

OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°: AUDIT ENERETIQUE

SECTEUR : FROID ET GENIE THERMIQUE

SPECIALITE : THERMIQUE INDUSTRIELLE

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE



ISTA.ma
Un portail au service
de la formation professionnelle

Le Portail <http://www.ista.ma>

Que vous soyez étudiants, stagiaires, professionnels de terrain, formateurs, ou que vous soyez tout simplement intéressé(e) par les questions relatives aux formations professionnelles, aux métiers, <http://www.ista.ma> vous propose un contenu mis à jour en permanence et richement illustré avec un suivi quotidien de l'actualité, et une variété de ressources documentaires, de supports de formation, et de documents en ligne (supports de cours, mémoires, exposés, rapports de stage ...) .

Le site propose aussi une multitude de conseils et des renseignements très utiles sur tout ce qui concerne la recherche d'un emploi ou d'un stage : offres d'emploi, offres de stage, comment rédiger sa lettre de motivation, comment faire son CV, comment se préparer à l'entretien d'embauche, etc.

Les forums <http://forum.ista.ma> sont mis à votre disposition, pour faire part de vos expériences, réagir à l'actualité, poser des questionnements, susciter des réponses. N'hésitez pas à interagir avec tout ceci et à apporter votre pierre à l'édifice.

Notre Concept

Le portail <http://www.ista.ma> est basé sur un concept de gratuité intégrale du contenu & un modèle collaboratif qui favorise la culture d'échange et le sens du partage entre les membres de la communauté ista.

Notre Mission

Diffusion du savoir & capitalisation des expériences.

Notre Devise

Partageons notre savoir

Notre Ambition

Devenir la plate-forme leader dans le domaine de la Formation Professionnelle.

Notre Défi

Convaincre de plus en plus de personnes pour rejoindre notre communauté et accepter de partager leur savoir avec les autres membres.

Web Project Manager

- Badr FERRASSI : <http://www.ferrassi.com>

- contactez : admin@ista.ma

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module de formation.

Pour la supervision :

M. Rachid GHRAIRI : directeur de CDC Génie Electrique Froid et Génie Thermique

M. Mohamed BOUJNANE : Chef de pôle Froid et Génie Thermique

Mme. Ilham BENJELLOUN : Formatrice animatrice au CDC FGT

Pour l'élaboration :

-
- **Mme. MARFOUK Aziza** : Formatrice à l'ISGTF

Pour la validation :

Mme NASSIM Fatiha.: Formatrice à l'ISGTF

M. MAHBOUB Ahmed : Formateur à l'ISGTF

M ELKHATTABI M'hamed : Formateur à l'ISGTF

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

M. SAID SLAOUI
DRIF

Sommaire

	Page
<i>Présentation du module</i>	6
<i>Résumé de théorie</i>	
I.	
I.1.	
I.2.	
I.3.	
II.	
II.1.	
II.2.	
II.3.	
<i>Guide de travaux pratique</i>	
I. TP1.....	
I.1.	
I.2.	
I.3.	
I.4.	
I.5.	
II. TP2.....	
II.1.	
II.2.	
II.3.	
II.4.	
II.5.	
III. TP3.....	
III.1.	
III.2.	
III.3.	
III.4.	
III.5.	
<i>Evaluation de fin de module</i>	
<i>Liste bibliographique</i>	
<i>Annexes</i>	

MODULE :

AUDIT ENERGETIQUE

Durée :60 H

100% : théorique

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

*Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit ; **Connaître les techniques de conduite de l'audit énergétique**, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent :*

CONDITIONS D'EVALUATION

- *A partir des consignes données par le formateur.*
- *A l'aide de la documentation technique donnée par le formateur.*
- *A partir de mises en situation.*

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- *Réalisation convenable du rapport d'audit énergétique préliminaire.*
- *Présentation correcte de projets d'économie d'énergie.*

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

A. Réaliser l'audit énergétique
préliminaire.

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- Collecte judicieuse des informations.
- Analyse correcte des informations.
- Identification correcte de projets possibles d'économie d'énergie.
- Préparation adéquate d'un plan d'action.
- Etablissement correct du rapport de l'audit préliminaire.

B. Réaliser l'audit énergétique
approfondi.

- Description correcte de la collecte et analyse des informations disponibles.
- Evaluation juste du programme de gestion de l'énergie de l'usine.
- Préparation convenable du rapport d'audit énergétique approfondi.

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ETRE JUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à réaliser l'audit énergétique préliminaire (A) :

1. Décrire l'organisation du travail.
2. Identifier les données nécessaires.
3. Connaître les sources de pertes d'énergie.

Avant d'apprendre à réaliser l'audit énergétique approfondi (B) :

4. Etablir le bilan énergétique de référence de l'usine.
5. Décrire les procédures de suivi et de contrôle de la consommation d'énergie.
6. Faire l'étude de rentabilité des projets d'économie d'énergie.

PRESENTATION DU MODULE

A titre indicatif :

Cette présentation doit :

- *Situer le module par rapport au programme de formation;*
- *Donner une description sommaire des grandes étapes de déroulement des activités d'apprentissage concernant la compétence visée par le module;*
- *Préciser la durée du module et les volumes horaires alloués aux parties théorique et pratique.*

:
MODULE : AUDIT ENERGETIQUE....
RESUME THEORIQUE

INTRODUCTION

La mise en place d'un programme d'économie d'énergie dans une entreprise industrielle ou dans un bâtiment du secteur tertiaire commence par la définition d'une "condition de base " de l'énergie dans l'unité en question. On ne peut économiser l'énergie si on ne sait où, quand et comment celle-ci est utilisée, et avec quel rendement.

L'audit énergétique a pour objet de répondre à ces questions, en mettant en œuvre une démarche scientifique qui tient de l'enquête, de la mesure et de l'analyse physique et chimique tout en laissant une part importante au bon sens et l'expérience.

La réalisation d'un audit énergétique ne peut, bien entendu, constituer un programme d'économies d'énergie en soi. Un certain nombre d'autres éléments est nécessaire. Premièrement, il doit y avoir une volonté bien déterminée de faire des économies d'énergie. Deuxièmement, des projets concrets doivent être identifiés et évalués suivant les règles en vigueur dans l'établissement. Troisièmement, il doit y avoir des sources de financement disponibles et, quatrièmement, le personnel et la direction doivent être déterminés à suivre les économies d'énergie obtenues au-delà de la réalisation même des projets. En effet, l'expérience a démontré que les gains acquis peuvent être perdus aussi vite qu'ils ont été réalisés.

Ce manuel constitue un outil de formation. Il décrit une démarche systématique pour identifier les possibilités d'économies d'énergie et la procédure à suivre pour réaliser ces économies à moindre coût et dans le délai le plus court.

La démarche présentée comprend deux phases consécutives : l'audit énergétique préliminaire (AEP) et l'Audit Energétique Approfondi (AEA).

L'audit énergétique préliminaire est essentiellement une étape de collecte et d'analyse préliminaire de l'information. Il comprend deux parties :

- l'audit de la gestion de l'établissement qui permet à l'auditeur de se familiariser avec la manière dont les décisions sont prises en ce qui concerne la gestion de l'énergie.
- L'audit technique qui repose principalement sur les données déjà existantes et s'effectue sans recours à des instruments sophistiqués.

L'audit énergétique préliminaire ne nécessite que quelques jours de travail, parfois une seule journée, pendant lesquelles l'auditeur a recours essentiellement à son expérience pour synthétiser rapidement un ensemble de données écrites, orales et visuelles en vue d'aboutir à un diagnostic de la situation énergétique de l'établissement. Par sa nature même, l'audit énergétique se focalise sur l'identification des pertes énergétiques les plus évidentes et les plus importantes comme le manque ou le mauvais état du calorifuge, les fuites de vapeur, les rejets thermiques à haute température; une instrumentation défectueuse ou en piètre condition est également un facteur de mauvaises performances. Le résultat de l'audit énergétique préliminaire est une série de recommandations pour des actions immédiates et à faibles coûts et généralement pour l'engagement d'un audit énergétique plus approfondi.

L'audit énergétique approfondi qui doit pratiquement toujours suivre un audit énergétique préliminaire, est une analyse détaillée du fonctionnement énergétique d'une installation au moyen d'appareils de mesure appropriés comprenant des débitmètres, des psychromètres, des analyseurs de gaz de combustion, des scanners infrarouge, et des appareils de mesure de l'électricité qui permettent à l'auditeur de calculer des rendements et d'établir des bilans énergétiques aux conditions de fonctionnement normales. Le choix des mesures à réaliser et des instruments à utiliser dépend du type d'établissement considéré, des objectifs de la direction ainsi que du budget alloué. La durée d'un tel exercice peut alors varier d'environ une semaine à plusieurs années/hommes sur les plates-formes industrielles les plus complexes, où les économies espérées peuvent largement justifier un tel effort. Les types de relevés généralement effectués au cours d'un audit énergétique approfondi comprennent des mesures de rendement de combustion, des mesures de débits, températures et pression de liquide et de gaz, et des mesures de facteurs de puissance électrique.

Les résultats de ces mesures sont ensuite vérifiés et finalisés au moyen de calculs préliminaires simples (problèmes d'échelle ou de calibrage), ou à l'aide de tables ou d'autres références. Les données ainsi validées sont alors utilisées pour établir des bilans matière/énergie détaillés pour chaque équipement d'abord, puis un bilan consolidé au niveau de la ligne de production ou de l'établissement. C'est à l'analyse de ces bilans que l'auditeur détermine avec précision les rendements énergétiques et les possibilités d'économies d'énergie aux différents niveaux. L'étape suivante consiste à établir les coûts et bénéfices de chaque action ou investissement possible. Dans certains cas particulièrement complexes, ou à haut risque, l'auditeur peut décider de recommander des études plus spécifiques (et aussi plus conventionnelles) de faisabilité (par exemple : remplacement de chaudières, modification d'un four, modification du procédé). L'audit énergétique proprement dit en reste au stade de l'analyse de l'avant projet sommaire ou pré-faisabilité (précision de 10% sur les gains et de 25% sur les investissements).

AUDIT ENERGETIQUE PRELIMINAIRE

INTRODUCTION

L'audit énergétique préliminaire est en général une première étape dans la mise en place d'un programme d'économie d'énergie. Cet audit consiste principalement à collecter et à analyser les informations sur le système énergétique. Il utilise uniquement des informations disponibles, et le travail sur le terrain ne met pas en œuvre des moyens d'instrumentation sophistiqués. Les conclusions de l'audit préliminaire dépendent de la qualification et de l'expérience de l'équipe conduisant l'audit. Elles comportent

- Le développement d'une base de données sur le système énergétique
- Un passage en revue des procédés de fabrication
- L'identification des équipements gros consommateurs d'énergie
- La compréhension de critères de décision de l'entreprise concernant les projets liés à l'énergie
- Le plan d'action de l'audit énergétique approfondi à venir.

L'audit préliminaire comporte en général cinq étapes. La méthodologie présentée considère que l'auditeur n'a pas la connaissance préalable du système énergétique, objet de l'audit, ni d'un programme de gestion de l'énergie éventuellement en place. Cependant l'auditeur est supposé connaître la taille et la disposition des principaux ateliers de l'usine, avant de commencer l'audit.

I ETAPE 1 : ORGANISATION

1) Choix de l'équipe et de la durée de l'audit

En règle générale, l'audit énergétique préliminaire est réalisé par une seule personne ayant une solide expérience. La durée de l'audit dépend de plusieurs facteurs

- Expérience de l'auditeur
- Dimension de l'usine
- Complexité des opérations
- Etudes déjà réalisées
- Prise de conscience des problèmes de l'énergie dans l'usine

Quelques exemples de durées d'audits préliminaires sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces durées supposent que toutes les informations nécessaires soient disponibles.

TABLEAU 1

ESTIMATION DE LA DUREE D'UN AUDIT ENERGETIQUE PRELIMINAIRE

	collecte sur site (jours)	Analyse de données (jours)
Immeubles commerciaux		
Moins de 10 000 m ²	1	1
De 10 000 à 30 000 m ²	1.5	1.5
Plus de 30 000 m ²	1.5 jours + 1 jour par 20 000 m ²	1.5 jours + 1 jour par 20 000 m ²
Usines		
Usine mono-produit de moins de 10 000 m ²	1	1
Usine mono-produit de 10 000 m ² à 30 000 m ²	1.5	1.5
Usine mono-produit de plus de 30 000 m ²	1.5 jours + 1 jour par 20 000 m ²	1.5 jours + 1 jour par 20 000 m ²
Usine multi - produits de moins de 10 000 m ²	1.0 jours + 0.5 jour par produit	1.0 jours + 0.5 jour par produit
Usine multi - produits de moins de 10 000 à 30 000 m ²	1.5 jours + 0.5 jour par produit	1.5 jours + 0.5 jour par produit
Usine multi - produits de plus de 30 000 m ²	1.5 jours + 0.5 jour par produit et ½ jour par 20 000 m ²	1.5 jours + 0.5 jour par produit et ½ jour par 20 000 m ²

NOTA : les durées estimées ci-dessus sont des durées minima. Il est bien entendu que l'audit énergétique préliminaire prépare le travail d'un audit énergétique approfondi, et que, par conséquent, le temps supplémentaire passé à constituer une base de données précise économisera un temps précieux au cours de l'audit énergétique approfondi.

