les attributions du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement ;

Décète :

CHAPITRE I: OBJET, DEFINITION ET MODALITES DE MISE EN OEUVRE DE L'AUDIT ENERGETIQUE

Article 1er. Conformément à l'article 23 de la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999, susvisée, le présent décret a pour objet de définir les seuils

Annexe

de consommation énergétique déterminant les critères d'assujettissement des établissements à l'audit, la périodicité de l'audit et les conditions et modalités de mise en œuvre de l'audit énergétique et d'agrément des auditeurs.

Article 2. On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements des établissements industriels, de transport et du tertiaire, en vue de l'optimisation énergétique de leur fonctionnement.

Article 3. Pour les secteurs industriel et tertiaire, on entend par établissement tout ensemble d'installations et bâtiments implantés sur un domaine ou partie de domaine foncier unique et placé sous l'autorité d'un chef d'établissement. Pour le secteur du transport, on entend par établissement une flotte de véhicules placée sous l'autorité d'un responsable et localisée en un seul lieu.

Article 4. L'audit énergétique d'un établissement consiste à effectuer les tâches suivantes : mesure des performances énergétiques des installations et de ses gros équipements ; analyse de l'évolution des consommations d'énergie ; établissement des bilans énergétiques de l'établissement et des gros équipements ; évaluation des émissions polluantes dues aux consommations énergétiques ; évaluation de l'efficacité énergétique des opérations en s'appuyant sur les standards de consommation ; identification des possibilités d'économie d'énergie et/ou de substitution inter-énergétique favorable sur le plan de l'efficacité énergétique et de l'environnement ; élaboration d'un plan d'actions correctives comportant les opérations à réaliser et leur coût économique.

Article 5. Les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, le guide méthodologique, les valeurs des pouvoirs calorifiques, les facteurs de conversion pour le calcul de la consommation, ainsi que les modalités d'agrément des auditeurs font l'objet d'un arrêté interministériel pris par le ministre de l'énergie et des mines et le ministre chargé de l'environnement, sur proposition de l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE).

Article 6. L'audit énergétique fait l'objet d'un rapport qui doit comporter : un bilan énergétique d'ensemble ; une analyse de chaque secteur de consommation et des opérations significatives ; une évaluation des évolutions des consommations d'énergie et des émissions polluantes ; une présentation des gisements éventuels d'économie d'énergie, de substitution énergétique, de réduction des émissions polluantes et le plan d'actions correctives ; les recommandations spécifiant, s'il y a lieu, le type de mesures et d'actions, tant du point de vue des économies d'énergie que de la substitution énergétique et de la réduction des émissions polluantes.

CHAPITRE II: CONDITIONS D'EXERCICE DE L'AUDIT ENERGETIQUE

Article 7. L'exercice de l'activité d'audit énergétique est reconnu aux personnes visées par l'article 22 de la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999, susvisée, qui réunissent les compétences et les matériels requis de mesure et de contrôle fixés par l'arrêté interministériel prévu à l'article 5 ci-dessus. Les demandes d'agrément doivent être déposées auprès du ministère chargé de l'énergie qui les transmettra au ministère chargé de l'environnement pour avis et à l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) pour instruction. Après avis du ministère chargé de l'environnement et

Annexe

après instruction par l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), l'agrément sera prononcé par décision du ministre chargé de l'énergie au plus tard trois (3) mois après le dépôt du dossier. Le refus de la demande d'agrément doit être motivé.

Article 8. Les bureaux d'études et les experts agréés doivent se conformer aux prescriptions des cahiers des charges spécifiques pour la réalisation des audits énergétiques auprès des établissements industriels, de transport et du tertiaire.

Article 9. L'agrément peut être retiré pour manquement aux obligations des cahiers des charges ou pour manquement grave à la déontologie professionnelle.

CHAPITRE III: OBLIGATIONS D'AUDIT ENERGETIQUE DES ETABLISSEMENTS GRANDS CONSOMMATEURS

Article 10. Sont soumis à l'obligation d'audit énergétique tous les établissements industriels, de transport et du tertiaire, quelles que soient leur nature juridique ou leur activité dès lors que leur consommation annuelle d'énergie atteint les seuils fixés aux articles 11, 12 et 13 ci-dessous.

