



Année Universitaire : 2020-2021



Licence Sciences et Techniques en Génie Industriel

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Titre : ETUDE du bilan thermique d'un échangeur thermique**

Lieu : CBGN Fès  
Référence : 24 /21-GI

Présenté par:

**ADNANE LAHMAMSSI**

**Soutenu Le 9 Juillet 2021 devant le jury composé de:**

- **Mr. H. Bine Elouidane (encadrant)**
- **Mr. LAHBOUJ BELKACEM (encadrant Société)**
- **Mr. Pr Kaghat (examinateur)**



# Dédicace

*Je dédie cet ouvrage*

*A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.*

*A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A tous ceux que j'aime.*

*Merci !*





## Liste des figures :

Figure 1 : Répartition des activités de la CBGN sur la région de Fès

Figure 2 : Activités de la CBGN selon 4 indicateurs

Figure 3 : organigramme de la CBGN

Figure 4 : Procédé du traitement de l'eau traité

Figure 5 : chaîne de préparation du sirop finie

Figure 6 : Schéma de la chaîne de production en verre

Figure 7 : Processus de fabrication pour les bouteilles en verre

Figure 8 : Processus de fabrication pour les bouteilles PET« Le polyéthylène téréphtalate »

Figure 9 : Echangeur à plaque

Figure 10 : Distribution des températures dans un Echangeur à courants parallèles co-courant

Figure 11 : Distribution des températures dans un Echangeur à contre-courant

Figure 12 : dépôt dus à l'encrassement de l'échangeur



## Table des matières

Introduction Générale : .....	1
<b>CHAPITRE 1 : Contexte générale du projet</b>	
I. Présentation de l'entreprise CBGN .....	2
1. Historique de la CBGN : .....	2
2. Fiche technique : .....	2
3. Activités .....	3
4. Organigramme.....	4
5. Présentation des différents services.....	4
II-Processus de Fabrication .....	5
1-Processus de traitement et d'adoucissement des eaux : .....	5
1.1-Leprocessus de traitement de l'eau : .....	6
1.2-L'adoucissement de l'eau : .....	8
2. La Siroperie : .....	8
3. Ligne de production : .....	10
<b>CHAPITRE 2:Description générale d'un échangeur thermique</b>	
1. le principe de fonctionnement : .....	14
2. Les différents types d'échangeurs thermiques : .....	16
3. Bilan thermique : .....	16
4. Efficacité d'un échangeur : .....	18
<b>CHAPITRE 3: Etudes et Analyses</b>	
1-Cas de l'échangeur réel .....	19
2-Cas de L'échangeur idéal.....	21
Conclusion générale .....	25



## Introduction Générale :

Nous avons choisi d'effectuer notre stage au sein de la Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord de FES car on a pensé que c'est l'environnement idéal qui va nous permettre de mieux s'intégrer dans le domaine industriel, surtout que la production réalisée, au sein de l'usine, a une relation primordiale avec les études que nous avons poursuivie à la Faculté des Sciences et Techniques.

Le sujet qui nous a été proposé consiste à faire une étude sur les échangeurs thermiques à plaques qui sont utilisés dans le secteur agro-alimentaire, ce sont des équipements ayant une durée de vie, une capacité, et une performance bien précise, à cause de l'utilisation continue de l'échangeur, de nombreux facteurs influencent ses paramètres, à savoir la température de l'eau et le débit de liquide ainsi que le nombre de plaque. Pour cette raison il est nécessaire d'étudier l'état actuel de l'échangeur et établir un bilan thermique en tenant compte de tous ces paramètres.

Le rapport est structuré en trois chapitres :

- Le premier Chapitre sera consacré à la présentation générale de l'entreprise d'accueil CBGN ainsi que son histoire et avoir une vue profonde sur le processus de production.
- Le second chapitre présente une description générale sur les échangeurs thermiques et leur principe de fonctionnement, ainsi leur différents types, sans oublier de donner un petit rappel sur le bilan thermique et le rendement qui va nous faciliter les calculs dans le troisième Chapitre.
- Le troisième et dernier chapitre procédera sur les études et analyse des résultats obtenues au sein de l'entreprise sur les échangeurs thermiques dans le cas réel et idéal afin de savoir les problèmes rencontrés par les ouvriers, et on va finir par donner des solutions et améliorations pour éviter ces problèmes-là.

Enfin nous allons terminer le rapport par une conclusion bien précise.



## I. Présentation de l'entreprise CBGN

### 1. Historique de la CBGN :

La Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord de Fès a été créée en 1952 à la place de l'actuel hôtel SOFIA. Après, elle a été transportée à la place actuelle au nouveau quartier industriel SIDI BRAHIM, avec un capital de 2.000.000 DHS.

La société NABC est considérée comme l'annexe la plus importante du groupe ECCBC qui a été créée en 1997 avec la participation de Cobega of the Coca-Cola Export Company, celle-ci est spécialisée dans l'embouteillage et la distribution de boissons gazeuses, non gazeuses et eaux minérales dans toute l'Afrique.

