

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département de Génie des procédés

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** *Génie des procédés*

**Spécialité :** *Génie chimique*

*Par : EL FATMI MOUSSA et Ouladbrahim Abdeldjalil*

**Thème**

**Optimisation des paramètres de fonctionnement de  
section HP à l'aide de l'outil hysys à Hassi- R'mel ( MPP0)**

**Soutenu publiquement le : 14/09/2023**

**Devant le jury :**

<b>AZZAOUI MOHAMMED</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>TOUAITI FARID</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>FAKHAR BAHMED</b>	<b>MCB</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>BENARIMA ZINE EL ABIDNE</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2022/2023**



# Remerciement

*Je voudrais commencer par remercier Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce travail de fin d'études. Je suis reconnaissant(e) pour toutes les bénédictions que j'ai reçues tout au long de ce parcours.*

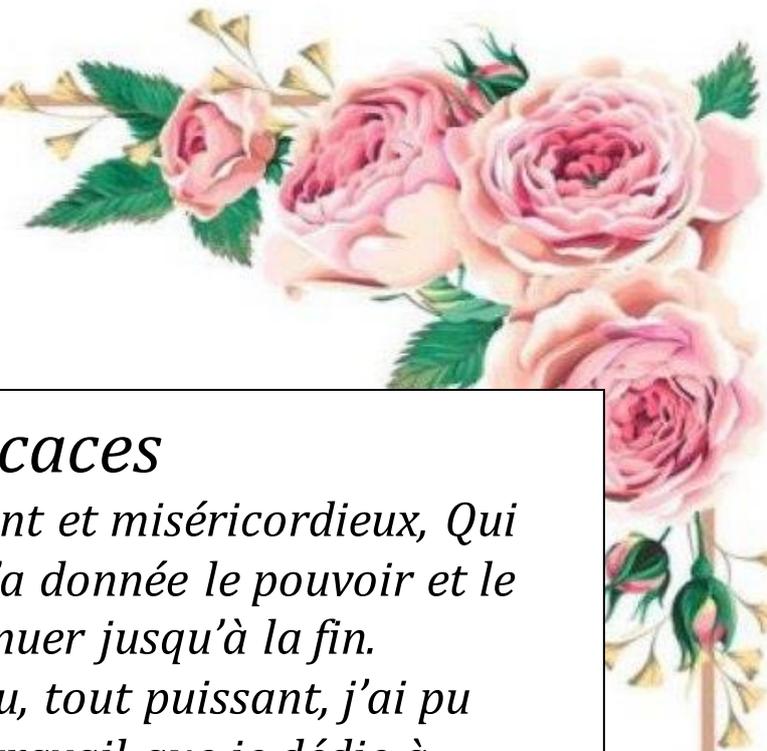
*Je tiens également à vous remercier, **Ben Arima Zine El Abidine**, pour m'avoir accueilli(e) dans votre équipe et pour votre soutien tout au long de mon projet de mémoire. J'ai été touché(e) par votre expertise, votre disponibilité et vos encouragements. Sans votre aide, je n'aurais pas pu achever ce travail de manière satisfaisante.*

*Je souhaite également exprimer ma gratitude envers tous les services de l'université pour leur assistance et leurs conseils précieux tout au long de cette formation. Je suis reconnaissant(e) pour tous les efforts que vous avez déployés pour m'aider à atteindre mes objectifs.*

*Je voudrais aussi remercier sincèrement les membres du jury pour leur évaluation et leur contribution à mon travail. Je suis honoré(e) de savoir que mon travail a été examiné et évalué par des professionnels de haut niveau. Enfin, je voudrais remercier toutes les personnes proches et éloignées qui ont contribué à ce travail. Votre soutien, vos encouragements et vos conseils ont été inestimables et ont joué un rôle important dans la réalisation de ce projet.*

*Je vous remercie tous du fond du cœur.*

*Sincèrement,*



## *Dédicaces*

*Grace à Dieu tout clément et miséricordieux, Qui m'a tracé la route, et m'a donnée le pouvoir et le courage de continuer jusqu'à la fin.*

*Avec l'aide de bon dieu, tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie à :*

*Mes parents,*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

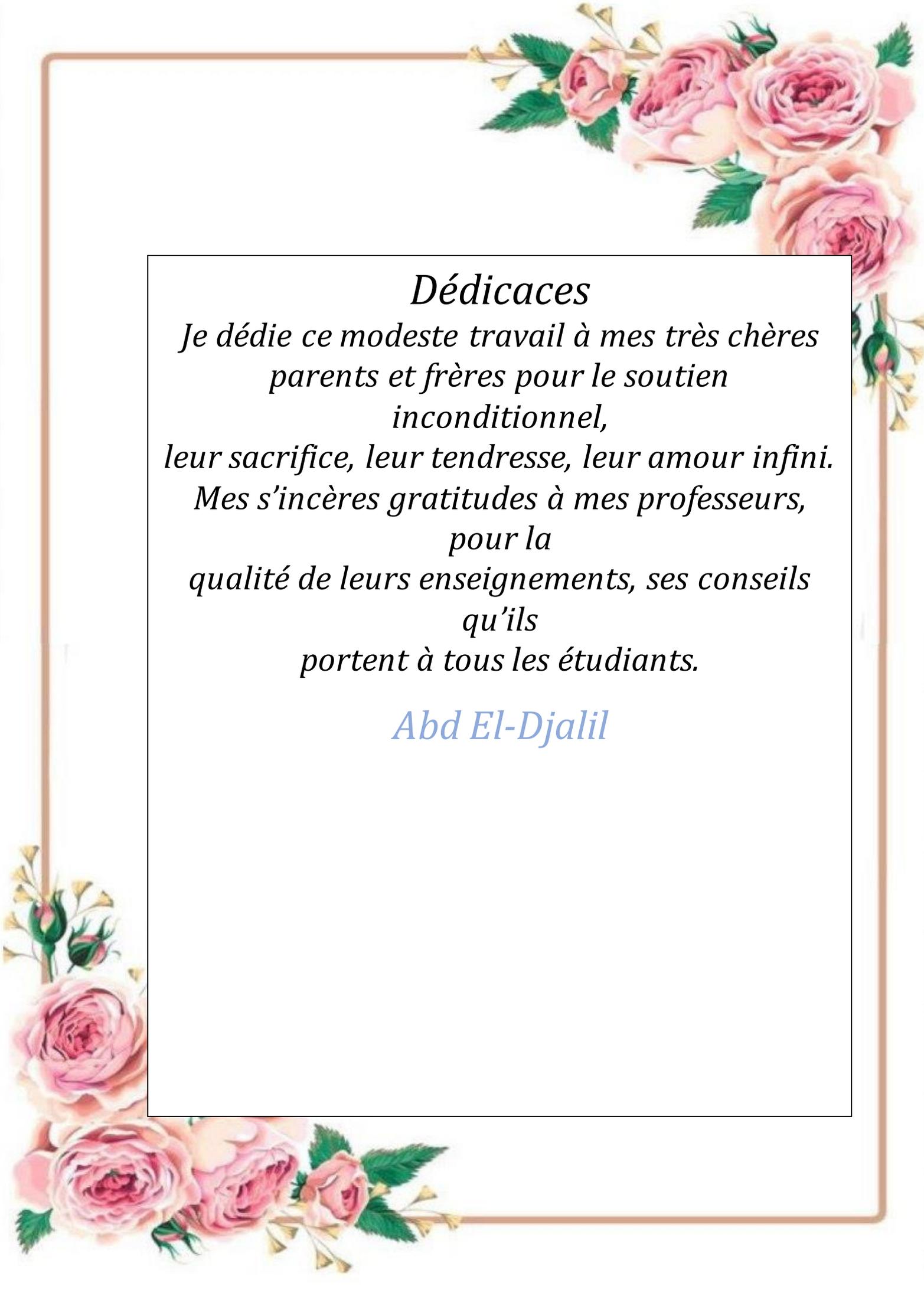
*Mon très cher père, pour sa confiance, ses encouragements et son soutien. Que dieu les garde pour moi.*

