

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique
Département Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles
Raffinerie d'Alger
SONATRACH



Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

Dimensionnement d'un échangeur de chaleur tube et calandre pour remplacer les compresseurs du GN de l'unité 751 de la RA1G à l'aide d'ASPEN HYSYS

Réalisé par :

Khouloud **HAMOUDA** et Maroua **BELKHIRI**

Sous la direction de : Mme. Ouardia REBAS	MCA	ENP
Mme. Souad TOUAZI	MCA	ENP
M. Boudjemaa BOUTALEB	Chef d'utilité 2	SONATRACH

Présenté et soutenu le **23/06/2025**

Composition du Jury

Présidente	Mme. Leila BENSADALLAH	MCB	ENP
Promoteurs	Mme. Ouardia REBAS	MCA	ENP
	Mme. Souad TOUAZI	MCA	ENP
	M. Boudjemaa BOUTALEB	Chef d'utilité 2	SONATRACH
Examinatrice	Mme. Saliha HADDOUM	MCA	ENP

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique
Département Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles
Raffinerie d'Alger
SONATRACH



Mémoire de Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

Dimensionnement d'un échangeur de chaleur tube et calandre pour remplacer les compresseurs du GN de l'unité 751 de la RA1G à l'aide d'ASPEN HYSYS

Réalisé par :

Khouloud **HAMOUDA** et Maroua **BELKHIRI**

Sous la direction de : Mme. Ouardia REBAS	MCA	ENP
Mme. Souad TOUAZI	MCA	ENP
M. Boudjemaa BOUTALEB	Chef d'utilité 2	SONATRACH

Présenté et soutenu le **23/06/2025**

Composition du Jury

Présidente	Mme. Leila BENSADALLAH	MCB	ENP
Promoteurs	Mme. Ouardia REBAS	MCA	ENP
	Mme. Souad TOUAZI	MCA	ENP
	M. Boudjemaa BOUTALEB	Chef d'utilité 2	SONATRACH
Examinatrice	Mme. Saliha HADDOUM	MCA	ENP

ملخص: تصميم مبادل حراري بأنابيب وغلاف لتعويض ضواغط الغاز الطبيعي في الوحدة 751 التابعة لمصفاة الجزائر باستخدام برنامج ASPEN HYSYS

يركز مشروع نهاية الدراسة هذا على تحسين كفاءة الطاقة لوحدة إنتاج من خلال إلغاء استخدام الضواغط التي تتسبب في تكاليف تشغيلية مرتفعة وصيانة متكررة. الهدف هو إجراء تعديلات في دائرة تمدد الغاز الطبيعي لضمان الشروط اللازمة لدخوله إلى التوربين الغازي. من أجل ذلك ولتعويض انخفاض درجة الحرارة الناتج عن التمدد المباشر للغاز، تقترح الدراسة حلاً حرارياً لتسخين الغاز باستخدام مبادل حراري. يتم دراسة خيارين: دراسة موسمية لتقييم أداء المبادل الحراري الموجود في الوحدة، والخيار الثاني هو تصميم مبادل حراري جديد من نوع الأنابيب والغلاف باستخدام طريقة كيرن، مع التحقق من النتائج من خلال التصميم العددي باستخدام برنامج ASPEN HYSYS.

الكلمات المفتاحية: تحسين كفاءة الطاقة، وحدة إنتاج، ضواغط، دائرة تمدد الغاز، غاز طبيعي، توربين غازي، دراسة موسمية، تصميم Aspen hysys مبادل حراري بأنابيب وغلاف، طريقة كيرن،

Abstract: Design of a shell-and-tube heat exchanger to replace the natural gas compressors in Unit 751 of the RA1G using ASPEN HYSYS

This final-year project focuses on the energy optimization of a production unit by eliminating the use of compressors, which incur high operating costs and frequent maintenance. The objective is to modify the natural gas expansion circuit while ensuring the necessary conditions for its proper operation at the gas turbine inlet. To compensate for the temperature drop caused by direct expansion, the study proposes a thermal solution for gas reheating using a heat exchanger. Two options are explored: a seasonal performance study of an existing heat exchanger and the design of a new shell-and-tube heat exchanger using the Kern method, with results validated through numerical sizing using the ASPEN HYSYS software.

Keywords: energy efficiency optimization, production unit, compressors, gas expansion circuit, natural gas, gas turbine, seasonal study, design, shell-and-tube heat exchanger, Kern method, ASPEN HYSYS software.