- En 1971, le capital est augmenté de 240.000 DHS à 1240.000.000 DHS
- En 1997, la compagnie rachète l'unité SIM (Société Industrielle Marocaine).
- En 1999, l'acquisition de la CBGN par The coca-cola holding.
- En 2002, l'acquisition de la CBGN dispose d'un site de production avec deux lignes (2 lignes en verre).

La Coca Cola compagnie du Maroc dispose de cinq sociétés d'embouteillages :

- La société centrale des boissons gazeuses (SCBG).
- La compagnie des boissons gazeuses du nord (CBGN).
- La compagnie des boissons gazeuses du sud (CBGS).
- Société des boissons Mauritanienne (SOBOMA)
- Compagnie des boissons marocaines et internationales (COBOMI).

### 2. Fiche technique :

La figure suivante représente la fiche technique de la CBGN :

Raison social	CBGN
Forme juridique	Société Anonyme
Activité	Embouteillage et Distribution des boissons gazeuses non alcoolisés
Capital social	3 720 000 MAD







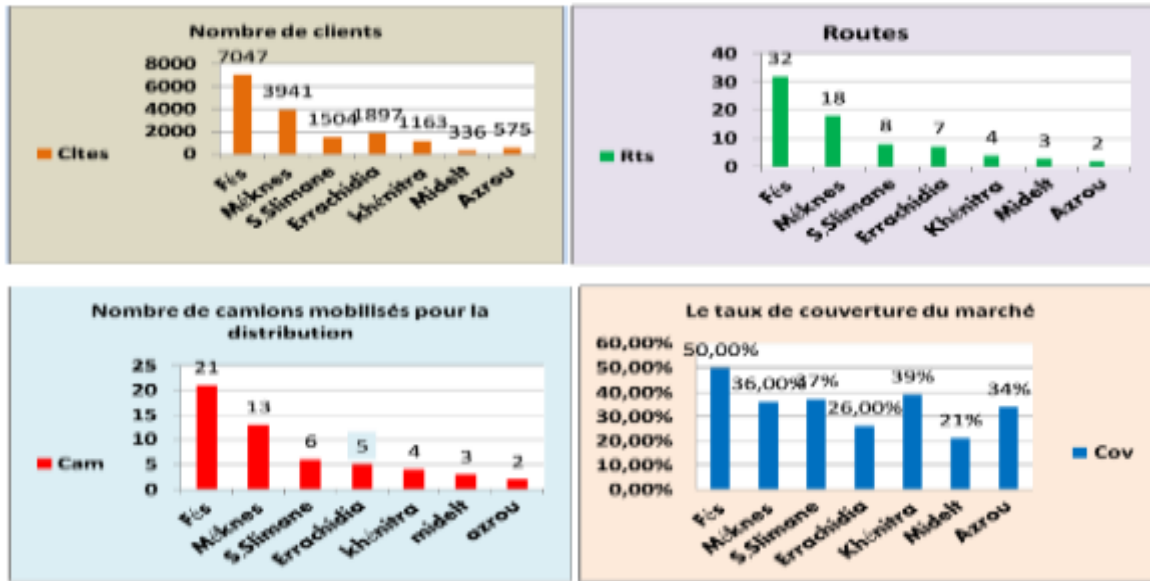


Figure 2 : Activités de la CBGN selon 4 indicateurs

#### 4. Organigramme

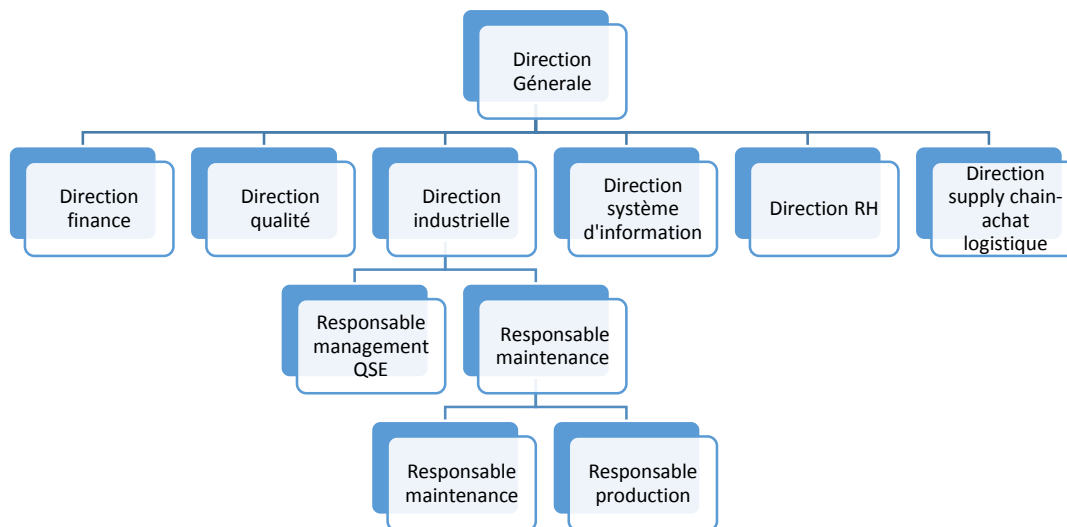


Figure 3 : Organigramme de la CBGN

#### 5 .Présentation des différents services

##### ➤ Département administratif

1. Service informatique
2. Service comptabilité
3. Service financier
4. Service achats



5. Service cumul

➤ **Département technique**

1. Service contrôle de qualité

2. Production

3. Maintenance

➤ **Direction commerciale**

1. Service opérations

2. Administration des ventes

3. Magasin et article publicitaires

➤ **Département des ressources humaines**

1. Service paie

2. Service personnel

3. Service formation

4. Description du personnel du département technique

## II-Processus de Fabrication

Le processus de fabrication des boissons gazeuses au CBGN passe par trois étapes principales :

