

UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES



Département de Génie Industriel



Projet de Fin d'Etudes

**Amélioration du rendement
du fioul et la chaudière**

Lieu : Coca-Cola Fès

Référence : 25/16GI

Préparé par :

ANASS EZ-ZOUBI

Soutenu le 11 Juin 2016 devant le jury composé de :

- Pr. M. Abarkan (Encadrante FST)
- Pr. M.F. Gadi (Examineur)
- Pr. A. Chamat (Examineur)
- Mr. A. El Moubakkir (Encadrant Société)

Année Universitaire : 2015 – 2016

Remerciements

Avant tout développement sur ce travail, je souhaite adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes, qui sans leur aide gracieuse, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible.

Dans un premier lieu, je tiens à remercier mon encadrante Mme. Mouna ABARKAN, pour son suivi et ses conseils avisés, pour sa disponibilité, et surtout pour son sens du relationnel qui nous a facilité la communication.

Je voudrais remercier sincèrement Mr. Hamid MOUBAKIR, mon encadrant au sein de la CBGN. Sa présence, son professionnalisme et ses interventions précieuses ont contribué à la réussite de notre stage.

Mes remerciements particuliers sont à adresser à Mr. Said, le chef d'équipe de la production, pour sa bienveillance et sa disponibilité permanente. Grâce à son caractère sociable et chaleureux, il a mis tout en œuvre pour que je passe le stage dans les meilleures conditions possibles.

Aussi, je remercie Mr. Said Houach, et l'équipe du département Génie Industriel pour leur écoute et leur contribution généreuse.

Je désire exprimer ma gratitude envers l'ensemble du corps professoral du département Génie Industriel à la FSTF qui m'a fourni les éléments et les outils nécessaires pour notre formation tout au long des trois années des études supérieures.

Enfin, j'aimerais remercier nos collègues de bureau, pour nous avoir garanti un climat de travail convivial et animé.

Dédicaces

A ma Mère, qui m'a toujours soutenu, je te Remercie de tout mon cœur pour ton amour inconditionnel.

A mon Père, qui m'a aidé et qui m'a encouragé durant tout mon parcours, Merci pour tes sacrifices.

A mon Frère Saad, pour son soutien et son assistance.

A mon Oncle Lahcen, pour sa présence et ses conseils.

A toutes les Familles EZ-ZOUBI, OURRI, ZGANI et EL-HARCHAOUI.

EZ-ZOUBI ANASS

Tables des symboles et Abréviations

Symbole/Abréviation	Signification
Brix	Le pourcentage du sucre dans le sirop.
CBGN	C ompagnie des B oissons G azeuses du N ord.
ISO	I nternational O rganization for S tandardization (Organisation Internationale de Normalisation)
OHSAS	O ccupational H ealth and S afety A ssessment S eries (Management de la Santé et la Sécurité au Travail)
PAS220	Programme pré-requis en sécurité alimentaire.
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur.
RH	Ressources Humaines.
η	Rendement

Liste des Figures et Tableaux

Figure 1.1 : Organigramme de l'entreprise.....	3
Figure 1.2 : Adoucisseur	6
Figure 1.3 : Schéma du traitement d'eau.....	7
Figure 1.4 : Dépalettiseur	9
Figure 1.5 : Dévisseuse.....	10
Figure 1.6 : Décaisseuse	10
Figure 1.7 : La Laveuse des bouteilles	11
Figure 1.8 : Mirage à vide.....	11
Figure 1.9 : Inspectrice	12
Figure 1.10 : Mixeur	12
Figure 1.11 : Soutireuse - Boucheuse	13
Figure 1.12 : Mirage du plein.....	14
Figure 1.13 : L'encaisseuse.....	14
Figure 1.14 : Palettiseur	15
Figure 2.1 : Image de la chaudière à Fuel.....	17
Figure 2.2 : Schéma du processus d'alimentation de la chaudière par le fuel.....	18
Figure 3.1 : Bilan d'énergie de la chaudière.....	22
Figure 4.1 : Compteur fioul	30
Figure 4.2 : Installation en aval de la pompe d'alimentation.....	30
Figure 4.3 : Installation en amont de la pompe d'alimentation.....	30
Figure 4.4 : Installation en amont avec un pot de circulation.....	31
Tableau 2.1 : Chaudières au sien de la CBGN.....	16
Tableau 3.2 : Suivi du mois 4	27

Table des matières

Remerciements	II
Dédicaces	III
Table des symboles et Abréviations	IV
Tables des Figures et Tableaux	V
Table des matières	VI
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise	2
1.1 Historique de COCA COLA au Maroc	2
1.1.1 La CBGN de Fès.....	3
1.2 Organigramme de la CBGN.....	3
1.3 Processus de Fabrication	4
1.3.1 Phase 1 : Réception des matières premières.....	4
1.3.2 Phase 2 : Traitement des Eaux	5
1.3.3 Phase 3 : Siroperie.....	7
1.3.4 Phase 4 : Ligne de production ou embouteillage.....	9
1.3.5 Phase 5 : Contrôle qualité	15
Chapitre 2 : Description de la chaudière	16
2.1 Production de la vapeur	16
2.2 Générateur de vapeur (Chaudière)	16
2.2.1 Définition	16
2.2.2 Composants	17

Chapitre 3 : Etude et Analyse.....	21
3.1 Introduction	21
3.2 Etude de la chaudière.....	22
3.2.1 Définition	22
3.2.2 Calcul du rendement	22
3.2.3 Analyse	26
3.3 Analyse des données.....	27
3.4 Consommation du fioul.....	28
Chapitre 4 : Solutions d'améliorations	29
4.1 La mise en place d'un compteur volumétrique.....	29
4.2 La mise en place d'un débitmètre.....	31
4.3 Entretien de la chaudière.....	31
4.4 Diminuer le taux de casse.....	32
Conclusion Générale.....	33
Bibliographie	34
Webographie	34
ANNEXE	35

Introduction générale

Notre formation à la faculté des Sciences et Techniques de Fès « FSTF » est clôturée par un stage de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de licence.

Pour cette raison, j'ai eu l'occasion d'effectuer mon stage à la CBGN de Fès au sein du service production. Ce stage m'a permis d'explorer le monde du travail et découvrir le milieu industriel.

L'objectif principal de ce stage est l'amélioration du rendement du fioul et de la chaudière en étudiant la consommation du fioul et la production des boissons gazeuses, cela nécessite une étude de la chaudière qui est la source d'énergie (Vapeur).

Ce rapport s'articule en quatre chapitres :

Le premier chapitre est une présentation de l'organisme d'accueil, où je vais décrire brièvement la chaîne de production des boissons gazeuses.

Le deuxième chapitre fait l'objet d'une description de la production de vapeur au niveau du générateur de vapeur (chaudière).

Le troisième chapitre a pour but l'étude des paramètres qui influencent sur la variation du rendement et une analyse des résultats obtenues.

Le quatrième chapitre comporte des propositions de solutions d'améliorations pour le rendement du fioul et de la chaudière.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise

1.1 Historique de COCA COLA au Maroc

La Compagnie de Coca-Cola s'est installée au Maroc en 1947, elle a pénétré le marché marocain par l'intermédiaire des soldats américains en poste à Tanger, qui avaient importé les premières caisses de Coca-Cola au Maroc. Des années plus tard, des unités de production ont été mises en place respectivement à Tanger, Casablanca, Fès, Oujda, Marrakech, Agadir et Rabat.

Coca-Cola Maroc élabore et met en œuvre la stratégie de développement à long terme des marques, de la communication, développe la réputation de l'entreprise et prend en charge les Relations Consommateurs. Les collaborateurs de Coca-Cola Maroc sont principalement des "marketeurs" en charge du développement des produits et de la stratégie du marketing opérationnel. Près d'un million de collaborateurs travaillent pour la Compagnie de Coca-Cola dans le monde.

Coca-Cola Maroc, est communément appelé le Système Coca-Cola, pour faire référence à la compagnie Coca-Cola Export Corporation, et à l'ensemble de ses embouteilleurs partenaires.

Au Maroc on compte 3 embouteilleurs : «Nord Africa Bottling Company», qui détient 4 usines au Maroc, desservant le centre du pays (Casablanca, Fès, Marrakech et Nouacer) ; «Atlas Bottling Company», qui détient 2 usines couvrant le territoire du Nord, de Tanger à Oujda et la «Société des Boissons Gazeuses de Souss», qui détient une usine à Agadir et couvre la région du Sud.