Résumé: Dimensionnement d'un échangeur de chaleur tube et calandre pour remplacer les compresseurs du GN de l'unité 751 de la RA1G à l'aide d'ASPEN HYSYS

Ce projet de fin d'études porte sur l'optimisation énergétique d'une unité de production en supprimant l'utilisation des compresseurs dont le fonctionnement entraîne des coûts élevés et une maintenance fréquente. L'objectif est de modifier le circuit de détente du gaz naturel tout en assurant les conditions nécessaires à son bon fonctionnement en entrée de la turbine à gaz. Pour compenser la chute de température liée à la détente directe, l'étude propose une solution thermique de réchauffement du gaz à l'aide d'un échangeur de chaleur. Deux options sont examinées : Une étude saisonnière pour étudier les performances d'un échangeur existant et le dimensionnement d'un nouvel échangeur de chaleur à tube et calandre en utilisant la méthode de Kern et vérifier les résultats par le dimensionnement numérique à travers le logiciel ASPEN HYSYS.

Mots-clés : optimisation de l'efficacité énergétique, unité de production, compresseurs, circuit de détente du gaz, gaz naturel, turbine à gaz, étude saisonnière, dimensionnement, échangeur de chaleur à tube et calandre, méthode de Kern, logiciel ASPEN HYSYS.

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à Dieu, source de toute sagesse, de force et de patience. Á Celui qui est resté à mes côtés quand il n'y avait plus personne,

Qui m'a guidé, soutenu, apaisé, et comblé de Ses bienfaits.

Rien n'aurait été possible sans Sa miséricorde et Sa présence constante.

Chaque étape franchie, chaque difficulté surmontée, chaque réussite Lui revient.

Puisse ce travail être sincèrement dédié à Son noble visage.

Alhamdulillah pour tout

À ma chère famille, À maman et papa,

À mes frères Abdelrrahmane et Younes,

Vous êtes mon refuge, ma force et mon inspiration.

Chaque jour à vos côtés est un cadeau précieux.

Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien sans faille,
et pour les moments de joie que nous partageons ensemble.

À ma petite famille,

Ta présence apporte calme et lumière dans mes journées.

Tu es un soutien solide sur lequel je peux toujours compter.

Avec toi, la vie semble plus douce, les obstacles plus faciles à surmonter.

Chaque échange, chaque sourire, chaque moment partagé est un véritable
cadeau. Merci d'être simplement toi,
une personne rare et précieuse,

À moi-même,

Merci d'avoir gardé la tête haute quand tout semblait s'écrouler.

Merci d'avoir essuyé les larmes en silence,

et d'avoir transformé la douleur en force,

les doutes en espoir. Merci de ne pas avoir abandonné,
même quand le cœur était lourd et les chemins incertains.

Merci de continuer à croire, malgré les blessures,

en l'amour sincère, en la chaleur de la famille,

et en la beauté discrète de chaque nouveau jour. Tu mérites de la tendresse, de la
fierté et de la paix.

KHOULOU

Dédicaces

Je dédie ce travail au **Seigneur Dieu Tout-Puissant**, qui m'a doté des capacités intellectuelles, morales et physiques, et m'a guidé tout au long de ma formation.

Par Sa miséricorde infinie, Il m'a éclairé dans les moments d'incertitude, fortifié face aux épreuves et comblé de Sa grâce à chaque étape de ce parcours.

C'est par Sa volonté et Son soutien constant que ce projet a vu le jour, et je Lui rend grâce pour Ses bénédictions innombrables.

Alhamdulillah pour Sa guidance et Sa lumière éternelle.

À mes chers parents,

Vous êtes les fondations de ma réussite, mes guides et ma lumière. Votre amour inconditionnel, vos prières constantes et vos innombrables sacrifices ont pavé la voie de mon parcours. Ce travail est le fruit de votre soutien indéfectible, et je vous le dédie avec toute ma reconnaissance et mon amour.

À mes sœurs et mes frères,

Votre présence réconfortante et vos encouragements m'ont donné la force de persévérer, même dans les moments de doute. Merci pour votre affection sincère et pour avoir toujours cru en moi, me motivée à aller de l'avant.

À moi-même,

Pour avoir surmonté mes incertitudes, cru en mes capacités et persévéré face aux obstacles.

Ce projet est le reflet de ma détermination et de mon travail acharné.

Je dédie ce modeste travail de fin d'études à toutes les personnes qui m'ont soutenu et qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce projet.

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer ma profonde gratitude à Allah, le Tout Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce projet. Sans Sa grâce infinie et Sa divine guidance, ce travail n'aurait pu être réalisé.

*Nous tenons à remercier sincèrement et respectueusement mes honorables encadrants, **M. S. SI BACHIR** et **M. B. BOUTALEB**, pour leur précieux accompagnement, leurs conseils avisés et leur disponibilité constante tout au long de ce travail. Leur expertise reconnue et leur soutien indéfectible ont été d'une aide inestimable dans la réalisation de ce projet.*

Nous formulons également ma profonde reconnaissance à l'ensemble du personnel de la Raffinerie d'Alger pour leur accueil chaleureux, leur professionnalisme exemplaire et les précieuses données qu'ils ont généreusement partagées avec moi.