-Traitement des eaux,

-Siroperie


-Embouteillage en verre ou PET

### 1-Processus de traitement et d'adoucissement des eaux :

L'eau est l'élément le plus fondamentale dans la fabrication des boissons gazeuses, ce dernier qui provient de l'ONEP contient pas mal de substances qui peut influencer les propriétés organoleptiques du produit (goût, odeur, aspect) par exemple : MES (matières en suspension), des matières colloïdales, Composés phosphorés..., tous cela pousse la CBGN a utilisé des méthodes diverses afin d'assurer le traitement complet d'eau.

On distingue trois types d'eau chacun avec son unique utilisation au sein de l'entreprise :

Stérilisation des machines

Eau traité  Siroperie.





Après la désinfection de l'eau, on injecte un coagulant à base sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)3 \cdot 18H_2O$  qui réduit la charge des ions dans l'eau pour le but de rassembler les particules et les agglomérer pour former un floc, et par conséquent faciliter leur décantation.

### c. Filtres à sables (1, 2,3) :

Après un certain temps estimé à 3 jours, les filtres à sables vont être chargés par les floccs, ce qui va déranger son bon fonctionnement, pour les débarrassés de ces particules, il sera lavé tous les 3 ou 4 jours par l'injection de l'eau à contre-courant. Pour empêcher le passage de ses matières en suspension et avoir de l'eau clarifiée à la sortie du filtre. Donc après filtration il faut vérifier l'état du sable, turbidité, Aluminium, PH, GOA.

### d. Décarbonateur :

Le décarbonateur sert à réduire le taux d'alcalinité de l'eau, c'est une opération d'échanges ioniques, L'eau à traiter traverse un lit de résine faiblement acide de type  $RCOOH$ , Les bicarbonates de calcium et de magnésium échangent leurs cations par de l'hydrogène avec formation de  $CO_2$ , Les réactions d'échange ionique ayant lieu au niveau du décarbonateur sont :



Il faut mesurer périodiquement l'efficacité de la résine qui est caractérisée par la teneur de l'effluent en carbonates et hydrogénocarbonates, lorsque cette quantité dépasse les 85 mg/l, il faut régénérer la résine par de l'acide chlorhydrique concentré qui va substituer les ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  par des protons, Après une certaine durée, la régénération ne peut rénover les résines, dans ce cas il faut changer carrément le remplissage.

### e-bassin numéro 2 :

Le bassin numéro 2 à une capacité de 200 m<sup>3</sup> reçoit l'eau filtré par le décarbonateur, après on va ajouter du chlore dans le but de désinfecter l'eau et obtenir une concentration de 6 à 8 ppm. Tous les quatre heures le bassin doit être inspecté pour être sûr que la teneur de l'eau est bien respecté.

### f- Filtres à charbon :

La filtration au niveau du charbon actif est destiné d'éliminer le chlore et les substances susceptibles qui peuvent donner un goût anormal aux produits de la compagnie ainsi affiner l'élimination de la matière organique et adsorber les micropolluants organiques à l'état de traces. A la sortie du filtre à charbon, plusieurs paramètres doivent être vérifiés GOA, Le titre alcalimétrique qui ne doit pas dépasser les 2 mg/l, Le titre alcalimétrique complet qui ne doit pas dépasser les 85 mg/l, La teneur



en chlore doit être nulle, Le pH doit être supérieur à 5. La TDS ne doit pas dépasser 500 ppm. (Taux de solide dissous), La turbidité doit rester dans la limite de 0.5 NTU. Lorsque ces paramètres dépassent ces limites, le charbon devient saturé, et nécessite d'être changé. La régénération du filtre à charbon se fait avec une stérilisation avec de la vapeur (100°C) pendant 2 heures ensuite un lavage à contre-courant avec de l'eau chlorée.

### g-filtre Polisseur :

Cette étape est la dernière étape de filtration afin d'obtenir d'eau bien traité prêt à être utilisé dans la siroperie. Elle contient deux filtres polisseurs contenant des cartouches de polyester pour débarrasser l'eau des impuretés comme les particules des charbons actifs ainsi que les particules de tartre. au niveau du maintenance le filtre subit tous les 5 jours une stérilisation avec de l'eau chlorée puis un rinçage avec de l'eau.

### 1.2-L'adoucissement de l'eau :

L'opération d'adoucissement de l'eau se passe dans un troisième bassin (on utilise l'eau de ville) qui permet de réduire le taux de calcaire dans l'eau par élimination des ions de calcium et magnésium, ça consiste en une permutation des ions  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  par  $Na^+$ , pour ce faire, on fait circuler l'eau à travers des résines cationiques de type  $Na_2R$ . L'eau adoucie sert à nettoyer les bouteilles dans la laveuse et à alimenter les chaudières.