Coca-Cola Maroc emploie plus de 5000 personnes, crée 15000 emplois indirects et compte plus de 140.000 clients au Maroc.

1.1.1 La CBGN de Fès

La **Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord** est l'un des embouteilleurs franchisés de la compagnie Coca-Cola, elle a été créée en 1952 à Fès.

Cette entreprise a connu un fort développement et son capital est passé de 2.000Dhs à 3.720.000Dhs de 1952 à 1995 via une diversification de ses produits.

Sur le plan de la Qualité, la CBGN est **certifiée** ISO 9001v2000, ISO 14001v2004, OHSAS 18001v1999, ISO 22000, PAS220.

Aujourd'hui la CBGN utilise 2 lignes de production de verre, son territoire s'étend sur 64260 km² pour une population de 4,9 millions d'habitants et avec 5 centres de distribution : Fès, Meknès, Errachidia, Khénifra, et Sidi Slimane.

L'usine de la CBGN dispose d'un laboratoire de contrôle de qualité équipé d'instruments et d'appareils de mesure, de contrôle, d'essais et d'étalonnage modernes.

1.2 Organigramme de la CBGN

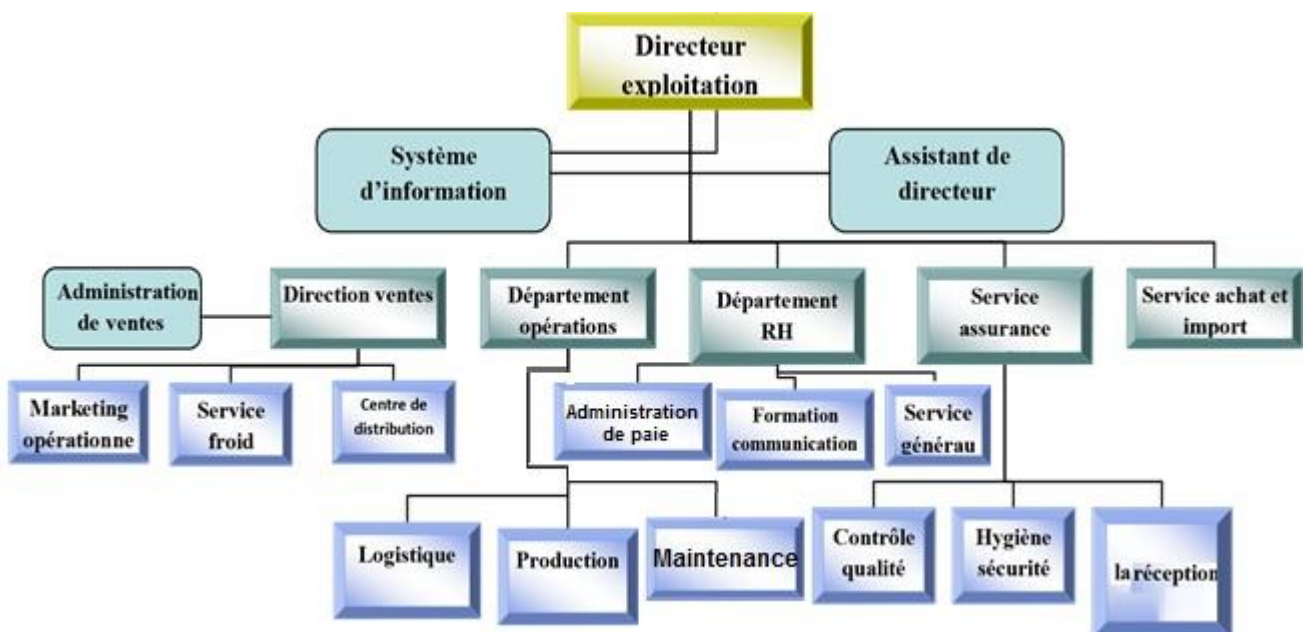


Figure 1.1 : Organigramme de l'entreprise

1.3 Processus de Fabrication

Le procédé de fabrication des différentes boissons gazeuses de la Compagnie s'effectue en quatre grandes phases :

1. Phase de réception des matières premières,
2. Phase de traitement des eaux,
3. Phase de la Siroperie,
4. Phase de la production ou d'embouteillage.
5. Phase de contrôle qualité.

1.3.1 Phase 1 : Réception des matières premières

- **Le Sucre et l'Édulcorant**

Le sucre et divers édulcorants sont élaborés par divers fournisseurs soigneusement sélectionnés, ils jouent un rôle capital dans la fabrication des boissons.

Le sucre blanc provenant d'une sucrerie est échantillonné avant d'être analysé.

- **Le concentré**

Le concentré permet d'élaborer le produit de base des arômes propres à chaque boisson. Ce produit est alors livré à la CBGN, conservé et utilisé sous contrôle extrêmement strict afin de préserver son intégrité et sa sécurité. Chaque usine de concentré est spécifiquement identifiable, ceci pour permettre la traçabilité de chacun des composants à chaque stade de la production, du stockage et de l'emploi.

- **Le CO_2**

Le gaz carbonique CO_2 qui provient des ressources naturelles d'OULMAS est livré sous forme liquide. Le stockage du CO_2 se fait dans une citerne de 30 Tonnes à des températures basses et sous une pression de 15 à 20 Bars.

- **L'eau**

L'eau étant l'un des éléments-clés de tous les produits, sa qualité est primordiale. Et comme la qualité de l'eau courante varie dans chaque endroit du monde, chaque usine traite l'eau qu'elle utilise. C'est donc l'eau soigneusement traitée qui sera incorporée dans les boissons. Cette eau est continuellement analysée pour vérifier qu'elle répond bien aux critères de qualité (pH...).

- **Matières**

Les sucres et édulcorants, le CO_2 et l'eau ne sont pas les seuls éléments qui sont livrés aux usines. D'autres matériels qui sont également livrés comme les préformes, les étiquettes, les bouchons et les emballages.

Lorsque les bouteilles préformées sont réceptionnées dans l'usine, en premier lieu, le laboratoire de contrôle réalise des tests sur les matériaux utilisés afin d'être utilisables pour la chaîne de fabrication.

1.3.2 Phase 2 : Traitement des Eaux

L'eau utilisée comme matière première au sien de la Compagnie est l'eau de ville. Son traitement a pour but de permettre son utilisation dans les opérations ultérieures de fabrication des boissons, le tout selon le respect strict des normes et aussi par souci de facilité l'emploi.

Il existe deux opérations de traitement d'eau dans la compagnie : l'eau adoucie et l'eau traitée.

- **Adoucissement de l'eau**

L'adoucissement permet de réduire le taux de calcaire dans l'eau par élimination des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . L'eau de ville est envoyée dans deux adoucisseurs au moyen de canalisations commandées par des vannes. L'adoucisseur est une résine échangeuse de cations avec comme contre-ion échangeable, le cation Na^+ . L'eau en passant a travers la résine, les cations Ca^{2+} se fixent sur la résine et l'eau récupérée se trouve réduite nettement en Ca^{2+} .

L'eau adoucie sert à la production de la vapeur par la chaudière et aussi au lavage des bouteilles de boissons. En effet, le lavage des bouteilles s'effectue à une température élevée de l'ordre de 70 ± 3 °C.



Figure 1.2 : Adoucisseur

- **Eau traitée**

L'eau de ville est d'abord mélangée avec du chlore à 2 ppm dans un bassin de $250m^3$ (Bassin n°1). Le chlore joue un rôle désinfectant pour éliminer les micro-organismes susceptible d'être encore présent dans l'eau de ville à ce moment. Deux pompes situées à la sortie du bassin permettant d'aspirer l'eau et le faire passer dans trois filtres à sables. Mais avant d'entrer dans les filtres à sables, une pompe injecte du sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ dans l'eau (ions Al^+).

Les analyses physico-chimiques à la sortie des filtres à sables doivent vérifier qu'il n'y a plus d'aluminium ni de sulfate ainsi que la détermination de la turbidité de l'eau.

A la sortie des filtres à sables, l'eau passe à travers un filtre décarbonateur installé juste après les filtres à sables. Ce filtre décarbonateur est constitué d'une résine carboxylique échangeuse de cations qui a pour but d'éliminer l'alcalimétrie (constituée essentiellement d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+}).

L'évaluation du titre alcalimétrique complet donne une idée de l'efficacité de cette étape de filtration.