*Nous souhaitons exprimer toute ma gratitude à **Dr O. REBAS** et **Dr S. TOUAZI**, pour la qualité exceptionnelle de l'enseignement dispensé et pour leur soutien constant tout au long de ma formation.*

*Mes plus vives gratitude vont également aux membres du jury **Dr L. BENSADALLAH** et **Dr S. HADDOUM**, pour avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce travail avec attention.*

Nous remercions l'ensemble des enseignants de l'École Nationale Polytechnique, en particulier ceux du département de Génie Chimique, pour leur enseignement et leur encadrement tout au long de notre parcours.

Un merci tout particulier et ému à nos chères familles, piliers inébranlables et sources d'inspiration permanentes, pour leurs prières assidues, leur soutien moral inconditionnel et leurs multiples sacrifices qui nous ont permis d'atteindre ce niveau d'études.

Enfin, nous n'oublions pas de remercier chaleureusement mes chers amis et collègues pour leurs encouragements constants et leur précieuse solidarité tout au long de cette période exigeante.

Table des matières

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES SYMBOLES

Introduction générale	21
Chapitre 1 : Présentation de la Raffinerie d'Alger et l'unité 751.	23
1.1. Introduction.....	24
1.2. Situation géographique	24
1.3. Infrastructures Générales de la Raffinerie d'Alger	25
1.4. Capacité de production.....	25
1.5. Mélanges d'hydrocarbures	26
1.6. Unités de la Raffinerie d'Alger	27
1.6.1. Unité 100 – Distillation Atmosphérique (ADU).....	27
1.6.2. Unité 200 – Reformage Catalytique (Platforming)	27
1.6.3. Unité 300 – Traitement et Séparation des Gaz (Gaz-Plant).....	27
1.6.4. Salle de Contrôle.....	27
1.6.5. Parc de Stockage.....	27
1.6.6. Pomperie et Distribution.....	28
1.6.7. Laboratoire d'Analyse et de Contrôle Qualité	28
1.7. Utilités de l'Unité 751 : Centrale de Production Propre (CPP).....	28
1.7.1. Traitement de l'eau d'alimentation des chaudières (BFW)	28
1.7.1.3. Cycle de l'Eau d'alimentation des chaudières BFW	29
1.7.2. Générateur à turbine à gaz (GTG 751-M-001).....	31
1.7.2.1. Caractéristiques de la GTG.....	30
1.7.2.2. Systèmes auxiliaires de la GTG.....	32
1.7.2.3. Démarrage de la GTG.....	33
1.7.2.4. Connexion au système de torchère	34
1.7.3. Fonctionnement des compresseurs de surpression du GN.....	34
1.7.3.1. Principales Caractéristiques.....	34
1.7.3.2. Vannes de recirculations.....	35
1.7.3.3. Équipements du compresseur.....	36
1.7.4. Problèmes de vibrations et de maintenance.....	37
1.7.4.1. Problèmes de vibrations	37
1.7.4.3. Problèmes liés au système de refroidissement par eau.....	38
1.7.4.4. Conséquences sur la GTG	39
1.7.5. Refroidisseur de by-pass en sortie des compresseurs	39

1.7.6. Générateur de vapeur à récupération de chaleur (HRSG 751-M-003)	39
1.7.6.1. Caractéristiques du HRSG	40
1.7.6.2. Caractéristiques de la vapeur HP	40
1.7.6.3. Utilisation de la vapeur HP	40
1.7.6.4. Paramètres opérationnels	41
1.7.7. Turbine à vapeur (STG 751-M-002)	41
1.7.7.1. Équipements de la STG	42
1.7.7.2. Régulation de la vapeur moyenne pression (MP) et basse pression (BP)	43
1.8. Conclusion	45
Chapitre 2 : Modélisation de transfert de chaleur	46
2.1. Introduction	47
2.2.2. Transfert par convection	49
2.2.2.1. Convection naturelle	49
2.2.2.2. Convection forcée	50
2.2.3. Transfert par rayonnement	51
2.3. Régime d'écoulement	53
2.3.1. Régime laminaire	53
2.3.2. Régime turbulent	54
2.4. Nombres adimensionnels	54
2.4.1. Nombre de Reynolds	54
2.4.2. Nombre de Fourier	55
2.4.3. Nombre d'Archimède (Galilée)	55
2.4.4. Nombre de Froude	56
2.4.5. Nombre de Nusselt	56
2.4.7. Nombre de Grashof	57
2.4.8. Nombre de Rayleigh	57
2.5. Conclusion	57
Chapitre 3 : Généralités sur les échangeurs de chaleur.	58
3.1. Introduction	59
3.2. Classification des échangeurs de chaleur	59
3.2.1. Classification selon le procédé de transfert	59
3.2.1.1. Récupérateurs	59
3.2.1.2. Régénérateurs	59
3.2.2. Classification selon la compacité de la surface	60
3.2.3. Classification selon la disposition des flux	61
3.2.3.1. Échangeurs de chaleur à courants parallèle (co-courant)	61
3.2.3.2. Échangeurs de chaleur à contre courants	61
3.2.3.3. Échangeurs de chaleur à courants croisés	62
3.2.4. Classification selon les arrangements de passages	63