## 2. La Siroperie :

Après avoir traité l'eau, il reste une deuxième étape qui est la production de la boisson gazeuse, c'est la siroperie, cette opération peut être subdivisée en deux grandes parties, la préparation du sirop simple, puis du sirop fini



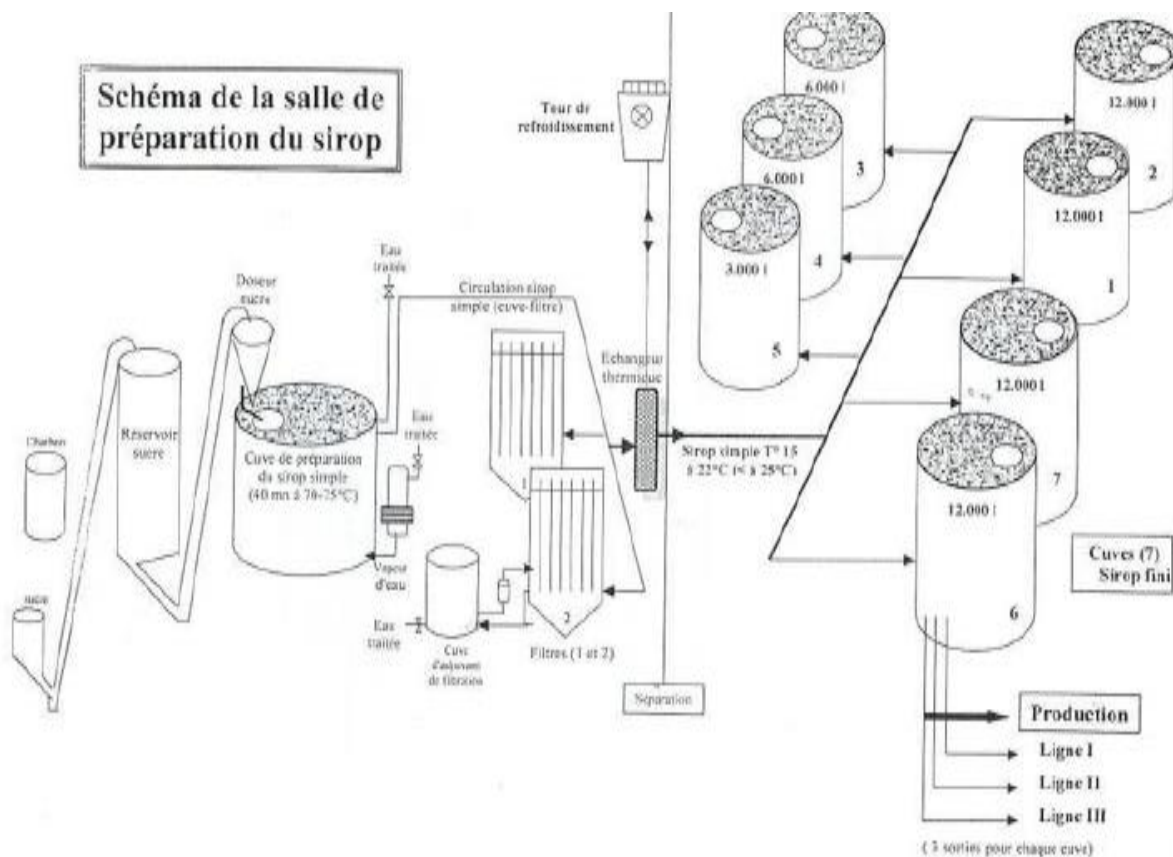


Figure 5 : chaîne de préparation du sirop finie

Quatre tonnes et demi de sucre, provenant du stock, sont mis dans la trémie. A l'aide d'une pompe, ils sont transmis dans une cuve remplie d'eau de température à peu près égale à 60° le mélange est chauffé à une grande température (75°) ne caramélisant pas le liquide. Ce dernier est ensuite filtré à l'aide du charbon qui va le blanchir et éliminer les impuretés. Il passe ensuite par un filtrage fin qui va rejeter toutes les particules étrangères. Le liquide obtenu est ensuite refroidi à 20° pour donner le sirop de glucose simple.

Les produits light ne contiennent pas de sucre mais des édulcorants artificiels. Il s'agit principalement de l'aspartame, de la saccharine. Ils sont livrés en poudre, en sac ou en vrac.

Ce sirop de glucose simple est ensuite mélangé avec un concentré qui représente la base des boissons gazeuses. Celui-ci provient de l'étranger, plus précisément de l'Espagne, et dont la formule chimique reste secrète.

Suivant le soda à préparer les quantités du sirop simple et du concentré diffèrent.

Sirop Simple + Concentré = Sirop Fini



Les quantités d'eau et sucre sont mélangés de telle façon à respecter la teneur de sucre dans le soda, qu'on appelle Brix, qui généralement ne dépasse pas 55 °B.

