

Sommaire

Dédicace	2
Remerciement	3
Liste des Tables	6
Liste des figures	6
Introduction générale	7
Chapitre 1 : Contexte générale du Projet.....	8
I. Aperçu sur le groupe CBGN	9
1. Activité de la CBGN	9
2. Données sur la CBGN	10
3. Structure organisationnelle	10
II. Processus de Fabrication	10
1. Traitement des eaux.....	11
2. Siroperie.....	11
3. Ligne de production.....	13
III. Présentation du projet	16
1. Problématique	16
2. Cahier de charges	16
IV. Conclusion	16
Chapitre 2 : Production de la vapeur	17
I. Description générale de la chaudière	18
1. Définition	18
2. Description.....	18
II. Bilan Thermique de la chaudière	20
1. Calcul du rendement de la chaudière	21
III. Solutions & Améliorations	27
IV. CONCLUSION	27
Chapitre 3 : Production d’Air et du Froid	28
I. Production Air Comprimé	29
1. Définition du compresseur d’air.....	29
2. Description du compresseur d’air	29



II. Production du Froid	30
1. Description du compresseur du froid	30
2. Le principe d'un système frigorifique	30
3. Fonctionnement du circuit frigorifique :	31
4. Bilan énergétique.....	32
III. Conclusion	38
IV. Solutions et & améliorations.....	39
Conclusion Générale et perspectives	40
Bibliographie.....	41
Webographie	41
Annexe.....	42

Liste des Tables

- Tableau 1 : Les différents produits fabriqués par la CBGN (page 9)
- Tableau 2 : Information sur la CBGN (page 10)
- Tableau 3 : calcul des pertes par convection (page 24)
- Tableau 4 : calcul des pertes par rayonnement (page 25)
- Tableau 5 : La chaleur latente d'eau de vapeur (page 25)
- Tableau 6 : contrôle du rendement de chaudière (page 26)
- Tableau 7 : Les différentes valeurs du diagramme de Mollier (page 36)
- Tableau 8 : La chaleur latente d'eau de vapeur (page 43)

Liste des figures

- Figure 1 : Organigramme de l'usine CBGN (page 10)
- Figure 2 : différents étapes du traitement des eaux (page 11)
- Figure 3 : étapes de préparation du sirop simple (page 12)
- Figure 4 : les étapes de préparation de sirop fini (page 13)
- Figure 5 : Schéma récapitulative de la chaîne de production (page 15)
- Figure 6 : Image de la chaudière à Fuel (page 18)
- Figure 7 : Schéma d'alimentation Bruleur (page 19)
- Figure 8 : Bilan énergétique de la chaudière (page 20)
- Figure 9 : Schéma explicatif du fonctionnement du compresseur d'air (page 30)
- Figure 10 : schéma d'un système frigorifique (page 31)
- Figure 11 : schéma descriptive du processus de production du froid (page 33)
- Figure 12 : schéma descriptive du diagramme de Mollier (page 35)
- Figure 13 : schéma du diagramme de Mollier D'Ammoniac (R717) (page 35)
- Figure 14 : schéma d'amélioration de l'installation frigorifique (page 39)

Introduction générale

Ce stage de PFE que nous avons effectué au sein de la 'C.B.G.N', était une occasion pour explorer le monde du travail et pour découvrir le milieu industriel.

Le stage nous a permis d'utiliser et de développer plusieurs données, et bien évidemment, d'avoir plusieurs nouvelles connaissances, et de connaître plusieurs techniques ; il nous a donné aussi l'occasion de connaître la nature des relations entre le personnel de l'entreprise.

Tout cela en assistant aux différentes opérations effectuées au sein de cette entreprise et en effectuant, personnellement, plusieurs manipulations, et même en se chargeant de plusieurs responsabilités.

Ce rapport s'articule en trois chapitres.

Le premier chapitre est une présentation de l'organisme d'accueil, où nous allons décrire brièvement les différentes unités de l'usine de production des boissons gazeuses avec une idée générale sur la problématique et le cahier de charges.

Le deuxième chapitre fait l'objet d'une description sur la production de la vapeur au niveau du générateur de vapeur (**Chaudière**) et l'établissement du bilan thermique afin de détecter les différents problèmes qui peuvent s'exister et enfin proposer des actions d'amélioration convenable à la situation demandée.

Le troisième chapitre a pour objet de faire une description sur la production du froid à travers une installation frigorifique ainsi de faire son bilan énergétique avec une proposition de certains points d'améliorations au niveau de l'installation Frigorifique.

Notre travail a été consacré sur l'étude de la station thermique de l'entreprise afin de contrôler le rendement de différent installation ainsi de mettre en place certaines aspect d'amélioration que nous espérons seront pris en compte par la direction de l'entreprise.

Chapitre 1 : Contexte générale du Projet

Dans ce chapitre :

- On va entamer une présentation résumée de l'organisme d'accueil.
- On décrit brièvement les différentes unités de l'usine, processus de Fabrication des boissons gazeuses.
- Définir le cahier de charges du Projet.

I. Aperçu sur le groupe CBGN

AU Maroc, coca cola apparut en 1947 : un bateau usine, qui était accosté au port de Tanger, produisant alors la boisson pour les soldats américains.

De nos jours, son activité au pays représente 1.5 % du PIB national, et emploie plus de 70.000 personnes de façon directe et indirecte, soit 0.7% de l'emploi total du secteur privé.

Le rôle intéressant que joue coca cola au Maroc est remarquable aux quatre coins du royaume ; son logo est omniprésent dans les épiceries et cafés de toutes les villes ainsi que dans les souks et villages les plus éloignés.

La compagnie coca- cola <<CBGN>> est aujourd'hui la plus grande compagnie de rafraîchissement du monde, elle produit plus de 400 marque et commercialise quatre des cinq marques de soft drinks les plus vendues au niveau mondial : **coca cola light, fanta et sprite**, la multinationale est consommée à plus de 800 millions de fois par jour dans plus de 200 pays ou des postes de travail sont créés et ou des initiatives culturelles et environnementales sont développés.

1. Activité de la CBGN

L'activité de la société est autant industrielle que commerciale, elle se charge de la production des boissons gazeuses du nord et leur distribution dans son territoire assigné.

Elle fabrique des boissons gazeuses en verre de différents goûts et de différents volumes tel qu'elles sont regroupées dans le **(tableau 1)**

Produit	Taille en 'cl'
Coca-Cola	Standard, Royale, 100
Fanta Orange	35, 100
Fanta Lemon	35, 100
Hawaii Tropicale	35, 100
Pom's	35, 100
Schweeps Tonic	20
Schweeps Citron	35, 100

Tableau 1 : Les différents produits fabriqués par la CBGN

2. Données sur la CBGN

La fiche signalétique de la CBGN est représentée sur le (Tableau 2).

Sigle	CBGN
Siège sociale	quartier industriel SIDI BRAHIM
Téléphone	0535641136/0535641070/0535641187
Faxe	035644244/055641181
Boîte postale	2284
Capital	3 720 000 DH
Superficielle	environ 1 ha
Forme juridique	SA Société anonyme
Nombre de personnel	240 permanent ,350saisonniers

Tableau 2 : Information sur la CBGN

3. Structure organisationnelle

L'organisation générale de la société est représentée dans la (figure 1) selon l'importance des différents services

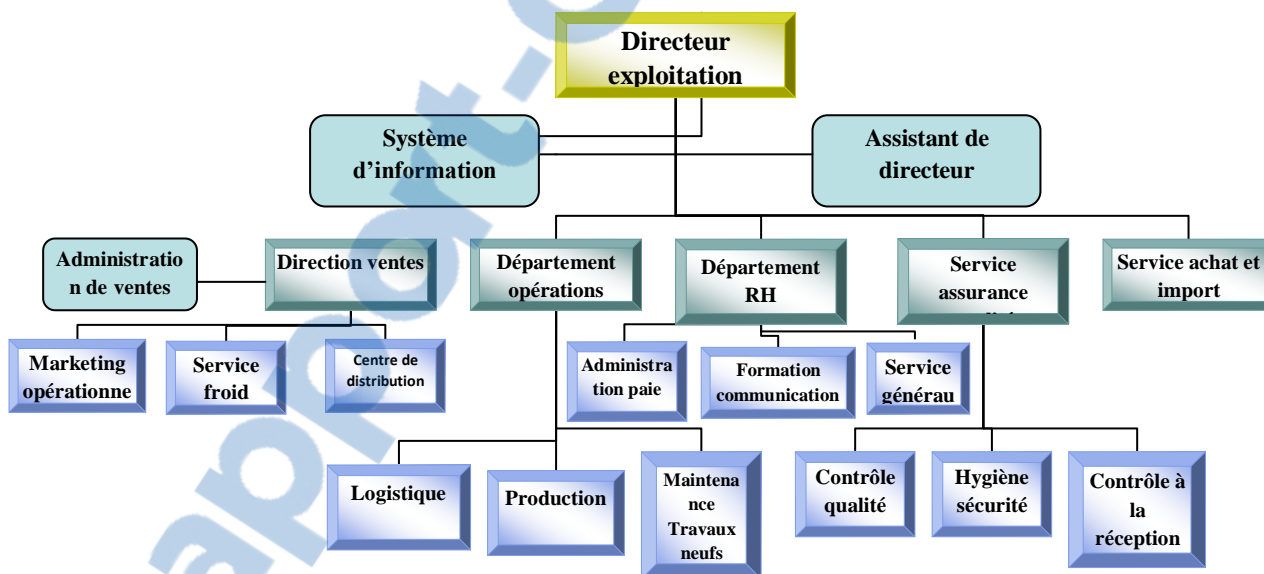


Figure 1 : Organigramme de l'usine CBGN

II. Processus de Fabrication

Le processus de Fabrication au sein de la CBGN se fait d'une manière automatique sans aucune intervention manuelle. Il passe plusieurs étapes :

1. Traitement des eaux

Puisque l'eau constitue l'élément dominant dans la boisson gazeuse, elle peut influencer sur les propriétés organoleptiques du produit (**goût, odeur, aspect**), c'est pour cela qu'il faut traiter l'eau de ville distribuée par l'ARADEEF et lui donner la qualité conforme à la norme avant son utilisation par : la production, la siroperie et le rinçage des bouteilles.

Les différentes étapes de l'opération traitement d'eau sont représentées dans la **figure (2)**.