*Mes chers frères et sœurs.*

*Mes amis et tous ceux qui m'ont chère.*

*Moussa*





## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à mes très chères  
parents et frères pour le soutien  
inconditionnel,  
leur sacrifice, leur tendresse, leur amour infini.  
Mes sincères gratitudees à mes professeurs,  
pour la  
qualité de leurs enseignements, ses conseils  
qu'ils  
portent à tous les étudiants.*

*Abd El-Djalil*

## SOMMAIR

Résumé .....	VII
Abstract .....	VII
ملخص.....	VIII
Liste des Figures .....	IX
Liste des tableaux .....	XI
Liste des abréviations .....	XII
INTRODUCTION GENERALE : .....	1
CHAPITRE I:.....	2
Généralité sur le gaz naturel et les produits fini. ....	2
I. Généralités sur le gaz naturel.....	2
I.1. Définition du gaz naturel.....	2
I.1.2. Les sources du gaz naturel .....	2
I.1.3. Origine des constituants du gaz naturel.....	3
I.1.3.1 Constituants hydrocarbures .....	3
a) Gaz bactérien.....	3
b) Gaz inorganique .....	3
c) Gaz thermique .....	3
I.2 Caractéristiques de gaz naturel : .....	3
a) Densité et masse volumique : .....	3
b) Pouvoir calorifique supérieur et inférieur : .....	4
c) Composition chimique : .....	4
d) Facteur de compressibilité : .....	4
e) Teneur en soufre et H <sub>2</sub> S.....	4
I.3.1 Économique: .....	4
I.3.2 Environnement:.....	5
I.3.3 Transport:.....	5
I.3.4 Multi-utilisations :.....	5
I.3.5 Disponible : .....	5
I.4 La production de gaz naturel : .....	5
I.4.1 Au monde :.....	5

I.5.2 En Algérie : .....	6
I.6. Produits finis .....	7
6.1. Gaz naturel sec : .....	7
6.2Gaz de propane liquéfié (GPL) .....	7
I.6.3 Condensat .....	9
I.6.3.1 Propriétés du condensat .....	9
CHAPITRE II.....	10
(Présentation de la région du HASSI R'MEL).....	10
II-1 Introduction : .....	10
II-2-Situation géographique : .....	10
II-3-Historique et développement du Champ de Hassi R'mel : .....	11
II-4-Installations gazières à Hassi R'mel : .....	12
II-4-Spécification du gaz brut de Hassi R'mel:.....	13
II-5-Installations gazière de champs Hassi-R'mel .....	13
II-5-1 Station BOOSTING .....	14
II-5-2 Modules de traitement de gaz .....	14
II-5-3 HR- sud .....	15
II-5-4 Le stockage et l'expédition des hydrocarbures liquids .....	15
II-5-5 stations de compression .....	15
II-5-6 Centre de dispatching «CNDG » .....	15
II-6-Présentation du module '0' .....	16
II-7-Procédés de traitement de gaz.....	17
II-7-1 Procédé Pritchard .....	17
II-7-2 Procédé HUDSON .....	17
CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur .....	18
III:Le transfert thermique et équipements d'échange de chaleur .....	18
III.1. Théorie et équipements d'échange de chaleur : .....	18
III.1.1. Introduction : .....	18
III.1.2. Définition : .....	18
III.1.3. Modes de transfert de chaleur : .....	18
III.1.3.1. La conduction : .....	19
III.1.3.2. La convection : .....	21
III.1.3.3. Le rayonnement : .....	22

III.1.4.1. Définition :	23
III.1.4.2. Principe :	23
III.1.4.3. Classification des échangeurs :	24
III.1.4.4. Echangeur tube à faisceau et calandre : amélioration du transfert de chaleur .....	25
III.2. Les équipements de détente : III.2.1. La vanne de Joule Thomson : III.2.1.1.	
Description :	27
III.2.1.2. Fonctionnement :	28
III.2.1.3. Applications :	29
III.2.2. Le Turbo-expander :	29
III.2.2.1. Définition d'un turbo-expander :	29
III.2.2.2. Fonctionnement d'un turbo-expander :	30
III.2.2.3. Principales caractéristiques :	30
III.2.2.4. Rôle d'un turbo-expander :	32
III.3. Conclusion.....	33
CHAPITRE IV : PARTIE PRACTIQUE .....	34
IV.1 Problématique .....	34
IV.2 Présentation l'outil de simulation Hysys .....	34
IV.2.1 Introduction.....	34
IV.2.2 Modèle thermodynamique .....	35
IV.2.3 Modèles de Peng-Robinson .....	35
Iv.3 Les Specifications Du Procédé .....	36
IV.3.1 Les Equipements Relies A Notre Travail .....	36
IV.3.2 Specifications Du Produit Fini (Gaz Sec) .....	36
IV.4 Vérification des paramètres design du l'unité HP :	36
IV.4.1 comparaisons entre le cas design et le cas design simulé :	38
IV.4.2 Interpretation Des Resultats :	40
IV.5 Verification Des Parametres Actuels .....	40
IV.5.1 Calcul le débit actuel de gaz d'alimentation pour une seule chaine .....	40
IV.5.2 Teneur en eau actuelle de gaz d'alimentation :	42
IV.5.3 Les spécifications de gaz d'alimentation actuel :	42
IV.5.4 Comparaison entre cas actuel et le cas actuel simulé.....	43
IV.5.5 Interprétation.....	44
IV.6 Optimisation des paramètres opératoires de fonctionnement de la section HP :	44

IV.6.1 Etude comparative spécifications du produit pour les trois cas .....	47
IV.6.1.1 Les spécifications de gaz de vente .....	47
IV.6.1.2 Interprétation : .....	50
IV.6.1.3 Les spécifications de liquide de la sortie : .....	50
IV.6.1.4 Interprétation : .....	52
IV.6.2 la consommation du propane et la quantité économisée : .....	53
IV.6.2.1 Quantité du propane économisée au niveau du module 0 .....	53
IV.6.2.1.1 Calcul du débit de propane consommé .....	53
IV.6.2.2 Evaluation du gain .....	54
IV.6.2.2.1 Calcul de l'énergie économisée en Kcal et en BTU par année .....	54
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	56
Conclusion générale .....	54
Référence : .....	55
Annexe .....	58

## Résumé

Dans ce mémoire de fin d'études, nous présentons une étude de simulation et d'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section de haute pression (HP) d'un champ de gaz à Hassi R'mel en Algérie, en utilisant l'outil HYSYS. Nous avons modélisé la section HP et effectué des simulations pour évaluer l'impact de différents paramètres sur la production de gaz, puis utilisé un algorithme d'optimisation pour trouver les paramètres optimaux pour maximiser la production de gaz tout en respectant les contraintes techniques et économiques. Les résultats ont montré que l'augmentation de la pression d'entrée et de sortie peut considérablement augmenter la production de gaz. Cette étude peut aider les opérateurs de champs de gaz à améliorer la rentabilité de leur exploitation.