Le sirop fini ainsi obtenu est envoyé aux lignes d'embouteillage où il sera mélangé dans l'intermix à l'eau et à du gaz carbonique CO<sub>2</sub> (11 bar), qui donne l'aspect gazeux à la boisson.

Le sirop fini est mélangé à 4 fois sa dose d'eau afin de respecter la norme du Brix qui oblige que la teneur de sucre ne doit pas dépasser 12.9±0.2 °B par volume.

## Mixage :

Le mixage constitue la dernière phase de production de la boisson, cette étape consiste à mélanger le sirop fini avec l'eau traitée refroidie par l'eau glycolée et du gaz carbonique dans des proportions bien définies.

## 3. Ligne de production :

L'usine possède deux lignes de production qui sont consacrées à la production des boissons dont les bouteilles en verre et en PET (polyéthylène téréphtalate), La ligne de production est composée de plusieurs postes entre eux reliés par des convoyeurs à différentes vitesses prenons par exemple la chaîne de production de verre suivante :



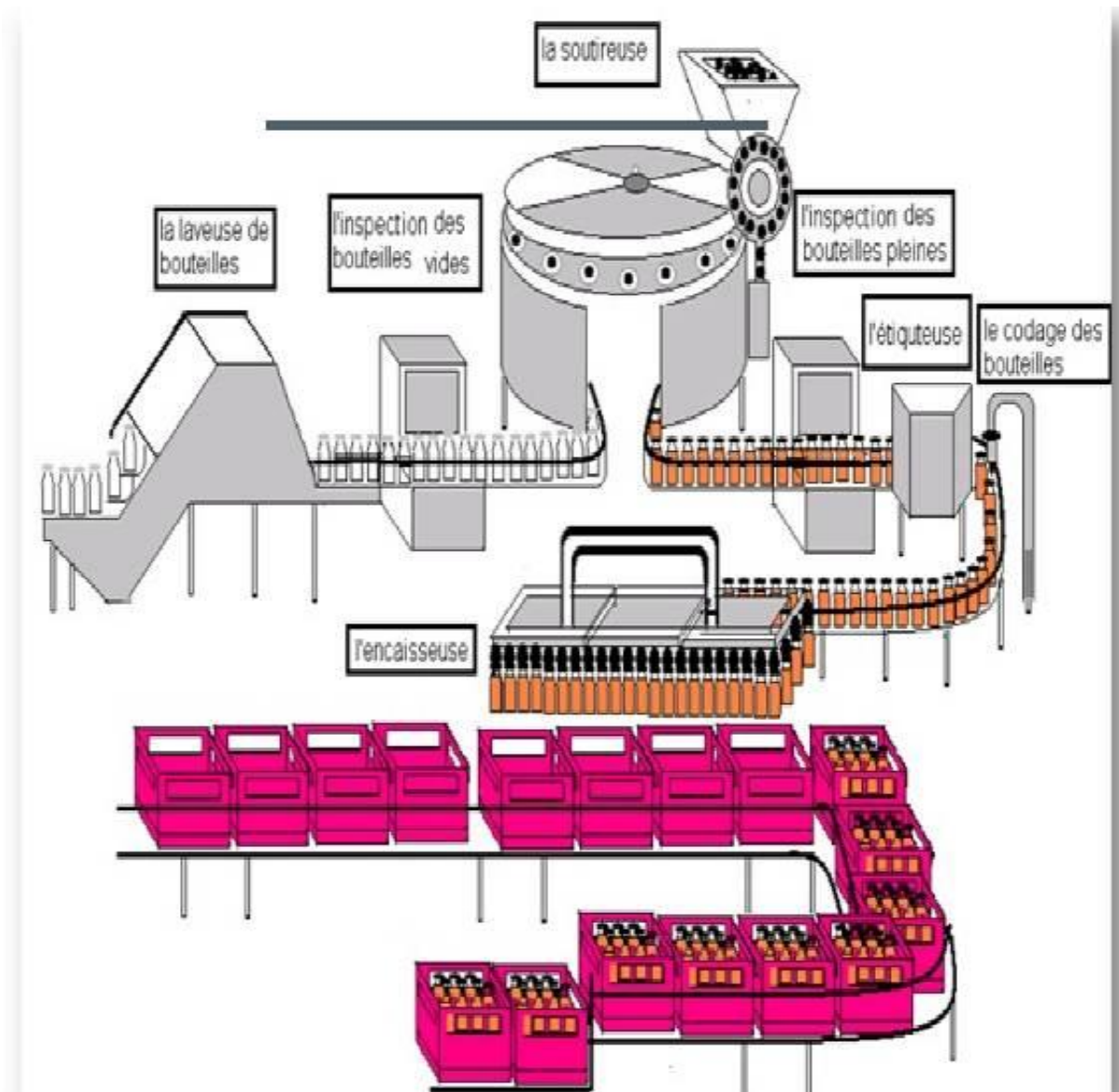
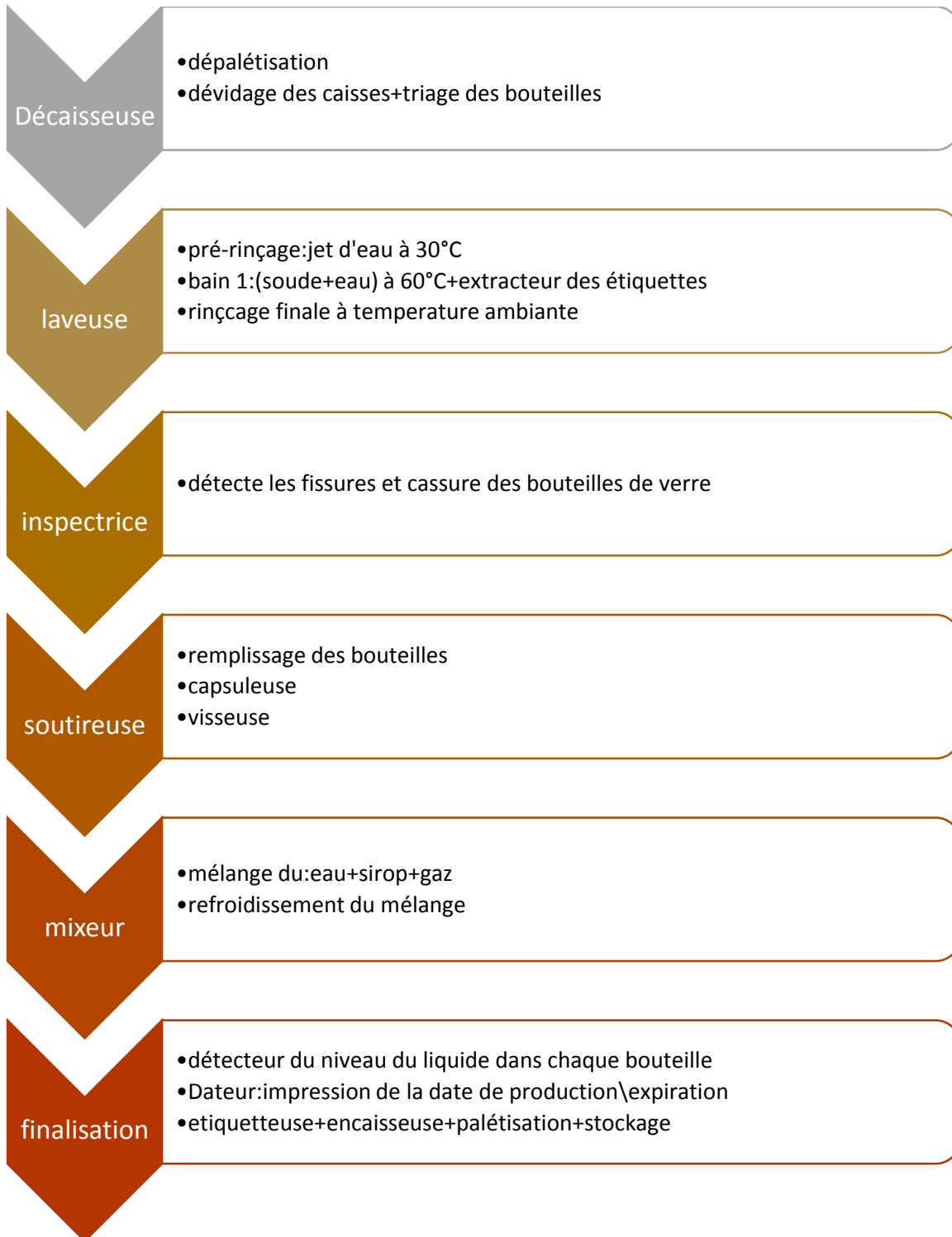


Figure 6 : Schéma de la chaîne de production en verre

Le processus de production dans ces deux lignes est le suivant :



**Figure 7 : Processus de fabrication pour les bouteilles en verre**

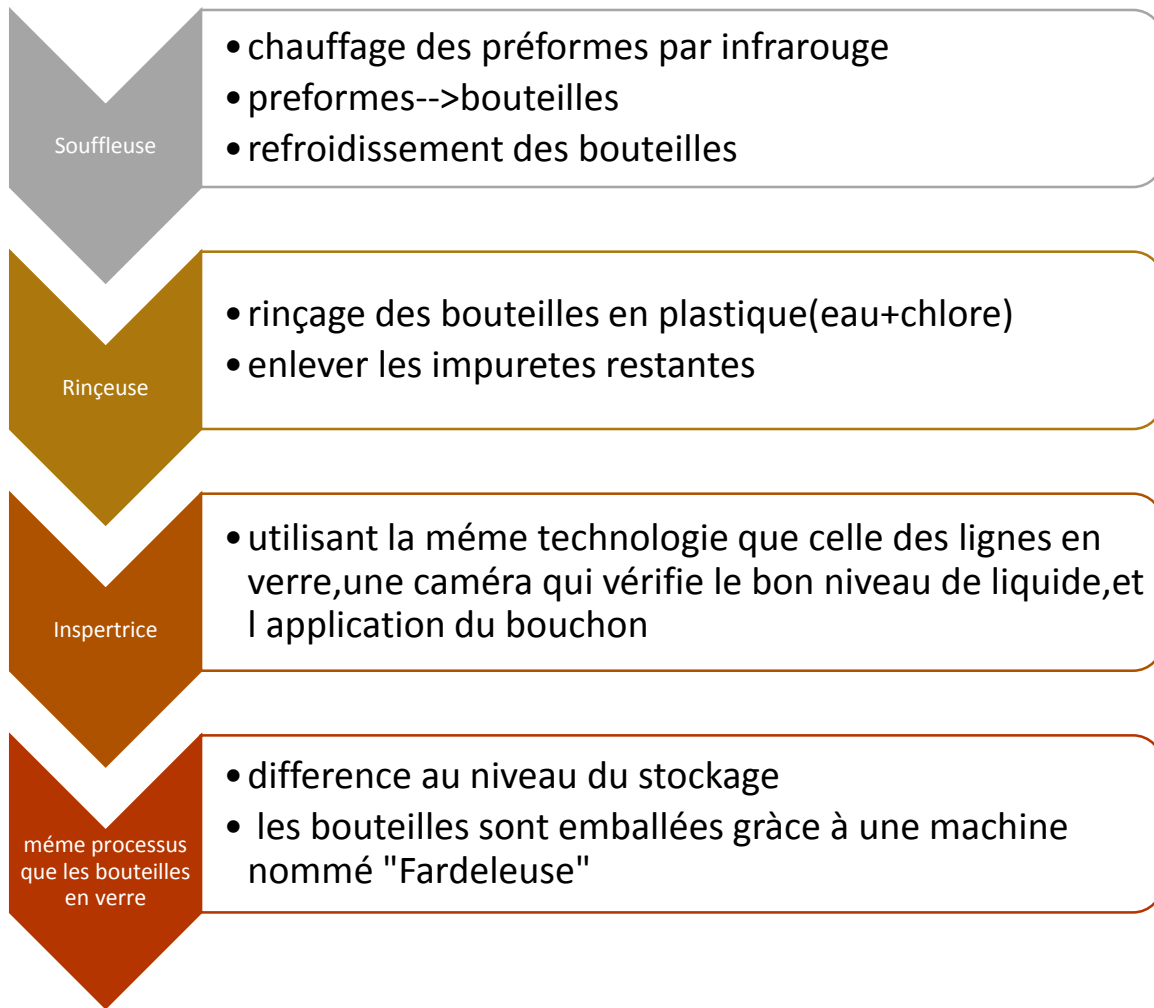


Figure 8 : Processus de fabrication pour les bouteilles PET« Le polyéthylène téréphthalate »

## 1. le principe de fonctionnement :

Ces échangeurs sont utilisés dans les industries agro-alimentaires depuis plus de 60 ans, mais leur développement dans le bâtiment est plus récent. Ils se distinguent par une compacité remarquable due en partie à leur coefficient K élevé, une grande facilité de nettoyage et la possibilité d'ajuster leur surface à la demande.

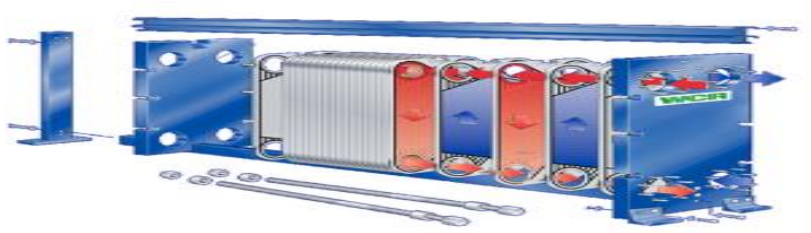


Figure 9 : Echangeur à plaque

Cet échangeur est constitué par un ensemble de plaques embouties équipées de joints et maintenues serrées entre 2 plateaux reliés par des tirants des serrages.

Les plaques sont en général en forme de chevron pour augmenter la turbulence et ménager des points d'appuis pour résister à la pression. Leur faible épaisseur permet d'utiliser des matériaux de bonne qualité ayant une bonne tenue à la corrosion (acier inox, titane, etc.).

Les joints en polymères assurent un double rôle :

- étanchéité,
- répartition des fluides dans l'échangeur.

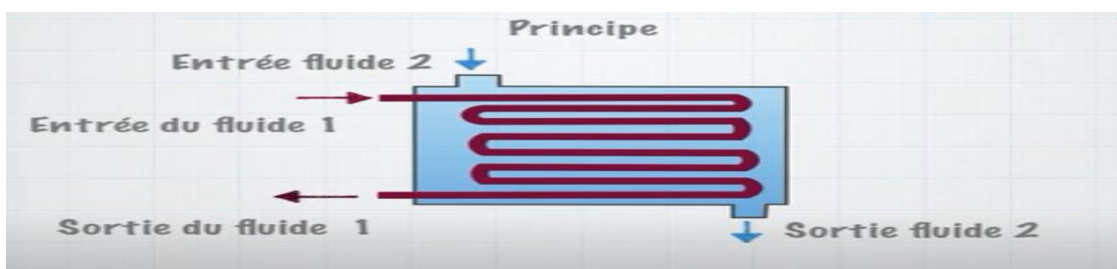
### Définition :

Un échangeur thermique est un appareil destiné à transmettre la chaleur d'un fluide à un autre

### Principe :

Deux fluides de différentes températures circulent à travers des conduits qui les mettent en contact thermique

On a un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid (deuxième principe de la thermodynamique : le transfert thermique se fait spontanément du fluide chaud au fluide froid).