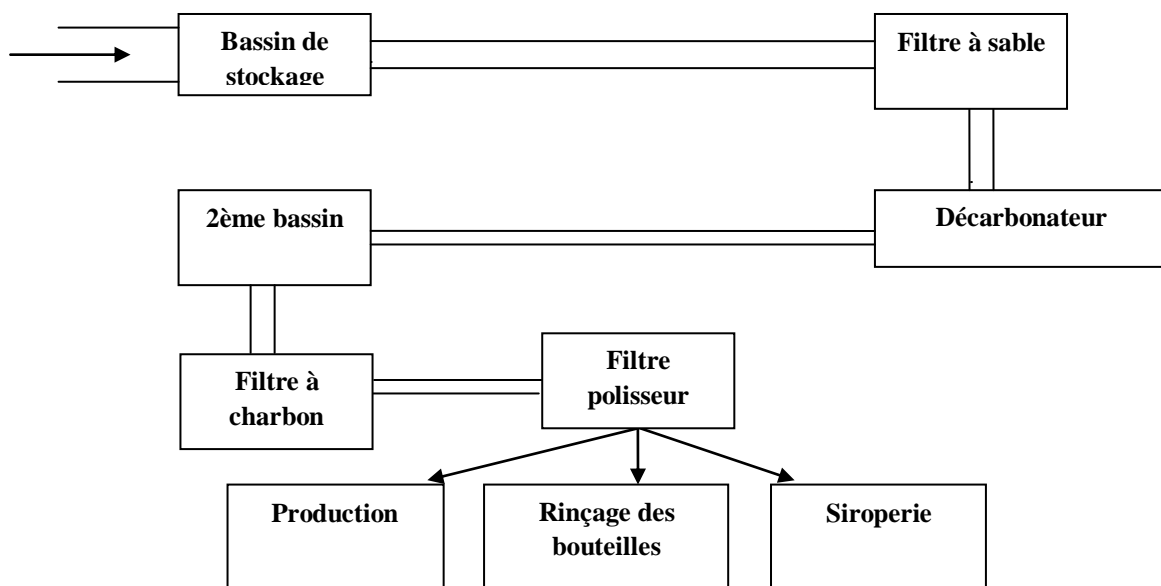


Figure 2 : différents étapes du traitement des eaux

2. Siroperie

Après l'étape de traitement des eaux, vient celle de la fabrication des sirops

L'unité de siroperie prend en charge la préparation de deux types de sirop dans les étapes suivantes :

- La préparation du sirop simple ;
- La préparation du sirop fini ;
- Mixage.

a. Préparation du sirop simple

Cette étape commence par l'injection du sucre granulé, approvisionné par COSUMAR et contrôler dans le laboratoire de la CBGN qui veille sur sa qualité et sur le respect des normes prescrites. Et pour mieux comprendre le processus de fabrication du sirop simple, on vous propose le schéma suivant de la **(figure 3)**.

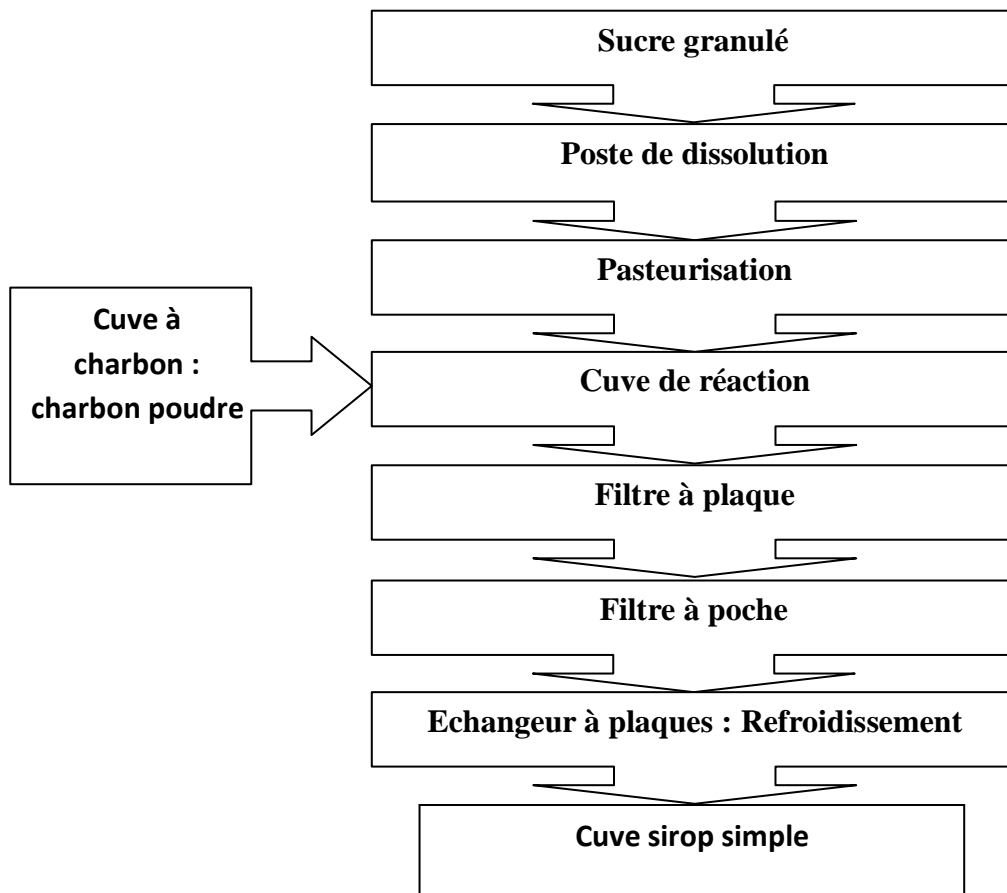


Figure 3 : étapes de préparation du sirop simple

b. Préparation du sirop fini

Le sirop fini est un mélange de sirop simple et les extraits de base, qui sont tout un mélange complexe d'arômes, d'acidifiants et de colorants, ce dernier est reçu, sous licence, dans de grands flacons. La préparation du sirop fini se fait sous forme l'équation suivante :



La préparation du sirop fini passe par un enchaînement d'étapes comme le montre la (figure 4).

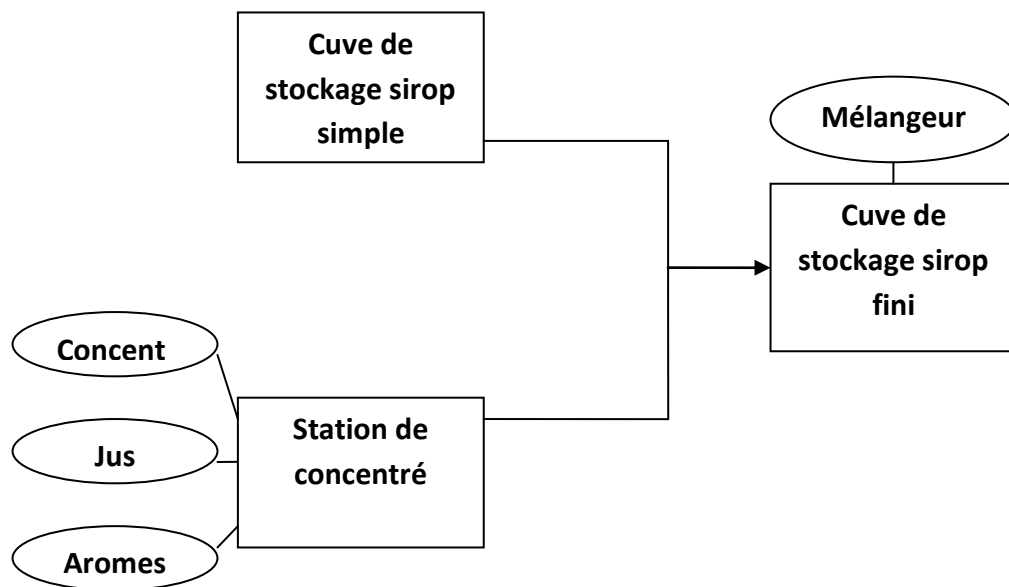


Figure 4 : les étapes de préparation de sirop fini

c. Mixage

A la fin de préparation de sirop fini, on va l'envoyer vers le mixeur afin de réaliser le produit fini c'est la boisson gazeuse. Le mixage consiste à mélanger le sirop fini et l'eau traitée refroidie (**Production du froid**) et du gaz carbonique CO₂.

Remarque : On utilise CO₂ pour le bute de conserver le produit fini à long terme.

3. Ligne de production

L'usine possède deux lignes de production qui sont consacrées à la production des boissons dont les bouteilles en verre, les deux lignes fonctionnent en même temps durant la haute saison or à basse saison l'utilisation d'une seule est suffisante.

Le remplissage des bouteilles en verre passe par les étapes qui sont schématiser sur la (**figure 5**) :

Dépalettiseur	Cette machine représente un système presque automatisé concernant la mise en caisses sur convoyeurs, ces caissiers sont placés les uns sur les autres sous forme d'un parallélogramme qui est posé sur une planche appelée palette.
Décaisseuse	Les harasses sont ensuite acheminées vers une laveuse spéciale grâce à une bande transporteuse.
Laveuses de bouteilles	La laveuse des bouteilles est composée de deux bains, d'eau adoucie et de soude caustique, montés en série afin de nettoyer et stérilisé les bouteilles avant le soutirage
Inspection Visuelle	Pour éliminer les bouteilles male lavées et ébréchées.
Inspection électronique	Dans le but de retirer des bouteilles contenant des matières étrangères, du liquide ou présentant un goulot ou un fond ébréché.
Carbonatation et Refroidissement	Cette étape consiste à mélangé le sirop fini, l'eau traitée refroidi à 4.6°C par l'eau glycolée et le CO ₂ dans un mélangeur pour obtenir la boisson gazeuse.
Soutireuse	La Soutireuse remplit automatiquement les bouteilles sans aucune intervention manuelle du machiniste. .
Visseuses	À la sortie de la Soutireuse, les bouteilles se dirigent vers le système visseuse qui consiste à visser les bouchons.
Capsulages des bouteilles	Lorsqu'il s'agit de grandes taille (bouteilles 1L). C'est l'écapsuleuse qui ferme les bouteilles.
Douane	Chaque bouteille à un code précis qui permet de la vendre à l'étranger.
Codage bouteilles	On s'intéresse dans ce codage à la date de production ou d'expiration et un code composé du numéro de la ligne de production et de la première lettre de la ville où l'usine est installée. Ce code indique la référence des bouteilles en cas de non-conformité, la durée de vie pour ce type de bouteille est en général de 1an.