2) Outils

Afin de faciliter son travail sur site, l'auditeur doit avoir des outils à sa disposition. Quelques outils de base sont présentés dans **le tableau**

L'auditeur ne doit pas passer trop de temps à effectuer lui-même des mesures précises sur site ; les données peuvent être estimées rapidement, ce qui est suffisant pour un audit préliminaire. Par exemple, les mètres à ruban peuvent être utilisés pour mesurer les longueurs manquantes d'isolant, ou un diamètre de tuyauterie.

En dehors des équipements de sécurité, l'outil le plus utile est probablement la lampe de poche, qui permet d'aller chercher des informations dans des endroits sombres, inaccessibles,

le plus souvent non visités par le personnel d'exploitation. Bien des idées d'économies peuvent être dénichées ainsi.

ETAPE 2 : IDENTIFICATION DES DONNEES NECESSAIRES

L'auditeur doit savoir de quelles données il aura besoin, avant même d'intervenir sur site. Sans une liste précise des informations nécessaires, l'auditeur peut collecter des informations inutiles ou oublier des informations importantes, ce qui compromettrait les résultats de l'audit.

Des données doivent être relevées aux différents niveaux concernés par la consommation d'énergie dans l'usine, tel que :

- Les consommations d'énergie pour chacune des formes d'énergie présentes dans l'usine
- Le prix de l'énergie et les structures tarifaires
- Le mode d'exploitation de l'usine
- Les produits ou les service réalisés par chaque atelier
- Les caractéristiques physiques des utilités
- L'implantation des unités de fabrication
- Les équipements consommateurs d'énergie, qu'ils soient côté utilités, côté procédé ou servant à la protection de l'environnement.

De plus, l'auditeur doit obtenir des informations relatives aux critères de prise de décision d'investir de l'établissement (par exemple : temps de retour , taux de rentabilité interne). Ces informations sont capitales pour la présentation d'un plan d'action réaliste auprès de la direction de l'usine.

Feuilles de données

Des feuilles de données standards pour collecter les informations sur la consommation et le coût de l'énergie, y compris les taux de marche des ateliers, sont présentées dans les Tableaux 3.4 et 3.7.

TABLEAU 2

OUTILS DE BASE POUR L'AUDIT ENERGETIQUE PRELIMINAIRE

OUTILS	QANTITES
Mètres à ruban –30 mètres	1
-10 mètres	1
Lampes de poche	3
Assortiment de tube et raccordes	1 jeu
Chronomètre	1
Boules ou casque anti- bruit	2
Casque	2
Gants	2 paires
Podomètre	1
Outillage manuel	1 jeu

TABLEAU
INFORMATIONS GENERALES

Date de l'audit
Période de relevé
Nom de l'usine
Adresse
Activité
Directeur
Responsable énergie

Formes D'énergie	Fournisseur de l'énergie	Tarif ou coût unitaire
Electricité		
Gaz naturel		
Fioul lourd 2		
Fioul N°7		
Propane		
Charbon gras		
Charbon sec		
Vapeur achetée		
Bois		
Combustible récupéré		
Station météo la plus proche		
Nombre de degrés-jours annuel		

***Nota :** Joindre le tarif à ce questionnaire

TABLEAU 3.5

**SERIE HISTORIQUE SUR LA QUANTITE D'ELECTRICITE ET
LES PRIX ASSOCIES**

Identification bâtiment

Repère des compteurs

Nombre des compteurs et types :

Implantation

Fournisseur de l'électricité

Type de tarif

Période de facturation (1)						
Puissance appelée kw (2)						
Facteur de puissance (3)						
Puissance taxée kw (4)						
Prix facture (5)						
Prix moyen par kwh (6)						
Consommation en G-joules (7)						
Coût par G-joules (8)						

TABLEAU 3.6

**SERIE HISTORIQUE SUR LA QUANTITE DE FIOUL CONSOMME ET
LES PRIX ASSOCIES**

Identification bâtiment
Fournisseur du fioul
Capacités de stockage (litres)
Type de fioul

Mois (1)						
Variation du stock lit (2)						
Livraisons litres (3)						
Consommation litres (4)						
Prix au litre (5)						
Coût total (6)						
Consommation en G-joules (7)						
Coût G-joules (8)						

TABLEAU 3.7

**RECAPITULATIF DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET
DES PRIX ASSOCIES**

Identification bâtiment

Période de relève

(les consommations d'énergie sont exprimées en giga joules)

Mois						
ELECTRICITE Conso Coût						
FIOUL Conso Coût						
AUTRE ENERGIE Conso Coût						
TOTAL Conso Coût						

Des feuilles utilisées pour rassembler des informations sur la production et les données climatiques sont présentées dans les tableaux 3.8 et 3.9.

Les caractéristiques techniques des équipements consommateurs d'énergie peuvent être détaillées dans des fiches semblables à celles présentées dans les tableaux 3.10 à 3.16.

L'ensemble des fiches présentées dans les tableaux 3.4 à 3.16 ne peut être utilisé pour tous les types d'usines.

De plus ces fiches ne montrent pas l'interaction entre l'énergie et le procédé (par exemple la chaîne chaudière, réseau vapeur, réchauffeur à la vapeur, produit à réchauffer).

L'auditeur énergie doit faire des croquis simples montrant les différentes étapes du procédé et la circulation des principaux fluides, en prenant soin de bien noter sur ces schémas des informations telles que :

- Débit des fluides (énergie et produits)
- Caractéristiques physiques à l'entrée et à la sortie de chaque système
- Les conditions opératoires de chaque système telles que températures, pression, durée de l'opération
- Les changements d'états ou transferts qui peuvent se produire, tant pour l'énergie que pour le procédé
- Les consignes d'exploitation

- Les objectifs de production
- Les caractéristiques de construction des équipements, si disponible
- Les conditions opératoires retenues lors de la conception de l'installation
- Les contraintes d'exploitation (capacité, sécurité, etc....)

3.3 COLLECTE DES INFORMATIONS

3.3.1 Entretien avec le personnel de l'entreprise

Pour démarrer un audit énergétique préliminaire dans une nouvelle usine, l'auditeur doit s'efforcer de se familiariser avec les différentes opérations industrielles et l'organisation interne de l'usine audité. Le meilleur moyen consiste à rencontrer les différentes personnes chargées de faire tourner les installations. En général un auditeur énergie intervient sur la demande d'une personne bien précise dans l'usine. C'est à cette personne que l'auditeur s'adresse en priorité. Cette personne doit pouvoir identifier tous les responsables de l'usine capables de répondre à l'auditeur pour la préparation de son audit.

L'auditeur doit rencontrer suffisamment de responsables dans l'usine afin d'avoir une bonne vue d'ensemble de la façon dont le facteur énergie est traité dans l'organisation. En particulier, les personnes à rencontrer sont :

- Le directeur
- Le responsable énergie généralement rattaché à la direction technique.

TABLEAU 3.8
AUTRES FACTEURS INFLUENCANT
LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Identification bâtiment
Période de relève
Produit
Unités de mesure de la production

Mois						
Nbre d'heure de marche						
Production mensuelle						

Mois						
Nbre d'heure de marche						
Production mensuelle						

TABLEAU 3.9
NOMBRE DE DEGRES -JOURS

Identification bâtiment
Période de relève
Source des données météorologiques
Température de base des degrés -jours

Mois						
Degrés -jours de marche						

Mois						
Degrés -jours mensuels						

Degrés -jours annuel =
Nombre normal annuel =

TABLEAN 3.10
CHAUDIÈRES

Nombre de chaudières en service
Type de chaudière

- * **A vapeur**
 - Pression (bars)
 - Retour de condensat (%)
 - Usage des condensats pour le réchauffage de le chaude sanitaire (oui/non)
- * **A eau chaude**
 - Température de l'eau (3c)
- * **A eau fluide**

	1	2	3	4	5	6
Identification Chaudière						
Nature du combustible						
Consommation relevée par h						
Débit nominal comb .GJ/h						
Usage du fluide produit						
Date du test du rendement						
Rendement calculé						

TABLEAU 3.10 (suite)

CHAUDIÈRES

Equipements de mesure des débits combustible, fioul, eau alimentaire, etc.

Repère de l'équipement						
Fluide mesure						
Date du calibrage						

Repère de l'équipement						
Fluide mesure						
Date du calibrage						

TALÉAU 3.11

GROUPES DE FROID

Nombre de groupes en service

Type de circuit

- * Compresseur électrique alternatif
- * Compresseur centrifuge électrique
- * Cycle a absorption
- * Compresseur entraîne par turbine a vapeur
- * Compresseur entraîne par moteur a gaz
- * Autre type

Identification réfrigérant						
Consommation relevée par h						
Puissance nominale .GJ/h						
Capacité nom de réfrigérât						
Usage du fluide						
Date dernière inspection rendement						

Systeme d'élimination de calories (source froide) :

- * Aéroréfrigérant
- * Réfrigérant a eau
- * Circuit d'eau de réfrigération bouclant sur une
- * Autre système

TABLEAU 3.11 (suite)
GROUPES DE FROID

Equipements de mesure de débits, consommations d'énergie, températures, durée de marche, etc.....

Type de circuit

Repère de l'équipement						
Fluide mesure						
Date du calibrage						

Repère de l'équipement						
Fluide mesure						
Date du calibrage						

TABLEAU 3.12

EQUIPEMENTS GROS CONOMMATEURS D'ELECTRICITE

Ces équipements peuvent être :

- Des pompes, compresseurs, ventilateurs entraînés par moteurs thermiques (diesel), moteurs gaz, turbines a gaz, turbines a vapeur, etc.....)
- Des fours de cuisson, des fours de réchauffage des fours sécheurs, etc.....
- D'autres équipements (cinérateurs, torches, etc.....)

Equipement						
Puissance nom						
Implantation						
Usage						
Rendement						
Commentaires						

TABLEAU 3.13

EQUIPEMENTS GROS CONOMMATEURS DE COMBUSTIBLES

Ces équipements peuvent être :

- Des pompes, compresseurs, ventilateurs entraînés par moteurs thermiques (diesel), moteurs gaz, turbines a gaz, turbines a vapeur, etc.....)
- Des fours de cuisson, des fours de réchauffage des fours sécheurs, etc.....
- D'autres équipements (cinérateurs, torches, etc.....)

Equipement						
Puissance nom						
Implantation						
Usage						
Rendement						
Commentaires						

TABLEAU 3.14

SYSTEMES D'ECLAIRAGE

A préciser éclairage intérieur ou extérieur

Repère zone éclairée						
Type de lampe						
Puissance par points lumineux watt						
Nombre de points lumin						
Puissance totale watt						
Méthode de contrôle						

TABLEAU 3.15

INVENTAIRE DES CHARGES ELECTRIQUES RACCORDEES AU SECTEUR

Identification
Période de relevé
Prix moyen du kw/h

Type d'équipement A						
Puissance unitaire kwatt B						
Nombre d'équipements C						
Puissance totale kwtt D						
Coût horaire en électricité E						
Nbre d'heur de marche an F						
Coût annuel en électricité G						
Conso electr. annuelle kwh H						

NOTES :

Ligne D = B x C

Ligne E = D x Prix du kwh

Ligne G = E x F

Ligne H =D x F

TABLEAU 3.16

INVENTAIRE DES CONSOMMATEURS DE FIOUL

Identification bâtiment
Période de relevé
Prix moyen au litre

Type d'équipement A						
Puissance unitaire l/h B						
Nombre d'équipements C						
Puissance totale l/h D						
Coût horaire en fioul E						
Nbre d'heur de marche an F						
Coût annuel en fioul G						
Conso fioul. annuelle litre H						

NOTES :

Ligne D = B x C

Ligne E = D x Prix au litre

Ligne G = E x F

Ligne H = D x F

Ou au secteur d'exploitation ou de trouve la centrale de production de vapeur et/ou d'électricité

- Le responsable entretien et travaux neufs
- Le personnel d'exploitation
- Les services fonctionnels (responsables de la gestion, de la programmation de la production)

Le nombre de personnes à rencontrer dépend de la taille et de la complexité de l'organisation. Bien souvent, certaines fonctions décrites ci-dessus sont exercées par une seule et même personne. Le travail de l'auditeur sera largement facilité dans les usines ayant un programme de gestion de l'énergie bien conçu et opérationnel. En revanche, d'autres établissements peuvent se sentir beaucoup moins concernés par le problème de l'énergie et n'avoir aucun programme de gestion de l'énergie.