**Mots clés : Gaz, MPP0, HYSYS, chute de Pression, Section haute pression, Simulation, Optimisation, Produits finis**

## ABSTRACT

In this final thesis, we present a simulation and optimization study of the operating parameters of the high pressure (HP) section of a gas field in Hassi R'mel in Algeria, using the HYSYS tool. We modeled the HP section and performed simulations to evaluate the impact of different parameters on gas production, then used an optimization algorithm to find the optimal parameters to maximize gas production while respecting technical and economic constraints. The results showed that increasing the inlet and outlet pressure can significantly increase gas production. This study can help gas field operators improve the profitability of their operations.

**Keywords: Gas, MPP 0, HYSYS, Pressure Drop, High Pressure Section, Simulation, Optimization, Finished Products**

في أطروحة نهاية الدراسات هذه ، نقدم لكم نموذج محاكاة وتحسين إعدادات ووظيفة قسم التعبير العالي (HP) لحقل غاز في حاسي الرمل بالجزائر ، باستخدام أداة HYSYS قمنا بنمذجة قسم HP وأجرينا عمليات محاكاة لتقييم تأثير المعلمات المختلفة على إنتاج الغاز ، ثم استخدمنا خوارزمية تحسين للعثور على معلمات التحسين لزيادة إنتاج الغاز مع مراعاة القيود التقنية والاقتصادية. أظهرت النتائج أن زيادة ضغط المدخل والمخرج يمكن أن يزيد بشكل كبير من إنتاج الغاز. وتخفيض نسبة البرونان المستعمل في التبريد يمكن لهذه الدراسة أن تساعد مشغلي حقول الغاز على تحسين ربحية استغلالها.

**الكلمات المفتاحية:** غاز, المعمل 0 , هايسيس, انخفاض الضغط, قسم الضغط العالي, محاكاة, تحسين, منتجات نهائية

## Liste des Figures

### *Chapitre I*

Figure I- 1 :la production mondiale de gaz naturel[4] .....	6
Figure I- 2 : représentation des molécules butane et propane .....	8

### *Chapitre II*

Figure II- 1 :Situation géographique de Hassi R'mel .....	11
Figure II- 2: Répartition des installations gazières sur Hassi R'mel .....	13
Figure II- 3 :Schéma du processing industriel à HASSI R'MEL .....	14

### *Chapitre III*

Figure III- 1: les différents modes de transfert de chaleur .....	19
Figure III- 2 : Transfert de chaleur par conduction.....	20
Figure III- 3 : Transfert de chaleur par convection.....	21
Figure III- 4-: échangeur de chaleur tube/calandre .....	25
Figure III- 5: échangeur de chaleur E102 A/F [photo réelle] .....	27
Figure III- 6:la vanne Joule Thomson.....	28
Figure III- 7: schéma descriptif de la vanne de JT.....	29
Figure III- 8:le turbo expandeur[photo réelle] .....	30
Figure III- 9: Schéma descriptif du turbo expandeur. ]26[ .....	33

### *Chapitre IV*

Figure IV- 1: schéma de cas design par simulateur HYSYS .....	38
---	----

Figure IV- 2: schéma de cas actuel par simulateur HYSYS .....	43
Figure IV- 3: schéma de cas 90 pression par simulateur HYSYS .....	45
Figure IV- 4: schéma de cas 100 pression par simulateur HYSYS .....	46
Figure IV- 5: schéma de cas 110 pression par simulateur HYSYS .....	46
Figure IV- 6: les températures des trois cas .....	48
Figure IV- 7: les pressions des trois cas.....	48
Figure IV- 8: les pouvoirs calorifiques supérieurs des trois cas.....	49
Figure IV- 9: la teneur en C3 + des trois cas .....	49
Figure IV- 10: les points de rosée des trois cas .....	50
Figure IV- 11: les pressions des trois cas.....	51
Figure IV- 12: les débits massiques des trois cas .....	52
Figure IV- 13: les températures des trois cas .....	52
Figure IV- 14: les débits volumiques de propane .....	54

## Liste des tableaux

### Chapitre I

Tableau I- 1: Production mondiale de gaz naturel (en milliards de mètres cubes) [3] .....	6
Tableau I- 2: Les spécifications d'un gaz commercial.....	7
Tableau I- 3: Caractéristique Butane et Propane .....	8

### Chapitre II

Tableau II- 1 : Les secteurs industriels de champ Hassi-R'mel .....	14
---	----

### Chapitre IV

Tableau IV- 1: Domaine d'application du modèle Peng-Robinson.....	35
Tableau IV- 2: la composition de la charge dans le cas design .....	37
Tableau IV- 3: spécifications de la charge dans le cas design .....	37
Tableau IV- 4: comparaison de la composition à la sortie de gaz de vente et de liquide (voir l'annexe 1.2).....	39
Tableau IV- 5 : vérification des paramètres à la sortie de gaz de vente et de liquide (voir l'annexe 3.4).....	40
Tableau IV- 6: la composition de la charge dans le cas actuel .....	43
Tableau IV- 7: spécifications de la charge dans le cas actuel.....	43
Tableau IV- 8: comparaison de la composition à la sortie de gaz de vente (voir l'annexe 5.6) .....	44
Tableau IV- 9: les paramètres et la composition de gaz de vente des pressions 90,100 et 110 kg/cm <sup>2</sup> (voir l'annexe 7.8.9.10.11.12).....	47
Tableau IV- 10: les paramètres et la composition de liquide de sortie à 90, 100 et 110 kg/cm <sup>2</sup> (voir l'annexe 13.14.15.16.17.18).....	50
Tableau IV- 11: spécification de propane (voir l'annexe 19.20.21) .....	53

## Liste des abréviations

- GPL : Gaz Pétrole Liquéfier.
- GNL : Gaz Naturel Liquide.
- CSTF : Centre de Stockage et de Transfert des Fluides
- MPP: Module Processing Plant.
- SBN: station Boosting Nord.
- SBC: station Boosting Centre.
- SBS: station Boosting Sud.
- SRGA : Stadion de Récupération Des Gaz Associés.
- CNDG : Centre National de Dispatching Gaz.
- SCN : Station de Compression Nord.
- SCS : Station de Compression Sud.
- V : Ballon (séparateur)
- EH : Echangeur.
- T : Température.
- F : Flow (débit).
- P : pressure (pression).
- MEG : Monoéthylène Glycol.
- MEA : Monoéthylène amine.
- LCV : vanne de control de niveau

## **INTRODUCTION GENERALE :**

L'industrie pétrolière et gazière est un secteur majeur dans de nombreux pays, et l'Algérie ne fait pas exception. Dans ce contexte, la section haute pression (HP) d'un champ gazier est un élément crucial pour maximiser la production de gaz. Cependant, pour atteindre cet objectif, il est important de comprendre les paramètres de fonctionnement de la section HP et de les optimiser en conséquence.