Inspection des bouteilles pleines	Après bouchage ou vissage des bouteilles pleines et le codage, les bouteilles sont inspectées par des mireurs pour éliminer celles qui sont males ou non bouchées, ainsi que les autres bouteilles ayant le niveau de remplissage inférieure ou supérieure à la norme, ou d'autre contenant des corps étrangers.
Etiqueteuse	L'étiquetage est l'habillage de la bouteille par une étiquette à l'aide d'un appareil, elle contient toutes les informations sur le produit.
Encaisseuses	L'encaisseuse qui met les bouteilles en caisse, son fonctionnement est similaire à celui de la décaisseuse.
Palettiseuses	Cette machine consiste à mettre les caissiers sur les palettes d'une façon bien organisée sous forme de parallélogramme à l'aide des barrières motorisé par des vérins pneumatiques.

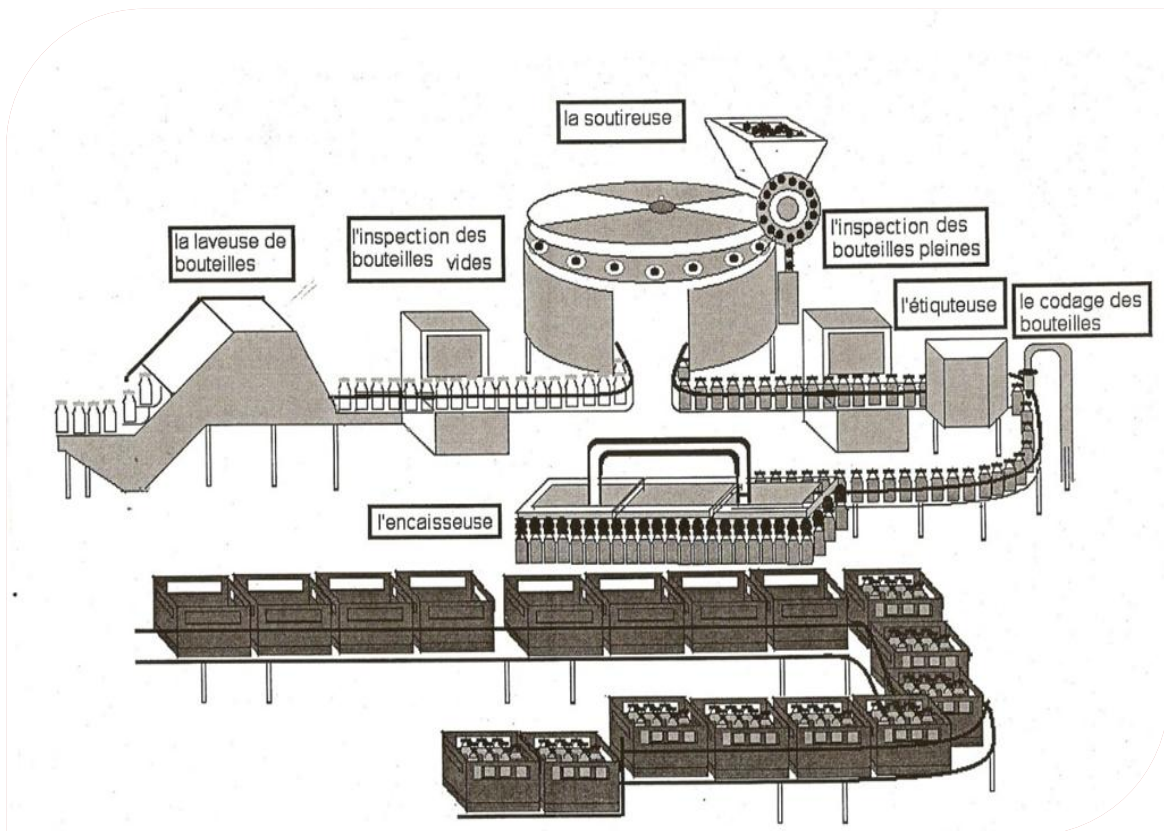


Figure 5 : Schéma récapitulative de la chaine de production

III. Présentation du projet

1. Problématique

Plusieurs pertes thermiques sont rencontrées au niveau de la station thermique de l'usine c'est pour cela que notre intervention sera sur l'étude thermique de différents installations de la station.

La station thermique de la CBGN est équipée de deux installations de différents types :

Les chaudières et les compresseurs d'Air et de Froid, dont l'objectif est de :

- Produire la vapeur pour servir les différentes unités de l'usine (siroperie, traitement et la laveuse des bouteilles) ;
- Production d'Air afin de garantir le fonctionnement continue des machines pneumatique.
- Production du froid pour assurer les besoins du service production des boissons gazeuses.

2. Cahier de charges

Dans le cadre de ce sujet, nous sommes chargées de :

- Faire une étude détaillée sur le fonctionnement de la chaudière pour la production de la vapeur ;
- Etablir un bilan thermique de la chaudière ;
- Effectuer une étude sur le système frigorifique pour la production du froid.
- Réaliser un bilan thermique du système frigorifique.
- Proposer des actions d'amélioration.

IV. Conclusion

Ce chapitre présente brièvement l'usine de la CBGN.

Dans notre travail nous nous sommes focalisée uniquement sur la station thermique de l'entreprise qu'on va traiter dans les chapitres suivants, et qui est la base de la production.

Dans les chapitres suivants nous détaillerons le fonctionnement de la chaudière à vapeur et le système Frigorifique et nous faisons un bilan thermique de chaque installation afin de détecter les différentes pertes dans chacune et proposer en fin de compte des actions d'améliorations.

Chapitre 2 : Production de la vapeur

L'objectif de ce chapitre est de :

- Faire une description détaillée sur le fonctionnement de la chaudière à vapeur ;
- Effectuer un bilan énergétique de la chaudière.
- Proposer des améliorations adéquates.

I. Description générale de la chaudière

Pour toutes les activités industrielles figurant au sein de la société, 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 vapeurs qui est composé de la **chaudière**.



Figure 6 : Image de la chaudière à Fuel

Les chaudières utilisées dans l'usine sont de types multitubulaires dans lesquelles l'eau circule à l'intérieur des tubes qui sont chauffés extérieurement par la chaleur produite par la combustion de Fuel.

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 bruleurs ainsi de conditionner le fuel dans les réchauffeurs.

2. Description

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

- Chambre de Combustion ;
- Générateur de vapeur (Installation Chaudière) ;
- Appareils de sécurité.

a. 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. La figure suivante nous a permis de comprendre le processus d'alimentation de la chaudière par le Fuel.

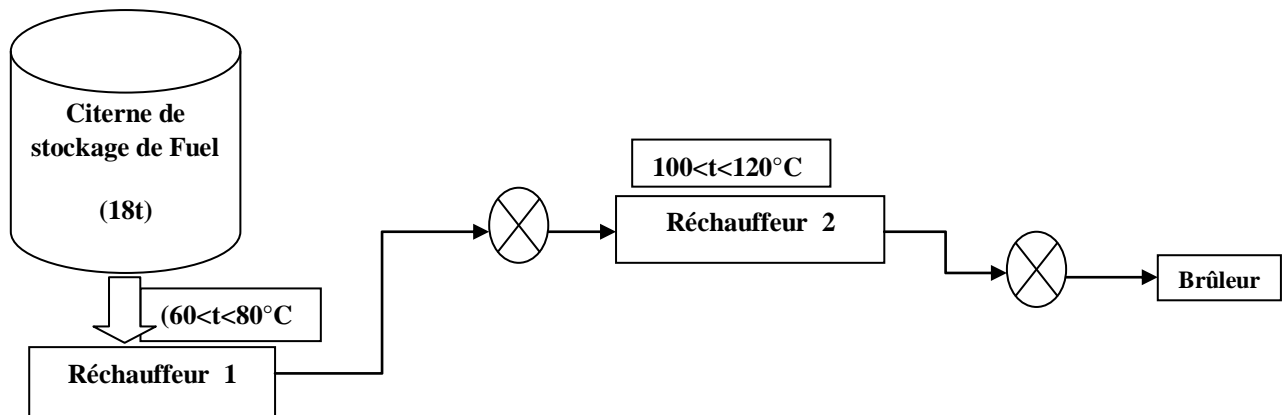


Figure 7 : Schéma d'alimentation Bruleur

b. 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 second 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 passer 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. Pour des raisons purement économiques les chaudières utilisées dans C.B.G.N sont du premier type. Une fois injecté sous pression le fuel est brûlé et un courant d'air créé 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.

c. appareils de sécurité

- ✓ deux soupapes de sécurité (quand la température de cheminées atteint un maximum fixé : 300 °C, la soupape laisse échapper de la vapeur.
- ✓ un contrôleur de niveau d'eau ;
- ✓ un pressostat pour la pression de vapeur ;
- ✓ une soupape de sécurité au niveau du bassin d'alimentation d'eau de chaudière ;
- ✓ Un signal d'alarme ;

II. Bilan Thermique de la chaudière

La description détaillée de la chaudière que nous avons fait dans la première partie nous a permis de connaître les différents éléments constituant l'installation, donc on a pu détecter les multiples énergies et pertes qui sont produites par la chaudière.