Les informations que l'auditeur devrait chercher à apprendre de chacun de ses interlocuteurs sont présentées ci-dessous. L'ensemble de ces informations peuvent être regroupées dans un chapitre du rapport d'audit. L'annexe B de ce manuel en donne un exemple intitulé conventions et données de base dans le cas l'une laiterie.

La direction

La direction peut fournir les informations suivantes :

- Les grands principes de la gestion de l'énergie dans la compagnie
- L'existence l'un programme de gestion de l'énergie et d'un plan d'investissements économisant l'énergie
- Les personnes responsables de la mise en œuvre de ce programme (en générale le responsable énergie)
- Les critères de décision pour la réalisation d'investissements améliorant la productivité.

Le responsable énergie

Il se peut que cette fonction n'existe pas ou soit exercée à temps partiel par un ingénieur. S'il existe effectivement un homme énergie dans l'usine (en général, Un ingénieur du génie mécanique ou électrique), c'est de lui que l'auditeur obtiendra le plus d'informations :

- Structure du programme de gestion de l'énergie, comprenant :
 - L'organigramme et la position de l'homme énergie dans l'organisation
 - Les objectifs du programme de gestion de l'énergie
 - Ce programme est-il opérationnel ?

- L'état d'avancement de ce programme, y compris les procédures de contrôle et d'établissement des indicateurs de performances
- Y-a-t-il déjà eu un audit énergétique préliminaire et quand ?
- Existe-t-il un archivage des informations relatives à l'énergie?
- Existe-t-il un plan d'action pour les économies d'énergie ?
- Est-ce que des possibilités d'économies d'énergie ont été identifiées et y a-t-il eu intervention?
- Y a-t-il eu un audit énergétique approfondi et quand?
- Pourquoi n'y a-t-il pas eu intervention sur des possibilités d'économie identifiées? (étude en cours, peu rentable, non prévu au budget investissement, en attente d'un arrêt, autres problèmes plus importants à régler)
- Y a-t-il un système de contrôle des résultats aux objectifs satisfaisants et y a-t-il des indicateurs de performance?
- Le responsable énergie fait-il appel à une assistance extérieure ou interne pour mettre en place son programme?
- Quelles sont les actions en cours pour améliorer l'efficacité énergétique et réaliser de nouvelles économies?
- Informations disponibles liées à l'énergie telles que :
 - Le plan d'implantation de l'usine
 - La consommation de combustibles, les structures tarifaires, les prix de l'énergie
 - Les usages de l'énergie
 - Le rythme de production de l'usine

■ Les caractéristiques de l'usine, telles que

- La taille
- La date de construction (bâtiments et principaux équipements)
- La dénomination et l'emplacement de différents secteurs d'exploitation
- Les cycles de fabrication de chaque secteur
- La fonction de chaque secteur
- La consommation d'énergie de chaque secteur liée à la production et à la protection de l'environnement
- La liste des équipements gros consommateurs d'énergie dans l'usine
- Un schéma de procédé incluant ces gros consommateurs
- Le système de comptage de l'énergie
- Les capacités d'origine des équipements ainsi que les modifications intervenues ultérieurement telles que le changement de combustible ou l'augmentation de capacité.
- Les indicateurs de production
- Les procédures de suivi de la production
- La demande d'énergie à pleine capacité
- Les marches repérées et tests de capacité des différents secteurs de l'usine, si disponible.

Si le responsable énergie ne peut répondre à toutes les questions ci-dessus, alors l'auditeur doit chercher à savoir qui peut répondre à ces questions. Bien souvent, il subsiste des lacunes dans la liste des informations requises ce qui influe sur la qualité de l'audit. L'auditeur doit alors chercher à revoir certaines personnes ou à rencontrer d'autres personnes.

3.3.1.3 le responsable entretien et travaux neufs

le responsable entretien est tout à fait au courant de l'état du matériel dans l'usine. Il est souvent en mesure de fournir des informations sur les caractéristiques techniques des équipements, que ne peut fournir le responsable énergie.

Le responsable entretien peut fournir en particulier les informations suivantes :

- État général du matériel et problèmes techniques particuliers entraînant de fréquentes interventions (encrassement des surfaces d'échange, problèmes de corrosion,)
- Politique d'entretien des équipements directement liés à l'énergie (purgeurs, calorifuges, instrumentation...)
- Le planning d'arrêt des unités de fabrication, si disponible. Souvent, le responsable entretien fait office d'homme Énergie en raison de sa vision d'ensemble de l'usine.

3.3.1.4 les responsables de l'exploitation

Ces personnes peuvent fournir les informations manquantes sur les contraintes d'exploitations. Ces informations comprennent :

- Les variables opératoires à chaque étape de fabrication
- Les spécifications de produits
- Les conditions opératoires réelles comprenant le rythme de production, les taux de produits non conformes, pressions, températures, débits, et cycles de production.
- Les besoins d'énergie du procédé dans des conditions idéales
- Les réglages conduisant à l'optimum et les écarts qui doivent être pris par rapport à cet optimum (par exemple : effet de la vapeur saturée sur le séchage).

Ces informations doivent être collectées à deux niveaux (chef d'exploitation et opérateur). Il arrive en effet que les équipements fonctionnent avec une certaine marge par rapport aux consignes d'exploitation.

3.3.1.5 Les services fonctionnels

Toute information manquante sur le coût de l'énergie, le planning d'exploitation, les rapports de production, les contraintes d'ordonnancement, etc., peut être obtenue auprès des services fonctionnels tels que le service achats, le service de contrôle de gestion, le service logistique, ou le service financier. Ils déterminent en particulier les critères économiques qui fondent les décisions de l'entreprise. Il est important que l'auditeur connaisse ces critères pour évaluer les actions d'économie prioritaires.

3.3.2 visite de l'usine et inspection visuelle

L'auditeur doit faire le tour de l'usine afin d'avoir une vision objective de l'usine et des différentes opérations, et se familiariser avec le schéma de procédé. Les points clef de cette visite/inspection sont donnés dans le Tableau 3.17. Il est important que l'auditeur collecte personnellement les informations suivantes au cours de sa visite :

- Les circuits matière et énergie dans l'usine
- Les grands secteurs de production
- Les systèmes gros consommateurs d'énergie
- L'instrumentation locale, y compris les compteurs d'énergie
- Les tableaux de bord de l'énergie et points faibles
- Les feuilles de marche de suivi d'exploitation et de la production
- Les possibilités d'économie d'énergie.

Les informations ci-dessus peuvent être saisies sur des feuilles de données du type de celles présentées dans les Tableaux 3.4 à 3.7. D'autres informations peuvent être reportées sur des croquis pris par l'auditeur pendant sa tournée d'inspection. Afin de relever le plus grand nombre d'informations, l'auditeur doit être accompagné, au cours de sa tournée, par une personne de l'usine familière avec l'exploitation, le matériel et les procédures, ainsi que tous les aspects des fonctions de chaque secteur, si possible. Cette personne peut être, le responsable énergie responsable entretien, ou quelqu'un du service entretien.

Avant son inspection visuelle, l'auditeur doit s'efforcer d'obtenir un plan d'implantation de l'usine, faisant apparaître les différents secteurs de production. Si un tel plan n'existait pas, le responsable énergie ou la personne accompagnant l'auditeur pourrait en établir un schéma rapidement.

3.3.2.1 les circuits énergie/matière dans l'usine

la première étape de l'analyse consiste à déterminer la circulation de l'énergie et des produits sur un plan géographique de l'usine. Ce plan d'orientation est très utile pendant la visite. Un exemple de diagramme énergie/matière est présenté à la Figure 3.18 les secteurs suivants doivent être localisés :

- Poste de réception des matières premières et zones de stockage
- Secteurs d'entrée de l'énergie dans l'usine, comprenant :
 - Poste électrique de livraison avec transformateurs, compteurs électriques, schéma général unifilaire avec les différents niveaux de tension
 - la station de préparation du combustible, comprenant stockages, compteurs, pompes, réchauffeurs
- Les principales unités de production avec les produits et l'énergie entrant/sortant de ces unités
- l'entrepôt des produits finis et le poste de chargement
- les zones de retraitement ou de régénération des produits
- les décharges.

AUDIT ENERGETIQUE APPROFONDI

L'audit énergétique approfondi (AEA) est une procédure de prise de mesures détaillée sur tous les équipements consommant de l'énergie, suivie d'une analyse énergétique détaillée des différents systèmes. L'AEA suit généralement un AEP, mais lorsque ce n'est pas le cas, il faut commencer par une collecte des données existantes.

Des instruments de mesure portables sont utilisés par les auditeurs pour avoir les données nécessaires à la détermination de la consommation énergétique et à l'analyse des performances énergétiques des équipements. Ces instruments sont d'autant plus nécessaires que l'usine ne dispose pas d'appareils de mesure fixes sur les machines, ils permettent la vérification et l'étalonnage de tels appareils lorsqu'ils existent. La table 1 donne une liste d'instruments de mesure typiquement utilisés dans les audits énergétiques.

Même si l'audit énergétique se base sur des mesures pour déterminer les rendements et les pertes énergétiques, il ne s'agit pas pour autant d'une science exacte. L'expérience des auditeurs est essentielle dans la collecte et l'interprétation des données énergétiques. Le type et la quantité de données à mesurer dépendent du cas étudié (taille, état et activité de l'usine).

La durée de l'AEA peut varier de 2 personnes-semaines à 12 personnes-mois. Comme ordre de grandeur, l'AEA d'une unité consommant 5000 tep/an nécessite entre 6 et 9 personnes-semaines.

Un AEA comprend les huit étapes importantes suivantes :

1. **Planification du travail d'audit :** identifier les principales zones de l'installation, prévoir la meilleure utilisation du temps des auditeurs.
2. **Collecte des données de base sur la consommation énergétique et l'activité de production :** utiliser des imprimés standards, déterminer, si possible, la consommation énergétique spécifique.
3. **Campagne de mesures et d'essais de l'installation :** obtenir toutes les données nécessaires à la détermination de la consommation énergétique et au calcul des rendements.
4. **Développement des bilans énergétiques et calcul des rendements :** faire un bilan de la consommation énergétique et déterminer le rendement pour chaque machine, chaque procédé de production et pour l'ensemble de l'usine. La table 6.2 montre un exemple de bilan de l'énergie électrique.
5. **Identification des procédures de maintenance :** certaines mesures simples de maintenance peuvent contribuer à réduire la consommation énergétique, il s'agit de les identifier toutes et d'en déterminer la consommation énergétique, il s'agit de les identifier toutes et d'en déterminer la procédure, le coût et l'économie d'énergie.

6. **Identification des projets d'économie d'énergie :** il s'agit, pour chaque projet, spécifier les machines à remplacer ou à acheter, de calculer le coût d'investissement et les économies d'énergie.
7. **Etablissement d'un plan d'action clair :** définir clairement toutes les conditions pour réaliser les recommandations d'économie d'énergie y compris, les priorités, les procédures à suivre, le coût et calendrier de réalisation.

Table 6.1 - Liste des instruments recommandés pour l'audit énergétique et leurs prix approximatifs (dollars US de 1989)

Appareils	Prix pour un minimum (\$)	Kit type (\$)	Liste complète d'articles (\$)
Analyseur chimique de gaz	250	0	250
Accessoires pour analyseur de gaz	50	50	50
Kit pour test des fumées	70	70	70
Kit pour test de CO		400	400
Thermomètres:	275	550	550
- Sonde à immersion	100	100	100
- Sonde de 80 cm	100	100	100
- Sonde de surface	120	120	120
Manomètre 0-50 cm	35	35	35
Pincés ampérimétriques	200	200	200
Analyseur électronique de gaz		2 000	2 000
Anémomètre avec sondes		1 050	1 050
Psychromètre électronique			620
Psychromètre piles	250		250
Conductivimètre	300	300	300
Scanner à Infra-rouge			950
Phasemètre (facteur de puissance)			390
Photomètre		260	260
Stéthoscope	40		40
Appareil à ultra-sons pour test des purgeurs		1 000	1 000
Débitmètre à ultra-sons			6 500
Pyromètre à infra-rouge (Haute temp.)			2 200
Pyromètre à infra-rouge (Basse temp.)		300	1 500
Hygromètre		100	300
Perceuse			100
Batterie			1 200
Tachymètre			400
Enregistreur de signaux (1 ou 3)			500
Analyseur de la puissance électrique appelée			600
			3 500
Sous-total	\$1 790	\$6 835	\$25 535
Pièce de rechanges, outils, piles	400	1 000	5 500
TOTAL	\$2 190	\$7 835	\$31 035

8. **Rédaction d'un résumé du rapport de l'audit:** ce résumé destiné à la direction de l'entreprise doit inclure les résultats de l'audit, les recommandations et le plan d'action.