L'objet de cette thèse est d'étudier la simulation et l'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section HP d'un champ gazier, à l'aide de l'outil HYSYS, au champ gazier de Hassi R'mel en Algérie. L'objectif principal de cette étude est de proposer des solutions pour augmenter la production de gaz tout en respectant les contraintes techniques et économiques.

La thèse est organisée comme suit. Dans le premier chapitre, nous donnons un bref aperçu de l'industrie pétrolière et gazière en Algérie, avec un accent particulier sur le champ gazier de Hassi R'mel. Nous présentons également la question de recherche et les objectifs de la thèse. Dans le deuxième chapitre, nous passons en revue la littérature pertinente sur la simulation et l'optimisation des gisements de gaz, avec un accent particulier sur l'utilisation de HYSYS comme outil de simulation.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons la méthodologie utilisée pour la simulation et l'optimisation des paramètres de fonctionnement de la section HP du champ gazier de Hassi R'mel. Cela comprend la collecte de données, la modélisation de la section HP et les procédures de simulation et d'optimisation. Dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats des simulations et optimisations, et analysons l'impact de différents paramètres sur la production de gaz.

Enfin, dans le cinquième chapitre, nous tirons les conclusions de notre étude et formulons des recommandations pour les recherches futures dans ce domaine. Dans l'ensemble, cette thèse vise à contribuer à l'optimisation des opérations de gisement de gaz en Algérie, avec le potentiel d'améliorer l'économie et la sécurité énergétique du pays.

**CHAPITRE I :**  
**Généralité sur le gaz**  
**naturel et les produits**  
**fini.**

### I. Généralités sur le gaz naturel

#### I.1. Définition du gaz naturel

Le gaz naturel est un combustible fossile présent naturellement sous forme gazeuse dans les roches poreuses du sous-sol. Utilisé comme source d'énergie, le gaz est composé d'hydrocarbures : principalement du méthane ( $\text{CH}_4$ ) mais aussi du propane ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), du butane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), de l'éthane ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) et du pentane ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ).

Il est généré à partir de la sédimentation de matière organique vieille de plusieurs millions d'années. Le plus souvent, la matière organique enfouie dans le sous-sol se transforme d'abord en kérogène, sous l'effet de la pression et de la température. Lorsque la température augmente (entre 50 et 120°C), le kérogène se décompose. Appelée pyrolyse, cette décomposition thermique expulse deux hydrocarbures : le gaz naturel et le pétrole qui constituent, dans une roche imperméable, un gisement. Entre 1,5 et 3 km de profondeur, le gaz et le pétrole sont présents dans les mêmes gisements.[1]

Le gaz naturel peut être de diverses natures : il est dit thermogénique lorsqu'il provient de la transformation de matière organique sous l'effet de la pression et de la chaleur et il est dit biogénique lorsqu'il est généré à partir de la fermentation de bactéries présentes dans les sédiments organiques.

Selon la profondeur et les types de gisements, le gaz peut être conventionnel ou non conventionnel. Cela dépend de sa difficulté d'extraction et des techniques d'exploitation. A l'inverse des gaz conventionnels piégés dans un gisement facile d'accès, les gaz non conventionnels sont difficiles à extraire. Les producteurs de gaz ont historiquement privilégié l'exploitation du gaz conventionnel qui garantit un taux de récupération des ressources de 80% contre 20% en moyenne pour le gaz non conventionnel

La part de ce dernier a toutefois fortement augmenté ces dernières années, en particulier aux États-Unis.

#### I.1.2. Les sources du gaz naturel

Le gaz naturel remplit les pores et les fractures des roches sédimentaires par les profondeurs de la terre et des fonds marins.

La partie d'une formation sédimentaire qui renferme le gaz naturel est souvent désignée sous les noms de "réservoir", "champ" ou "gisement".

Le gaz naturel existe partout dans le monde, seul ou associé à du pétrole brut. Il peut être piégé dans différents types de roches sédimentaires, notamment des grès, des carbonates, des filons couches de charbon et des lits de schistes argileux ou "shales".[2]

### **I.1.3. Origine des constituants du gaz naturel**

#### **I.1.3.1 Constituants hydrocarbures**

Il existe trois modes possibles pour la formation des hydrocarbures gazeux naturels :

##### **a) Gaz bactérien**

Ce mode est dû à l'action de bactéries sur les débris organiques qui accumulent le sédiment, le gaz formé et appelé gaz bactérien ou organique.

##### **b) Gaz inorganique**

Ce mode reste très secondaire. Les gaz volcaniques ou les sources hydrothermales contiennent parfois du méthane et les inclusions fluides des roches métamorphiques ou magmatiques renferment souvent des hydrocarbures légers, principalement du méthane.

##### **c) Gaz thermique**

Au cours de l'évolution des sédimentaires, les sédiments sont portés à des températures et pressions croissantes, vont subir une dégradation thermique qui va donner à cote des hydrocarbures une large gamme de composés non hydrocarbonés [3]

### **I.2 Caractéristiques de gaz naturel :**

La **composition du gaz naturel peut varier** en fonction de son origine et influencer son contenu énergétique : ainsi, plus la teneur en azote du gaz naturel sera forte, plus son pouvoir calorifique sera faible.[4]

#### **a) Densité et masse volumique :**

Le gaz naturel a une densité relativement faible par rapport aux autres combustibles fossiles. À pression et température standard (PST), la densité du gaz naturel est d'environ 0,79 kg/m<sup>3</sup>.

Sa masse volumique varie en fonction de sa composition chimique, de la pression et de la température.

### **b) Pouvoir calorifique supérieur et inférieur :**

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) du gaz naturel est d'environ 55,5 MJ/kg (ou 39,3 MJ/m<sup>3</sup>) et le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est d'environ 50,1 MJ/kg (ou 35,7 MJ/m<sup>3</sup>). Le PCI est la quantité de chaleur libérée lors de la combustion du gaz, tandis que le PCS prend également en compte la chaleur latente de vaporisation de l'eau produite lors de la combustion.

### **c) Composition chimique :**

Le gaz naturel est principalement composé de méthane (CH<sub>4</sub>), qui représente généralement plus de 80 % de sa composition. Il peut également contenir d'autres hydrocarbures tels que l'éthane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), le propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) et le butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), ainsi que des impuretés telles que l'azote (N<sub>2</sub>), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S).

### **d) Facteur de compressibilité :**

Le facteur de compressibilité (ou coefficient de Z) est un paramètre qui mesure l'effet de la pression et de la température sur le volume d'un gaz. Pour les gaz naturels, le facteur de compressibilité peut varier en fonction de la composition chimique du gaz, de la pression et de la température. Il est important de prendre en compte le facteur de compressibilité lors de la mesure et du calcul du débit de gaz naturel.

### **e) Teneur en soufre et H<sub>2</sub>S**

- Teneur instantanée en H<sub>2</sub>S : elle doit être inférieure à 15 mg/m<sup>3</sup> (n), durée de dépassement de 12 mg/m<sup>3</sup> (n) inférieure à 8 heures.
- Teneur moyenne en H<sub>2</sub>S sur 8 jours : elle doit être inférieure à 7 mg/m<sup>3</sup> (n).
- Teneur en soufre total : elle doit être inférieure à 150 mg/m<sup>3</sup> (n).