Les entrées et sorties de la chaudière ainsi les différentes pertes qui peuvent exister sont regroupées dans la (figure 8):

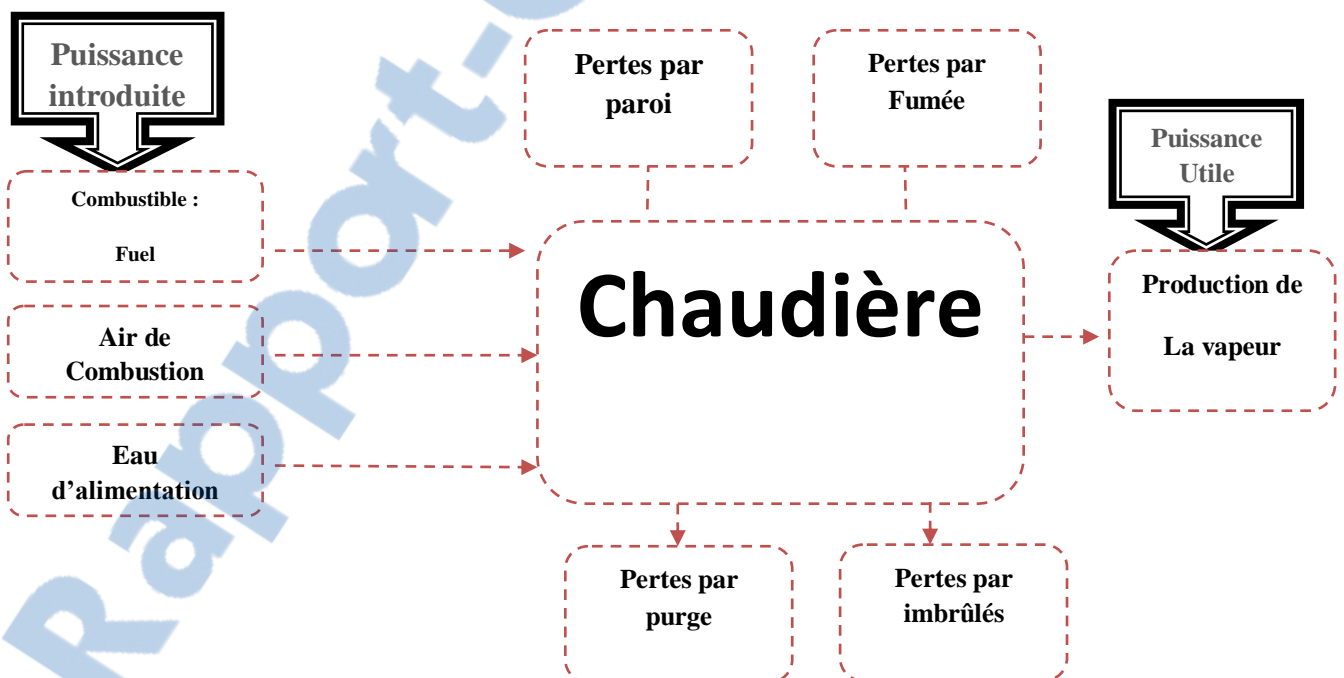


Figure 8 : Bilan énergétique de la chaudière

Les différents types d'énergie qui peuvent intervenir dans l'installation chaudière sont :

$$\begin{aligned} & \text{Energie prévenant du combustible} + \text{Energie d'eau d'alimentation} \\ & = \\ & \text{Energie de la vapeur sortante de la vapeur} + \text{Energie eau des} \\ & \quad \text{purges} + \text{pertes de combustion} \end{aligned}$$

1. Calcul du rendement de la chaudière

- La chaleur apportée par un combustible qui brûle n'est pas totalement récupérée par le fluide que l'on veut chauffer. On prend toujours une partie par différents mécanismes.
- Les pertes sont de différentes natures, et ont un grand effet sur le rendement de la chaudière.

Pour calculer le rendement on recourt à une méthode indirecte et directe.

- ✓ **Le calcul indirect consiste à la relation suivante :**

$$\eta = 100 - 1 * \sum \text{Pertes} / \text{PCI} \quad [1]$$

η : le rendement de la chaudière,

PCI : le pouvoir calorifique inférieur, $\text{PCI}=9600 \text{ Kcal/kg}$

La somme des pertes englobe :

- ✚ Pertes par purges.
- ✚ Pertes par parois.
- ✚ Pertes par fumée.

Pour effectuer ce calcul, on a demandé aux responsables les données internes de l'installation.

• **Données**

- Citerne d'alimentations d'eaux : Température 72° ;
- Capacité nominale de la chaudière : 4500Kg /h ;
- quantité d'eau dans la chaudière : 6t ;
- Pression vapeur : P =5.4 bar ;
- Température ambiante 20°C ;
- Température de fumée $\begin{matrix} \nearrow & \text{En marche : } 149^{\circ}\text{C} ; \\ \searrow & \text{En arrêt } 200^{\circ}\text{C}. \end{matrix}$

a) pertes par purges

- ✓ Toute la masse des sels qui entre avec l'eau d'alimentation de chaudière sort avec les eaux de purge (conservation de masse), donc les pertes par déconcentration sont nulles.
- ✓ Le reste du calcul des pertes dans les purges sera donc les pertes par l'eau de purge.

On a :

<p>Le débit d'eau d'alimentation * la conductivité d'eau d'alimentation</p> <p style="text-align: center;">=</p> <p><u>Le débit d'eau de purge</u> * conductivité d'eau de purge</p>	[2]
--	-----

Avec :

Conductivité_{eau alim} = 15,27 μS/cm Conductivité_{eau purges} = 1197 μS/cm

Débit d'eau d'alimentation = 2 m³/j

➤ **Q_{eaux purge} = 2 * 15,27 /1197**

Q_{eaux purge} = 0,025 m³/j

b) Pertes par parois

Ce type de pertes provient de l'échange de chaleur par convection et par rayonnement entre la surface extérieure et l'intérieure de la chaudière.

i. Pertes par convection

La convection est un échange de chaleur entre une surface solide et le fluide qui l'enveloppe. Cependant l'échange entre la chaudière et l'air est négligeable devant la chaudière et l'eau.

Plusieurs paramètres interviennent, parmi lesquels : la géométrie de la chaudière, la température de sa surface externe.

La convection est exprimé par :

$$Q_{\text{conv}} = S * h * (T_p - T_a) \quad [3]$$

T_p : température moyenne de la paroi ;

T_a : la température ambiante ;

S : surface totale d'échange entre le solide et le fluide ;

h : coefficient d'échange convectif de la chaleur.

• Données

Réservoir supérieure :

Diamètre extérieure 1.16 m

Longueur du réservoir : 4.8 m

Réservoir inférieure (avec isolation) :

Rayon d'isolation : $r = 19$ cm

Diamètre intérieure : 3.6 m

Les résultats de calcul des pertes par convection sont groupés dans le (**tableau 3**) :

	Réservoir Supérieur		Réservoir inférieur		Tubes d'écran & faisceaux
	Surface Transversale	Surface latérale	Surface Transversale	Surface latérale	Surface totale
	$\Pi r^2 = 3.7 \text{ m}^2$	$2 * \pi * r * L = 32.6 \text{ m}^2$	$\Pi r^2 = 9.96 \text{ m}^2$	$2 * \pi * r * L = 53.7 \text{ m}^2$	$2 * \pi * r * L = 86.9 \text{ m}^2$
TP_{moy} (°C)	114.5		81.5		59.5
T_{amb} (°C)	20				
h (w/m. °C)	0.025	0.014	0.016	0.021	0.024
Q_{con}(W)	8.25	40.84	9.80	69.35	82.38
Q_{con.totale}(KW)	174.62				

Tableau 3 : calcul des pertes par convection

ii. Pertes par rayonnement

Le rayonnement est l'émission d'ondes électromagnétiques par un corps chauffé.

Cette quantité de chaleur est calculée par la loi fondamentale du rayonnement, dite loi de STEFFAN.

L'expression de cette loi indique que la puissance est totalement émise (toutes longueurs d'onde comprises) par un corps chauffé est proportionnelle à T^4 . T étant la température absolue du corps (et elle est exprimée en °K).

Les pertes par rayonnement sont déterminées par cette relation :

$$Q_{ray} = \epsilon * \sigma * S (T_{paroi}^4 - T_{amb}^4) \quad [4]$$

Avec :

ε : Emissivité du corps. Sa valeur pour l'acier doux est 0.2 ;

σ : la constante de BOLTZMANN qui égale à 5.669710 (W/m².K⁴) ;

S : La surface de la paroi en m² :

T_p : Température de la Paroi ;

T_{amb} : Température ambiante.

Les données de calcul des pertes par rayonnements sont les mêmes du premier tableau.

Les calculs des pertes par rayonnement sont figuré dans le (**tableau 4**).

	Parois 1	Parois 2	Parois 3
Surface= S_l+S_t (m²)	36.3	63.7	86.9
T_p moy(k)	388	355	333
T_{amb} (k)	293.5		
Σ	5.669 * 10⁻⁸		
E	0.2		
Q_{ray} (kW)	627.36	6111.40	48041.72
Q_{ray. Totale} (kW)	54.780		

Tableau 4 : calcul des pertes par rayonnement

Pour calculer l'énergie provenant de la combustion on revient au tableau caractérisé de vapeur d'eau (**tableau 8**) avec une pression de 5.4 bar on obtient :

Pression Bar	Température °C	Chaleur sensible du liquide kJ/kg	Chaleur latente de vaporisation kJ/kg	Chaleur totale kJ/kg	Volume de la vapeur M3/kg	Volume du liquide M3/kg
5.4	162	684	2070	2754	0.29	0.0011

Tableau 5 : La chaleur latente d'eau de vapeur

✓ **Energie provenant de la combustion**

$$E_{\text{comb}} = Q_{\text{carburant}} * PCF \quad [5]$$

$$Q_{\text{carburant}} = 1000 / 16 = 63 \text{ kg/h}$$

f : facteur dépend de combustible (pour notre cas de Fuel **f= 0.59**)

$$E_{\text{comb}} = 2646 \text{ MJ/h}$$

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

$$\eta = 100 - 1/ PCI * \sum \text{Pertes} = 88.26 \%$$

✓ **Rendement de la chaudière d'une manière directe**

$$\eta_{\text{chaudière}} = 100 - f * (T_{\text{Fumée}} - T_{\text{ambiante}}) / \%CO_2$$

$$\eta_{\text{chaudière}} = 100 - 0.59 * (200 - 20) / 11,5$$

$$\eta_{\text{chaudière}} = 90,76\%$$

Après le calcul du rendement de la chaudière par les deux méthodes, il faut qu'on le compare avec le rendement mesuré à la société et avec la norme de construction ce qui est montré dans le **(tableau 6)** :

Rendement (indirecte)	88.26%
Rendement (directe)	90.76%
Rendement (mesuré avec un appareil)	90.71%
Rendement (norme de construction)	>90%

Tableau 6 : contrôle du rendement de chaudière

On a pu calculer le rendement actuel de la chaudière par la méthode indirecte (par les formules de calcul) et on a trouvé une valeur qui est inférieur de la valeur mesurée directement. Cette différence de la valeur est due essentiellement aux pertes (avec une valeur de 2.5%), qui est comparé avec la Norme du constructeur.