Table 6.2 Bilan de la consommation énergétique pour une usine d'appareils ménagers

Type d'activité	Consommation électrique (kWh)	Pourcentage du total
Lavage/dégraissage	216 000	3.7
Soudure	374 000	6.4
Travaux métalliques	272 000	4.7
Peinture	130 000	2.2
Façonnage par injection	1 213 000	20.8
Façonnage thermique	1 676 000	28.6
Air comprimé	418 000	7.2
Eau glacée	435 000	7.5
Eclairage	820 000	14.1
Ateliers	103 000	1.8
Divers	176 000	3.0
TOTAL	5 833 000	100.0

6.1.3 Que doit-on espérer d'un audit énergétique ?

Le Responsable ou le Comité Energie doit s'assurer que le rapport de l'audit énergétique contient suffisamment d'information sur les trois points suivants :

- **Consolidation des données sur la consommation énergétique et sur l'activité de production :** toutes ces données doivent être traitées et organisées de manière systématique pour faciliter leur consultation (voir l'exemple de la table 5.3). Une comparaison avec les valeurs standards de la même industrie doit être présentée et discutée. Même si les analyses présentées dans le chapitre 5 ne sont pas obligatoires pour tous les audits, il serait utile que les auditeurs les fassent pour mieux comprendre le fonctionnement de l'usine.
- **Analyse détaillée des possibilités d'économie d'énergie :** un rapport type d'audit contient toujours un résumé des mesures d'économie d'énergie, leurs coûts et les réductions de la consommation énergétique qu'ils engendrent (voir table 6.3). Il est plus important pour l'entreprise d'analyser la viabilité des projets pris individuellement que de regarder ma réduction totale de la consommation énergétique. Donc un bon rapport doit contenir une description et une analyse détaillées de chaque projet proposé. Ceci permet à la direction de prendre les décisions adéquates sur la procédure à suivre. Il est particulièrement important de bien estimer les prix des équipements et de présenter tous les risques éventuels pouvant résulter de la mise en place des mesures recommandées. Un exemple d'une telle présentation est donné dans la table 6.4.

Table 6.3 - Exemple de tableau résumant les projets d'économie d'énergie

Article	Référence Annexe	Econom. d'Énergie (GJ/an)	Réduction du coût (Dh/an)	% Energ. totale	% Coût total	Coût proj. (Dh)	Temps de retour (mois)
1. Améliorer le rend. de la chaudière (chaudière à haute pression)	D-7	7 116	273 400	4.9	4.8	350 000	15.4
2. Améliorer le rend. de la chaudière (chaudière à basse pression)	D-12	3 479	133 329	2.4	2.3	50 000	5.0
3. Utiliser la purge de la chaudière à haute pression pour alimenter la chaudière à basse pression	D-13	18 233	698 700	12.7	12.3	50 000	0.1
4. Récupérer de chaleur des fumées (chaudière à haute pression)	D-14	34 113	1 319 000	23.8	23.2	2000 000	18.2
5. Calorif. les machines de fabric. et les tanks de retour de condensats	D-15	2 100	80 709	1.5	1.4	29 916	4
6. Calorifuger le réseau de retour de vapeur et des condensats	D-16	6 898	265 044	4.8	4.8	98 363	4.5
7. Réduire les pertes par radiation (chaudière à basse pression)	D-17	333	12 772	0.2	0.2	8 486	8
8. Installer un économiseur (chaudière à basse pression)	D-18	2 408	92 283	1.7	1.6	20 000	26
9. Retour des condensats	D-19	1 051	40 277	0.7	0.7	3 000	0.2
10. Réparer les fuites de vapeur	D-21	8 406	322 118	5.8	5.7	52 000	1.5
11. Remplacer les lamp. incandescentes par les lampes fluorescentes	D-22	67	16 809	0.1	0.3	7 500	5.4
12. Récupérer la vapeur flash dans le digesteur	D-27	39 197	1 506 000	23.9	22.7	200 000	10.0
13. Récupérer la chaleur des gaz d'échap. (machine à papier n°2)	D-33	8 005	307 552	5.6	5.4	325 000	12.7
14. Réduire l'air d'échappement (Machine à papier n°3)	D-35	6 418	246 580	4.5	4.3	10 000	0.5
15. Utiliser la vapeur flash dans le radiateur de la mach. à papier n°3	D-36	1 399	66 031	1.0	1.2	5 000	1
16. Condenser la vapeur flash (machine à papier n°3)	D-37	218	8 373	0.1	0.1	4 000	6.0

Table 6.3 (suite)

17. Condenser la vapeur flash (la machine de corrugation)	D-39	1 706	65 420	1.1	1.2	25 000	4.6
18. Arrêter les cylindres lors de la fabrication des parois simples	D-40	1 566	60 060	1.1	1.1	0	Imd.
19. Installer un calorifuge démontable pour la machine Tetrapak	D-41	300	75 186	0.2	1.3	60 000	9.6
26. Arrêter le chauffage électrique et les ventilateurs sur la machine à laque lorsqu'elle ne produit pas	D-45	360	90 223	0.2	1.6	0	Imd.
TOTAL		143 463	5 679 867	100.0	100.04	478 265	0.8

- **Plan d'action pour la réalisation des projets :** Un bon rapport d'audit ne se limitera pas à la présentation des recommandations d'économie d'énergie, mais établira également un ordre de priorité pour tous les projets. Il doit également donner quelques informations sur la procédure à suivre pour réaliser chaque projet, les personnes qui doivent s'en charger et la durée de réalisation. Un exemple d'un tel plan d'action est donné dans la [table 6.5](#).

6.1.4 Niveau des détails dans un audit énergétique

Il est à souligner que les détails donnés dans un rapport d'audit énergétique sont limités. Par exemple, lorsqu'on recommande le calorifugeage des conduites comme mesure d'économie d'énergie, on peut en donner l'épaisseur, mais cette information n'est pas suffisante pour obtenir un devis du fournisseur. Un travail supplémentaire doit être fait par le personnel de l'entreprise pour compléter l'information. De même lorsqu'un retour de condensats est recommandé, le rapport donne une estimation des prix des pompes, des tanks et des conduites pour évaluer la rentabilité du projet. Cependant le travail de calcul et de dimensionnement dépasse généralement le cadre de l'audit énergétique. Lorsqu'un projet plus coûteux est proposé (par exemple l'achat d'une chaudière, la cogénération, l'installation d'un économiseur de chaudière) les informations contenues dans le rapport d'audit doivent être complétées par une étude de faisabilité (voir [section 6.3](#)) et un calcul plus précis avant la réalisation du projet.

Dans l'analyse économique des projets, la notion de temps de retour brut est généralement utilisée dans les rapports d'audit pour avoir rapidement une idée sur la rentabilité du projet. Cependant, le personnel de l'entreprise doit faire une analyse du revenu actualisé (cash flow) qui est plus précise et tient compte des facteurs financiers et de la stratégie globale de l'entreprise.

Table 6.4 - Exemple d'analyse détaillée d'un projet d'économie d'énergie

Amélioration du rendement du système d'eau glacée

RESUME

Réduction du Coût	\$59.408
Coût d'installation	\$28.000
Temps de retour simplifié	0.5 an
Economie d'énergie	1 188 154 kWh

1.0 RECOMMANDATION

Prendre les mesures suivantes pour améliorer le rendement du système de production d'eau glacée et son utilisation pour le refroidissement:

1. Nettoyage mécanique et chimique par une entreprise spécialisée des évaporateurs et des condenseurs pour enlever tout le tartre déposé à l'intérieur des tubes.
2. Utiliser un traitement d'eau de la tour de refroidissement. Utiliser un traitement à base de chlore pour contrôler la croissance microbienne et d'autres produits chimiques pour contrôler la dureté et le PH. Mesurer la quantité totale de solides dissous (TSD) chaque semaine et utiliser l'eau d'appoint pour garder la TSD à un niveau acceptable.
3. Equilibrer le débit d'eau glacée entre les différents évaporateurs selon leur capacité.
4. Régler la température de consigne de l'eau glacée à la sortie des évaporateurs à 18°C au lieu de 10°C.
5. Contrôler les fuites d'eau glacée en mesurant la hauteur de l'eau dans les tanks de retour. Surveiller le réseau de distribution et les échangeurs de refroidissement pour repérer toute fuite.
6. Remplacer, aux deux extrémités du réseau d'eau glacée, les thermomètres à mercure par des thermomètres digitaux faciles à lire. Installer un thermomètre digital à l'aspiration de la pompe de circulation pour contrôler la température de retour de l'eau glacée. Enregistrer, à chaque heure, les indications de ces thermomètres.
7. Contrôler les groupes de froid de manière à maintenir la température de sortie de l'eau glacée entre 20 et 22 °C aux deux extrémités du système de distribution.
8. Jouer sur la température ambiante pour réduire la demande en froid. Lorsqu'il fait chaud (avril à octobre), garder les tanks remplis entre 20 et 25 % durant les jours de moindre activité (week-ends et jours fériés) pour minimiser la quantité d'eau qui doit être refroidie au démarrage. Lorsqu'il fait froid, garder les tanks remplis à 75 % durant les jours de moindre activité (week-ends et jours fériés) pour maximiser la quantité d'eau refroidie par l'air ambiant.

Table 6.4 (suite 1)

2. DESCRIPTION

Le système d'eau glacée consomme 15% de la consommation électrique de l'usine. La puissance installée pour alimenter ce système s'élève à 1.5 MW.

Durant l'audit, on a mesuré, pour chaque groupe de froid, la consommation électrique, les températures d'entrée-sorties de l'eau glacée et les pressions de condensation et d'évaporation. Les données sont introduites dans un programme de simulation d'un groupe de froid. On a également mesuré les températures des entrées et sorties, et les débits d'air dans les tours de refroidissement. Ces données sont aussi entrées dans un programme d'ordinateur. Voici quelques observations inspirées par les résultats des mesures et des bilans:

- Le système fonctionne à charge réduite et avec un très bas rendement:
 - Le jour des mesures, 10 des 14 groupes fonctionnaient; les données concernant 9 de ces groupes ont été mesurées par l'équipe de l'audit.
 - La charge frigorifique variait entre 30 et 55 % de la capacité maximale. Seul un (le n°7) fonctionnait à 81% de sa capacité frigorifique. Etant donnée la température d'entrée de l'eau, ce taux doit être de 85 à 90 %. La charge frigorifique moyenne était environ 1894 kW sur une capacité de 4013 kW, soit un taux de charge de 47% .
 - La consommation électrique moyenne des groupes est d'environ $0,33 \cdot 10^{-3}$ kWh/frigorie, soit 20% de plus que la normale.
 - Les 1894 kW de réfrigération entraînait un refroidissement de l'eau de 2,5 °C au niveau de l'évaporateur. Cette baisse de température est réduite à 1°C dans le système de distribution par une grande quantité d'eau d'appoint due à une fuite.

Température de retour de l'eau glacée	24 °C
Température de l'eau d'appoint	27 °C
Température de l'eau glacée alimentant le réseau	23 °C

- Il n'y a pas eu de plainte de la part du service de la production concernant la température de l'eau glacée ou autre chose.
- Les débits d'eau glacée dans les différents groupes ne sont pas équilibrés: 50% en dessous du débit nominal pour le groupe N°8, 30% de réduction pour les groupes n° 1 et 2, des hausses de 50, 75 et 150 % pour les groupes 10, 14 et 13 respectivement. Ceci suggère que les débits d'eau glacée doivent être équilibrés entre les différents groupes.
- Les débits de l'eau de refroidissement des condenseurs sont en dessous des valeurs nominales (47% de réduction en moyenne). Ceci suggère qu'il y a une résistance à l'écoulement due à l'encrassement des tubes. C'est vraisemblablement la cause majeure de la baisse de la production de froid.

Table 6.4 (suite 2)

■ Les tours de refroidissement ne fonctionnent pas efficacement, et ce pour plusieurs raisons:

- Mauvaise pulvérisation de l'eau dans les tours
- Faibles débits d'air (ventilateurs sous-dimensionnés)
- Les clapets d'entrée d'air sont dans un mauvais état
- Les tours sont très proches les unes des autres (l'air humide sortant de l'une entre dans la voisine).
- Les tours ne sont pas suffisantes durant les mois chauds.