### **I.3.1 Économique :**

Le gaz naturel est une source d'énergie relativement bon marché par rapport aux autres combustibles fossiles, tels que le pétrole et le charbon. En outre, les coûts d'exploitation et

## CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉ SUR LE GAZ NATUREL ET LES PRODUITS FINIS

---

d'entretien des centrales électriques alimentées au gaz naturel sont généralement moins élevés que ceux des centrales électriques fonctionnant au charbon ou au pétrole.

### **I.3.2 Environnement :**

Le gaz naturel est considéré comme une source d'énergie propre par rapport aux autres combustibles fossiles. Il émet moins de gaz à effet de serre lorsqu'il est brûlé, ce qui contribue à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et les impacts environnementaux.

### **I.3.3 Transport :**

Le gaz naturel est facilement transportable par pipeline, ce qui le rend pratique pour l'alimentation en gaz des centrales électriques, des industries et des foyers. En outre, le gaz naturel liquéfié (GNL) peut être transporté par navire dans le monde entier.

### **I.3.4 Multi-utilisations :**

Le gaz naturel peut être utilisé pour la production d'électricité, la chaleur et l'énergie industrielle, ainsi que pour alimenter les véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé (GNC) ou au gaz naturel liquéfié (GNL). En outre, le gaz naturel est utilisé dans la production d'engrais, de produits chimiques et de plastiques.

### **I.3.5 Disponible :**

Les réserves de gaz naturel sont considérables et se trouvent dans de nombreuses régions du monde. Le gaz naturel est également facilement disponible dans les zones urbaines et rurales, ce qui en fait une source d'énergie pratique pour de nombreux utilisateurs.

## **I.4 La production de gaz naturel :**

Fait référence à la quantité de gaz naturel produite à travers le monde, ainsi qu'en Algérie en particulier.

### **I.4.1 Au monde :**

La production de gaz naturel a augmenté régulièrement au cours des dernières décennies. En 2021, les principaux producteurs de gaz naturel étaient les États-Unis, la Russie et l'Iran. Selon les données de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la production mondiale de gaz naturel s'élevait à environ 4 100 milliards de mètres cubes en 2020. [5]

## CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉ SUR LE GAZ NATUREL ET LES PRODUITS FINIS

Tableau I- 1: Production mondiale de gaz naturel (en milliards de mètres cubes)[3]

Pays	2020	2021	Part dans la production mondiale
Etats-Unis	915,9	934,2	23,1%
Russie	637,3	701,7	17,4%
Iran	249,5	256,7	6,4%
Chine	194,0	209,2	5,2%
Qatar	174,9	177,0	4,4%
Canada	165,7	172,3	4,3%
Australie	146,0	147,2	3,6%
Arabie Saoudite	113,1	117,3	2,9%
Norvège	111,5	114,3	2,8%
Algérie	81,5	100,8	2,5%
Turkmenistan	66,0	79,3	2,0%
Malaysie	68,7	74,2	1,8%

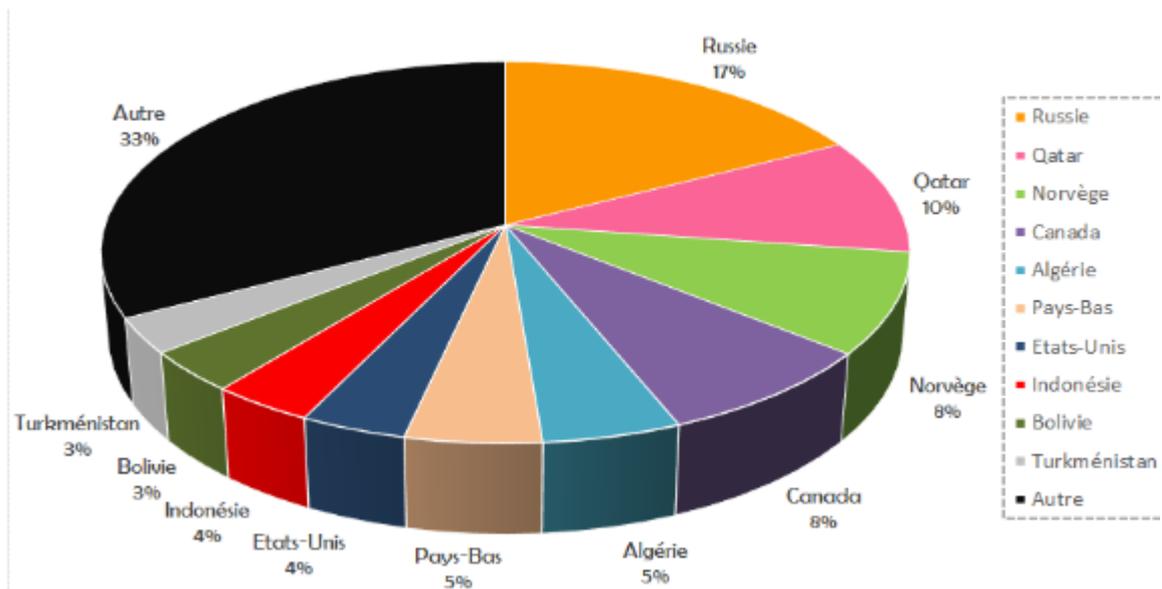


Figure I- 1 : la production mondiale de gaz naturel [4]

### I.5.2 En Algérie :

Le gaz naturel est une ressource importante pour l'économie nationale. Selon les données de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), l'Algérie était le neuvième plus grand producteur de gaz naturel au monde en 2020, avec une production totale d'environ 128 milliards de mètres cubes. La majorité du gaz naturel produit en Algérie est destinée à l'exportation vers l'Europe, en particulier la France et l'Italie. La production de gaz naturel en

## CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉ SUR LE GAZ NATUREL ET LES PRODUITS FINIS

Algérie a connu une légère baisse ces dernières années en raison de problèmes techniques et de la baisse des investissements dans le secteur.[6]

### I.6. Produits finis

#### 6.1. Gaz naturel sec :

Le mélange gazeux utilisé pour les équipements de soudage et de coupage est principalement composé d'oxygène et d'acétylène. Il est également possible d'y trouver des traces d'argon, d'hélium et d'autres gaz rares. Le gaz acétylène est stocké sous forme liquide à faible pression et à une température très basse pour faciliter sa manipulation et son transport. Il se gazéifie au moment de son utilisation en combinaison avec l'oxygène pour produire une flamme de soudage ou de coupage efficace. Les propriétés de ce mélange gazeux sont détaillées dans le chapitre I du manuel de soudage et de coupage.[7]

Tableau I- 2:Les spécifications d'un gaz commercial

<b>Pouvoir calorifique supérieur PCS (KJ/m<sup>3</sup>(n))</b>	<b>39100 à 39500</b>
<b>Point de rosée HC</b>	<b>Inf. à - 6 C°</b>
<b>Teneur en eau</b>	<b>Inf.à 150ppm vol.</b>
<b>Teneur en C5 +</b>	<b>Inf. à 0,5 % mol</b>

#### 6.2Gaz de propane liquéfié (GPL)

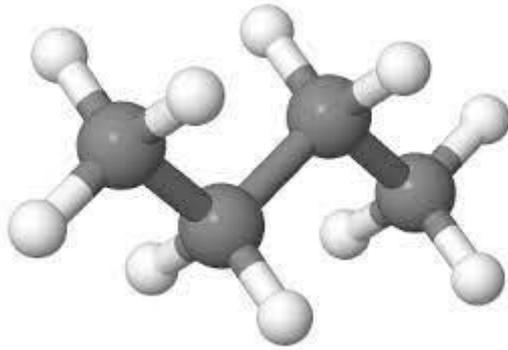
Le terme "GPL" ou "Gaz de Pétrole Liquéfiés" est utilisé pour désigner des mélanges d'hydrocarbures essentiellement composés de butane ou de propane. Le GPL carburant, destiné aux véhicules automobiles ou marins, est un mélange de butane et de propane. Les Gaz de Pétrole Liquéfiés proviennent en grande partie des champs de gaz naturel, représentant plus de 60 % de la production, et dans une moindre mesure des raffineries de pétrole, contribuant à moins de 40 %.