III. Solutions & Améliorations

D'après les résultats obtenus dans la partie du Bilan Thermique on a constaté que le rendement calculé est inférieur au rendement de constructeur avec une 11,74 % de différence qui est due aux pertes.

La visite du lieu de la station thermique et les observation théorique et pratique que nous avons fait durant notre stage nous a permis de proposer certaines améliorations et solutions compatibles avec la situation.

❖ A propos de l'évacuation des fumées :

- la mise en place d'un échangeur thermique entre le retour de la vapeur provenant des exploitations moins consommant de vapeur (ça veut dire avec une température moins élevée par rapport aux autres) et la vapeur sortante de la cheminée (qui sort avec une température moyenne de 200°C).

-la mise en place d'un régulateur de tirage afin d'améliorer le rendement de la chaudière et évite la condensation trop rapide dans la cheminée de la vapeur d'eau des fumées en trouvant l'optimum de la vitesse des fumées.

❖ A propos du générateur de vapeur(Chaudière)

-La régulation en cascade de chaudières permet de maitriser :

Les temps de fonctionnement des bruleurs dus à la meilleure adéquation de la puissance de chauffe en fonction de la température extérieure.

IV. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a décrit le fonctionnement de la chaudière qui constitue un élément essentiel dans l'unité de production des boissons gazeuses. Puis on a pu calculer le rendement de la chaudière par deux méthodes différentes, et on a arrivé à le comparer avec la norme de constructeur qui est logiquement inférieure et qui est du aux pertes, ce qui nous a poussé à penser à des améliorations pourrait être appliquées dans l'avenir de l'entreprise.

Chapitre 3 : Production d'Air et du Froid

L'air et le froid jouent un rôle très important dans la production des boissons gazeuses au sein de la CBGN.

L'entreprise dispose de deux types de compresseurs de : Froid et Air.

Dans la suite de ce chapitre, on va entamer une étude sur les deux types de compresseurs :

- Une description détaillée de chaque installation avec son type de fonctionnement.
- Faire une étude thermique de l'installation frigorifique.
- Proposer des solutions pour améliorer la situation dans l'entreprise.

I. Production Air Comprimé

1. Définition du compresseur d'air

Un compresseur d'air consiste en une pompe à air apte à prélever de l'air ambiant pour le mettre sous pression

2. Description du compresseur d'air

Il s'agit d'un compresseur à 16 pistons et 2 cylindres qui consiste à aspirer l'air ambiant de pression 1 atm et le refouler avec une pression de 5 bars.

Le compresseur d'air sert à servir le fonctionnement de toute les machines pneumatique au sein de l'entreprise par exemple l'encaisseuse (il met les bouteilles en caisse).

La production d'air passe par plusieurs étapes avant d'arriver à l'exploitation, (**Figure 9**).

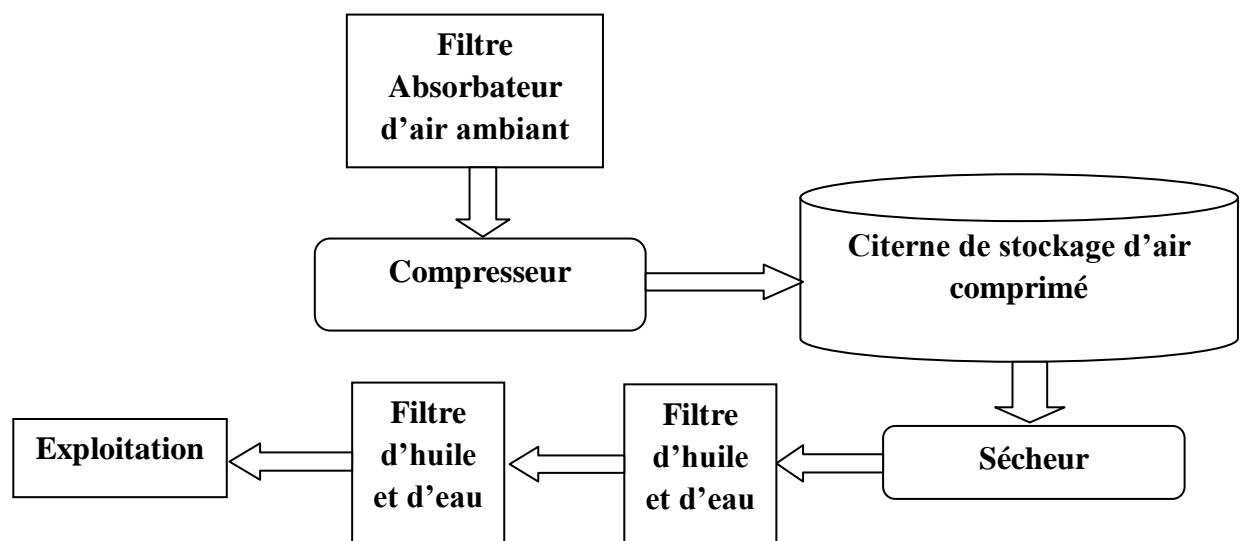


Figure 9 : Schéma explicatif du fonctionnement du compresseur d'air

L'Air comprimé est destiné à tous les services de l'entreprise.

Le compresseur d'air participe pour tous fonctionnement automatique et pneumatique, par exemple l'encaisseuse qui met les bouteilles en caisse, son fonctionnement est similaire à celui de la décaisseuse.

NB : A cause du manque de données sur ce type de compresseur, on n'a pas pu effectuer son bilan thermique.

II. Production du Froid

La salle thermique est équipée de cinq compresseurs frigorifiques de marques différentes **YORK** et **GROSSO** pour avoir une satisfaction du froid pour la production, ces compresseurs ont presque les mêmes caractéristiques 160KW/min.

Actuellement l'entreprise travaille avec un seul compresseur « Grosso ».

1. Description du compresseur du froid

Compresseur de froid sert à comprimer un gaz (Ammoniac) qui permet dans un cycle compression/détente de produire un transfert de chaleur d'un côté à l'autre d'un circuit frigorifique. Il est alimenté en énergie électrique. C'est un compresseur à pistons, il contient 16 pistons.

2. Le principe d'un système frigorifique

Le principe de base de la production de froid consiste à prélever de la chaleur sur un milieu à refroidir (eau), appelé source chaude et à la transférer vers un milieu extérieur (eau ou air extérieur) qui, lui, est réchauffé (source froide).

Ce transfert d'énergie est réalisé par l'intermédiaire d'un fluide frigorigène soumis en continu à un cycle thermodynamique de succession de changements d'états vapeur/liquide.

Toute installation frigorifique à compression se compose de quatre éléments principaux qui sont représentés sur la (Figure 10) :

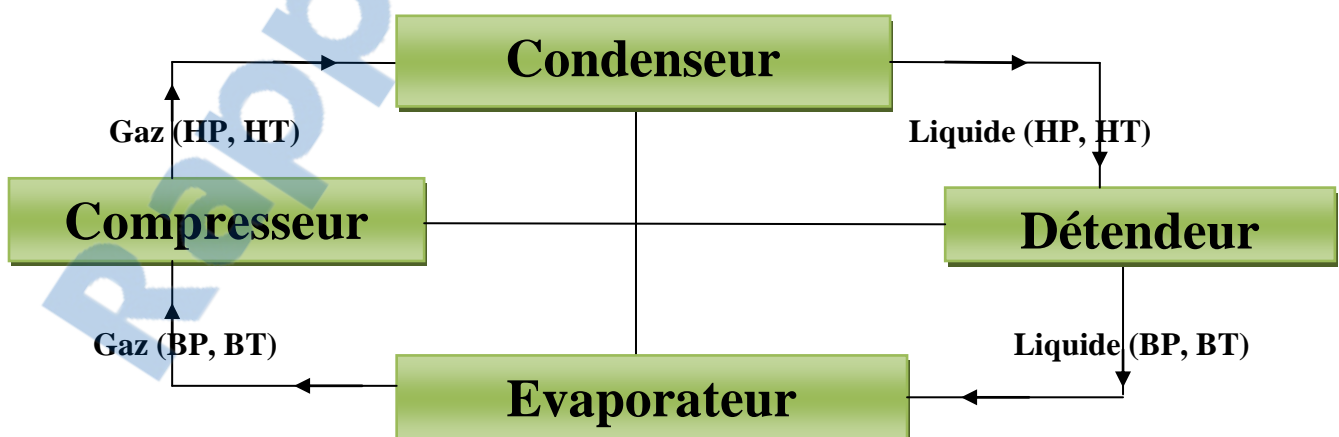


Figure 10 : schéma d'un système frigorifique.

BP : Basse Pression ;

HP : Haute Pression ;

HT : Haute température ;

BT : Basse température ;

Evaporateur:

Dans l'évaporateur le fluide se vaporise, la chaleur latente de vaporisation étant fournie par le médium de refroidissement qui se refroidi.

Etat du fluide à l'entrée: mélange liquide vapeur (80% liquide- 20% vapeur),

Etat du fluide à la sortie: vapeur basse pression surchauffée (régime sec).

Compresseur:

Il absorbe les vapeurs issues de l'évaporateur, les compriment et les refoulent vers le condenseur.

Etat du fluide à l'entrée: vapeurs BP surchauffées

Etat du fluide à la sortie: vapeurs HP surchauffées

Condenseur:

Il va liquéfier les vapeurs refoulées par le compresseur et sous refroidir le liquide condensé.

Etat du fluide à l'entrée: vapeurs HP surchauffées

Etat du fluide à la sortie: liquide HP sous refroidi.

Détendeur:

Il permet à partir du liquide HP sortant du condenseur (où de la bouteille) d'alimenter l'évaporateur en liquide BP basse température.

Etat du fluide à l'entrée: liquide HP sous refroidi.

Etat du fluide à la sortie: mélange liquide-vapeur (80 % liquide 20% vapeur).

3. Fonctionnement du circuit frigorifique :

L'installation frigorifique de la C.B.G.N utilise l'ammoniac Comme fluide frigorifique.

Après la production du froid au niveau de l'évaporateur il faut refroidir l'eau glycolée, cette congélation de cette dernière ne se fait qu'à partir de -18°C Par conséquent c'est l'eau qui rentre en jeu pour refroidir de la limonade.