En résumé, le système d'eau glacée a besoin de mesures importantes pour fonctionner dans de bonnes conditions. Cette opération peut entraîner une économie d'énergie d'environ 20% de sa consommation électrique. Le contrôle de la température de l'eau glacée pour qu'elle ne descende pas en dessous de 10 °C doit permettre davantage d'économies.

3.0 LES ECONOMIES D'ENERGIE ESCOMPTEES

Les économies escomptées s'élèvent à 29 535 \$ US. Ces économies sont calculées en deux parties.

■ **Premier calcul:** à l'aide d'un contrôle manuel de la température de l'eau glacée (elle ne doit pas descendre sous 18 °C), on peut économiser 20 à 25 %.

Consommation électrique annuelle:	3 523 000 kWh/an
Economies résultant d'une température d'eau plus élevée:	20%
Coût marginal de l'électricité	
$3\,523\,000 \text{ kWh} \times 0,2 = 704\,600 \text{ kWh/an}$	0,05 \$US/kWh

■ **Deuxième calcul:** Lorsque les échangeurs seront nettoyés, les groupes fonctionneront dans les conditions nominales. On peut alors atteindre 90 % de l'amélioration potentielle.

Consommation moyenne mesurée:	$0,30 \times 10^{-3} \text{ kWh/frigorie}$
Consommation nominale:	$0,275 \times 10^{-3} \text{ kWh/frigorie}$
Amélioration possible:	90%

Consommation après les 20 % de réduction susmentionnés:

$$3\,523\,000 \text{ (kWh/an)} \times 0,8 = 2\,818\,400 \text{ (kWh/an)}$$

Nouvelle consommation après l'amélioration des performances:

$$2\,818\,400 \text{ (kWh/an)} \times 0,275/0,33 = 2\,335\,246 \text{ (kWh/an)}$$

Réduction réelle de la consommation:

$$(2\,818\,400 - 2\,335\,246) \times 0,90 = 483\,154 \text{ (kWh/an)}$$

Economie totale:

$$(3\,523\,000 - 2\,818\,000 + 483\,154) = 1\,188\,154 \text{ (kWh/an)}$$

$$\text{soit: } 1\,188\,154 \text{ (kWh/an)} \times 0,05 \text{ (\$ US/kWh)} = 59\,408 \text{ \$ US/an}$$

Table 6.4 (suite 3)

4.0 INVESTISSEMENT

Le coût le plus important est celui du nettoyage des échangeurs, soit 2500\$ US par groupe. (il y a au total 10 groupes).

Article	Coût (\$ US)
Système de traitement d'eau	2 500
Nettoyage des échangeurs	25 000
Thermomètres	500
TOTAL	28 000

Le coût annuel des produits chimiques utilisés dans le traitement d'eau, soit environ 1000 \$ US/an, doit être coté des économies calculées.

5.0 INTERACTION AVEC D'AUTRES PROJETS

Il n'y a aucune interaction entre ce projet et les autres.

6.0 TEMPS DE RETOUR

Le temps de retour brut du projet est de 6 mois.

7.0 PLAN D'ACTION

La réalisation de la première partie du projet (achat des thermomètres et le contrôle manuel de la température de l'eau glacée) doit commencer immédiatement. Les démarches pour sous-traiter le travail de nettoyage des échangeurs doivent être entamées. Cette étape doit avoir commencé au début de la saison froide et achevée au début de la saison chaude suivante (6 mois).

ETAPES	DUREE (semaines)
Raffiner l'étude technique de l'appel aux offres	4
Attribution du crédit par la direction	
Délivrer l'appel aux offres	2
Commande	6
Travail sur le terrain	8
Démarrage	2
Réception finale	2

Table 6.4 (suite 4)

8.0 RISQUES TECHNIQUES

Il n'y a pas de risque associé à la réalisation du projet. Pendant l'été, les groupes ont souvent fonctionné sans problème avec des températures d'eau de refroidissement dépassant les 20 °C.

Le nettoyage des groupes est nécessaire, non seulement pour économiser l'énergie, mais aussi pour augmenter leur durée de vie.

Enfin, si ce projet est réalisé avec succès, il n'y aura pas besoin d'acheter d'autres groupes même en cas d'extension de l'usine.

9.0 DONNEES ET CALCULS DETAILLES

Les données mesurées, les calculs détaillés et les sorties des programmes informatiques sont donnés en annexe E-7.

6.1.5 Qui doit réaliser l'audit énergétique ?

Même si l'audit énergétique n'est pas un travail techniquement difficile, il est préférable de le confier à des consultants spécialisés pour les raisons suivantes :

- Le personnel de l'entreprise est en général occupé par les activités de production et d'entretien; il est déjà difficile de trouver quelqu'un pour faire le travail du Responsable Energie à temps partiel.
- L'audit énergétique nécessite plusieurs appareils de mesure de qualité que toutes les entreprises ne peuvent avoir.
- Les consultants spécialisés dans les audits apportent un regard extérieur, source d'idées nouvelles et transfèrent des techniques et solutions éprouvées dans d'autres secteurs industriels.
- Un point de vue objectif et indépendant est nécessaire pour identifier toutes les toutes les possibilités d'économie d'énergie : un employé de l'entreprise peut passer tous les jours près d'une fuite de vapeur sans que cela le gêne, alors qu'un consultant en énergie sera vite intéressé par l'élimination de cette perte d'énergie.

6.16 AEA dans les secteurs non industriels

Le secteur industriel n'est pas le seul champ d'application de l'AEA. La technique s'applique de la même façon dans d'autres secteurs tels que les bâtiments (hôtels, hôpitaux, bureaux.....), l'agriculture et le transport. Il s'agit de comptabiliser l'énergie, d'établir des bilans de la consommation énergétique, de déterminer le rendement des équipements et d'évaluer les possibilités d'économie d'énergie.

Table 6.5- Exemple plan d'action pour la réalisation des recommandations d'un audit énergétique dans un hôpital

Activité	Date	Activités préalables
Phase 1		
Responsable de l'énergie	Après approbation du rapport de l'AEA	Recruter le Responsable Energie
Programme de gestion	Après approbation du rapport de l'AEA	Etablir un programme de gestion l'énergie
Phase 2		
Régler le contrôle du système de Chauffage Ventilation et Conditionnement d'Air (CVCA)	Après la phase 1 une	Régler les thermostats comme tâche d'entretien
Instrumentation tester CVCAet	Après la phase 1	Acheter les instruments pour chaudières, le système de pour contrôler l'énergie consommée
Phase 3		
Installer le système de pour Contrôle de l'Energie (SCE) à base de micro-processeur points de contrôle l'interface personnel traitant	Après la phase 2	1. Contacter honeywell renouveler le logiciel 2 . Identifier les 3. Concevoir SCE/machines..... 4 . Se procurer les relais, contrôle... 5. Installation par le interne ou un sous-
Améliorer le facteur de de	Après la phase 2	1. Contacter les fournisseurs

puissance du réseau
condensateurs
général et celui qui
alimente les bureaux

batteries de

2. Choix de la marque appropriée
3. Commande
4. Installation par le

personnel

interne ou un sous-

traitant

Remplacer les lampes
fournisseurs de incandescentes

Après la phase 2

1. Contacter les lampes
2. Choix de la marque appropriée
3. Commande
4. Installation par le personnel interne ou un sous -traitant

Installer et contrôler
l'économiseur du système
à absorption
appropriée

Après la phase 2

1. Contacter les fournisseurs des contrôles pour économiseur
2. Choix de la marque
3. Commande
4. Installation par le personnel

de

l'entreprise ou un sous-

traitant

Installer l'économiseur
dans la chaudière de
chauffage d'eau

Après la phase 2

contacter les concepteurs locaux
concevoir le système
commande
installation par le personnel de l'entreprise ou un sous-traitant

Installer le système
locaux
de filtration pour l'eau
venant des tours
de système refroidissement
de

Après la phase 2

1. contacter les concepteurs
2. concevoir le
3. commande
4. installation par le personnel

traitant

l'entreprise ou un sous-

installer le système d'ajustement
d'oxygène pour les brûleurs des

chaudières

Phase 4

Développer une base de données consommation	Après la phase 3	Développer une base de pour les machines énergétique
système_d'information en indices gestion de l'énergie	Après l'achat du SCE et des instruments	développer des normes des pour la consommant de l'énergétique
formation CVCA et	Après la phase 3	former le personnel maniant les machines du système de les chaudières
information sur l'importance prise de l'énergie d'information sur l'énergie	Après la phase 3	Etablir un programme de pour le personnel hôpital
procédures de maintenance du système de gestion de l'énergie	Après la phase 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identifier les principaux facteurs de maintenance des machines consommant de l'énergie 2. Déterminer le rendement de ces machines 3. Etablir des procédures de maintenances de ces machines 4. Etablir des calendriers pour ces procédures 5. Mettre en place ces procédures

CVCA : chauffage ventilation et
conditionnement d'air,
SCE : système de contrôle de l'énergie

Dans le secteur agricole, une ferme peut être traitée comme une unité industrielle. Sa consommation énergétique doit être comparée à la production. Dans certains pays, la consommation en fertilisants a été un sujet d'audit.

Dans le secteur du transport, des audits énergétiques ont été réalisés auprès d'entreprise exploitant des parcs importants de bus ou de camions. La consommation énergétique est comparée au kilométrage, les méthodes d'entretien sont révisées et évaluées et l'état des véhicules est vérifié. Les mesures de la pression des roues, etc....

Réalisation des projets recommandés par l'audit

La réalisation des projets l'économie d'énergie est normalement une tâche du Responsable Energie. Celui-ci doit, de préférence, avoir participé à l'audit énergétique et à l'élaboration du plan d'action. Les mesures simples et peu coûteuses doivent être réalisées en premier pour initier le processus d'économie d'énergie et d'amélioration des rendements énergétiques. Les projets nécessitant des investissements importants doivent être étudiés plus en détail pour déterminer avec précision les spécifications techniques des équipements et approfondir l'étude de faisabilité pour évaluer leur rentabilité. Le rôle du Responsable Energie est de coordonner ces projets en travaillant avec les consultants, en évaluant les projets et en communiquant avec la direction pour garantir la continuité de son engagement.

Audit énergétique approfondi des chaudières

I- Audit énergétique préliminaire :

La première étape dans l'évaluation dans une chaudière est la réalisation d'un audit énergétique préliminaire si cela n'a pas été fait au par avant. L'AEP est utilisé pour rassembler des informations à partir des discussions avec le personnel et par inspection visuelle. Les informations recueillies comprennent les données des plaques des constructeurs ainsi que les détails d'exploitation, y compris les combustibles utilisés, les pressions et températures opératoires.

L'inspection visuelle permet à l'auditeur de voir par lui même l'état de la chaudière et des équipements auxiliaires, et de confirmer l'information obtenue par le personnel.

II- Audit énergétique approfondi :

Le test de rendement de la chaudière est la partie centrale du travail d'un audit énergétique approfondi avant de tester la chaudière, il faut vérifier les points suivants :

- * Date de la dernière vérification de rendement
- * Instrumentation installée
- * Conditions opératoires

Des informations peuvent être obtenues en consultant les feuilles de marche de la centrale et les rapports sur le traitement d'eau alimentaire.

1) Mesure du rendement de la chaudière :

Le test le plus utilisé est le test de rendement par la méthode des pertes.

$$R_C = 100 - \text{C pertes}\%$$

Le rendement d'une chaudière dépend de la charge de cette dernière devra être testée à faible charge, à charge moyenne et à charge élevée.

Pour couvrir une plage complète de conditions opératoires de la chaudière, on devra tester par pallier de 10% par exemple : 50% ; 60% ; 70% ; 80% ; 90% ; de la charge maximale

3 séries de mesure devront être effectuées pour chaque condition de charge pour calculer le rend de combustion on prend la valeur moyenne de ces 3.

