

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 03**



**FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**DÉPARTEMENT GÉNIE CHIMIQUE**

N° d'ordre :.....

Série :.....

**Mémoire de master**

**FILIÈRE : GÉNIE DES PROCÉDÉS**

**SPÉCIALITÉ : GÉNIE CHIMIQUE**

**DIMENSIONNEMENT DES FOURS ET  
CHAUDIÈRES ET ÉCHANGEURS THERMIQUES  
INDUSTRIELS**

**Dirigé par :**

**D<sup>r</sup> ZERMANE Samah**

**Grade MCA**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> : AZIOUNE Oumnia**

**M<sup>elle</sup> : AMEZIANE Rania**

**M<sup>elle</sup> : BOUDJADJA Zahia Feriel**

**Année universitaire : 2022/2023**

**Session : juin**

# Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre 1 : Généralités et étude bibliographique</b>	
<b>Parti 01 : Combustibles et énergie de combustion</b>	
1.1.1 Combustion.....	2
1.1.2 Comburant.....	2
1.1.3 Combustible.....	2
1.1.4 Réaction de combustion.....	3
a. Réaction complète.....	3
b. Réaction incomplète.....	3
1.1.5 Pouvoir calorifique.....	3
1.1.6 Relation entre PCI et PCS.....	4
1.1.7 Relation de PCI d'un mélange de trois combustibles.....	4
1.1.8 Loi de Kirchhoff.....	4
1.1.9 Qualité de la combustion.....	4
1.1.10 Equipements de combustion.....	4
1.1.11 Aspects environnementaux liés à la combustion.....	4
<b>Parti 02 : Fours industriels</b>	
1.2.1 Définition du four.....	5
1.2.2 Principe de fonctionnement.....	5
1.2.3 Classification des fours industriels.....	6
1.2.4 Transfert de chaleur.....	6
a. Conduction.....	7
b. Rayonnement.....	7
c. Convection.....	7
<b>Parti 03 : Chaudières industrielles</b>	
1.3.1 Définition de la chaudière.....	8
1.3.2 Equipements de la chaudière.....	8
a. air cock (robinet d'air).....	8
b. Cheminée.....	9

c. Vannes de dégazage.....	9
d. Bouchons de sécurité.....	10
e. Chambre de combustion.....	10
f. Bruleur.....	10
g. Faisceau vaporisation.....	10
h. Ventilateur.....	10
i. Ballon.....	11
<b>1.3.3</b> Système des chaudières.....	11
<b>1.3.4</b> Types de chaudières.....	11
a. Chaudières à tube de fumée.....	11
b. Chaudière à tube d'eau.....	12
<b>1.3.5</b> Avantages et inconvénients de chaque type.....	13

#### **Parti 04 : Echangeurs de chaleur**

<b>1.4.1</b> Définition d'un échangeur thermique.....	14
<b>1.4.2</b> Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur.....	14
<b>1.4.3</b> Critères de classement des échangeurs.....	14
a. Type de contact.....	14
b. Type d'échange de fluide.....	14
c. Type d'écoulement.....	15
d. Type de technologie.....	16

#### **Partie 05 : Etude bibliographique**

a. Partie four.....	19
b. Partie chaudière.....	19
c. Partie échangeur de chaleur.....	20

#### **Chapitre 2 : Rapport de stage**

<b>2.1</b> Présentation du groupe SAIDAL.....	22
<b>2.2</b> Présentation d'usine SAIDAL-CONSTANTINE 2.....	22
<b>2.3</b> Chaudières industrielles chez Saidal Constantine 2.....	23
<b>2.3.1</b> L'eau d'alimentation des chaudières industrielles.....	23
<b>2.3.2</b> Lien entre les purges et le traitement d'eau.....	24
a. Purges de déconcentration chaudière.....	24
b. Purges de désembouage chaudière.....	25
<b>2.3.3</b> Principaux traitements d'eau.....	25

2.3.4	Description de local des chaudières à vapeur.....	27
2.4	Echangeurs de chaleurs industrielles chez Saidal Constantine 2.....	27
2.4.1	Echangeurs de chaleur multitubulaires.....	28
2.4.2	Echangeurs de chaleurs doubles tubes.....	28
2.5	Schéma de la production de vapeur par la chaudière à tube de fumées.....	29

### **Chapitre 3 : Simulation et discussion de résultats**

#### **Parti 01 : Calcul sur la Combustion**

3.1.1	Problématique.....	30
3.1.2	Solution de problématique de la combustion.....	30

#### **Parti 02 : Dimensionnement et simulation de la chaudière**

3.2.1	Problématique.....	33
3.2.2	Calcul sur les chaudières.....	33
	a. Bilan thermique.....	33
	b. Rendement de chaudière.....	34
3.2.3	Calcul de la hauteur de la cheminée.....	35
3.2.4	Program fortran de la chaudière.....	35
3.2.5	Données et résultats du dimensionnement de la chaudière.....	36
3.2.6	Discussion des résultats.....	37