Les GPL sont des hydrocarbures saturés, ce qui signifie que leurs molécules sont composées uniquement d'atomes d'hydrogène et de carbone, et qu'ils ne contiennent pas de liaisons doubles ou triples entre les atomes de carbone. Les molécules d'hydrocarbures saturés sont

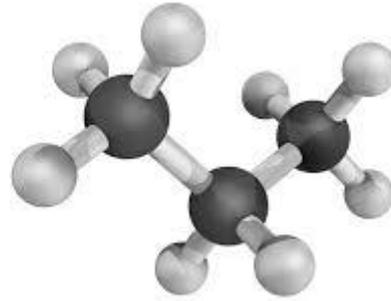
## CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉ SUR LE GAZ NATUREL ET LES PRODUITS FINIS

généralement stables et ont tendance à être moins réactives chimiquement que les hydrocarbures insaturés, tels que les alcènes ou les alcynes .[8]

**Butane C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>**



**Propane C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>**



**Figure I- 2 : représentation des molécules butane et propane**

### Observation :

- Une molécule de butane est composée de 4 atomes de carbone et de 10 atomes d'hydrogène.
- Une molécule de propane est composée de 3 atomes de carbone et de 8 atomes d'hydrogène.

Dans des conditions normales de température (15°C) et de pression (1 bar), les gaz butane et propane sont naturellement gazeux. Ils peuvent être liquéfiés à faible pression. C'est cet état liquide qui permet de les manipuler, transporter et stocker facilement.[9]

Ainsi :

- 1 litre de butane liquide libère 239 litres de gaz (15 °C – 1 bar)
- 1 litre de propane liquide libère 278 litres de gaz (15 °C – 1 bar)

Les gaz butane et propane se différencient l'un de l'autre par la température et la pression auxquelles ils passent de l'état gazeux à l'état liquide.

**Tableau I- 3:Caractéristique Butane et Propane**

	Point d'ébullition (°C)	Masse volumique du liquide (kg/m <sup>3</sup> ) à 15°C	Masse volumique du gaz (kg/m <sup>3</sup> ) à 15°C
<b>Butane</b>	0	585	2.50
<b>Propane</b>	-44	515	1.85

### I.6.3 Condensat :

Le condensat est une fraction légère du pétrole brut qui se compose principalement d'hydrocarbures allant du pentane jusqu'au décane ou plus. Contrairement au brut, le condensat est gazeux dans les gisements en raison de la température et de la pression, et se condense en liquide lorsqu'il est refroidi par la détente à la sortie du puits. Cette substance est souvent appelée "pentane plus" ou "C5+" en raison de sa composition chimique. Le condensat est une ressource précieuse pour l'industrie pétrolière et gazière car il peut être raffiné pour produire du carburant pour les transports et d'autres produits pétrochimiques.[10]

#### I.6.3.1 Propriétés du condensat

- *Aspect* : c'est un liquide incolore, avec une odeur d'essence.
- *Point d'éclair* : il doit être inférieur à -40 °C.
- *Limites d'inflammabilité* : il est inflammable, puisqu'il possède un point d'éclair inférieur à zéro.
- Ses limites d'inflammabilité sont approximativement : 1,4 à 7,6 de densité par rapport à l'air.
- TVR < 10 psi .[11]

**CHAPITRE II :**  
**(Présentation de la**  
**région du HASSI R'MEL)**

### II-1 Introduction :

En raison de la politique d'exploitation de divers gisements de pétrole et de gaz de la **SONATRACH**, l'Algérie est l'un des plus gros exportateurs d'hydrocarbures. L'industrie minière algérienne est particulièrement riche en gaz naturel. Près de 4% des réserves totales mondiales sont constituées de réserves de gaz algériens.

Environ 66% du gaz que **SONATRACH** vend actuellement provient du champ gazier de Hassi R'Mel.

Hassi R'Mel est une ville située dans le centre de l'Algérie, plus précisément dans la province de Ghardaia. Elle est située dans le désert du Sahara et est connue pour ses réserves de gaz naturel et ses installations de production. La ville a une population d'environ 20 000 habitants et est un important centre de transport et de commerce dans la région. Hassi R'Mel abrite également une grande usine de traitement de gaz, qui traite le gaz naturel des champs voisins et l'exporte vers d'autres pays. L'économie de la ville repose principalement sur l'industrie pétrolière et gazière, avec d'autres secteurs tels que l'agriculture et le tourisme contribuant également à sa croissance.

### II-2-Situation géographique :

HASSI R'MEL qui est située à 525 Km au Sud d'Alger fait partie de la wilaya de LAGHOUAT à une altitude de 760 m.

Le paysage est constitué d'un plateau rocailleux. Son climat est caractérisé par une humidité moyenne de 66,20°F en été et 34°C en hiver. Les amplitudes sont important variants entre - 5°C en hiver et 45°C en été.

La région de HASSI R'MEL comporte un grand gisement constitué de gaz riche en condensât et d'une fraction d'huile sur la périphérie.

Le champ de Hassi R'mel est un vaste étendu de 3500Km<sup>2</sup> (70Km de long sur 50Km de large)

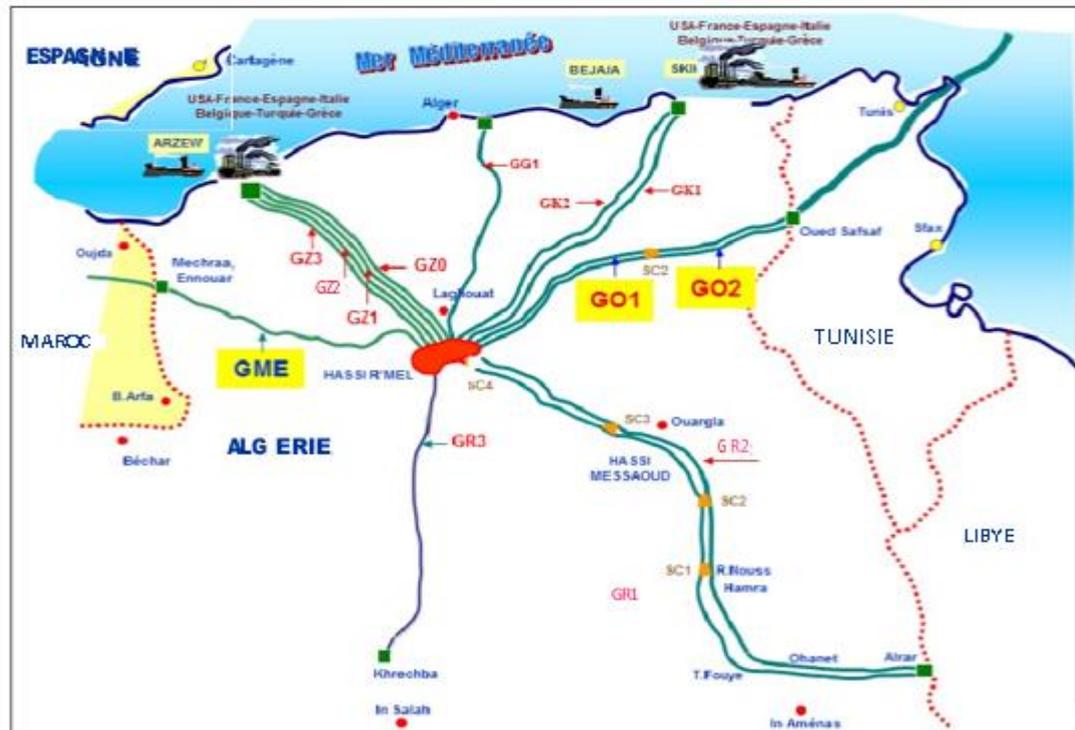


Figure II- 1 :Situation géographique de Hassi R'mel

### II-3-Historique et développement du Champ de Hassi R'mel :

Le champ de Hassi R'mel est l'un des plus grands champs de gaz naturel au monde. Il a été découvert en 1956 par la compagnie pétrolière française, la Compagnie Française des Pétroles (CFP), qui a commencé l'exploitation du champ en 1961.

Le champ de Hassi R'mel est situé dans le bassin de Gourara, qui est une formation géologique qui s'étend sur une superficie de 200 000 km<sup>2</sup> dans le sud-ouest de l'Algérie.

Au fil des ans, la production de gaz naturel dans le champ de Hassi R'mel a augmenté de manière significative, et en 1975, l'Algérie a nationalisé ses industries pétrolières et gazières, ce qui a conduit à la création de la société nationale Sonatrach. Depuis lors, Sonatrach a pris en charge l'exploitation et le développement du champ de Hassi R'mel, avec l'aide de partenaires étrangers.

Au cours des dernières décennies, le champ de Hassi R'mel a connu un développement important, avec la mise en place d'infrastructures de production et de traitement du gaz, notamment la construction d'une usine de traitement de gaz à Hassi R'mel en 1979. L'usine est capable de traiter plus de 100 millions de mètres cubes de gaz naturel par jour, ce qui en fait l'une des plus grandes usines de traitement de gaz du monde.

Le développement continu du champ de Hassi R'mel a également permis l'exportation de gaz naturel vers d'autres pays, en particulier vers l'Europe. Aujourd'hui, le champ de Hassi R'mel continue d'être un élément clé de l'industrie pétrolière et gazière de l'Algérie, et sa production de gaz naturel est essentielle pour l'économie du pays.[12]

### **II-4-Installations gazières à Hassi R'mel :**

Les installations gazières à Hassi R'mel sont réparties dans trois zones :

➤ **Zone centre :**

- Modules de traitement de gaz 0, 1 et 4 et les installations communes (Phase B)
- Centre de stockage et de transfert de fluides (CSTF)
- Centre national de dispatching de gaz (CNDG)
- Station de récupérations des gaz associés (SRGA1 et 2)

➤ **Zone nord :**

- Module de traitement de gaz 3
- Station de compression nord (SCN)

➤ **Zone sud :**

- Module de traitement de gaz 2
- Station de compression sud (SCS)
- Centre de traitement de gaz CTG/Djebel Bissa
- Centre de traitement de gaz CTG/HR-Sud.

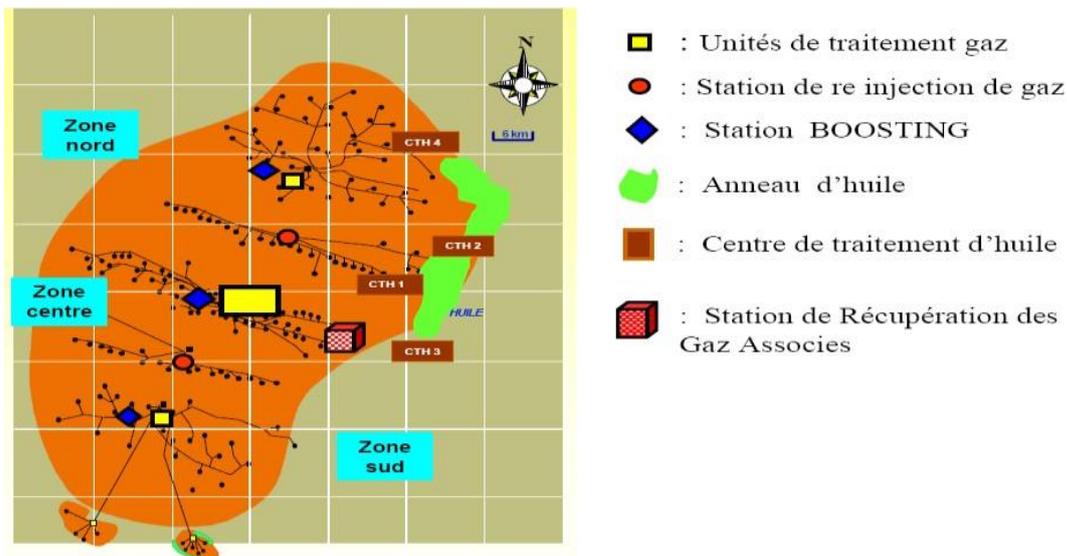


Figure II- 2: Répartition des installations gazières sur Hassi R'mel

### II-4-Spécification du gaz brut de Hassi R'mel:

Le gaz brut extrait du champ gazier de Hassi R'mel en Algérie est un gaz naturel sec qui contient principalement du méthane (environ 85%), ainsi que du gaz carbonique, de l'azote et des gaz hydrocarbures plus lourds tels que l'éthane, le propane et le butane. La teneur en soufre dans ce gaz est généralement très faible, ce qui le rend approprié pour une utilisation directe ou après un traitement minimal. Le gaz de Hassi R'mel est considéré comme l'un des gaz naturels les plus propres et les plus purs au monde en raison de sa composition chimique et de sa pureté.