→ Le test d'un système de combustion nécessite les données suivantes :

- * T° de l'air de combustion entrant
- * T° des fumées de combustion sortantes
- * Composition des fumées de combustion sortantes : CO₂ , O₂ , CO
- * Pression dans la chambre et à la cheminée
- * Quantité d'imbrûlés dans les fumées de combustion
- * Quantité de solides dissous dans l'eau alimentaire

2) Principe de la combustion :

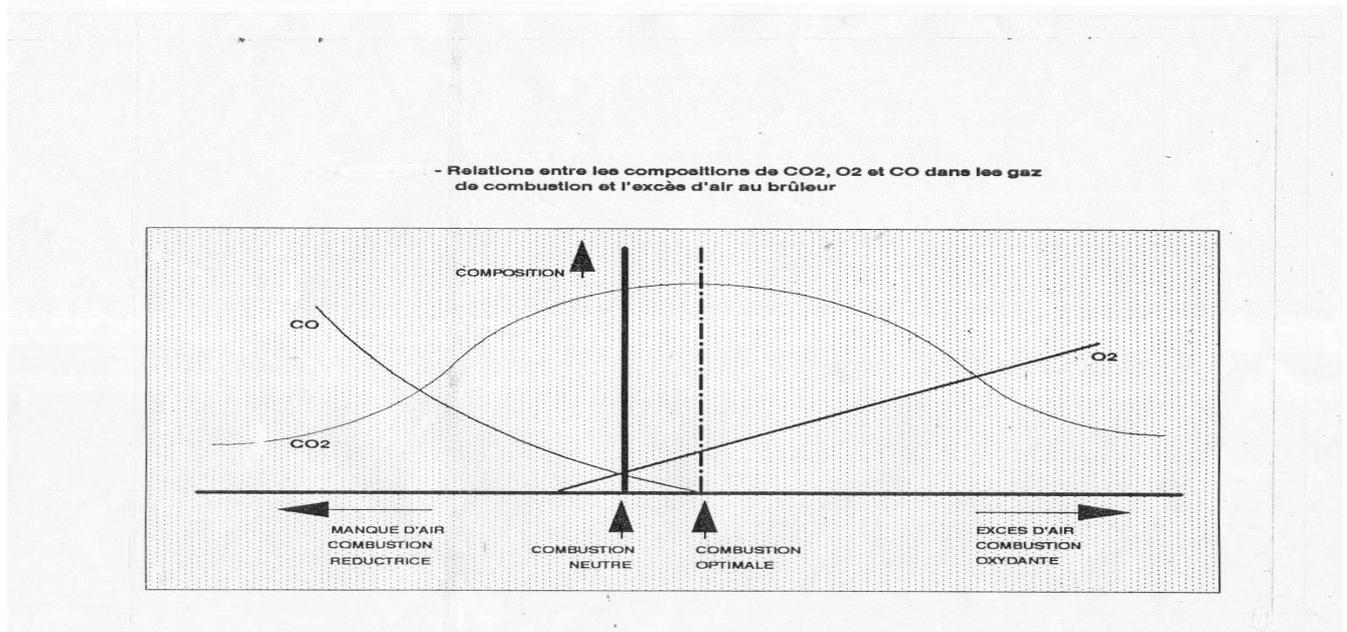
les courbes de la figure ci dessous définissent la relation directe entre la composition des fumées et les conditions opératoires du brûleur.

La partie gauche de la figure représente des points de fonctionnement avec un taux d'air insuffisant. d'une combustion complète : la concentration de CO est très élevée tandis qu'il existe peu de CO₂ et pas d'O₂

Passant vers la droite, la quantité de CO diminue alors que le CO₂ augmente. Le maximum de CO₂ devrait être au point stœchiométrique (ptc) mais à cause des limites physiques du brûleur, ce max. est déplacé vers la droite, ce qui correspond à un léger excès d'air (pt D). ce pt définit les conditions optimales réelles de la combustion. Pour un excès d'air supérieur au taux optimal du pt D, la teneur de O₂ dans les gaz de combustion augmente, alors que celle de CO₂ diminue par effet de dilution.

$$e\% = \frac{O_2}{21 - O_2} \times 100$$

$$e\% = \frac{CO_{2th} - CO_{2réel}}{CO_{2réel}} \times 100$$



De façon pratique, le point D est défini par la composition maximale acceptable en CO (entre 200 et 400 ppm) correspondant à un excès d'air négligeable.

1. Réduction des purges :

La purge est souvent utilisée pour contrôler le niveau total de solide dissous dans une chaudière. Les solides dissous (TDS) peuvent se déposer sur les tubes de la chaudière. Un compromis est réalisé entre les pertes en énergie dues à la purge et en maintenant le niveau de concentration des solides dissous à 3000 mg/l pour la plupart des chaudières industrielles opérées aux pressions inférieurs à 20 bars.

Les économies réalisées peuvent être estimées en utilisant les techniques de calcul suivantes. (Tab.21)

2. Réduction de la pression de fonctionnement :

La vapeur est produite à des pressions normalement définies les besoins les plus élevés de pression température de tous les procédés certains ateliers de fabrications ne sont pas en service permanent, et il se trouve des périodes durant lesquelles la pression des chaudières pourrait être réduites.

L'auditeur devra étudier avec précaution une réduction de pression avant de faire toute recommandation.

Des effets contraires telle que augmentation de l'effet de primage sur la chaudière en raison d'une réduction de pression, peut annuler économie potentielle

La pression devra être réduite par étapes et on ne devra pas la réduire de plus de 20%

Les économies peuvent être estimées avec les calculs suivants

(table 6.22 et figure 6.23)

Application : Taux de purge et % de perte par purge données

$$A = 500 \text{ mg/l}$$

$$P = 3500 \text{ mg/l}$$

$$P_r = 10 \text{ bars} \quad T_A = 15^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\text{ch}} = 0,8 \text{ (80\%); consommation annuelle fioul (N2 1000t/an)}$$

- * Quantité de chaleur contenue dans l'eau :

$$h_A = 62,7 \text{ kJ/kg} \quad h_A = C_p \times (t_A - t_0)$$

- * Taux de purge actuel : = $\frac{A}{P-A} \times 100 = 16,66 \%$

- * Chaleur nécessaire pour former 1 kg de vapeur :

$$Q_u = h_o - h_A = 2717 \text{ kJ/kg} \quad h_o \text{ (11bar)} = 2779,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{PCI} = 40,2 \text{ MJ/kg}$$

- * Énergie consommée par an :

$$1000 \times 40,2 = 40,210^3 \text{ GJ/an}$$

- * Vapeur produite par an = $\frac{\text{Énergie consommée par an} \times \eta_{\text{ch}}}{\text{Chaleur utile}}$

$$\text{Vap/an} = \frac{40,210^3 \times 0,8}{2,717} = 11,836 \text{ t/an}$$

$$\text{Purge par/an} = \text{taux de purge} \times \text{vap produite/an}$$

$$= 0,1666 \times 11,836 = 1971,87 \text{ t/an}$$

Quantité de chaleur nette contenue dans la purge :

Quantité de chaleur de la purge - Quantité de chaleur de l'eau de ville

$$Q_p = h_L - h_A \quad h_L \text{ (11 bar)} = 781,13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_A = 62,7 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_p = 718,43 \text{ kJ/kg}$$

% de perte par purge = $\frac{\text{purge/an} \times Q_p \times 100}{\text{Énergie fournie à la chaudière}}$

$$= \frac{1971,8 \text{ t} \times 10^3 \times 718,43}{40,20 \times 10^3 \times 10^6} \times 100 = 3,5 \%$$

% de perte par purge = 3,5%

TABLEAU 6.21 (suite 1)

REDUCTION DE LA PURGE

Taux de purge @ 3 000 = $\frac{A}{3000 - A}$

= _____ kg/kg de vapeur produite

Economies d'énergie = (existante - nouveau taux de purge) x (vapeur produite par an) x (chaleur nette des purges) (10^{-6})

= () x () x () x (0.000001)

= _____ GJ/an

Gain = (GJ/an) x (Dh/GJ)

= Dh _____/an

Coûts de réalisation

Ceux-ci devront être minimaux et devront permettre de surveiller les niveaux de salinité de manière régulière.

Notes pour le calcul

Hypothèses

- (1) Niveau maximum acceptable de salinité: 3 500 ppm.

N.B: ceci est un niveau maximum de salinité proposé par American Boiler Manufacturer's Association pour des chaudières jusqu'à 20 bar pression.

- (2) Estimation du niveau moyen de salinité: 3 000 ppm. Un fonctionnement en dessous du niveau maximum indiqué plus haut devra permettre d'atteindre un niveau de 3 000 ppm.

données

- (1) Rendement de la chaudière: utiliser une mesure du rendement ou estimer le rendement de chaque chaudière ou une moyenne pondérée.
- (2) % d'eau d'appoint: l'estimation devra être basée sur les systèmes de retour du condensat, les lectures de niveau d'eau; ou le rapport sur la qualité de l'eau alimentaire fait par les sociétés.

$$\begin{aligned} \% \text{ appoint} &= (\text{chlore dans eau alimentaire} / \text{chlore appoint}) \times 100 \\ &= (\text{salinité dans eau alimentaire} / \text{salinité appoint}) \times 100 \end{aligned}$$

Application : Influence du taux de salinité des purges sur les pertes par purge :

Données : A= 500 mg/l

P = 3000 au lieu de 3500 mg/l

P_{eff} = 10 bars

t_A = 15°C

η_{ch} = 80 %

consommation annuelle fioul (N°2)1000t/an

$$* \text{ Taux de purge \%} = \frac{A}{P - A} \times 100 = 20\%$$

$$\text{Purge par /an} = \text{Taux de purge} \times \text{Vap produite/an}$$

$$= 0,2 \times 11.836 = 2367,2 \text{ t/an}$$

Chaleur contenue dans les purges

$$QP = 718,43 \text{ KJ /kg}$$

$$\% \text{ perte par purge} = \frac{\text{Purge /an} \times QP}{\text{Énergie fournie à la ch}} \times 100$$

% perte par purge=4,23%

Donc il faut se limiter à un TDS= 3000 mg/l puisque les pertes par purge augmente si TDS

Application : Influence de la température d'alimentation sur les pertes par purge :

Données : A= 500 mg/l

P = 3000 mg/l

P_{eff} = 10 bars

t_A = 80°C

η_{ch} = 80 %

Consommation annuelle fioul (N°2)1000t/an

* Quantité de chaleur contenue dans l'eau d'alimentation :

$$h_A = C_p \times t_A$$

* Taux de purge % : = 20%

* Chaleur nécessaire pour former 1 kg de vapeur :

$$Q_u = h_v - h_A = 2445,3 \text{ kj/kg}$$

$$* \text{ Vapeur produite par an} = \frac{40,2 \cdot 10^3 \times 0,8}{2445,3 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 13151,76 \text{ t/an}$$

Purge par/an = 0,2 x 13151,76 = 2630,35 t/an

Quantité de chaleur contenue dans la purge :

$$Q_p = h_L - h_A = 446,73 \text{ kJ/kg}$$

$$\% \text{ perte par purge} = \frac{\text{Purge /an} \times Q_p}{\text{Énergie fournie à la ch}} \times 100$$

$$\% \text{ perte par purge} = 2,92\%$$

D'ou l'intérêt à augmenter la T° d'alimentation.

Un exemple de calcul du taux de purge et des pertes est donné dans la table 2.6.

Table 2.6 - Exemple de calcul du taux de purge et des pertes

Données de mesure:

salinité de l'eau d'alimentation: 500 mg/l
salinité de l'eau de la chaudière: 3 000 mg/l
pression opératoire relative: 10 bars
température de l'eau d'alimentation: 15°C

$$\text{Taux de purge} = \frac{500}{3000-500} \times 100 = 20\%$$

Calcul des pertes

A partir des données de mesure on peut lire directement sur la figure 2.2, le pourcentage des pertes par purge: 5,5%. Ces pertes peuvent être réduites de façon significative en utilisant un traitement adéquat de l'eau d'alimentation et en récupérant les condensats (voir paragraphe 4 du chapitre 3).

Ainsi pour un système de retour de condensats qui élèverait la température de l'eau d'alimentation à 80°C, les pertes par purge se réduiraient à 3,8% (voir figure 2.3).