L'ammoniac NH_3 se stock dans une grande citerne dans la station, une fois besoin on recourt à cette citerne et avec un transfert thermique entre ce dernier et l'eau glycolée (eau+une matière qui ne le permet pas de se congelé) dans un échangeur, L'eau glycolée continue son parcours à la cible demandé.

Les étapes de la production du froid sont représentées sur la (Figure 11).

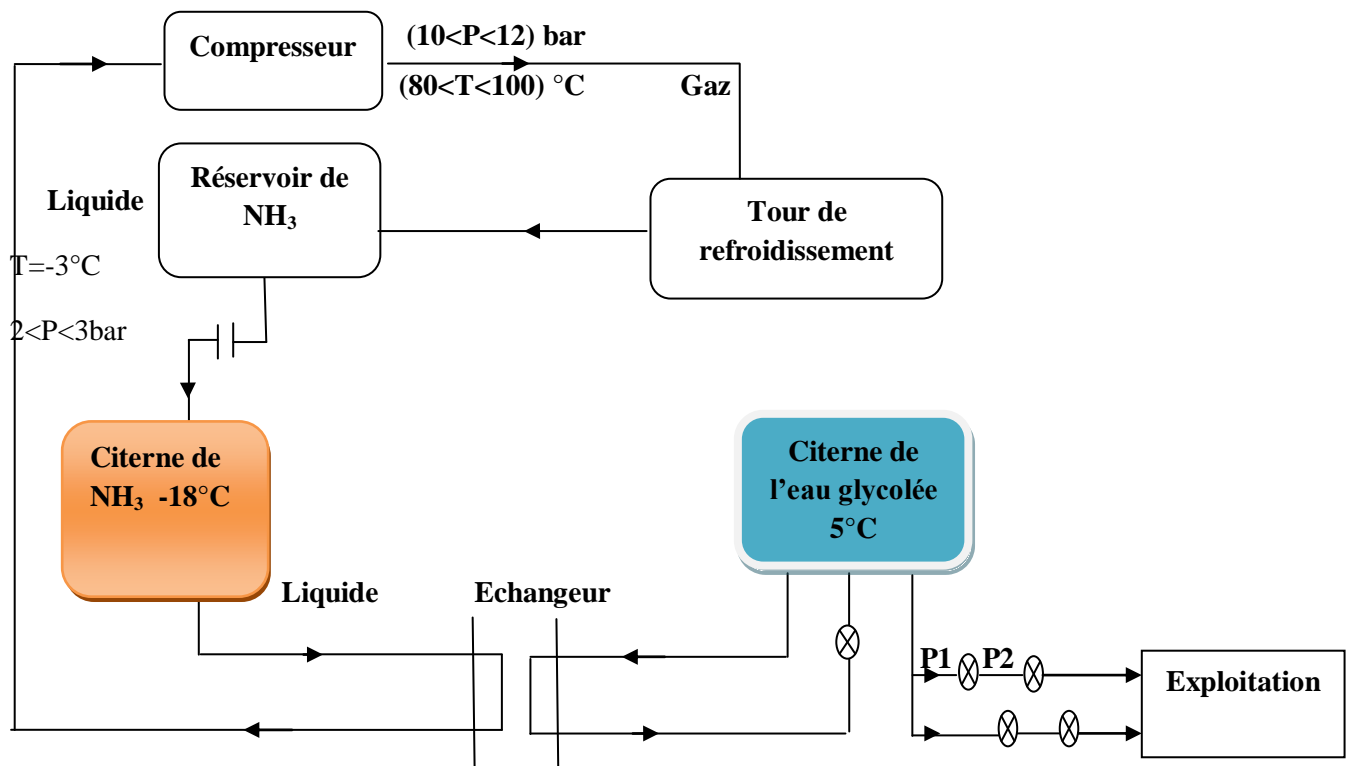


Figure 11 : schéma descriptive du processus de production du froid

4. Bilan énergétique

Dans la suite de cette partie on va entamer un calcul bien spécifié du COP : Coefficient de Performance de l'installation frigorifique ainsi que son rendement mécanique.

Et pour ce faire on a utilisé un ensemble de formule pratique pour réaliser ce calcul, ainsi les données nécessaires.

Données

Fréquence ($f = 50$ Hz) $\cos \varphi = 0.87$; $P_{\text{cle}} = 160$ kW/min

Température ambiante extérieure: $+25^{\circ}\text{C}$

Température ambiante intérieure: 0°C

Fluide: R 717 (Ammoniac)

Alésage: 34 mm

nbre de piston : 16

Course : 30 mm

nbre de cylindre : 2

Surchauffe aspiration: 5°C

Sous refroidissement: 5°C

Le rendement mécanique $\eta_m = 90$ %

a. Caractéristiques géométriques

✚ La cylindrée C correspond au volume des cylindres

$$C = (\pi * D^2 / 4) * (L * N * 10^{-3}) \quad [7]$$

C: Cylindrée en cm^3

D: Alésage du cylindre en mm

L: Course du piston en mm

N: Nombre de cylindres

$$C = 3,14 * (3,4)^2 * 3 * 2 / 4$$

$$C = 54,44 \text{ cm}^3$$

✚ Le volume horaire balayé correspond au volume balayé par les pistons pendant une heure.

$$V_b = C * n * 60 * 10^{-6} \quad [8]$$

V_b: Volume balayé en m^3/h

C: Cylindrée en cm^3

n: Vitesse de rotation en tr/mn

60: conversion des heures en mn

$$V_b = 54,44 * 1463 * 60 * 10^{-6}$$

$$V_b = 4,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

b. Caractéristique Thermique

✚ L'utilisation du diagramme de Mollier correspondant à l'Ammoniac est essentiel pour notre cas de calcul tel que :

Le diagramme de Mollier (Physicien allemand) permet de comprendre le cycle frigorifique et de suivre l'évolution du fluide au cours de chaque transformation, on part d'un état initial d'un fluide à un état final en déterminant les différentes enthalpies.

L'abscisse (barre horizontale verte) du diagramme correspond à la valeur enthalpique (en kJ/kg) et l'ordonnée (barre verticale verte) s'exprime en pression (en bar absolu), une courbe en cloche (courbe de saturation) définit l'état du fluide.

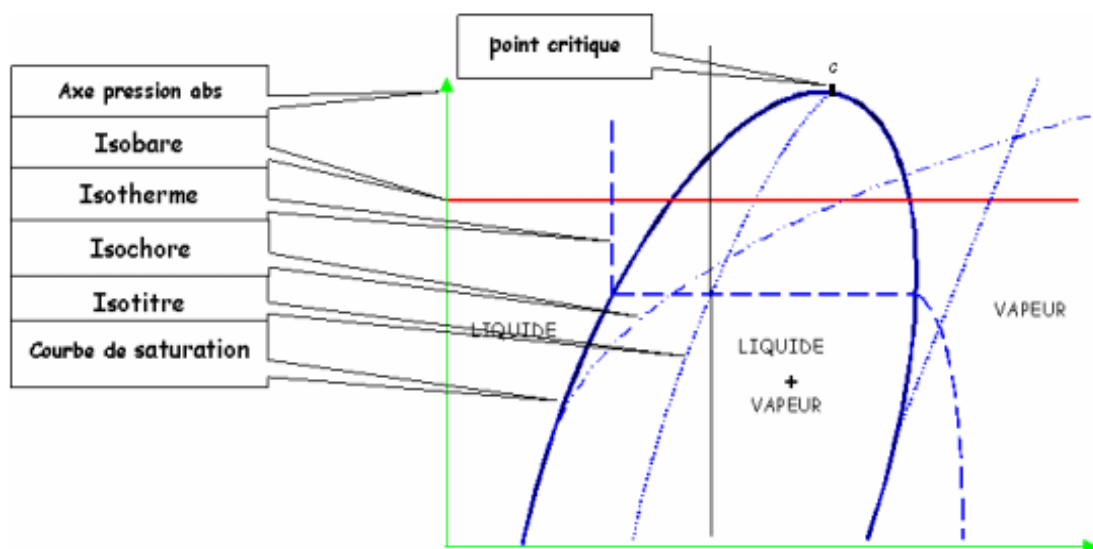


Figure 12 : schéma descriptive du diagramme de Mollier

✚ D'autres courbes ou droites complètent le diagramme donnant d'autres renseignements sur le fluide.

Isobare: signifie que la pression au sien du fluide est constante et uniforme.

Isotherme : ligne au niveau de laquelle la température est constante.

Isotitre: correspond au rapport de la masse de vapeur sur la masse totale du fluide.

Isochore: ligne où le volume ne change pas même au cours d'une transformation.

✚ Pour notre cas de Pratique L'Ammoniac représente le fluide Frigorigène Le diagramme de Mollier Correspondant à l'Ammoniac est donné par la (**figure 13**).

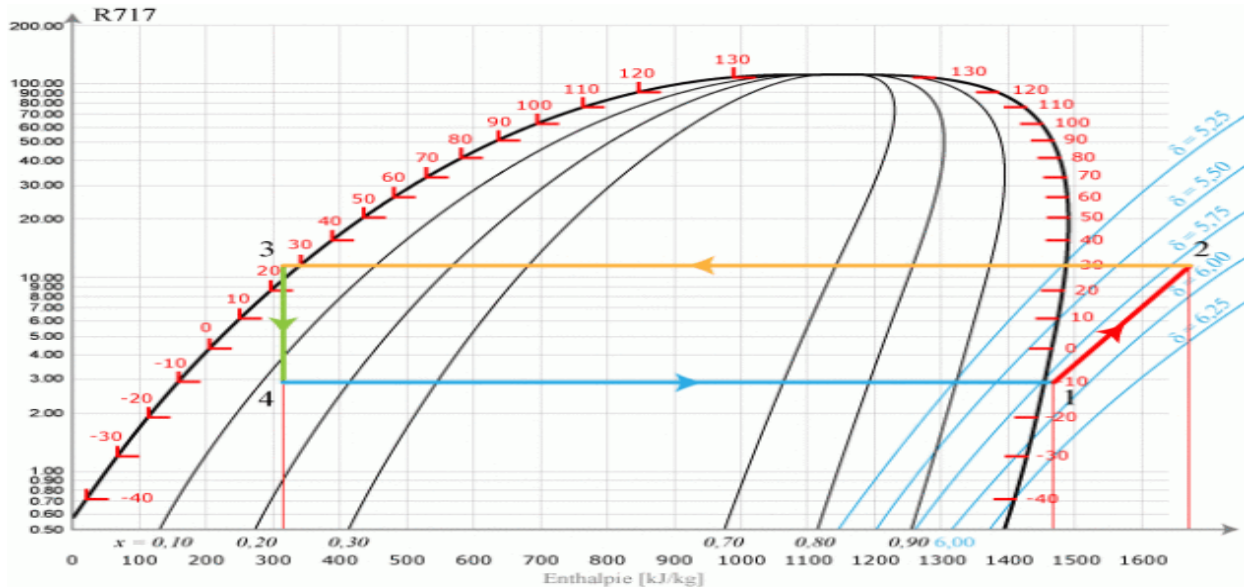


Figure 13 : schéma du diagramme de Mollier D'Ammoniac (R717)

1 à 2 : Compression ;

2 à 3:Condensation ;

3 à 4 : Détende ;

4 à 1 : Evaporation.