Article 11. Les établissements industriels dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 2000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

Article 12. Les établissements de transport dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 1000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

Article 13. Les établissements du secteur tertiaire dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 500 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique. Art. 14. La consommation totale d'énergie, exprimée en tonne équivalent pétrole (tep), est la somme des consommations d'électricité et de combustibles solides, liquides et gazeux. Elle est calculée sur la base de la formule suivante :

$$CT=KECE+CGN.(PCS)GN+CGPL.(PCS)GPL+CPP.
(PCS)PP +CC.(PCS)C$$

Etant entendu que :

CT : consommation totale d'énergie en TEP ;

KE : coefficient d'équivalence électricité ;

CE : consommation d'électricité en kWh ;

CGN : consommation de gaz naturel en Nm³ ;

CGPL : consommation de gaz de pétrole liquéfié en tonnes ;

CPP : consommation de produits pétroliers en tonnes ;

CC : consommation de charbon en tonnes ;

(PCS) : pouvoir calorifique supérieur.

L'électricité produite par les énergies renouvelables est exclue du calcul de la consommation totale d'énergie. Les valeurs des pouvoirs calorifiques et des coefficients d'équivalence à

Annexe

prendre en compte, lors du calcul de la consommation totale d'énergie, sont fixées dans les cahiers des charges.

Article 15. Les établissements sont assujettis à leur premier audit énergétique sur la base des seuils de consommations fixés, constatés sur lune des cinq dernières années calendaires ou déclarés pour les établissements neufs.

Article 16. Tout établissement assujetti au sens des articles 11, 12, 13, 15 et 18 du présent décret est tenu de se déclarer à l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

Article 17. Les établissements assujettis doivent désigner chacun un responsable chargé de la gestion de l'énergie pour assurer, notamment, le suivi des diagnostics énergétiques de l'établissement et la mise en œuvre éventuelle des actions de rationalisation énergétique et de réduction des émissions polluantes.

Article 18. Tout établissement assujetti est tenu de faire effectuer, à ses frais, périodiquement, par un bureau d'audit énergétique agréé, un audit énergétique tel que défini à l'article 4 du présent décret. La périodicité de l'audit énergétique est fixée à trois (3) ans pour les établissements industriels et de transports et à cinq (5) ans pour les établissements du tertiaire. La liste des experts et des bureaux d'audit énergétique agréés, avec leurs références, est communiquée par l'agence pour la promotion et de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) aux établissements concernés.

Article 19. Le rapport d'audit de l'établissement assujetti et sa synthèse sont adressés à l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) par le chef d'établissement après sa réception.

CHAPITRE IV: SUIVI ET EVALUATION DES AUDITS ENERGETIQUES OBLIGATOIRES

Article 20. L'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) assure, le suivi et l'évaluation des audits énergétiques. À cet effet l'APRUE doit : constituer une base de données sur les établissements gros consommateurs d'énergie au sens du présent décret ; tenir à jour un fichier des déclarations désétablissements assujettis par secteur d'activité ; veiller au respect des déclarations des assujettis ; adresser, si nécessaire, des commentaires et recommandations aux assujettis après évaluation du rapport d'audit de l'établissement concerné ; adresser aux ministères chargés de l'énergie et de l'environnement, annuellement, un bilan des réalisations d'audits énergétiques et une évaluation des résultats des rapports d'audit.

CHAPITRE V: DISPOSITIONS FINALES

Article 21. Les programmes d'actions correctives préconisées à la suite des audits énergétiques peuvent bénéficier d'un financement par le fonds national pour la maîtrise de l'énergie, conformément à la législation et à la réglementation en vigueur. Art. 22. Toute infraction aux dispositions du présent décret est sanctionnée conformément à la législation et à la réglementation en vigueur, notamment aux articles 45 et 50 de la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28juillet 1999, susvisée.

Annexe

Article 23. Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005.

Ahmed OUYAHIA.