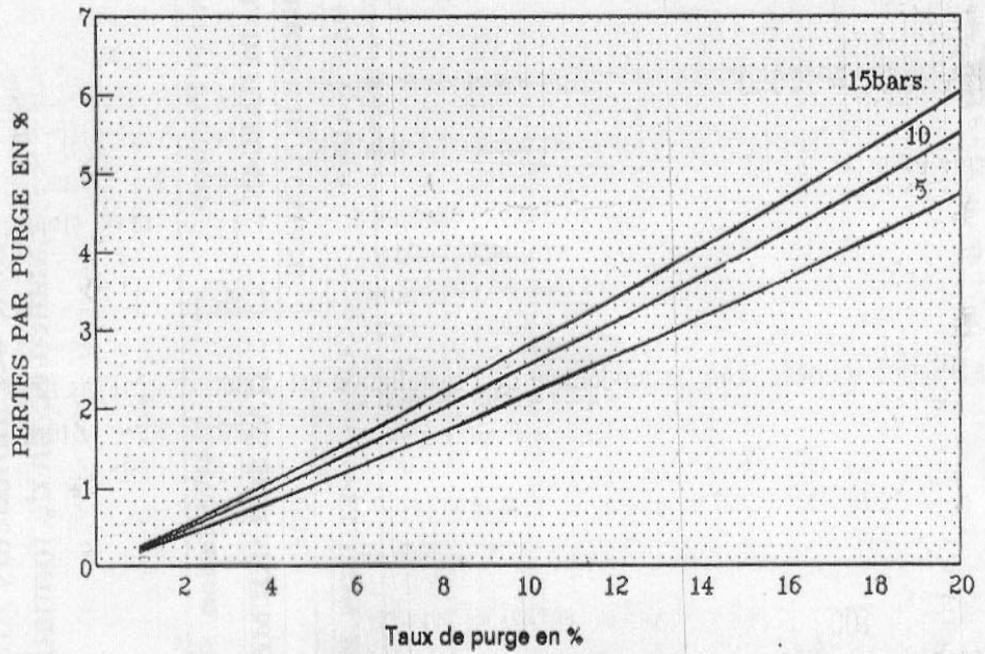


Figure 2.3 - Pertes par purge: température d'eau d'alimentation à 80°C

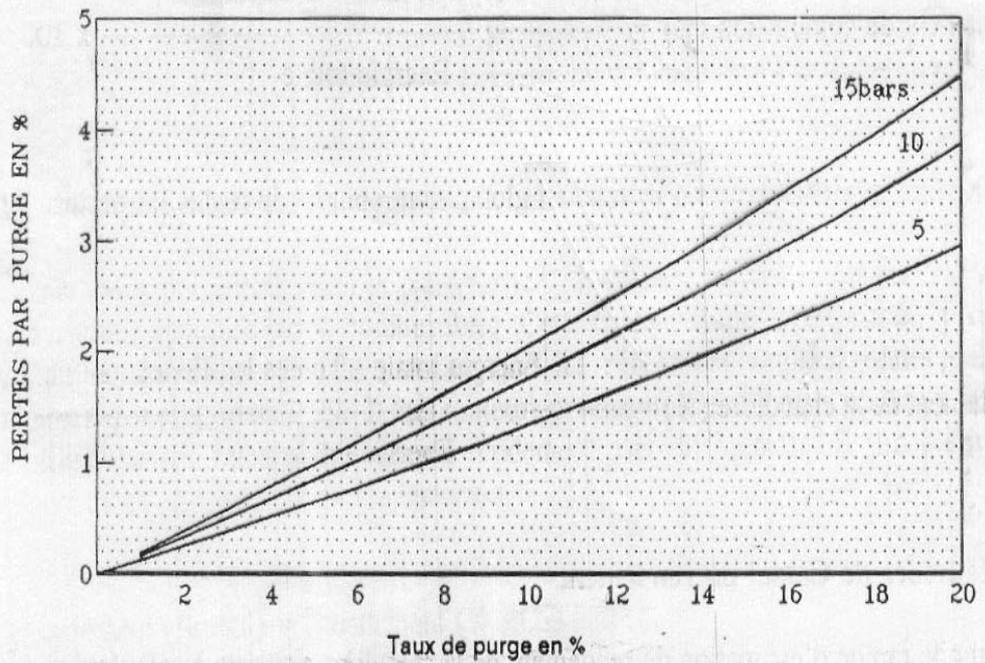


TABLEAU 6.21 (suite 2)

REDUCTION DE LA PURGE

- (3) Salinité appoint, salinité eau alimentaire et salinité au ballon: celles-ci seront obtenues avec les mêmes rapports.
- (4) Apport Énergie: du combustible consommé: à moins que le % d'eau d'appoint et que les Énergies correspondant à chaque chaudière soient disponibles; il faudra faire le calcul pour l'ensemble de la centrale.
- (5) Chaleur contenue dans l'eau de ville: utiliser les tables de vapeur correspondant à la température moyenne de l'eau de ville.
- (6) Énergie nécessaire à la formation de vapeur
 h_g = enthalpie de la vapeur à la pression de la chaudière ($h_f + h_{fg}$), à partir des tables de vapeur,
 h_w = enthalpie de l'eau d'alimentation, obtenue à partir des tables de vapeur.
- (7) Économies d'énergie: arrondir au GJ le plus proche
- (8) Gain arrondir au Dh le plus proche

TABLEAU 6.24

RECUPERATION DE CHALEUR SUR PURGES CONTINUES

Hypothèses

Rendement de la chaudière = _____ %

60% de la chaleur des purges peut être récupérée. La salinité de l'eau de chaudière est 3000 ppm.

Données

Salinité de l'eau alimentaire = _____ A _____ ppm

Énergie fournie à la chaudière = _____ GJ/an

Température de l'eau alimentaire = _____ °C

Chaleur contenue dans les purges = _____ kJ/kg

Calcul

Taux de purge =
$$\frac{A}{3000 - A}$$
 kg/kg de vapeur produite

Chaleur de vapeur = _____ h_g @ pression de chaudière

Chaleur de l'eau saturée = _____ h_f @ pression de chaudière

Chaleur de l'eau alimentaire = _____ h_{al} de l'eau alimentaire

Vapeur produite/an = $\frac{(\text{Énergie fournie}) \times (\text{rendement chaudière})}{\text{Chaleur pour former la vapeur } (h_g - h_{al})}$
= _____ kg/an

Purge par an = (taux de purge) x (vapeur produite/an)

Chaleur disponible dans la purge = _____ kg/an
= chaleur dans la purge - chaleur dans l'eau alimentation
= $(h_f - h_l)$

Chaleur disponible sur les purges = _____ kJ/an
= (purges/an) (chaleur disponible/kg) (10^{-6})
= () () / 10^6 = _____ GJ/an

Économies d'énergie

Chaleur récupérable = (chaleur sur purges/an) x (%de récupération de chaleur)
= () x (60/100) = _____ GJ/an
= (GJ/an) x (Dh) = _____ Dh/an

Gains

Notes pour le calcul

- (i) Utiliser le rendement de chaudière, calculé d'après le test.
- (ii) Utiliser l'entrée d'énergie à partir de la banque de données consommation d'énergie.
- (iii) Température de l'eau alimentaire à partir de mesures ou d'enregistrement.
- (iv) Chaleurs contenues dans la vapeur, l'eau saturée (de purge), l'eau d'alimentation, et l'eau d'appoint d'après les tables vapeur

Application : Récupération de chaleur sur purges continues :

Hypothèses : $\eta_{ch} = 80 \%$ $P = 3500$ ppm
 $P_{eff} = 10$ bars 60% de la chaleur des purges peut être récupérée

Données :

- * Salinité le l'eau d'alimentation $A = 500$ ppm
- * Énergie fournie à la chaudière = $40,2 \cdot 10^3$ GJ/a
- * $T_A = 15^\circ\text{C}$
- * Chaleur contenue dans l'eau d'alimentation = $62,7$ kJ/kg

calcul

$$\text{Taux de purge \%} = \frac{A}{P-A} = 16,66\%$$

ou bien 0,167 kg /kg de vapeur produite

$$\text{Chaleur de vapeur (11bars absolu)} = 2779,7 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Chaleur de l'eau saturée(11bars)} = 781,13 \text{ kg/kg}$$

$$h_A = 62,7 \text{ kg/kg}$$

Énergie fournie x η

$$\begin{aligned} \text{vapeur produite/an} &= \frac{\text{chaleur pr former la vap } (h_V - h_A)}{\text{Énergie fournie}} \\ &= 11.836 \text{ t/an} = 11.836 \cdot 10^3 \text{ kg/an} \\ &= 1971,87 \text{ t/an} \end{aligned}$$

purge par an

$$\text{Chaleur disponible dans la purge} = h_L - h_A = 718,43 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Chaleur disponible /an} = \text{purge /an} \times \text{chaleur des purges}$$

$$= 1971,87 \times 718,43 \cdot 10^{-3} = 1416,65 \text{ GJ/an}$$

$$\text{Économie} = \text{Chaleur de purge/an} \times \frac{60}{100} = 850 \text{ GJ/an}$$

$$\text{Gains} = 8503 \times (46,4 \text{ DH/GJ}) = 39439,5 \text{ DH/an}$$

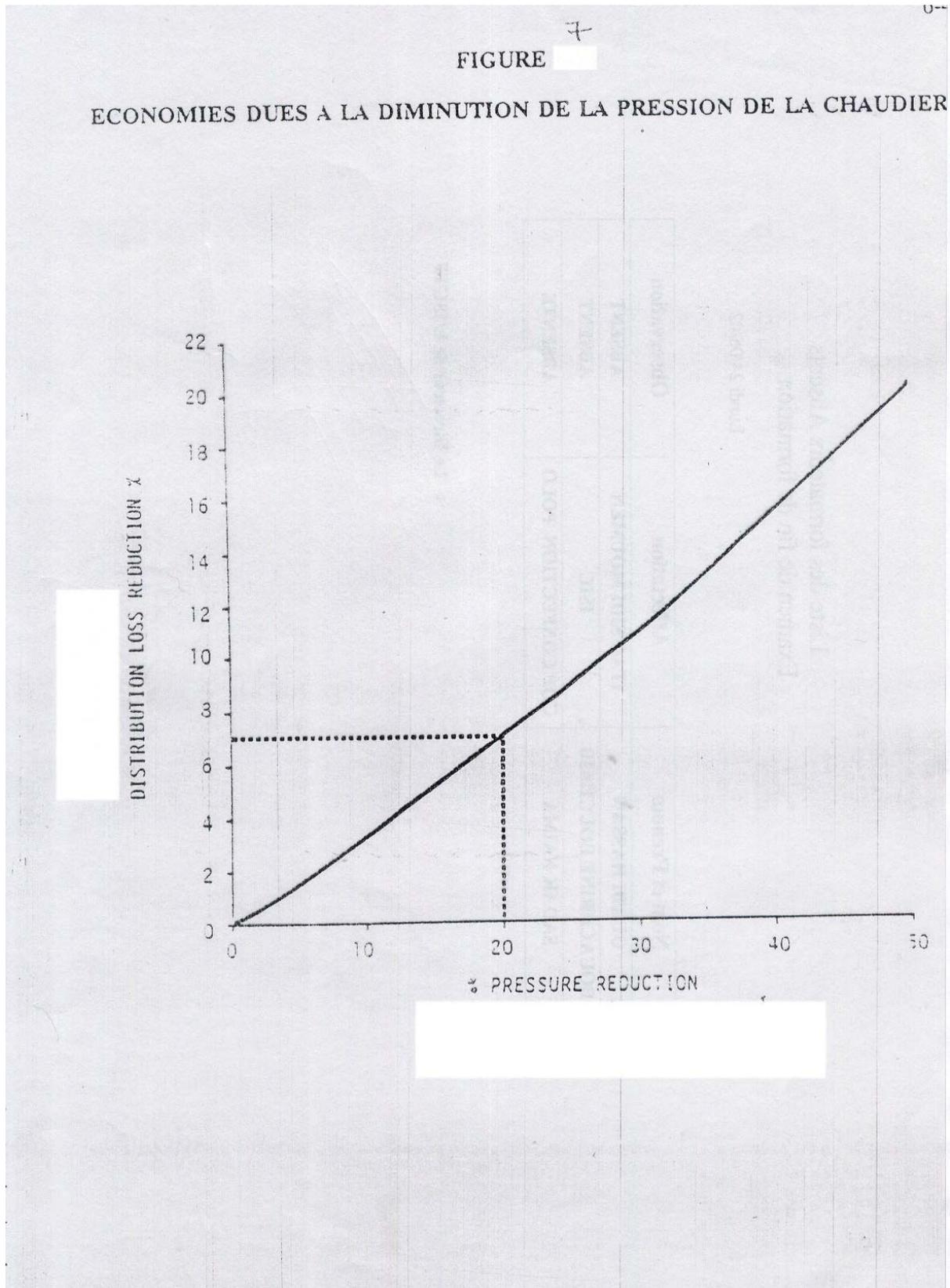


TABLEAU 6.22

REDUCTION DE LA PRESSION DE FONCTIONNEMENT

hypothèses

La pression de la chaudière devra être maintenue pour certaines opérations durant une période constante de _____ heures/an.

Le reste du temps, la pression de la vapeur pourra être réduite de _____ bar à _____ bar.

Perte d'énergie dans le réseau de distribution = _____ %

Données

Réduction de la chaleur perdue, en réduisant la pression = _____ % (A)

Apport d'énergie à la chaudière = _____ GJ/an

Total des heures opératoires = _____ h/an

Durée de marche à pression réduite = _____ h/an

Calculs

Le fonctionnement à la pression réduite permettra des économies d'énergie en réduisant les pertes du réseau de distribution.