#### **Parti 03 : Dimensionnement et simulation du four**

3.3.1	Problématique.....	38
3.3.2	Calcul sur les fours.....	38
	a. Bilan thermique.....	38
	b. Rendement.....	41
3.3.3	Program fortran du four.....	42
3.3.4	Données et résultats du dimensionnement du four à combustion.....	42
3.3.5	Discussion des résultats.....	43
3.3.6	Présentation du logiciel COMSOL multiphasiques.....	43
3.3.7	Problématique de COMSOL.....	44
3.3.8	Etapas de travail.....	44
3.3.9	Présentation le Champ de température de par COMSOL.....	45
3.3.10	Champ de vitesse par COMSOL.....	46

#### **Parti 04 : Dimensionnement d'échangeur de chaleur**

<b>3.4.1</b>	Problématique.....	48
<b>3.4.2</b>	Calcul sur l'échangeur de chaleur.....	48
a.	Quantité de chaleur échangée.....	48
b.	Coefficient global de transfert de chaleur U.....	49
<b>3.4.3</b>	Programmes fortran d'échangeur de chaleur.....	52
a.	Programme fortran d'échangeur de chaleur sans encrassement.....	52
b.	Programme fortran d'échangeur de chaleur avec encrassement.....	53
<b>3.4.4</b>	Données et résultats du dimensionnement d'échangeur de chaleur.....	55
<b>3.4.5</b>	Discussion des résultats.....	57
	Conclusion générale.....	58
	Références bibliographiques	
	Annexe	
	Résumé	

## **Résumé**

Notre travail pose sur le dimensionnement des fours, et chaudières à tube de fumées, et les échangeurs de chaleurs doubles tubes industrielles, les fours, et chaudières partagent un principe de base essentiel qui consiste à utiliser la combustion pour produire de la chaleur tandis que les échangeurs de chaleurs sont utilisés pour assurer le transfert de chaleur entre deux fluides de manière séparé. Un stage a été effectué au niveau de l'industrie pharmaceutique Sidal Constantine 2 afin de, mettre en pratique les connaissances théoriques, et une meilleure compréhension de fonctionnement des chaudières à tubes de fumées, et échangeurs de chaleur et l'importance de la vapeur produite par ces chaudières. Cette étude est complétée par une partie numérique a travers l'utilisation de programme fortran dans le but de trouver les rendements des chaudières à tube de fumées, et les fours, et le coefficient d'échange de chaleur global pour les échangeurs doubles tubes et les facteurs clés qui peuvent les influencer, et pour une évaluation de la distribution de la température et le champ de vitesse dans la chambre de combustion du four, une simulation avec COMSOL 6.1 a été employé.

## **Les mots clés**

Simulation, rendement, combustion, four, chaudière, échangeur de chaleur.

## **Abstract**

Our work focuses on the sizing of fire tube boilers and furnaces and industrial double-tube heat exchangers. Furnaces and boilers share an essential basic principle, which is combustion to produce heat, while heat exchangers are used to transfer heat between two fluids separately. An internship was carried out at the pharmaceutical industry Sidal Constantine 2 to put theoretical knowledge into practice and gain a better understanding about the way of functioning of fire-tube boilers and heat exchangers used in this industry, and the importance of the steam produced by these boilers. We completed this study by a numerical part with FORTRAN program in the purpose of finding the efficiencies of fire tube boilers, and furnaces and the heat exchange coefficient for double tube exchangers. For an evaluation of the temperature, distribution and velocity field inside the combustion chamber of a furnace, by simulation with COMSOL 6.1 Multiphysics.

## **Key words**

Simulation, efficiency, combustion, furnace, boiler, heat exchanger.

### تلخيص

يركز عملنا على تصميم أفران والغلايات أنابيب الدخان والمبادلات الحرارية الصناعية ذات الأنبوب المزدوج والأفران والغلايات تشترك في مبدأ أساسي وهو الاحتراق لإنتاج الحرارة. بينما تستخدم المبادلات الحرارية لنقل الحرارة بين سائلين بشكل منفصل. تم إجراء تدريب داخلي على مستوى صناعة الأدوية صيدال قسنطينة 2، من أجل تطبيق المعرفة النظرية وفهم أفضل لتشغيل الغلايات بأنابيب الدخان والمبادلات الحرارية، وأهمية البخار الذي تنتجه هذه الغلايات. وتم إنهاء هذه الدراسة من خلال الجزء العددي باستخدام برنامج فورتران من أجل معرفة مردود الغلايات والأفران ذات الأنابيب الدخانية ومعامل التبادل الحراري الكلي لمبادلات الأنبوب المزدوج والعوامل الرئيسية التي يمكن أن تؤثر عليها، ولتقييم توزيع درجة الحرارة ومجال السرعة في غرفة احتراق الفرن بمحاكاة تم استخدام برنامج كومصول 6.1.

### الكلمات المفتاحية

محاكاة، كفاءة، احتراق، فرن، غلاية، مبادل حراري.