3.2.5. Classification selon les mécanismes de transfert thermique	64
3.3. Types des échangeurs de chaleur.....	66
3.3.1. Échangeurs tubulaires et multitubulaires	67
3.3.1.1. Conditions d'utilisation typiques	67
3.3.1.2. Avantages techniques	67
3.3.1.3. Inconvénients	67
3.3.2. Échangeurs à plaques.....	68
3.3.2.1. Échangeurs à plaques et joints	68
3.3.2.2. Échangeurs à plaques soudées ou brasées	70
3.3.3. Autres types d'échangeurs	71
3.3.3.1. Échangeurs de chaleur spiralés	71
3.3.3.2. Échangeurs de chaleur à tubes et ailettes	71
3.4. Encrassement des Échangeurs de Chaleur	72
3.4.1. Types d'encrassements	72
3.4.2. Facteurs influençant l'encrassement	74
3.4.3. Effet de l'encrassement sur les performances de l'échangeur de chaleur	74
3.5. Échangeurs à tubes et calandre	75
3.5.1. Appellations et désignations « TEMA »	75
3.5.2. Éléments d'échangeur T&C.....	78
3.5.2.1. Boite de distribution (Canal de distribution)	78
3.5.2.2. Plaque tubulaire	79
3.5.2.3. Couvercle	81
3.5.2.4. Choix de l'extrémité avant selon la norme TEMA.....	81
3.5.2.5. Calandre.....	82
3.5.2.6. Faisceau tubulaire	83
3.5.2.7. Chicanes.....	84
3.5.2.8. Déflecteurs.....	85
3.5.2.9. Quelques types de calandres selon la norme TEMA	85
3.5.3. Types d'échangeur de chaleur à tubes et calandre.....	87
3.5.3.1. Échangeur À Plaques Tubulaires Fixes (type BEM)	87
3.5.3.2. Échangeur de chaleur à tube en U.....	87
3.5.3.3. Échangeur de chaleur à tête flottante (type AES)	88
3.6. Conclusion	88
Chapitre 4 : Dimensionnement d'un échangeur tube et calandre	89
4.1. Introduction	90
4.2. Dimensionnement analytique d'un échangeur de chaleur à tubes et calandre.....	90
4.3. Méthodes analytiques	91
4.3.1. Méthode du DTLM	91
4.3.2. Méthode du NUT	93

4.4. Méthode kern de dimensionnement des échangeurs tubulaires.....	94
4.4.1. Étapes de la méthode Kern.....	94
4.3.2. Méthodologie de design des échangeurs de chaleur.....	102
4.5. Conclusion	104
Chapitre 5 : Dimensionnement analytique et résultats	100
5.1. Introduction	106
5.2. Premier cas : Utilisation d'un fluide caloporteur issu des chaudières	106
5.2.1. Présentation de l'échangeur 751-K001-E-01 : type tube-calandre.....	106
5.2.2. Calcul des performances de l'échangeur de chaleur	107
5.3. Deuxième cas : Utilisation de vapeur d'eau surchauffée avec dimensionnement par la méthode de Kern	110
5.4. Conclusion.....	117
Chapitre 6 : Dimensionnement numérique et simulation à l'aide d'ASPEN HYSYS.....	119
6.1. Introduction	120
6.2. Simulation de l'échangeur de chaleur à tubes et calandre 751-K001-E-01	120
6.2.1. Conditions opératoires d'entrées des deux fluides.....	120
6.2.2. Étapes de simulations	120
6.2.3. Discussion des résultats obtenus	126
6.2.4. Étude saisonnière pour vérifier les performances de l'échangeur.....	127
6.2.4.1. Résultats obtenus.....	128
6.2.4.2. Discussion des résultats obtenus	130
6.3. Dimensionnement d'un échangeur de chaleur par le logiciel ASPEN EDR.....	130
6.3.1. Étapes de dimensionnement	130
6.3.2. Performances de l'échangeur	135
6.3.3. Discussion des résultats	138
6.4. Conclusion	138
Conclusion générale.....	139
Références bibliographiques	148
Annexes	152

Confidentiel