Energie perdue due au réseau = (% perte) x (apport d'énergie, GJ/an)

= _____ GJ/an (B)

% du total d'heures pendant lesquelles on aurait pu travailler à pression réduite

= (nb d'heures à pression réduite/heures de marche) x 100

= () x (100) / ()

= _____ % (C)

Economies d'énergie = (A x B x C) / (100 x 100)

= () x () x () / 10000

= _____ GJ/an

Gain = (GJ/an) x (Dh/GJ)

= () x () = Dh _____ /an

Coût de réalisation

Il n'y a pas de coût supplémentaire associé à la mise en oeuvre de cette mesure, autre que celui de régler les soupapes.

Notes pour le calcul

La T° de l'air de combustion que le brûleur est capable d'accepter les brûleurs sont rarement équipés pour résister à des T° dépassants 175°C sans nécessiter des modifications majeures.

3. Remplacement des chaudières :

Les économies potentielles résultant du remplacement d'une chaudière dé pondront de l'amélioration escomptée du rendement un changement de chaudière peut être financièrement intéressant pour les raisons suivantes :

- La chaudière existante est vieille et a un mauvais rendement
- La chaudière n'est techniquement pas capable d'utiliser un combustible de substitution moins cher.
- La chaudière est de taille inadaptée.

Une estimation des économies peut être faite en calculant le changement de rendement :

$$\text{Économie} = \frac{\text{GJ de combustible/an} \times (\eta_n - \eta_a)}{\eta_n}$$

$$= \text{GJ /an}$$

η_n = rendement de la nouvelle chaudière (peut être donné trouvé dans les catalogues du constructeur.

η_a = rendement de l'ancien chaudière.

4. Préchauffage de l'eau alimentaire :

5.

Une méthode de préchauffage de l'eau alimentaire a été mentionnée ci-dessus. une autre méthode consiste à faire passer les fumées de combustion à travers un économiseur cette solution peut être rentable pour des gales chaudière fonctionnant en continue sur de longues périodes.

Le potentiel d'économies obtenues peut être estimé à partir du graphe ci -dessous.lors de l'évaluation de cette solution, on doit prendre en compte des risques de corrosion causés par le soufre présent dans le fioul.

Pour le fioul lourd contenant 2 à 3% de soufre la limite de la T° des gaz de cheminée est de 160°C- 180°C.

6. Préchauffage de l'air de combustion :

Cette mesure est à conseiller pour des chaudières fonctionnant en continu sur de longues périodes avec des fumées de combustion à T° relativement élevée (300°C ou plus) et dont l'eau d'appoint est déjà préchauffée le facteur limitant l'utilisation de ce système est en général

Elles sont utilisées principalement lorsque la demande en chauffage est inexistante ou très faible par rapport à l'enthalpie récupérable en sortie.

Turbine à contre-pression ou la vapeur ayant fourni un travail dans la turbine est destinée à d'autres usages calorifiques (échangeur par exemple).

Pour satisfaire ces nouvelles applications, la vapeur doit contenir un niveau enthalpique suffisant et donc échapper de la turbine à une certaine pression.

La vapeur en sortie de la turbine peut être encore sur chauffée, mais est très proche de la saturation.

On utilise par fois même des soutirages partiels au niveau des étages intermédiaires de la turbine avec des pressions plus élevées que la pression d'échappement.

7. Application : amélioration de l'isolation

Une partie de la vapeur saturée est distribuée à une pression relative de 7 bar. Cette vapeur saturée est produite dans une chaudière dont le rendement est estimé à 80%. Au cours de la distribution, les pertes de chaleur à travers les parois de la tuyauterie sont estimées à 120.000 kJ/h. L'amélioration de l'isolation doit réduire ces pertes de 60%.

Quelle quantité de combustible serait économisée, si l'isolation était améliorée ?

On suppose que le PCI du combustible est de 42.500 kJ/kg et que les condensats sont retournés dans la chaudière à une T° de 92°C.

En supposant que le combustible coûte 2500 DH/tonne.

Quel est le montant des économies annuelles générées par l'amélioration de l'isolation.

On prendra 8000h pour la durée de marche annuelle de la chaudière.

Réponse :

→ Qté d'énergie à économiser si l'isolation est améliorée

$$120.000 \times 0,6 = 72.000 \text{ KJ/h}$$

→ La lecture sur la table donne :

- Enthalpie de vapeur saturée à 7 bars = 2767,5 KJ/Kg
- Enthalpie d'eau à 7 bars = 720,9 KJ/Kg
- Chaleur de vaporisation = 2046,5 KJ/Kg

→ Quantité de vapeur économisée :

$$\frac{72.000}{2046,5} = 35,2 \text{ kg/h}$$

→ Enthalpie de l'eau à 92°C = 384,47 KJ/Kg

→ Quantité d'énergie nécessaire pour générer 35,2 kg/h de vapeur à 7 bars

$$\frac{(2767,5 - 384,47) \times 35,2}{0,80} = 104.856 \text{ kJ/h}$$

→ Quantité correspondante en combustible économisé :

$$\frac{104.856}{42.500} = 2,5 \text{ kg de combustible/h}$$

→ Économies annuelles :

$$2,5 \times 8000 \times 2,5 = 50.000 \text{ DH/an.}$$

8. Rendement global du réseau vapeur :

Avant de présenter en détail le système de distribution de la vapeur, il est important de comprendre le principe de base de calcul du rendement global de ce système.

Un réseau de vapeur typique comprend les éléments suivants :

- Un générateur de vapeur
- Une tuyauterie et autres éléments installés sur cette tuyauterie tels que les vannes de contrôle et les purgeurs.
- Un système de récupération des condensats, englobant les conduites, les réservoirs de stockage et les pompes.

Audit énergétique d'un réseau de vapeur

I - Audit énergétique préliminaire :

Les travaux de l'A.E.P concernant le réseau vapeur se limitent à l'inscription visuelle. Cette inspection doit permettre à l'auditeur énergie de relever les diamètres de collecteurs, les pressions de distribution, l'isolation manquante et les fuites.

II- Audit énergétique approfondi :

- ☞ Les performances énergétiques du réseau sont évaluées en testant :
- ☞ La pression et la température de vapeur.
- ☞ Les températures des surfaces des tuyaux et des équipements.
- ☞ Les purges de vapeurs.
- ☞ Les fuites de vapeur
- ☞ L'isolation manquante ou en mauvaise état
- ☞ Le système de retour des condensas.

1- Test du réseau vapeur :

La pression de la vapeur est mesurée à l'aide de manomètres. La pression mesurée aux points de prise de pression existants. Un manomètre calibré doit être utilisé à la place des manomètres existants. Une différence sensible entre les valeurs indiquées par les manomètres existants et le manomètre calibré indique que le premier est défectueux. De plus, une pression trop basse par rapport à celle que l'on s'attend à trouver indique une fuite de vapeur.

La température de la vapeur est mesurée soit à l'aide d'une sonde thermocouple de surface, ou d'un pyromètre à infrarouge. La sonde est placée en contact direct avec une portion décalorifugé du collecteur de vapeur, la température se lit ainsi sur le thermomètre.

En utilisant un pyromètre à infrarouge, on pourra mesurer la température du collecteur de vapeur sans contact physique dans le réseau, la vapeur se condense partiellement, en raison des pertes de chaleur à travers les surfaces des conduites.

Par exemple :

Un collecteur isolé de 10cm de diamètre et de long, dans l'air ambiante à 10°C condense 10kg de vapeur par heure. On doit prévoir l'élimination de cette eau. Ceci est réalisable à l'aide de pots de purge et de purgeurs.

2- Purgeurs de vapeur

Les purgeurs de vapeur fonctionnent suivant des principes mais leur fonction de base consiste à séparer le condensas de la vapeur sans fuite de vapeur. Ces purges doivent également être étudiés pour l'évacuation de l'air présent dans le réseau de vapeur. L'air remplit les espaces laissés libres par la vapeur dans le réseau de distribution de vapeur.

Au moment où la vapeur est arrêtée et se condense (par à la fin d'une journée de travail), l'air s'infiltré à travers les vannes joints, etc....

Si l'on veut que le collecteur fonctionne correctement au redémarrage, il est nécessaire de purger l'air du réseau, ce qui représente une fonction importante des purgeurs.

3- Test des purges de vapeur :

Un vrai test pour un purgeur doit être effectué dans un laboratoire, ou on peut observer la décharge du condensat et mesurer les fuites de vapeur. Cependant dans une usine, les purgeurs doivent subir des tests à leurs places. Les purgeurs défectueux sont détectés soit en mesurant leur température, soit en analysant le son qu'ils émettent.

Si le purgeur fonctionne correctement, il y a une différence de température sensible entre l'amont et l'aval. Si aucune différence de température n'est détectée, cela signifie que le purgeur est grandement ouvert et en fuite de vapeur permanente. Si la température à l'aval est très basse, il se peut que le purgeur soit bloqué.

Un purgeur de vapeur peut également être testé par moyens acoustiques. Des différents types de purgeurs émettent des sons de manière cyclique régulière. L'auditeur peut écouter ces sons à l'aide de stéthoscope industriels ou de détecteurs ultrasons. Un certain entraînement peut être nécessaire pour se familiariser avec les sons normaux qu'émet chaque type de purgeur.

Normalement, le purgeur thermostatique fait un déclic lors de son ouverture. Il y a une durée relativement longue entre chaque cycle d'ouverture.

Le purgeur à flotteur fonctionne sans bruit, et est donc difficile à tester par des moyens acoustiques. Le purgeur thermodynamique émet également un déclic.

Des déclics très rapprochés indiquent une anomalie de fonctionnement.

4- Estimation des économies potentielles :

4-1 Réparation des fuites :

Au cours de l'inspection visuelle. L'auditeur devra localiser les fuites et en déterminer l'importance ou la taille. La figure 1 peut être utilisée pour calculer les économies résultant de la réparation des fuites de vapeurs sur un orifice calibré. Le problème est que le diamètre de l'orifice n'est pas connu. Le problème est que le diamètre de l'orifice d'une fuite dans l'usine est impossible à déterminer. Dans ce cas, l'auditeur peut estimer la quantité de vapeur à partir de la longueur du jet de vapeur. (voir [fig 2](#))

4-2 Installation ou réparation de l'isolation :

L'auditeur devra noter les isolations manquantes en termes de taille (diamètre) du collecteur, la longueur manquante ou endommagée. Il peut utiliser le tableau 1 pour estimer les économies résultantes de l'installation d'une isolation sur une tuyauterie nue ou du remplacement d'une isolation. Il peut également utiliser la technique de calcul présentée dans le chapitre précédent.

4-3 Réparation ou remplacement de purgeurs :

Les économies résultant de la réparation ou du remplacement des purgeurs dépendent de la quantité de vapeur perdue par les purgeurs défectueux. La seule façon de déterminer cette perte de vapeur est de le tester dans un laboratoire. Les instruments utilisés de l'usine (même le détecteur ultrasons) ne peuvent vérifier que de manière qualitative le bon fonctionnement du purgeur. En particulier, ils déterminent :

- (1) si le purgeur opère correctement (s'il ferme bien contre la vapeur après passage des condensas).
- (2) Si le purgeur est bloqué (aucune vapeur et condensas ne passent).
- (3) Si le purgeur est défectueux et reste ouvert en permanence (passage continu des condensas et de vapeur).
- (4) S'il existe une fuite de vapeur due au fait que le purgeur ne ferme pas complètement après passage des condensas.

On peut utiliser le tableau 2 pour estimer les pertes résultant d'un purgeur défaillant dans les cas (3) et (4).

Tableau -2-
Perte de vapeur à travers des purgeurs défectueux

Diamètre de connexion (mm)	Pertes de vapeur cas (3) (kg/h)	Pertes de vapeur cas (4) (kg/h)
12	5.0	2.5
18	6.5	3.0
25	9	4.5
38	12	6.0
50	15	7.5

4-4 Retour des condensas :

Le retour des condensas représente une meilleure façon d'économiser l'énergie dans un système de vapeur.

Les condensas sont à une température élevée ; en plus ils ne contiennent pas de solides dissous ni normalement de contaminations. Le retour des condensas permet les économies suivantes :

- ☞ Economie d'énergie due à la haute température des condensas.
- ☞ Economie d'eau, car les condensas remplacent l'eau d'appoint.
- ☞ Economie de produit chimique de traitement d'eau, car les condensas sont essentiellement de l'eau pure.

Si la quantité de condensas à retourner est grande, l'auditeur peut calculer les quatre économies énumérées ci-dessus. Normalement, les premières sont les plus importantes. Pour ces calculs, on peut se baser sur la méthode employée pour le calcul des économies réalisées par la réduction des purges.

EVALUATION DE FIN DE FORMATION

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES