

## Méthode de réduction de la consommation d'énergie dans l'industrie Etude de cas: des entreprises de la région de l'oriental du Maroc

Mohammed Elmesellek<sup>1</sup>, Elbachir Elkihel<sup>1\*</sup>, Belkassem Tidhaf<sup>2</sup>, Fabienne Delaunois<sup>3</sup>  
(1) *Equipe Génie Industriel Maintenance et Production Mécanique Université Mohamed I<sup>ère</sup> Ecole National des Sciences Appliquées d'Oujda.*

(2) *Equipe Systèmes Electroniques Embarqués et Énergie Renouvelables Université Mohamed I<sup>ère</sup> Ecole National des Sciences Appliquées Oujda.*

(3) *Laboratoire métallurgie Mons Belgique.*

<sup>1</sup>*Elmesellek-med@hotmail.com*

<sup>1\*</sup>*belkihel@ensa.ump.ma*

<sup>2</sup>*tidhaf@yahoo.com*

### Résumé :

Le monde entier est en quête régulière afin de réduire au maximum sa consommation énergétique, que ce soit dans le bâtiment ou dans l'industrie et ce dans le but de pallier aux crises énergétiques récurrentes, de préoccupations environnementales nationales et globales, et à l'irrésistible montée des inégalités ainsi que des précarités énergétiques mondiales.

A cet effet, ce travail qui portera sur l'efficacité énergétique. Définie comme étant le rapport entre ce que produit le dispositif ou le système, et ce qu'il absorbe comme énergie, cette dernière est d'autant meilleure que le système énergétique utilise le moins d'énergie possible, autrement dit c'est consommer l'énergie efficacement.

Pour cela on a élaboré un bilan de la situation énergétique globale de l'entreprise en question, quantifier les potentiels d'économies d'énergie mais aussi définir des actions pour réaliser ces économies telles sont les objectifs de mon travail.

### Mots-clés :

Efficacité énergétique, Audit énergétique, Mix-énergétique, Indicateurs de Performance énergétique, Plan d'action.

### Méthodologie de travail :

La réalisation d'une étude sur l'efficacité énergétique nécessite de passer logiquement sur certaines étapes. Ci-après, la description de chaque étape à part entière faisant partie de notre méthodologie de travail [1].

## 1. Audit énergétique préliminaire :

### 1.1. Questionnaire d'audit :

Un questionnaire [2] doit être rempli afin d'obtenir toutes les données relatives à la consommation d'énergie et aux différents paramètres de production pour situer les performances énergétiques de chaque activité de l'entreprise (installations industrielles, bâtiments, matériel roulant).

### 1.2. Visite générale de l'entreprise :

On effectue une visite générale de l'entreprise afin de :

- Compléter le questionnaire d'audit.
- Identifier les différentes activités, acteurs, ateliers et équipements.
- Identifier les interventions à effectuer et trouver les équipements critiques en termes de consommation d'énergie qui seront l'objet de nos investigations.
- Procéder à l'audit ou le diagnostic approfondi si cela est nécessaire.

#### 1.2.1. Mise au point des équipements de mesures et de contrôle :

On contrôle le fonctionnement des instruments de mesures et d'enregistrement des données physiques des différents équipements, installations et matériel de l'entreprise afin de vérifier s'ils sont utilisables pour la prochaine étape. Etablir, si nécessaire, une liste d'interventions à effectuer pour la mise en place d'instruments de contrôle et de mesure.

#### 1.2.2. Identification d'actions de maîtrise de l'énergie :

On exploite les données recueillies lors de la visite générale de l'entreprise et la collecte d'information. On présente les principales caractéristiques de l'usage de l'énergie pour les différentes activités et un état des lieux des actions de maîtrise de l'énergie mis en œuvre par l'entreprise. Suite à cela, Proposer un plan d'actions à réaliser par la suite.

### 1.2.3. Elaboration du rapport d'audit préliminaire :

A l'issue de cette phase, établir un rapport d'audit énergétique préliminaire regroupant toutes les informations collectées, les investigations effectuées ainsi que le plan d'actions proposé.

## 2. Audit énergétique approfondi :

### 2.1. Mise en place du matériel de mesure et campagne de mesure :

On met en place tous les instruments de mesure et de contrôle et on vérifie leur bon fonctionnement.

### 2.2. Analyse et exploitation des mesures effectuées :

On effectue l'analyse et le traitement de ces mesures pour aboutir aux bilans énergétiques et matières des ateliers, des équipements et du matériel roulant permettant de réaliser des ratios de consommation qui situent les performances des différentes activités de l'entreprise par rapport aux standards communément admis. A partir de ces données, établir un certain nombre de recommandations.

### 2.3. Examen des installations industrielles :

On examine les différents points de fonctionnement de l'installation industrielle ayant trait à la consommation et à la production d'énergie.

### 2.4. Etude des solutions et élaboration du rapport d'audit approfondi :

On recherche des solutions d'amélioration, chiffrer les gains et établir un rapport, avec classement des solutions par retour sur investissement croissant, constituant une trame de Plan d'Action.

## 3. Présentation de la CTJ :

La centrale se compose de trois tranches 55 MW, chaque tranche, du type bloc, étant constituée par un ensemble chaudière, turboalternateur, transformateur et élévateur à 225 KV, les deux premières tranches ont commencé leur production en 1971 et la troisième en 1972.

### 3.1. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une centrale thermique classique est de produire à partir de la combustion d'un produit (combustible) de l'énergie électrique. Les connaissances et les technologies actuelles ne permettent pas une transformation directe. Le passage par une étape intermédiaire sous forme d'énergie mécanique est nécessaire.

Dans la CTJ, le combustible de base est le charbon vapeur, importé depuis le port de Nador. Arrivé par camions, il est stocké dans un parc à combustible à proximité de la centrale.

L'énergie chimique emmagasinée dans le combustible est transformée en chaleur (énergie thermique) par la combustion dans la chaudière. Cette énergie thermique ainsi produite permet dans la chaudière par un échange de chaleur entre les gaz de la combustion et l'eau circulant dans les tubes vaporisateurs de produire de la vapeur d'eau à température et à pression élevée. L'énergie mécanique est obtenue en envoyant cette vapeur sous pression et haute température dans une turbine dont elle entraîne la rotation en perdant une partie de son énergie (détente de la vapeur) donc par transformation de l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique.

L'énergie électrique est produite par l'alternateur entraîné par la turbine, donc par transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique (figure 1).

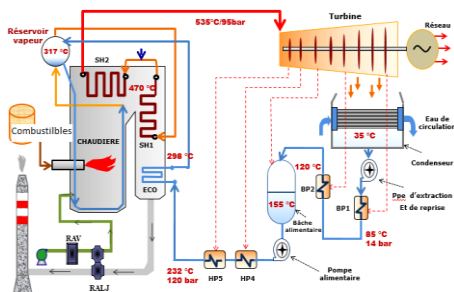


Figure 1 : Principe de fonctionnement de la CTJ

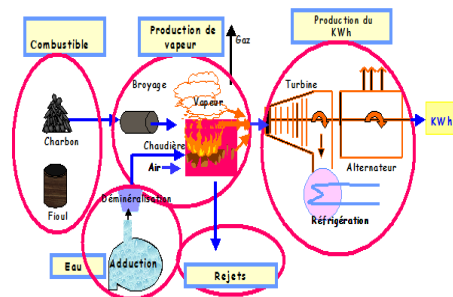


Figure 2: Processus de la CTJ

### 3.2. Les différents processus de la CTJ :

Dans n'importe quelle usine, il est indispensable de connaître en premier lieu ses différents processus. Ceux de la CTJ sont au nombre de cinq.

### 3.2.1. Processus de production vapeur :

Le Processus vapeur comporte les installations servant à transformer l'énergie des combustibles qui est sous forme chimique en énergie thermique sous forme de vapeur. Une équipe de maintenance ainsi qu'une équipe d'exploitation sont affectées à ce processus de plus une partie des travaux de maintenance sous traitée. Ce processus consomme entre autre les combustibles (Charbon et fuel) ainsi que l'eau déminéralisée. Il comporte trois sous processus :

⇒ Air et fumées, Eau et vapeur et le Traitement du combustible.

### 3.3. Processus de production du Kilowattheure :

Ce processus comporte les installations servant à transformer l'énergie thermique sous forme de vapeur en énergie électrique. Il consomme entre autre de l'eau clarifiée pour la réfrigération des condenseurs ainsi que de la vapeur d'eau. Il comporte trois sous processus :

⇒ Vide, Générateur du kilowattheure et la Réfrigération.

### 3.4. Processus de production d'eau :

Le processus Eau comporte les installations permettant le transport et le traitement de l'eau brute pour la transformer soit en eau déminéralisée servant à l'alimentation des circuits des tranches soit en eau clarifiée pour la réfrigération des condenseurs et des autres installations. Il se compose de deux sous processus :

⇒ Adduction d'eau et le Poste d'eau déminéralisée.

### 3.5. Processus de combustible :

Ce processus a pour rôle le stockage et le transport des combustibles du parc de stockage vers les chaudières pour combustion. Il comporte deux sous processus :

⇒ Manutention Charbon, Fioul.

### 3.6. Processus des rejets

Ce processus a pour rôle l'évacuation des rejets de combustion tels que mâchefer et cendres vers un bassin de décantation.

Il comprend toutes les installations permettant d'évacuer les déchets solides et liquides vers le barrage de stockage et de récupérer l'eau décantée pour une réutilisation. Il se compose de deux sous processus :

⇒ Poste à mâchefers et la station eau décantée.

### Applications :

- On rédige un cahier de charge relatif au diagnostic dans le secteur industriel [3].
- On prépare un questionnaire dans le cadre de la réalisation d'un audit énergétique.
- On envisage la réalisation du bilan énergétique de l'entreprise à travers l'adoption des logiciels permettant l'analyse des données et leur interprétation.

### Résultats obtenus :

Afin de réaliser un bilan énergétique relatif aux différentes ressources d'énergie, le personnel de la CTJ a mis à notre disposition des données réelles englobant toutes les énergies qu'utilise l'usine en question.

La consommation de chaque source d'énergie est mise à part entière et classée selon les trois tranches de la CTJ.

Pour un audit énergétique, le mieux est de prendre les données des trois dernières années, à savoir dans notre cas, les données des années 2010, 2011 et 2012. On a construit les différents graphiques permettant l'interprétation des données ci-jointes dans le tableau.

Tableau 1 : données des trois années dernières dans les trois tranches.

Années	Production Brute en MWh	Heures de marche annuelles	Indisponibilité Programmée	Indisponibilités Fortuites	% Indisponibilité Programmée	% Indisponibilité Fortuite	% Disponibilité
2010	792811	18829	962	3152	47,18	53,24	189,3
2011	948697	20339	164700	123011	37,61	28,08	220,08
2012	978153	21699	69200	120672	15,76	27,48	231,76

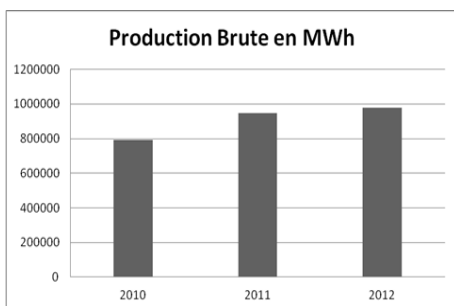


Figure 2: Production brute en MWh .

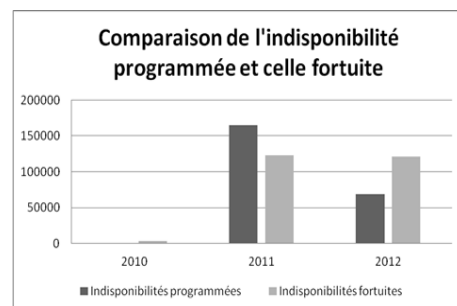


Figure 3: Comparaison de l'indisponibilité programmée et fortuite.

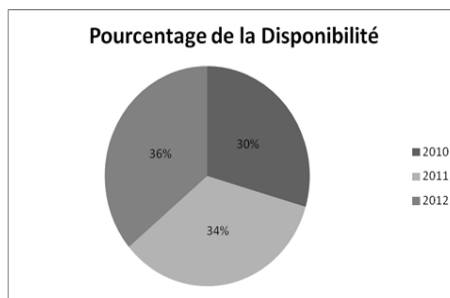
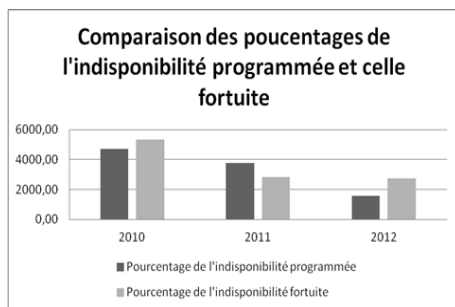


Figure 4: Comparaison des pourcentages de l'indisponibilité-programmée et fortuite.

Figure 5: Pourcentage de la disponibilité.

Concernant le bilan énergétique, on a rassemblé les valeurs des différentes énergies présentes à la CTJ, à savoir : **Charbon, Fioul, Eau et la Consommation des auxiliaires (y compris l'éclairage)**. Toutes les sources énergétiques ont été converties en Kcal / KWh afin de pouvoir les comparer.

Tableau 2 : Consommation des sources énergétiques de la CTJ en Kcal/KWh

Sources d'énergie	Charbon	Fioul	Eau	Auxiliaires
Consommation en Kcal/KWH	3724	22	50	434

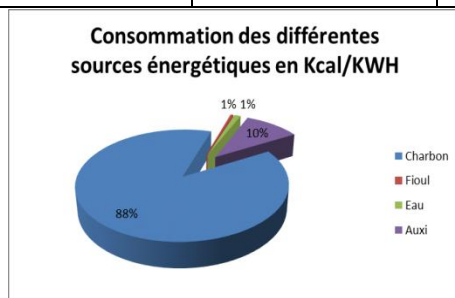


Figure 7: Répartition des différentes sources d'énergie

Après avoir établi le bilan énergétique des sources de la CTJ, on a effectué un diagramme de Pareto afin d'analyser les causes majeures des pertes énergétiques au sein de l'usine, en utilisant trois méthodes de calcul différentes :

- ⇒ La méthode directe : Cette méthode se base sur le comptage des bascules, le tonnage transféré par les trémies à charbon brut et pulvérisé, et le transfert du parc à charbon. Pour le fioul nous nous basons sur le jaugeage des cuves. Les deux consommations étant déterminées, elles sont rapportées à la production des trois tranches.
- ⇒ La méthode à partir des écarts : Cette méthode est basée sur une consommation spécifique de départ, nommée la consommation spécifique de base (COB) majorée de la somme des écarts.
- ⇒ La méthode indirecte : La méthode indirecte se base sur la détermination de la quantité de chaleur consommée par la turbine rapportée au rendement de la chaudière et à la puissance nette de la tranche.

Le tableau 3 : les causes (écarts) des pertes énergétiques [4].

ECARTS	Effectifs	Cumul des effectifs	Pourcentage du cumul
Vide condenseur	176	176	42,1
Consommation auxiliaires électriques	82	258	61,8
Avarie R H P	53	311	74,5
Pertes eau et vapeur	41	352	84,3
Indisponibilité limitant la charge	27	379	90,8
T° eau d'alimentation	27	405	97,1
Cons électrique pendant arrêt pour avarie	14	420	100,6
Température vapeur admission	11	431	103,3
Influence P C I sur rendement	11	442	105,9
Démarrage après arrêt pour avarie ou travaux	7	450	107,7
consommation auxiliaire pendant l'arrêt programmé	6	455	109,1
Fioul de soutien	4	459	109,9
Charge de la tranche	3	462	110,6
Ecart total DN	1	463	110,9
Démarrage après arrêt sur programme	1	463	111,0
Pression vapeur admission	-2	462	110,6
Température eau de circulation	-4	458	109,6
Pertes chaleur sensible chaudière	-5	453	108,5
facteur de puissance	-6	447	107,0
Pertes par imbrulés q4	-29	417	100,0

Le diagramme Pareto obtenu est le suivant :

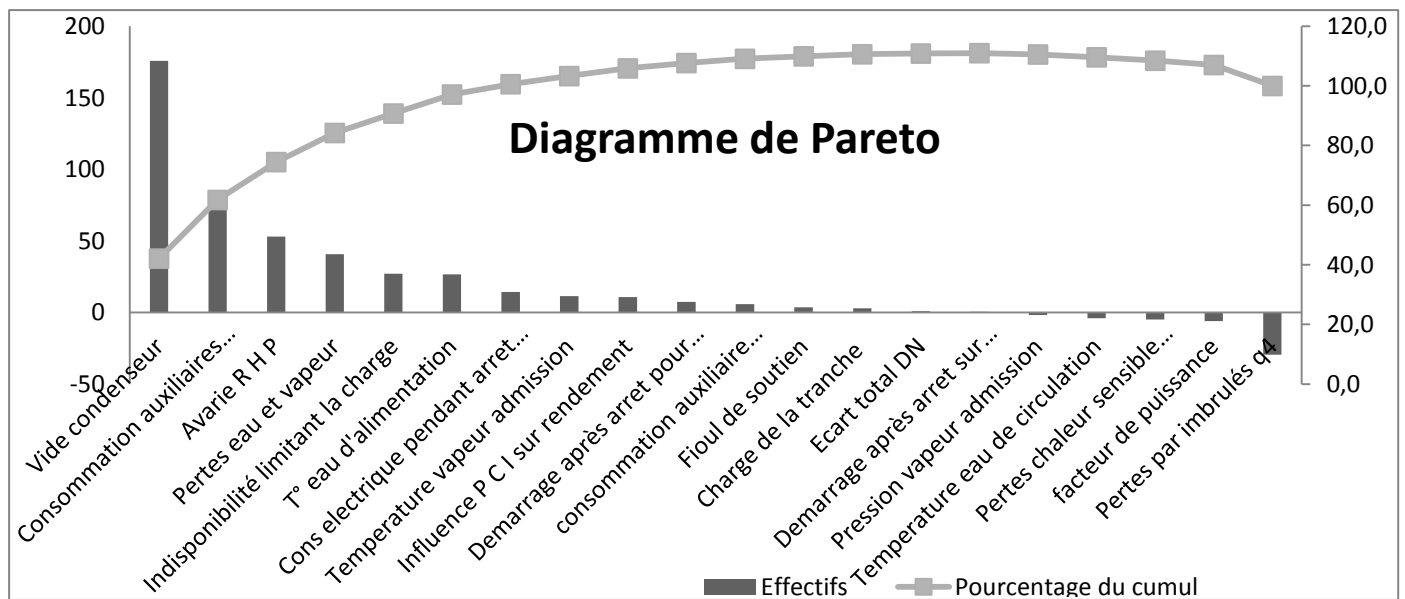


Figure 8: Diagramme de Pareto relatif aux causes des pertes énergétiques

D'après le tableau ci-dessous on remarque que les pertes d'énergie sont localisées principalement dans le vide condenseur et la perte due à la consommation auxiliaire électrique.

**Nomenclature :**

Symbole	Nom, unité
CTJ	Centrale thermique de JERADA
TEP	Tonnes équivalent pétrole
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur

**Conclusion :**

Après les visites à l'entreprise en question, on a réussi à découvrir tout d'abord son principe de fonctionnement, c'est-à-dire, la façon dont ce dernier produit de l'électricité. On a aussi réussi plus ou moins à remplir le questionnaire par le personnel de l'entreprise mais aussi, à collecter les données nécessaires, relatives à la consommation d'énergie au sein de la centrale afin de les analyser par la suite et réaliser un bilan énergétique global.

Ayant une idée sur les principales pertes énergétiques au sein de l'entreprise, on réfléchit au fur et à mesure de l'avancement de notre projet aux actions et solutions qu'on doit proposer afin d'optimiser la consommation énergétique.

**Références :**

[1] Bachir ABOU KHALIL, méthodologie d'analyses énergétique et exégétique des procédés de transformation de produits dans l'industrie, le 12 décembre 2008.  
 [2] Questionnaires Types proposés par l'ADEME.  
 [3] cahier des charges relatif a l'audit énergétique dans le secteur industriel, Tunisie.  
 [4] ADEME, Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, Juin 2010.