L'eau décarbonatée dans laquelle on injecte préalablement du chlore à une concentration de 3 ± 1 ppm passe dans un autre bassin de $250 m^3$ (Bassin n°2). L'eau est à nouveau aspirée par 3 pompes vers deux filtres à charbon. Le taux de chlore de l'eau à la sortie des filtres à charbon doit être de 0 ppm.

Cette eau passe par une dernière étape de filtration à travers deux filtres polisseurs contenant des cartouches de polyester pour débarrasser l'eau des dernières impuretés qu'elle contient à savoir des particules de charbon actif, et d'éventuelles particules en suspension .

L'eau obtenue à la suite du passage par les filtres polisseurs et appelée eau traitée. Cette eau sera utilisée par la Siroperie et aussi par la ligne de production embouteillage.

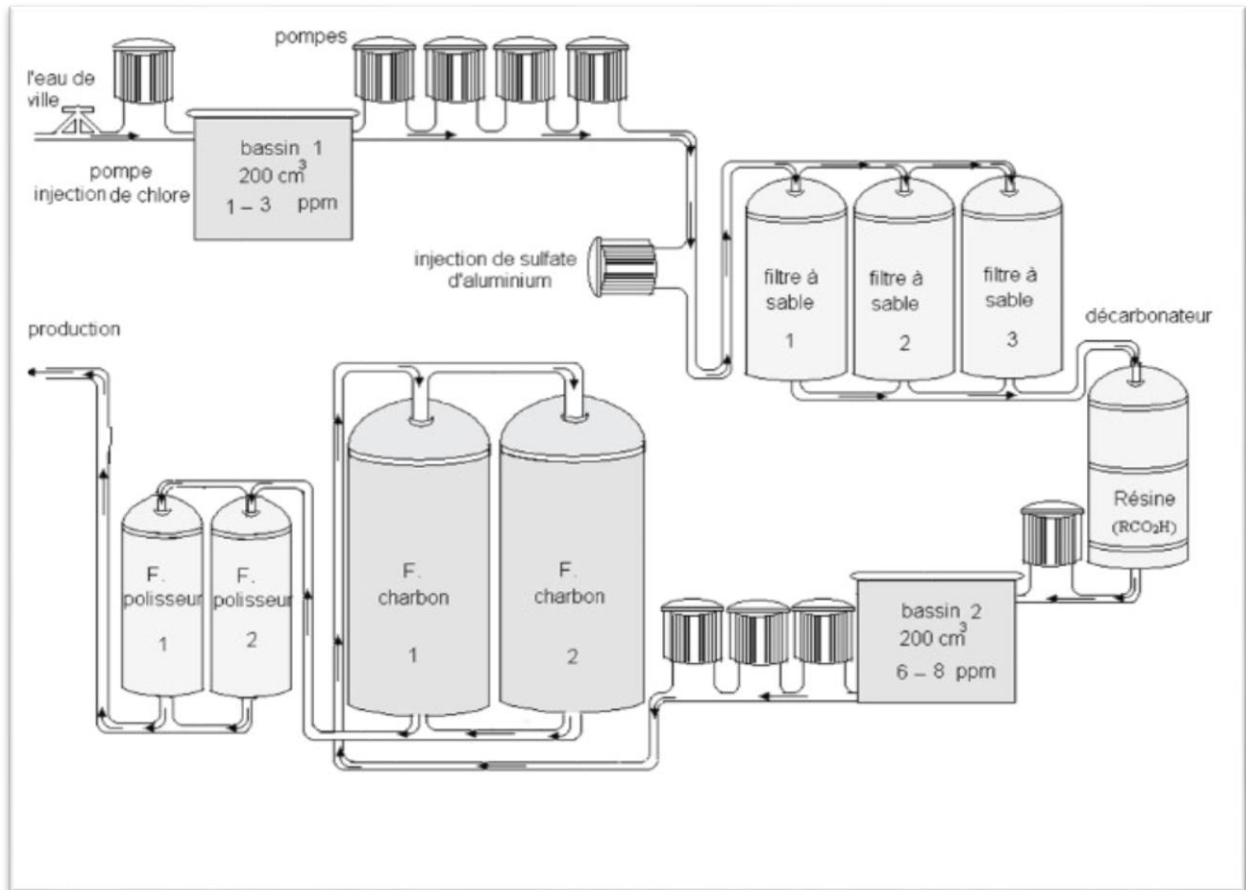


Figure1.3 : Schéma du traitement d'eau

1.3.3 Phase 3 : Siroperie

Cette phase est celle qui suit directement celle de traitement des eaux. Au cours de cette phase, on fabrique essentiellement deux types de sirop : le sirop simple et le sirop fini.

- **Préparation du Sirop Simple**

Le sucre granulé réceptionné de la part d'un fournisseur est contrôlé pour vérifier sa qualité. Une fois la qualité jugée est bonne, il est envoyé à la siroperie.

La quantité de sucre désirée est alors versée dans une trémie. Une pompe mécanique transfère le sucre dans un silo (réservoir). Une 2^{ème} pompe mécanique va déverser le sucre dans une cuve de dissociation contenant un volume défini préalable d'eau traitée à une température de 65°C.

La cuve de dissociation est munie d'une Pompe mixeuse qui va agiter le mélange sucre/eau chaude. Un filtre permet la filtration du mélange et de recycler les particules non dissoutes vers la cuve de dissolution et un Visiobrix qui va mesurer le degré de brix du sucre qui doit se situer entre 62 et 64.

Ce mélange additionné de charbon actif est transféré dans une cuve de réaction pendant 30 minutes pour laisser la réaction entre le charbon actif et le mélange se dérouler. Cette réaction permet d'éliminer les mauvaises odeurs, la coloration indésirable et d'autres impuretés.

Un passage à travers un filtre vertical à plaques permet la purification du sirop. Le sirop obtenu est alors placé dans un tampon sirop simple puis passe dans un filtre à poche avant son refroidissement.

Le refroidissement du sirop se fait de manière progressive au moyen d'un échangeur thermique à plaques.

Le sirop obtenu est appelé Sirop Simple celui là est stocké dans des cuves de stockage sirop simple où il repose pendant une heure pour une raison de désaération

- **Préparation du sirop fini**

Le sirop fini est un mélange de sirop simple (62-64 Brix) et d'**extraits de base** (ou concentré qui est un mélange complexe d'arômes, d'acidifiants et de colorants) et d'eau. L'ajout d'eau dans ce mélange permet de ramener le degré de Brix du sirop fini à une valeur standard suivant les instructions relatives au Brix de chaque produit.

La préparation du sirop fini commence par le contrôle des ingrédients du produit par le siropeur qui les introduit dans une cuve où se fait le mélange avec l'eau traitée, le mélange est envoyé à une cuve de sirop fini dans lequel s'effectue le mixage avec le sirop simple à l'aide d'une pompe qui maintient l'agitation pendant 30 minutes. Le produit obtenu repose dans presque 15 minutes pour assurer sa désaération puis contrôlé par le siropeur qui veille sur sa conformité en réglant les paramètres en question (température, brix...).

Le sirop fini obtenu est stocké dans des cuves de stockage de sirop fini.

1.3.4 Phase 4 : Ligne de production ou embouteillage

Au sein de la Compagnie, il existe deux lignes de production d'embouteillage verre.

Les étapes successives de production des boissons gazeuses en verre sont les suivantes :

- **Dépalettisation :**

Le Dépalettiseur est une machine permettant d'ôter les casiers de bouteilles sur la palette et de les poser sur un convoyeur muni de tapis roulant vers le poste de triage.



Figure 1.4 : Dépalettiseur

- **Triage :**

L'opérateur procède à un triage manuel des bouteilles qui consiste à éliminer les bouteilles sales qui ne pourront pas devenir propres après lavage, les bouteilles cassées et autres bouteilles étrangères.

- **Dévisage :**

Cette opération consiste à ôter les bouchons des bouteilles présentes dans les casiers avant leur passage au décaissage. Le dévisage est réalisé par une machine nommée la **Dévisseuse**.



Figure 1.5 : Dévisseuse

- **Décaissage :**

Le chariot à 24 têtes (6 rangées de 4 têtes) capte les bouteilles puis les retire des casiers. Les bouteilles ainsi retirées sont posées sur un large tapis roulant qui les dirige vers la Laveuse de bouteilles. En parallèle, les casiers vides sont pris en charge par le convoyeur pour leur lavage dans la laveuse de casiers.



Figure 1.6 : Décaisseuse

- **Lavage des bouteilles :**

La laveuse des bouteilles est subdivisée en plusieurs compartiments :

- Un pré-lavage avec l'eau adoucie (eau chaude + eau froide + eau),
- Un passage successif dans deux bains de soude à 2,5% de températures respectives 75°C et 65°C (Bac 1: Soude 2,5% température 75°C et Bac 2: 2,5% de soude, température 65°C) : c'est le trempage.
- Un passage successif dans deux bains d'eau chaude (Bac 3 et Bac 4)
- Passage dans 3 compartiments à eau adoucie fraîche pour pré-rinçage
- Rinçage final par de l'eau chlorée.



Figure 1.7 : La Laveuse des bouteilles

- **Mirage à vide :**

A la sortie de la laveuse, les convoyeurs de bouteilles passent devant 3 miroirs. Ces opérateurs via le contrôle visuel, ont pour rôle d'éliminer les bouteilles ébréchées.



Figure 1.8 : Mirage à vide

- **Inspectrice :**

Permet d'affiner encore plus nettement l'élimination de bouteilles défectueuses. L'inspectrice est munie d'une caméra vidéo, un écran, un système pneumatique et un système de plaques électroniques afin d'exécuter plusieurs tests de contrôle sur les bouteilles. Si l'un des tests est positif, un éjecteur équipé de doigts fait éjecter les bouteilles sur un autre convoyeur de récupération.

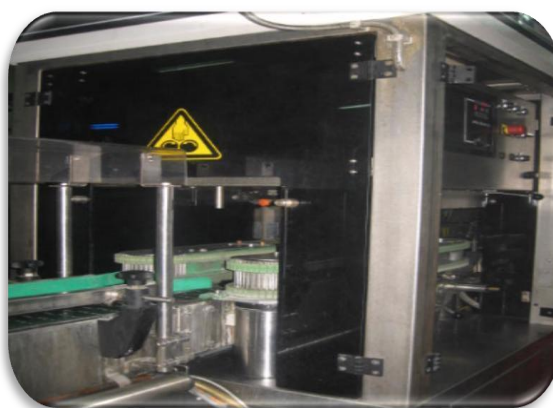


Figure 1.9 : Inspectrice

- **Mixage :**

Cette opération est réalisée par un **Mixeur**, appareil automatisé de type STARBEND PLUS. En effet elle consiste un mélange en des proportions bien définies de sirop fini, d'eau et de CO_2 à une température et pression définies, ceci dans le but de respecter les normes de températures, de pression, de degré de Brix et aussi de taux de CO_2 de chaque type de boisson.



Figure 1.10 : Mixeur

- **Soutirage/Bouchage :**

La soutireuse est reliée à un tube central vertical appelé **Distributeur**, qui est connecté au Mixeur. Le distributeur est chargé de faire entrer la boisson du Mixeur dans des tubes. Le convoyeur de bouteilles entre dans la **Soutireuse**. Les bouteilles passent par un mouvement rotatif autour d'un axe sous une canule de remplissage de la boisson. Les bouteilles remplies sont alors prises en charge par un piston et d'un mouvement rotatif autour d'un axe, les bouteilles passent sous une **boucheuse** qui pose les capsules sur les bouteilles ou une **visseuse** dans le cas des bouchons en plastique.



Figure 1.11 : Soutireuse - Boucheuse

- **Codage :**

Le codage se fait avec le dateur qui est une machine programmée à chaque début de production dont le rôle est d'imprimer sur les bouchons des bouteilles remplies de la boisson : la date exacte de production, la date de fin de consommation, le numéro de ligne de remplissage de bouteille et le centre de production

- **Mirage électronique :**

L'équipement électronique installé à la sortie du compteur permet d'éliminer les bouteilles «Ratées» c'est-à-dire les bouteilles de volume inférieur ou supérieur.

- **Mirage du plein :**

Le convoyeur fait passer les bouteilles de boisson devant deux mireurs pour une inspection visuelle. A cette étape, les éventuelles bouteilles ratées subsistantes sont éliminées, de même que des bouteilles sales ou encore cassées.



Figure 1.12 : Mirage du plein

- **Étiquetage :**

C'est l'opération qui consiste à coller des étiquettes (qui contiennent des renseignements sur le produit) sur tous les bouteilles en verre, sauf celles de Coca-Cola, grâce à une machine appelée Etiqueteuse.

- **Encaissage :**

En sortie de l'étiqueteuse, les bouteilles arrivent à l'encaisseuse pour y être placées dans les casiers. Les casiers en sortie de leur laveuse arrivent avec les bouteilles de boisson. Le chariot à 24 têtes (6 rangées de 4 têtes) ou 12 têtes (pour les grandes bouteilles) capte 24 bouteilles (ou 12 bouteilles) et les introduits dans les casiers.



Figure 1.13: L'encaisseuse

- **Palettisation :**

Les casiers de boissons transportés par le convoyeur pour y être envoyés au Palettiseur afin de disposer les casiers de boissons sur les palettes de 4 à 6 étages de 6 casiers chacun.



Figure 1.14 : Palettiseur

- **Stockage :**

Les palettes chargées sont manutentionnées depuis le palettiseur jusqu'au magasin de stockage par des caristes (personne conduisant un chariot élévateur).

1.3.5 Phase 5 : Contrôle qualité

Pendant la production le contrôle qualité est important pour garantir la sécurité et la qualité au consommateur, il est effectué par le laboratoire d'analyse de la CBGN. Le contrôle qualité se fait sur plusieurs phases telles que le contrôle à la réception des matières premières et le contrôle du produit fini ...

Chapitre 2

Description de la chaudière

2.1 Production de la vapeur

La vapeur est utilisée dans la laveuse des bouteilles, la laveuse des casiers, la siroperie pour la préparation du sirop simple et la sanitation pour éliminer les traces du dernier produit. Donc la vapeur d'eau reste toujours un élément principal et nécessaire pour la production des boissons gazeuses. La vapeur est obtenue à l'aide d'un générateur de vapeur qui est composé de la chaudière.

La CBGN utilise trois chaudières ayant des capacités différentes :

	Mise en service	Capacité Nominale
Chaudière n° 1	1976	3000 kg/h
Chaudière n° 2	1988	2500 kg/h
Chaudière n° 3	1992	4500 kg/h

Tableau 2.1 : Chaudières au sien de la CBGN

La CBGN travail avec la ligne de verre 2 seulement, donc on a traité seulement la chaudière n°3 de capacité nominale 4,5 t/h.

2.2 Générateur de vapeur (Chaudière)

2.2.1 Définition

Une chaudière ou un générateur de vapeur est un appareil destiné à produire une certaine quantité de vapeur (4à5t/h) à une pression et à une température bien déterminée, cette vapeur sera destiné à réchauffer le combustible(Fuel) et aider la

pulvérisation du fuel, dans les brûleurs ainsi de conditionner le fuel dans les réchauffeurs.



Figure 2.1 : Image de la chaudière à Fuel

2.2.2 Composants

La chaudière à vapeur se compose généralement de 3 parties principales :

- Chambre de combustion,
- Générateur de vapeur,
- Appareils de sécurité.

→ Chambre de combustion :

C'est la partie essentielle de la chaudière où se fait la combustion de Fuel pour fournir l'énergie nécessaire pour transformer l'eau en vapeur. Le dépotage du fuel lourd n°2 se fait dans 2 cuves (2*9tonnes) après il passe dans un réchauffeur pour avoir une température entre 60°C et 80°C, une pompe envoie le fuel à un 2^{ème} réchauffeur à une pression de 2 Bar, le fuel sort finalement avec une température entre 100°C et 120°C et passe dernièrement par une pompe de haute pression (14 Bar) vers le brûleur. La figure suivante englobe le processus d'alimentation de la chaudière par le fuel.

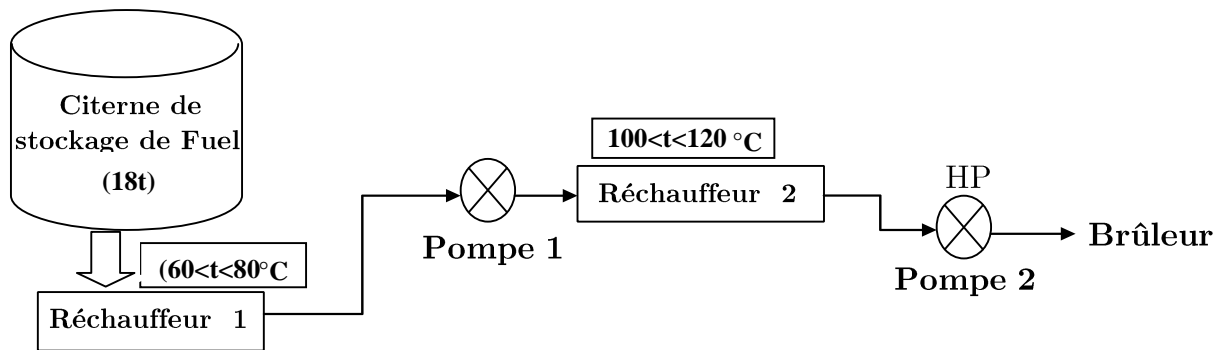


Figure 2.2 : Schéma du processus d'alimentation de la chaudière par le fuel

→ Générateur de vapeur (Chaudière)

La chaudière à vapeur d'eau possède deux réservoirs appelés : ballon inférieur et ballon supérieur (ou encore ballon de vaporisation), ils sont reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs. Le niveau d'eau dans le ballon supérieur est de $2/3$, la flamme se développe tapissé de ces tubes qui absorbent la chaleur par rayonnement, un seconde faisceau des tubes reçoit sa chaleur par convection. A l'intérieur de ceci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur.

La chaudière se compose d'une cuve et des tubes à travers les parois desquels la chaleur de combustibles est transférée à l'eau. Dans certains cas, l'eau circule autour des tubes à travers desquels on fait passé la fumée de combustible ; ce sont des chaudières à tubes de fumée, dans d'autres au contraire. l'eau circule dans des tubes baignant dans les flammes de combustible.

Remarque : Pour des raisons purement économiques les chaudières utilisées dans CBGN sont du premier type.

Une fois injecté sous pression le fuel est brulé et un courant d'air crée par un ventilateur permet de disperser la flamme dans tout le volume du foyer et du faisceau des tubes de chauffage, et d'assurer le non contact entre la flamme et les parois de foyer.

→ Appareils de sécurité :

- Soupape de sécurité
- Détecteur de niveau (eau adoucie)
- Thermostat (fumée)
- Pressostat (pression de vapeur)
- Signal d'alarme

La chaudière à tube de fumé est composée d'autres éléments :

- ❖ Foyer : C'est l'espace où la combustion peut avoir lieu, le foyer de chaudière est une chambre cylindrique dans laquelle se passe la combustion du carburant. La partie frontale du foyer de chaudière qui est en face du brûleur est revêtue en brique réfractaire qui supporte l'éventuel contact du front de la flamme.
- ❖ Tubes de fumée : Dans les chaudières à tube de fumée, la fumée circule à l'intérieur des tubes du faisceau tubulaire et l'eau ou la vapeur se trouvent à l'extérieur des tubes de fumée.
- ❖ Cheminée : La cheminée d'une chaudière permet l'évacuation de fumée vers l'extérieur du local chaudière. L'évacuation de fumée peut être faite par une convection naturelle provoquée par la différence de densité entre l'air et la fumée chaude. Il faut se rassurer qu'il n'y ait pas de fuites de fumée de la chaudière ou de la cheminée dans le local chaudière.
- ❖ Pompe d'alimentation en eau : La pompe d'alimentation en eau d'une chaudière est une pompe à haute pression, sa pression doit être supérieure à la pression de travail de la chaudière. Le corps de la pompe d'alimentation de chaudière doit supporter les hautes températures, pour éviter sa détérioration suite aux éventuelles fuites d'eau au niveau du clapet antiretour.
- ❖ Un Clapet antiretour: doit être monté au refoulement de la pompe d'alimentation de chaudière pour éviter le retour d'eau à l'arrêt de la pompe.
- ❖ Sonde de niveau d'eau : La sonde de niveau d'eau avec le régulateur de niveau assure le maintien du niveau d'eau à la consigne préétablie.
- ❖ Vanne de sortie de vapeur : Cette vanne est située au dessus de la chaudière.

Le bruleur à combustible est composé de :

- ❖ Moteur électrique : Pour faire tourner le ventilateur et la pompe de carburant liquide.
- ❖ Une pompe de carburant : La pompe de carburant doit être de pression suffisante pour assurer la pulvérisation du carburant liquide sous forme de brouillard.
- ❖ Ventilateur : permet le réglage du débit d'air nécessaire à la combustion, l'ajustement de l'excès d'air se fait par action sur la position à l'ouverture du volet d'air
- ❖ Electrovanne.
- ❖ Déflexeur : Le déflexeur du brûleur est un organe qui permet une rotation de la flamme dans le foyer de la chaudière. l'air est ventilé tangentiellement à l'allure de la flamme, cette rotation de flamme dans le foyer de la chaudière permet un meilleur mélange air carburant et assure une combustion complète avec le minimum d'excès d'air.
- ❖ Gicleur : Joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement d'une chaudière à fioul. C'est cette pièce qui est chargée de transformer le fioul en gouttelettes très fines avant de les pulvériser grâce à la chambre de pulvérisation. C'est ce que l'on appelle la variation de viscosité du fioul.

Fonctionnement du brûleur :

Le brûleur fuel a pour fonction de mélanger, dans des proportions correctes, l'air comburant et le fuel pour permettre la combustion. L'alimentation en air est assurée par un ventilateur qui puise l'air ambiant de la chaufferie. L'alimentation en fuel est assurée par une pompe qui puise dans le réservoir. La pompe a également pour mission de maintenir, via un régulateur, une pression suffisante au fuel pour permettre sa pulvérisation. L'électrovanne libère le combustible au moment déterminé par la programmation. Le gicleur assure la pulvérisation du fuel en des milliards de gouttelettes et le réglage du débit nominal de fuel. On parle donc de "brûleur à pulvérisation".

Chapitre 3

Etude et Analyse

3.1 Introduction

Toute entreprise est toujours dans la situation de réduire leurs pertes pour maximiser leurs profits. La CBGN dans cette situation a identifié les opportunités d'améliorations. Parmi les opportunités à améliorer au sein de la CBGN est le rendement du fioul qui dépend de deux variables, une concerne la production et l'autre la consommation du fioul.

Dans ce cadre, j'ai effectué une étude sur ce rendement pour trouver les causes responsables de l'abaissement du rendement d'une part et d'autre part, chercher des solutions d'améliorations et des propositions pour réduire les pertes et améliorer le rendement du fioul au sien de la CBGN de Fès.

Le rendement du fioul se calcul au sien de la CBGN de la manière suivante :

$$\eta = \frac{\textit{Production de boisson en L}}{\textit{Consommation du fioul en kg}}$$

Comme cité précédemment, le rendement du fioul dépend de deux paramètres. Pour améliorer ce rendement il faut travailler sur ces deux paramètres.

Pourtant, je suis chargé de :

- ✓ Faire une étude détaillée sur la consommation du fioul et le fonctionnement de la chaudière.
- ✓ Etablir un bilan thermique de la chaudière.
- ✓ Effectuer une étude sur la production des boissons gazeuses durant le passage dans la chaine de production.
- ✓ Proposer des actions d'amélioration.

3.2 Etude de la chaudière

3.2.1 Définition

Généralement la chaleur produite par combustion n'est jamais totalement transférée ou récupérée par le fluide qu'on désire chauffer, car il existe toujours des pertes dues aux différents facteurs.

Plusieurs paramètres influencent la valeur de ce rendement, dont la température et la pression d'entrée de l'eau, du comburant et du fuel, la nature de l'eau entrante, le niveau de l'eau dans la chaudière, même la variation de la demande en consommation de la vapeur.

Une étude détaillée de tous ces paramètres s'avère nécessaire. Pour cela une méthode précise intervient pour traiter toutes les pertes existantes. En parallèle, une étude des variations des différents paramètres mesurés sera réalisée, dans le but de visualiser des fluctuations du fonctionnement de la chaudière et de chercher l'existence d'éventuelles fuites et anomalies.

3.2.2 Calcul du rendement

Le rendement de la chaudière est le rapport entre l'énergie produite et l'énergie introduite.

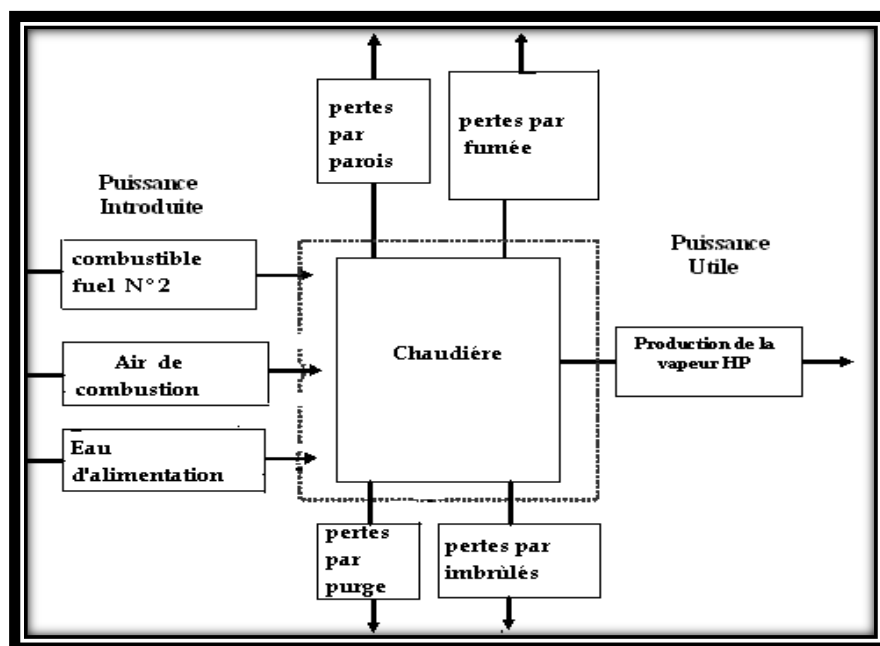


Figure 3.1 : Bilan d'énergie de la chaudière

La méthode indirecte est donnée par la relation suivante (les techniciens de Coca-cola):

$$\eta = 100 - \frac{\sum \text{Pertes}}{PCI}$$

Les pertes sont regroupées principalement :

- Pertes par fumées,
 - Pertes par purges,
 - Pertes par parois,
 - Pertes par imbrûlés,
 - Pertes non mesurable.
- ✓ Pouvoir calorifique : c'est la quantité d'énergie libérée par la combustion d'1 m^3 ou d'1 kg de combustible.
Pour le fuel n°2 PCI=9600 (Kcal/kg).

=> Pertes par fumées :

On peut les calculer par une formule globale qui se base sur les températures et la teneur du CO_2 . La quantité de la chaleur perdue par fumées est donc égale à :

$$Q_f (\%) du PCI = k \frac{T_f - T_a}{\%CO_2}$$

k : Cte du fuel n°2, elle est égale à 0,6.

T_f : Température des fumées.

T_a : Température ambiante.

$\%CO_2$: La teneur du CO_2 dans la fumées.

PCI : Le pouvoir calorifique inférieur du fuel n°2.

Données :

* $T_f = 200$ °C.

* $T_a = 24$ °C.

* $\%CO_2 = 11.5\%$.(Estimé par les techniciens de la chaudière)

$Q(f) (\%) du PCI = 9,18\%$

=> Pertes par purges :

Les purges de déconcentration d'une chaudière permettent de maintenir une concentration de sels totaux inférieure au seuil de saturation pour éviter la cristallisation des sels sur les tubes de la chaudière.

Le taux de purge est exprimé par :

$$\begin{aligned}\tau_{purges} &= \frac{D_{purges}}{D_{vapeur}} \\ &= \frac{k_a}{k_p + k_a}\end{aligned}$$

Avec :

D_{purges} : Débit de purges,

D_{vapeur} : Débit de vapeurs,

k_a : Conductivité d'eau d'alimentation,

k_p : Conductivité d'eau de purge.

Or [1]:

Débit d'eau d'alimentation	*	Conductivité d'eau d'alimentation
	=	
Débit d'eau de purge	*	Conductivité d'eau de purge

D'où

$$\text{Débit d'eau de purge} = \text{Débit d'eau d'alimentation} * \frac{k_a}{k_p}$$

→ Pertes énergétique par purges :

$$Q_p = \text{Débit de purges} * \text{Enthalpie d'eau de purges}$$

Données :

$$k_a = 15.27 \mu S/cm$$

$$k_p = 1197 \mu S/cm$$

$$D_a = 4000 \text{ kg/m}^3$$

Donc

$$\begin{aligned} D_p &= D_a * \frac{k_a}{k_p} \\ &= 51 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

L'Enthalpie d'eau de purge à 15 bar est égale à 666.35 Kcal/kg (Annexe)

$$Q_p = 3.54\% \text{ du PCI}$$

=> Pertes par parois :

Ce type de pertes, de l'ordre de 0.5% de la puissance nominale de la chaudière, provient de l'échange de chaleur par convection et par rayonnement entre la surface extérieur de la chaudière et la température ambiante.

Ces pertes peuvent être évaluées approximativement par :

$$Q_{\text{parois}} = 0.5 * \frac{P_{\text{nominale}}}{P_{\text{actuelle}}}$$

Avec : $P_{\text{nominale}} = 4.5$ (t/h).

$P_{\text{actuelle}} = 4$ (t/h).

Donc

$$Q_{\text{parois}} = 0.56\% \text{ du PCI}$$

On peut calculer ces pertes par la somme des pertes par convection et les pertes par rayonnement, mais il faut avoir les dimensions géométriques et la nature des matériaux des parois de la chaudière ce qui est pas disponible chez la société. Donc J'ai seulement calculé avec la méthode des puissances qui n'est pas précise.

=> Pertes par imbrulés :

Sont négligeables à cause d'un bon contrôle de la combustion.

=> Pertes non mesurable :

Ces pertes sont dues aux fuites de l'eau et de la vapeur.

La valeur est estimé par les techniciens de la chaudière par:

$$P_{non\ mesurable} = 0.75\% \text{ du PCI}$$

Après le calcul numérique des résultats des pertes, le rendement thermique de la chaudière est arrivé à :

$$\eta = 100 - (9.18 + 3.54 + 0.56 + 0.75)$$

$$\eta = 85.97\%$$

3.2.3 Analyse

On constate d'après le résultat obtenu que le rendement calculé est inférieur au rendement du constructeur (>90%), cela est dû aux pertes.

D'après les calculs on a trouvé que les pertes par fumées sont plus importantes que les autres pertes, ils sont de l'ordre de 9,18% du PCI avec 200°C comme température de la fumée. Cette valeur montre que les pertes par fumées ont une grande influence sur le rendement de la chaudière, qu'elles peuvent provenir d'un excès d'air qui peut être dû aux :

- Un mauvais réglage au niveau du brûleur,
- Des problèmes d'entretien tels qu'une mauvaise distribution de l'air une mauvaise pulvérisation du fioul,
- Une chaudière encrassée : les dépôts internes (tartres) et externes (suires) qui limitent le transfert de chaleur entre l'eau de la chaudière et les fumées.

Les analyses de la fumée montrent que la température de la fumée varie entre 190°C et 230°C ce qui provoque une diminution du rendement (augmentation des pertes de fumées). Cette augmentation de la température est due à l'accumulation des suies et cendres volantes sur les surfaces d'échanges.

Pour les pertes par parois on a trouvé une valeur de 0.56% du PCI. Cette valeur est due au calorifugeage de la chaudière.

Ce qui concerne les pertes par purges, elles sont dues à la conductivité de l'eau d'alimentation et l'augmentation de la concentration en sels dans la chaudière.

3.3 Analyse des données

Le suivi du rendement fioul, la casse après la laveuse des bouteilles et la production en litre s'est étalé sur la période 06/04 au 27/04.

	Production(L)	Blles. Cassées	Fioul consommé	Rendement du fioul
06/04/2016	88919	1027	2000	44%
07/04/2016	73391	897	1000	73%
08/04/2016	87340	148	1000	87%
09/04/2016	24609	990	2000	12%
11/04/2016	95364	674	1000	95%
12/04/2016	72618	1049	500	145%
13/04/2016	100272	1184	1640	61%
14/04/2016	98460	400	1000	98%
15/04/2016	65839	1256	1000	66%
16/04/2016	76202	985	1000	76%
17/04/2016	76070	766	1000	76%
18/04/2016	104388	1004	1000	104%
19/04/2016	98584	820	1000	99%
20/04/2016	37180	1023	1000	37%
27/04/2016	150137	1758	1000	150%

Tableau 3.2 : Suivi du mois 4

Le rendement du fioul donc dépend de la casse des bouteilles après la laveuse parce qu'on perd de la vapeur pour le lavage de ses bouteilles, alors on perd la source énergétique c'est-à-dire le fioul.

Pourtant il faut minimiser la casse des bouteilles après la laveuse pour améliorer le rendement du fioul.

Une autre cause intervient, ce qui montre les résultats du rendement du fioul qu'on a effectué durant le stage:

Mois 1 : $\eta = 63\%$,

Mois 2 : $\eta = 55\%$,

Mois 3 : $\eta = 56\%$,

Mois 4 : $\eta = 81\%$.

Donc le rendement du fioul dépend aussi de la température ambiante.

3.4 Consommation du fioul

Le dépotage du fioul se fait dans des cuves graduées par 500 kg, donc le suivi de la consommation quotidienne est réalisé à l'aide d'une jauge mécanique.

Cette méthode de mesure de la consommation du fioul ne permet pas de disposer des informations précises, ce qui entraîne une augmentation du rendement du fioul car la lecture a une marge d'erreur de ± 500 kg. La chose qui nous pousse de chercher comment calculer la consommation du fioul quotidienne d'une façon plus précise et exacte.

Chapitre 4

Solutions d'améliorations

A la lecture de ce qui précède, on remarque que, bien que la chaudière de l'usine de la CBGN ait fonctionné avec ces systèmes pendant pas mal d'années, il se pose un sérieux problème, celui de savoir comment mesurer exactement la consommation du fioul et comment être plus disponible et produire de la qualité au moindre coût , Il est donc le temps de réfléchir à l'amélioration du système de fonctionnement afin de créer de la valeur ajoutée à l'entreprise. Pour cela il y a deux propositions pour bien maîtriser le suivi du rendement de la chaudière et du fioul en même temps qui sont:

- ✓ La mise en place d'un compteur volumétrique,
- ✓ La mise en place d'un débitmètre,
- ✓ Entretien de la chaudière,
- ✓ Diminuer le taux de la casse.

4.1 La mise en place d'un compteur volumétrique

Le fioul sort d'un gicleur, ce dernier est calibré pour envoyer la même dose du fuel constamment. Donc la méthode qui peut contrôler l'envoi de fioul dans le gicleur est le compteur volumétrique.

Pour mesurer la consommation d'un brûleur, le compteur se place généralement en aval de la pompe et en amont de ou des électrovannes. A cet endroit (sur la ligne du gicleur), le compteur ne comptabilise que le volume de fuel effectivement consommé, que l'alimentation du brûleur soit bitube ou monotube. Seulement il faut choisir un compteur de pression nominale suffisante par rapport à la pression de la pompe. Certains fabricants de brûleurs commercialisent un matériel de comptage qui s'adapte directement à leur matériel dans cette configuration. Il conviendra donc de les interroger.

La figure 4.1 présente le compteur du fioul [2].



Figure 4.1 : compteur de fioul

La figure 4.2 Schématise l'installation en aval de la pompe d'alimentation [2].

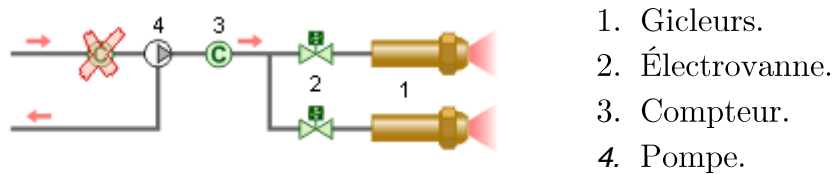


Figure 4.2 : Installation en aval de la pompe d'alimentation

Lorsque la disposition du brûleur ne permet pas l'installation du compteur en aval de la pompe, une première solution consiste à installer deux compteurs "C1" et "C2", un sur l'aller, un sur le retour. C'est l'installation en amont.

La figure 4.3 Schématise l'installation en amont de la pompe d'alimentation [2].

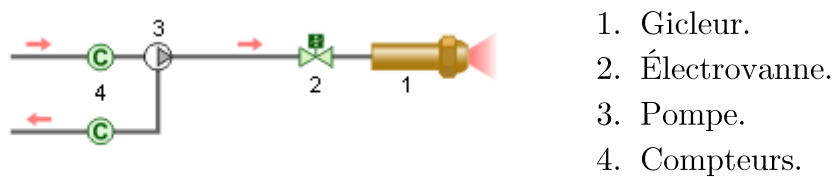


Figure 4.3 : Installation en amont de la pompe d'alimentation

Dans ce cas, la consommation du fioul est donnée par la différence de mesure entre les 2 compteurs.

Cette solution est à éviter car elle cumule les erreurs de mesure de deux compteurs. On lui préférera la solution suivante, par ailleurs, moins coûteuse.

La conduite retour de la pompe vers la cuve est court-circuitée et bouclée sur un pot de circulation comme nous montre la figure 4.4 [2]. Dans ce cas, un seul compteur suffit. De plus, celui-ci étant en amont de la pompe, les pressions qu'il subira seront moindres.

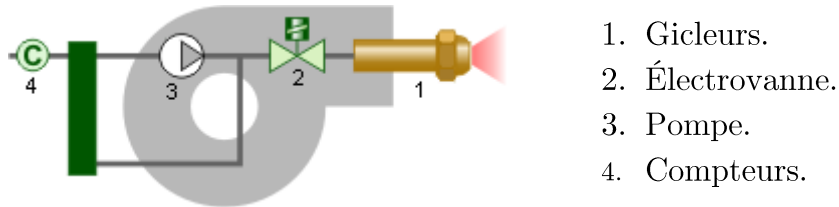


Figure 4.4 : Installation en amont avec un pot de circulation

4.2 La mise en place d'un débitmètre

Pour s'assurer du bon fonctionnement de la chaudière il faut placer un débitmètre à la sortie pour mesurer le débit de la vapeur passante.

Donc plus le compteur volumétrique, on peut bien gérer la chaudière en comparant la consommation du fioul avec la vapeur produite.

4.3 Entretien de la chaudière

La personne qui a la charge de l'entretien doit faire appel à un professionnel qualifié. L'entretien comprend la vérification de la chaudière, et le cas échéant son nettoyage et son réglage, mais également des conseils sur le bon usage de l'appareil en place, les améliorations possibles de l'ensemble de l'installation de chauffage et l'intérêt éventuel du remplacement de celle-ci.

Une fois l'entretien effectué, le professionnel qui est intervenu doit établir une attestation. L'attestation doit être conservée pendant un délai minimal de 12 mois.

Sans oublier le nettoyage des fumées parce qu'on a une augmentation de la température de la fumée à cause de la couche formée sur les parois qui limite le transfert de chaleur (La température de la fumée augmente avec l'épaisseur des suies et les cendres volantes sur les surfaces d'échanges).

Il est donc nécessaire de nettoyer ces surfaces régulièrement.

4.4 Diminuer le taux de casse

La casse des bouteilles après la laveuse influence sur le rendement du fioul, Donc il faut diminuer le taux de casse après la laveuse. On propose des solutions pour régler ce problème :

- Mise en place de l'inspection visuelle ou automatisé avant la laveuse pour éliminer le maximum des bouteilles cassées, ébréchées, sales...
- Entretien de la laveuse pour diminuer les vibrations des bouteilles pendant le cycle de lavage.
- Procéder à l'entretien quotidien des convoyeurs qui sont l'action principale de la casse des bouteilles.

Conclusion Générale

Au terme de ce projet de fin d'Etudes, une brève rétrospective permet de dresser le bilan du travail effectué avec ses difficultés, ses contraintes, mais aussi et surtout le supplément de formation si riche dont nous avons eu la chance de bénéficier.

Au cours de mon projet j'ai suivi une démarche d'étude globale de l'unité thermique au sein de la CBGN pour le but d'amélioration.

Dans cette optique, j'ai commencé par l'établissement des bilans thermiques pour la chaudière. Afin de détecter les différentes pertes, erreurs... qui peuvent influencer sur le rendement de la production de la vapeur. Ainsi de traiter le rendement du fioul.

J'ai également proposé des actions d'amélioration au niveau thermique de l'installation de la chaudière de la CBGN et au niveau de la chaîne de production.

A la fin, J'espère que mes suggestions d'améliorations soient agréées par l'entreprise. Et je souhaite qu'elles soient prises en compte pour être exploitées.

Bibliographie

[Cours transfert thermique, FST FES],

[Rapport de stage « Bilan énergétique de la station thermique »],

[Rapport de stage « Suivi de la casse »].

Webographie

[1] <https://sites.google.com/site/reglagedeschaudieres/>

[2] <http://www.energieplus-lesite.be/>

ANNEXE

Pression absolue	Températ. évaporation	Volume massique vapeur	Masse volumique vapeur	Enthalpie spécifique de l'eau (Chaleur sensible)		Enthalpie spécifique de la vapeur (chaleur totale)		Chaleur latente de vaporisation		Chaleur spécifique vapeur	Viscosité dynamique vapeur
				kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg		
0.02	17.51	67.006	0.015	73.45	17.54	2533.64	605.15	2460.19	587.61	1.8644	0.000010
0.03	24.10	45.667	0.022	101.00	24.12	2545.64	608.02	2444.65	583.89	1.8694	0.000010
0.04	28.98	34.802	0.029	121.41	29.00	2554.51	610.13	2433.10	581.14	1.8736	0.000010
0.05	32.90	28.194	0.035	137.77	32.91	2561.59	611.83	2423.82	578.92	1.8774	0.000010
0.06	36.18	23.741	0.042	151.50	36.19	2567.51	613.24	2416.01	577.05	1.8808	0.000010
0.07	39.02	20.531	0.049	163.38	39.02	2572.62	614.46	2409.24	575.44	1.8840	0.000010
0.08	41.53	18.105	0.055	173.87	41.53	2577.11	615.53	2403.25	574.01	1.8871	0.000010
0.09	43.79	16.204	0.062	183.28	43.78	2581.14	616.49	2397.85	572.72	1.8899	0.000010
0.1	45.83	14.675	0.068	191.84	45.82	2584.78	617.36	2392.94	571.54	1.8927	0.000010
0.2	60.09	7.650	0.131	251.46	60.06	2609.86	623.35	2358.40	563.30	1.9156	0.000011
0.5	81.35	3.240	0.309	340.57	81.34	2645.99	631.98	2305.42	550.64	1.9654	0.000012
0.6	85.95	2.732	0.366	359.93	85.97	2653.57	633.79	2293.64	547.83	1.9790	0.000012
0.7	89.96	2.365	0.423	376.77	89.99	2660.07	635.35	2283.30	545.36	1.9919	0.000012
0.8	93.51	2.087	0.479	391.73	93.56	2665.77	636.71	2274.05	543.15	2.0040	0.000012
0.9	96.71	1.869	0.535	405.21	96.78	2670.85	637.92	2265.65	541.14	2.0156	0.000012
1	99.63	1.694	0.590	417.51	99.72	2675.43	639.02	2257.92	539.30	2.0267	0.000012
1.1	102.32	1.549	0.645	428.84	102.43	2679.61	640.01	2250.76	537.59	2.0373	0.000012
1.2	104.81	1.428	0.700	439.36	104.94	2683.44	640.93	2244.08	535.99	2.0476	0.000012
1.3	107.13	1.325	0.755	449.19	107.29	2686.98	641.77	2237.79	534.49	2.0576	0.000013
1.4	109.32	1.236	0.809	458.42	109.49	2690.28	642.56	2231.86	533.07	2.0673	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.6	113.32	1.091	0.916	475.38	113.54	2696.25	643.99	2220.87	530.45	2.0860	0.000013
1.7	115.17	1.031	0.970	483.22	115.42	2698.97	644.64	2215.75	529.22	2.0950	0.000013
1.8	116.93	0.977	1.023	490.70	117.20	2701.54	645.25	2210.84	528.05	2.1037	0.000013
1.9	118.62	0.929	1.076	497.85	118.91	2703.98	645.83	2206.13	526.92	2.1124	0.000013
2	120.23	0.885	1.129	504.71	120.55	2706.29	646.39	2201.59	525.84	2.1208	0.000013
2.2	123.27	0.810	1.235	517.63	123.63	2710.60	647.42	2192.98	523.78	2.1372	0.000013
2.4	126.09	0.746	1.340	529.64	126.50	2714.55	648.36	2184.91	521.86	2.1531	0.000013
2.6	128.73	0.693	1.444	540.88	129.19	2718.17	649.22	2177.30	520.04	2.1685	0.000013
2.8	131.20	0.646	1.548	551.45	131.71	2721.54	650.03	2170.08	518.32	2.1835	0.000013
3	133.54	0.606	1.651	561.44	134.10	2724.66	650.77	2163.22	516.68	2.1981	0.000013
3.5	138.87	0.524	1.908	584.28	139.55	2731.63	652.44	2147.35	512.89	2.2331	0.000014
4	143.63	0.462	2.163	604.68	144.43	2737.63	653.87	2132.95	509.45	2.2664	0.000014
4.5	147.92	0.414	2.417	623.17	148.84	2742.88	655.13	2119.71	506.29	2.2983	0.000014

5	151.85	0.375	2.669	640.12	152.89	2747.54	656.24	2107.42	503.35	2.3289	0.000014
5.5	155.47	0.342	2.920	655.81	156.64	2751.70	657.23	2095.90	500.60	2.3585	0.000014
6	158.84	0.315	3.170	670.43	160.13	2755.46	658.13	2085.03	498.00	2.3873	0.000014
6.5	161.99	0.292	3.419	684.14	163.40	2758.87	658.94	2074.73	495.54	2.4152	0.000014
7	164.96	0.273	3.667	697.07	166.49	2761.98	659.69	2064.92	493.20	2.4424	0.000015
7.5	167.76	0.255	3.915	709.30	169.41	2764.84	660.37	2055.53	490.96	2.4690	0.000015
8	170.42	0.240	4.162	720.94	172.19	2767.46	661.00	2046.53	488.80	2.4951	0.000015
8.5	172.94	0.227	4.409	732.03	174.84	2769.89	661.58	2037.86	486.73	2.5206	0.000015
9	175.36	0.215	4.655	742.64	177.38	2772.13	662.11	2029.49	484.74	2.5456	0.000015
9.5	177.67	0.204	4.901	752.82	179.81	2774.22	662.61	2021.40	482.80	2.5702	0.000015
10	179.88	0.194	5.147	762.60	182.14	2776.16	663.07	2013.56	480.93	2.5944	0.000015
11	184.06	0.177	5.638	781.11	186.57	2779.66	663.91	1998.55	477.35	2.6418	0.000015
12	187.96	0.163	6.127	798.42	190.70	2782.73	664.64	1984.31	473.94	2.6878	0.000015
13	191.60	0.151	6.617	814.68	194.58	2785.42	665.29	1970.73	470.70	2.7327	0.000015
14	195.04	0.141	7.106	830.05	198.26	2787.79	665.85	1957.73	467.60	2.7767	0.000016
15	198.28	0.132	7.596	844.64	201.74	2789.88	666.35	1945.24	464.61	2.8197	0.000016
16	201.37	0.124	8.085	858.54	205.06	2791.73	666.79	1933.19	461.74	2.8620	0.000016
17	204.30	0.117	8.575	871.82	208.23	2793.37	667.18	1921.55	458.95	2.9036	0.000016
18	207.11	0.110	9.065	884.55	211.27	2794.81	667.53	1910.27	456.26	2.9445	0.000016
19	209.79	0.105	9.556	896.78	214.19	2796.09	667.83	1899.31	453.64	2.9849	0.000016
20	212.37	0.100	10.047	908.56	217.01	2797.21	668.10	1888.65	451.10	3.0248	0.000016
21	214.85	0.095	10.539	919.93	219.72	2798.18	668.33	1878.25	448.61	3.0643	0.000016
22	217.24	0.091	11.032	930.92	222.35	2799.03	668.54	1868.11	446.19	3.1034	0.000016
23	219.55	0.087	11.525	941.57	224.89	2799.77	668.71	1858.20	443.82	3.1421	0.000016
24	221.78	0.083	12.020	951.90	227.36	2800.39	668.86	1848.49	441.50	3.1805	0.000017
25	223.94	0.080	12.515	961.93	229.75	2800.91	668.99	1838.98	439.23	3.2187	0.000017
26	226.03	0.077	13.012	971.69	232.08	2801.35	669.09	1829.66	437.01	3.2567	0.000017
27	228.06	0.074	13.509	981.19	234.35	2801.69	669.17	1820.50	434.82	3.2944	0.000017
28	230.04	0.071	14.008	990.46	236.57	2801.96	669.24	1811.50	432.67	3.3320	0.000017
29	231.96	0.069	14.508	999.50	238.73	2802.15	669.28	1802.65	430.56	3.3695	0.000017
30	233.84	0.067	15.009	1008.33	240.84	2802.27	669.31	1793.94	428.48	3.4069	0.000017