Le fluide 1 entre dans l'échangeur avec une température  $T_{1e}$ , et sort avec une température  $T_{1s}$ .























Donc il faut fournir 444,125kw pour refroidir la température de 34 au 4°C.

### Analyse des résultats :

D'après les résultats qu'on a obtenus dorénavant on a :

Echangeur à plaque	Echangeur à plaque idéal
$\phi_1=343,7\text{kw}$	$\phi_2=418,3 \text{ kW}$
$S_2=27,49 \text{ m}^2$	$S_2=36 \text{ m}^2$

On distingue on comparant les flux que le flux dans le cas idéal est plus supérieur que le flux dans le cas normale et cela ne peut être expliqué que par des Pertes de charges.

### Pertes de charges au niveau de la pression :

Dans cette partie on va comparer les pressions d'entrée et sortie du côté froid du fluide de l'échangeur dans le cas normale et idéal.

Donc on a l'équation suivante pour calculer les pertes voulues :

$$\Delta P_1 = P_{1e} - P_{1s} \quad \text{Avec: } P_{1e} = 2,6\text{bar}$$

$$P_{1s} = 0,9\text{bar}$$

Donc on aura:  $\Delta P_1 = 1,7\text{bar}$ ; On comparant  $\Delta P_1$  avec  $\Delta P = 1,21\text{bar}$  de l'échangeur au cas idéal, on trouve que  $\Delta P$  est inférieur à  $\Delta P_1$ .

### Pertes par encrassement :

L'encrassement des équipements de transfert thermique est défini comme étant la déposition et l'accumulation de matériaux ou de substances indésirables sur les surfaces d'échange de chaleur. Ces dépôts peuvent être de la rouille, du tartre (sédiment), de la vase, des cristaux, des résidus biologiques, des produits de réaction chimique ou la combinaison de plusieurs de ces éléments.

Cette couche d'encrassement qui se forme sur l'un ou les deux côtés de la surface d'échange de chaleur possède une conductivité thermique plus faible que celle du métal constituant cette surface, ce qui engendre l'augmentation considérable de la résistance au transfert thermique et donc, une diminution des performances de l'échangeur de chaleur. D'autre part, ce film d'encrassement réduit la section de passage du fluide entraînant, ainsi,









## Conclusion générale

Le présent projet de fin d'étude concernant le bilan thermique de l'échangeur à plaque m'a permis de soulever les points suivants :

Le principal problème observé est le dimensionnement de l'échangeur qui est un processus complexe, souvent objet de nombreuses contraintes et hypothèses induisant un impact sur le coût et les gains de l'entreprise.

Pour s'assurer de la conformité des dimensions de l'échangeur à plaque on doit maintenir les recommandations suivantes :

- la modélisation de l'échangeur retenu ;
- les propriétés thermo physiques des fluides ;
- le choix technologique réalisé ;
- les lois (corrélations) d'échange et de perte de pression spécifiques et adaptées ;
- les contraintes d'intégration et de design (compacité, performance thermique et perte de charge acceptable) ;
- les contraintes liées à l'utilisation de certains fluides (résistance d'encrassement, étanchéité, inspection);
- le choix d'un logiciel de calculs appropriés aux besoins ;
- le prix de l'échangeur (qui passe par sa conception, sa fabrication et sa mise en place).

Enfin ce stage de deux mois de fin d'étude de License GENIE INDUSTRIEL, effectué à la société CBGN, nous a permis de mettre en pratique des connaissances théoriques que nous avons pu acquérir tout au long de notre formation universitaire, en espérant que cette étude sera bénéfique pour la CBGN.



## Bibliographie

- [1] El Hajjioui Merieme, « Etude du bilan thermique d'un échangeur à plaques GEA » Licence en Génie industriel, Université sidi Mohamed ben Abdellah, faculté des sciences et techniques de Fès, 2014.consulté le 25 juin 2021.
- [2] Hamimi oumama « Standardisation des arrêts de la ligne PET et leur gestion à l'aide du VBA-EXCEL » Licence en Génie industriel, Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès, 2018.consulté le 5 mai 2021.
- [3] Encyclopédie de l'énergie, Les échangeurs de chaleur  
<https://www.encyclopedie-energie.org/les-echangeurs-de-chaleur/#:~:text=Calcul%20de%20la%20puissance%20thermique,l'ext%C3%A9rieur%20%5B1%5D>. visité le 12 juin 2021
- [4] E. Rouland, Areelis technologies, Université de Rouen, Les Échangeurs Thermiques, 2011-2012  
<http://gsi-energie.univ-rouen.fr/IMG/pdf/cours-iup-me-echangeurthermique-2.pdf> visité le 6 juin 2021
- [5] Barriquand, dimensionnement de l'échangeur thermique  
<https://www.barriquand.com/dimensionner-echangeur-thermique-mode-emploi/> visité le 23 juin 2021