✚ D'après le diagramme de Mollier on peut déterminer les valeurs des pressions, températures, enthalpies et titres de chaque phase d'évolution du R717 aux différents points du cycle (**Tableau 7**) :

	1	2	3	4
p (bar)	3	12	12	3
T (°C)	0	100	25	-10
h (kJ/kg)	1470	1665	320	320
x	1	1	0	0,12

Tableau 7 : Les différentes valeurs du diagramme de Mollier

✚ Le rendement volumique :

$$\eta_v = 1 - 0,05T$$

[9]

T : taux de compression ;

Pa : pression d'aspiration ;

Pr : pression de refoulement.

Et pour calculer le rendement volumique on a besoin de calculer le taux de compression T.

$$T = P_r / P_a \quad [10]$$

$$T = 12 / 3 = 4$$

$$\eta_v = 1 - (0,05 * 4)$$

$$\eta_v = 80 \%$$

✚ Le rendement indiqué : η_i

$$\eta_i = \eta_v = 80 \%$$

✚ Volume aspiré horaire:

$$V_a = \eta_v * V_b \quad [11]$$

$$V_a = 0,8 * 4,8$$

$$V_a = 3,84 \text{ m}^3$$

✚ Le travail massique théorique W_{th} fourni par le compresseur :

$$W_{th} = h_2 - h_1 \quad [12]$$

$$W_{th} = 1665 - 1470$$

$h_2 - h_1$: différence d'enthalpie entre le condenseur et le compresseur

$$W_{th} = 195 \text{ kJ.K}^{-1}$$

✚ Le travail mécanique réel :

$$W_r = W_{th} / (\eta_i \eta_m) \quad [13]$$

$$W_r = 195 / (0,8 * 0,9)$$

η_i : le rendement indiqué
 η_m : le rendement mécanique

$$W_r = 270,8 \text{ kJ.K}^{-1}$$

Le COP théorique de Mollier de l'installation est défini par :

$$\text{COP}_{th} = \frac{h_1 - h_4}{W_{th}} \quad [14]$$

$h_1 - h_4$: différence enthalpie entre
l'évaporateur et le compresseur

W_{th} : Le travail massique théorique

$$\text{COP}_{th} = (1470 - 320) / (1665 - 1470)$$

$$\text{COP}_{th} = 5,9$$

Le COP réel de l'installation s'écrit :

$$\text{COP}_r = \frac{h_1 - h_4}{W_r} \quad [15]$$

$$\text{COP}_r = (1470 - 320) / 271$$

$$\text{COP}_r = 4,24$$

D'après le calcul nous avons $\text{COP}_r < \text{COP}_{th}$

III. Conclusion

Le Coefficient de performance Réel de construction est associé a une valeur > 1 , puisque la valeur de COP est plus supérieur de 4*le COP de construction. Alors qu'on peut dire que le cas de notre compresseur est compatible avec le besoin de production de l'entreprise.

Après avoir fait le calcul de bilan énergétique nous avons trouvé que le coefficient de performance réel COP_r est inférieur au coefficient de performance théorique COP_{th} , ce que explique cette différence est que le travail du cycle théorique (cycle de Mollier) est supposé réversible, par contre le travail réel est irréversible, et d'après la loi de thermodynamique :

W_{irr} est toujours supérieur à W_{rev} et d'après les deux équations suivantes :

$$COP_r = Q_f / W_{irr} < COP_{th} = Q_f / W_{rev}$$

Notre résultat de calcul est compatible avec la théorie, il faut toujours que le coefficient de performance théorique soit supérieur au coefficient de performance réel.

IV. Solutions et améliorations

-La mise en place d'une bache de stockage d'eau glycolée qui sort de l'échangeur avec une température de 0°C après son transfert thermique avec le frigorigène Ammoniac, au lieu de rentrer dans la première bache de stockage initiale pour éviter les pertes de chaleurs, la (figure14).

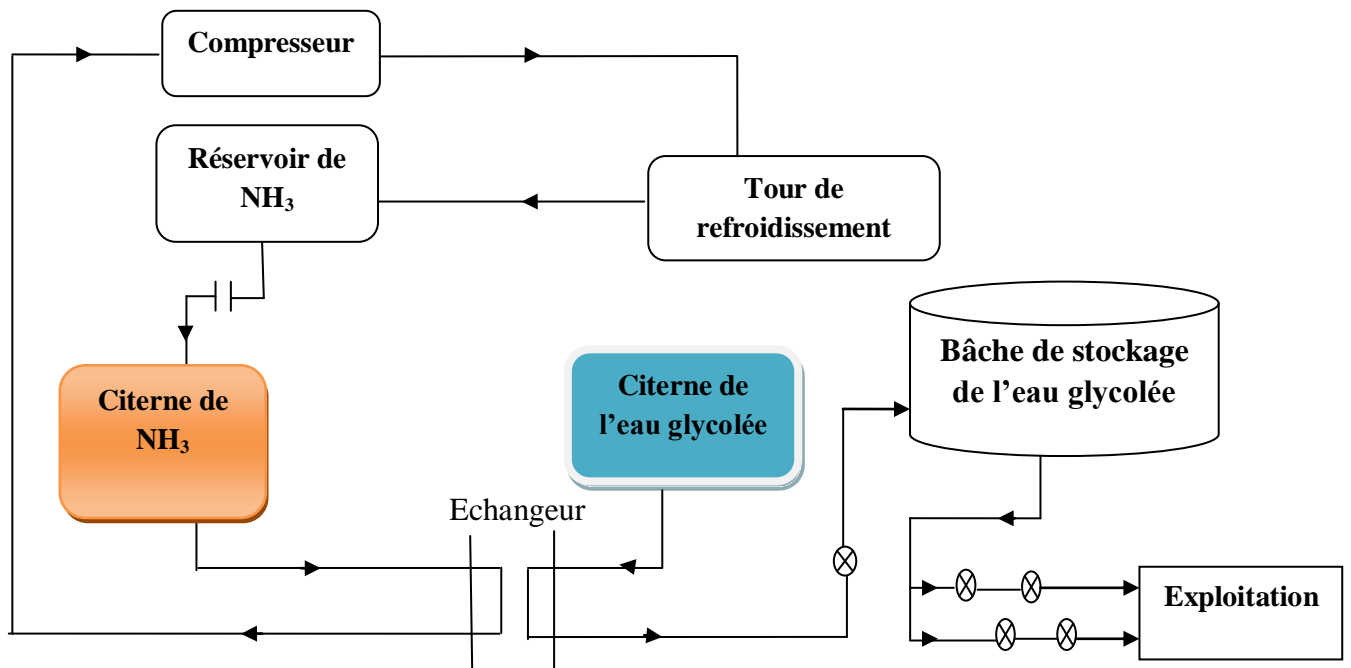


Figure 14 : schéma d'amélioration de l'installation frigorifique

-Faire penser à changer le frigorigène d'Ammoniac moins cher, porte les mêmes caractéristiques frigorifiques et avec un rendement plus supérieur a celui d'ammoniac.

Conclusion Générale et perspectives

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 notre projet nous avons suivi une démarche d'étude globale de l'unité thermique au sein de la CBGN pour le but d'amélioration.

Dans cette optique, nous avons commencé par l'établissement des bilans thermiques pour la chaudière et le système frigorifique. Afin de détecter les différentes pertes, erreurs... qui peuvent influencer sur le rendement de la production de la vapeur et le système frigorifique.

Nous avons également proposé des actions d'amélioration au niveau thermique des deux installations constituant la station thermique au niveau de la CBGN.

A la fin, nous espérons que nos suggestions d'améliorations soient agréées par l'entreprise de CBGN. Et nous souhaitons qu'elles soient prises en compte pour être exploités sur la station thermique.

Au cours de notre stage on n'a pas pu faire une étude sur les échangeurs thermiques dans la station. Participant soit à la production du froid ou de vapeur à cause du manque des données sur ce type d'installation. Ainsi pour le bilan thermique du compresseur d'Air qu'on n'a pas pu le faire dans notre rapport à cause des données incomplètes.

Bibliographie

[S.Haouache][Cours Thermodynamique, FST FES] ;

[B.Eyglunent], [Manuel de thermique], HERMES, (Edition 1991).

Webographie

www.azprocede.fr (Date : 20 Avril 2015) ;

<http://res-nlp.univ-lemans.fr> (Date : 23 Avril 2015) ;

www.techno-science.net (Date: 04/05/2015);

www.babcook-wanson.fr (Date: 26/05/2015);

<http://www.energieplus-lesite.be> (Date: 28/05/2015);

www.energieplus-lesite.be (Date: 02/06/2015).

Annexe

Pression		Température		Chaleur latente de vaporisation (h _{fg})		Chaleur sensible du liquide (h _f)		Chaleur totale (h _g)		Volume de la vapeur (v _g)		Volume du liquide (v _f)	
po de Hg	bar g	°F	°C	Btu/lb	kJ/kg	Btu/lb	kJ/kg	Btu/lb	kJ/kg	pi ³ /lb	m ³ /kg	pi ³ /lb	m ³ /kg
28,50	-0,964	32	0	1076	2503	0	0	1076	2503	3302,40	206,07	0,016	0,0010
24,43	-0,827	126	52	1022	2377	94	219	1116	2596	173,76	10,84	0,016	0,0010
20,36	-0,689	153	67	1006	2340	121	281	1127	2621	90,64	5,66	0,016	0,0010
16,29	-0,551	170	77	996	2317	138	321	1134	2638	61,98	3,87	0,016	0,0010
12,22	-0,413	183	84	989	2300	151	351	1139	2649	47,34	2,95	0,016	0,0010
8,14	-0,275	193	89	982	2284	161	374	1143	2659	38,42	2,40	0,016	0,0010
4,07	-0,138	202	94	977	2273	170	395	1147	2668	32,39	2,02	0,016	0,0010
0,02	-0,001	210	99	972	2261	178	414	1150	2675	28,04	1,75	0,016	0,0010
Psig	bar g	°F	°C	Btu/lb	kJ/kg	Btu/lb	kJ/kg	Btu/lb	kJ/kg	pi ³ /lb	m ³ /kg	pi ³ /lb	m ³ /kg
0	0	212	100	970	2256	180	419	1150	2675	26,80	1,67	0,016	0,0010
1	0,0689	215	102	967	2249	183	426	1150	2675	24,30	1,52	0,016	0,0010
2	0,1379	218	103	965	2245	186	433	1151	2677	23,00	1,44	0,016	0,0010
3	0,2068	222	106	963	2240	190	442	1153	2682	21,80	1,36	0,016	0,0010
4	0,2758	224	107	961	2235	193	449	1154	2684	20,70	1,29	0,016	0,0010
5	0,3447	227	108	959	2231	195	454	1154	2689	19,80	1,24	0,016	0,0010
6	0,4137	230	110	958	2228	198	461	1156	2689	18,90	1,18	0,016	0,0010
7	0,4826	232	111	956	2224	200	465	1156	2694	18,10	1,13	0,016	0,0010
8	0,5516	235	113	955	2221	203	472	1158	2694	17,40	1,09	0,016	0,0010
9	0,6205	237	114	953	2217	205	477	1158	2698	16,70	1,04	0,016	0,0010
10	0,6895	239	115	952	2214	208	484	1160	2698	16,10	1,00	0,016	0,0010
11	0,7584	242	117	950	2210	210	488	1160	2700	15,60	0,97	0,016	0,0010
12	0,8274	244	118	949	2207	212	493	1161	2700	15,00	0,94	0,017	0,0011
13	0,8963	246	119	947	2203	214	498	1161	2703	14,50	0,90	0,017	0,0011
14	0,9653	248	120	946	2200	216	502	1162	2705	14,00	0,87	0,017	0,0011
15	1,0342	250	121	945	2198	218	507	1163	2705	13,60	0,85	0,017	0,0011
16	1,1032	252	122	943	2193	220	512	1163	2707	13,20	0,82	0,017	0,0011
17	1,1721	254	123	942	2191	222	516	1164	2710	12,80	0,80	0,017	0,0011
18	1,2411	255	124	941	2189	224	521	1165	2712	12,50	0,78	0,017	0,0011
19	1,3100	257	125	940	2186	226	526	1166	2712	12,10	0,76	0,017	0,0011
20	1,3790	259	126	939	2184	227	528	1166	2719	11,10	0,69	0,017	0,0011
25	1,7237	267	131	933	2170	236	549	1169	2719	10,40	0,65	0,017	0,0011
30	2,0684	274	134	926	2154	243	565	1169	2728	9,40	0,59	0,017	0,0011
35	2,4132	281	138	923	2147	250	582	1173	2728	8,50	0,53	0,017	0,0011
40	2,7579	287	142	919	2138	256	595	1175	2733	7,74	0,48	0,017	0,0011
45	3,1026	292	144	914	2126	262	609	1176	2735	7,14	0,45	0,017	0,0011
50	3,4474	298	148	911	2119	267	621	1178	2740	6,62	0,41	0,017	0,0011
55	3,7921	302	150	907	2110	272	633	1179	2742	6,17	0,39	0,017	0,0011
60	4,1369	307	153	903	2100	277	644	1180	2745	5,79	0,36	0,017	0,0011
65	4,4816	312	156	900	2093	282	656	1182	2749	5,45	0,34	0,017	0,0011
70	4,8263	316	158	897	2086	286	665	1183	2752	5,14	0,32	0,017	0,0011
75	5,1711	320	160	893	2077	290	675	1183	2752	4,87	0,30	0,017	0,0011
80	5,4158	324	162	890	2070	294	684	1184	2754	4,64	0,29	0,017	0,0011
85	5,8605	327	164	888	2065	298	693	1186	2759	4,42	0,28	0,017	0,0011
90	6,2053	331	166	887	2063	301	700	1188	2763	4,24	0,26	0,017	0,0011
95	6,5500	334	168	884	2056	305	709	1189	2766	4,03	0,25	0,017	0,0011
100	6,8948	338	170	882	2052	308	716	1190	2768	3,88	0,24	0,017	0,0011
105	7,2395	341	172	877	2040	312	726	1189	2766	3,72	0,23	0,017	0,0011
110	7,5842	343	173	876	2038	314	730	1190	2768	3,62	0,23	0,017	0,0011

115	7,9290	347	175	872	2028	318	740	1190	2768	3,44	0,21	0,017	0,0011
120	8,2737	350	177	871	2026	321	747	1192	2773	3,34	0,21	0,018	0,0011
125	8,6184	353	178	867	2017	324	754	1191	2770	3,21	0,20	0,018	0,0011
130	8,9632	355	179	866	2014	327	761	1193	2775	3,12	0,19	0,018	0,0011
135	9,3079	358	181	864	2010	329	765	1193	2775	3,02	0,19	0,018	0,0011
140	9,6527	361	183	862	2005	332	772	1194	2777	2,92	0,18	0,018	0,0011
145	9,9974	363	184	860	2000	335	779	1195	2780	2,84	0,18	0,018	0,0011
150	10,432	366	186	858	1996	337	784	1195	2780	2,75	0,17	0,018	0,0011
155	10,687	368	187	854	1986	340	791	1194	2777	2,67	0,17	0,018	0,0011
160	11,032	370	188	853	1984	342	795	1195	2780	2,60	0,16	0,018	0,0011
165	11,376	373	189	852	1982	345	802	1197	2784	2,53	0,16	0,018	0,0011
170	11,721	375	191	850	1977	347	807	1197	2784	2,47	0,15	0,018	0,0011
175	12,066	378	192	848	1972	350	814	1198	2787	2,40	0,15	0,018	0,0011
180	12,411	380	193	846	1968	352	819	1198	2787	2,34	0,15	0,018	0,0011
185	12,755	382	194	844	1963	355	826	1199	2789	2,29	0,14	0,018	0,0011
190	13,100	384	196	842	1958	357	830	1199	2789	2,23	0,14	0,018	0,0011
195	13,445	386	197	840	1954	359	835	1199	2789	2,18	0,14	0,018	0,0011
200	13,790	388	198	838	1949	361	840	1199	2789	2,14	0,13	0,018	0,0011
210	14,479	392	200	835	1942	365	849	1200	2791	2,05	0,13	0,018	0,0011
220	15,168	396	202	831	1933	369	858	1200	2791	1,96	0,12	0,018	0,0011
230	15,858	399	204	828	1926	373	868	1201	2794	1,88	0,12	0,018	0,0011
240	16,547	403	206	824	1917	377	877	1201	2794	1,81	0,11	0,018	0,0011
250	17,237	406	208	821	1910	380	884	1201	2794	1,75	0,11	0,018	0,0011
260	17,926	410	210	817	1900	384	893	1201	2794	1,68	0,10	0,018	0,0011
270	18,616	413	212	814	1893	387	900	1201	2794	1,63	0,10	0,018	0,0011
280	19,305	416	213	811	1886	391	909	1202	2796	1,57	0,10	0,018	0,0011
290	19,995	419	215	807	1877	394	916	1201	2794	1,52	0,095	0,018	0,0011
300	20,684	421	216	805	1872	397	923	1202	2796	1,47	0,092	0,018	0,0011
400	27,579	448	231	774	1800	426	991	1200	2791	1,09	0,068	0,019	0,0012
500	34,474	469	243	748	1740	449	1044	1197	2784	0,87	0,054	0,019	0,0012
600	41,369	490	254	727	1691	472	1098	1199	2789	0,73	0,046	0,020	0,0012
700	48,263	505	263	703	1635	490	1140	1193	2775	0,64	0,040	0,020	0,0012
800	55,158	520	271	680	1582	514	1196	1194	2754	0,56	0,035	0,020	0,0012
900	62,053	534	279	661	1537	532	1237	1193	2775	0,49	0,031	0,021	0,0013
1000	68,948	548	287	642	1493	547	1272	1189	2766	0,44	0,028	0,021	0,0013
1100	75,842	558	292	621	1444	564	1312	1185	2756	0,39	0,024	0,022	0,0014
1200	82,737	567	297	603	1403	579	1347	1182	2749	0,35	0,022	0,022	0,0014
1300	89,632	579	304	583	1356	593	1379	1176	2735	0,32	0,020	0,022	0,0014
1400	96,537	588	309	565	1314	606	1410	1171	2724	0,29	0,018	0,023	0,0014
1500	103,42	597	314	548	1275	619	1440	1167	2714	0,27	0,017	0,023	0,0014
1600	110,32	606	319	536	1247	626	1456	1162	2703	0,25	0,016	0,023	0,0014
1700	117,21	614	323	517	1203	638	1484	1155	2687	0,23	0,014	0,024	0,0015
1800	124,11	622	328	499	1161	650	1512	1149	2673	0,22	0,014	0,024	0,0015
1900	131,00	629	332	480	1116	661	1537	1141	2654	0,20	0,013	0,025	0,0016
2000	137,90	636	336	461	1072	673	1565	1134	2638	0,19	0,012	0,025	0,0016
2100	144,79	643	339	442	1028	685	1593	1127	2621	0,17	0,011	0,026	0,0016
2200	151,68	650	343	422	982	696	1619	1118	2600	0,16	0,010	0,026	0,0016
2300	158,58	656	347	401	933	708	1647	1109	2580	0,15	0,0094	0,027	0,0017
2400	165,47	663	351	380	884	720	1675	1100	2559	0,14	0,0087	0,028	0,0017
2500	172,37	669	354	357	830	732	1703	1089	2533	0,13	0,0081	0,028	0,0017
2600	179,26	674	357	333	775	744	1731	1077	2505	0,12	0,0075	0,029	0,0018
2700	186,16	680	360	308	716	758	1763	1066	2480	0,11	0,0069	0,030	0,0019

Tableau 8 : La chaleur latente d'eau de vapeur