### II-5-Installations gazière de champs Hassi-R'mel

La conception globale des infrastructures gazières situées sur le champ de Hassi-R'mel a été développée pour garantir une utilisation efficace des réserves et optimiser la récupération de liquides. Voici une liste des installations en place :

Tableau II- 1 :Les secteurs industriels de champ Hassi-R'mel

SECTEUR CENTRE :	SECTEUR NORD :	SECTEUR SUD:
<b>Module 0; 1; 4;</b> <b>CSTF;</b> <b>CNDG;</b> <b>SBC (Station BOOSTING Centre).</b> <b>PHASE B</b>	<b>Module 3 ;</b> <b>Station de compression (SCN);</b>	<b>Module 2 ;</b> <b>Station de compression (SCS);</b> <b>Djebel-Bissa ;</b> <b>HR Sud ;</b>

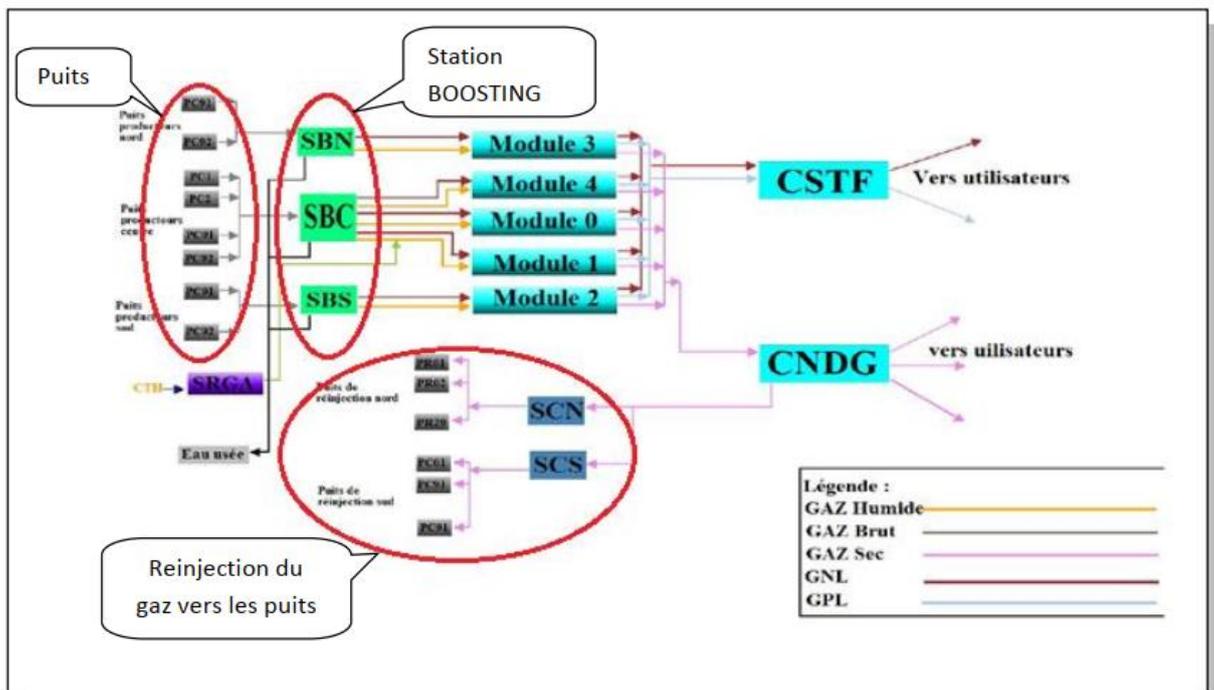


Figure II- 3 :Schéma du processing industriel à HASSI R'MEL

### II-5-1 Station BOOSTING

Les stations Boosting ont pour but la compression du gaz brut issu des puits producteurs de 100 bars à 120 bars afin d'avoir une détente importante, dont la récupération optimale des liquides, les modules 2 et 3 ont leurs propres stations Boosting, les autres modules 0,1, et 4 ont un Boosting commun.[14]

### II-5-2 Modules de traitement de gaz

Un module de traitement de gaz est le diminutif de module processing plant ou MPP, c'est une usine de traitement de gaz brut en produits finis :

- Gaz de vente (C1, C2).
- GPL (C3, C4).
- Le condensât (C5+). [13]

### **II-5-3 HR- sud**

Ce projet comporte une unité de traitement de gaz naturel, destinée à traiter le gaz brut pour obtenir du gaz sec et la récupération des hydrocarbures liquides estimée à 2830 millions de tonnes /mois. Sa capacité est de 10 millions standard de m<sup>3</sup>/jour de gaz sec. HR-SUD comporte trois unités de traitement, une de 6 millions de m<sup>3</sup>/jour et deux de 2 millions de m<sup>3</sup>/jour chacune.[14]

### **II-5-4 Le stockage et l'expédition des hydrocarbures liquides**

Le condensât et le GPL, produits par tous les modules sont acheminés vers le centre de stockage et de transfert (CSTF) qui se trouve dans la zone centrale de Hassi-R'mel, là ils sont débarrassés des éventuelles quantités d'eau résiduelles et comptabilisées avant d'être expédié vers SP4 puis vers ARZEW.

Le CSTF comprend trois bacs de 35000 m<sup>3</sup> et quatre bacs de 45000 m<sup>3</sup> chacun pour le stockage du condensât, douze sphères de 7000 m<sup>3</sup> chacune pour le stockage du GPL. Les vapeurs formées dans les sphères, sous l'effet de la température ambiante sont comprimées par des turbocompresseurs, condensées puis remises dans le stockage pour éviter le boil-off et le torchage du GPL. [14]

### **II-5-5 stations de compression**

L'objectif premier est de réinjecter le gaz dans le gisement pour maintenir la pression, ce qui permet de maximiser la récupération de liquides. Les stations de compression du Nord et du Sud jouent un rôle crucial en régulant la pression du gaz au niveau des gisements.[14]

### **II-5-6 Centre de dispatching « CNDG »**

Sa principale mission consiste à rassembler l'ensemble des volumes de gaz produits à Hassi-R'mel ainsi que le gaz provenant de la région extrême sud, via les gazoducs GR1 et GR2. Ces quantités sont ensuite acheminées vers divers centres de consommation, notamment les

installations de liquéfaction de gaz naturel (GNL), SONELGAZ, ainsi que vers l'étranger. Le gaz est acheminé vers l'Italie via la Tunisie (GR1, GR2) et vers l'Espagne en passant par le Maroc (GME).

### II-6-Présentation du module '0'

Le Module "0" est une installation de traitement de gaz à Hassi-R'mel, construite par les Français en 1961 avec deux unités. Il a connu des évolutions majeures, notamment la construction de six unités entre 1971 et 1973 pour séparer le condensat et le gaz de vente, et l'ajout de la phase B entre 1983 et 1986 grâce à un contrat avec JGC Corporation du Japon pour stabiliser le condensat et le GPL. Le MPP "0" joue un rôle crucial à Hassi-R'mel, traitant plus de 30 millions de mètres cubes de gaz brut par jour. Il est alimenté par 15 puits regroupés en trois collecteurs (E4, E5, W7) et utilise un MANIFOLD pour augmenter la pression à environ 110 bars en moyenne.[15]

Initialement, le Module "0" avait été conçu pour produire 30 millions de mètres cubes standards par jour de gaz de vente, récupérer 1500 tonnes par jour de condensat, et 300 tonnes par jour de GPL, le tout à une pression d'alimentation en gaz brut de 140 bars. Toutefois, en raison d'une réduction de la pression d'alimentation à 57 bars, les installations actuelles permettent maintenant de récupérer 2300 tonnes par jour de condensat, 630 tonnes par jour de GPL, tout en maintenant la production de 30 millions de mètres cubes standards de gaz de vente. Les conditions opérationnelles varient, avec une pression pouvant aller de 140 bars (maximum) à 100 bars (minimum) et une température oscillante entre 65°C (maximum) et 45°C (minimum).

Pour le bon déroulement du procédé de séparation du gaz brut le MPP (0) est divisé en différentes

Zones qui sont :

Zone de séparation de condensat.

Zone de stabilisation de condensat et récupération du GPL.

Zone de régénération du glycol (DEG).

Zone de stockage intermédiaire du condensat et du brut des CTH.

Zone des eaux huileuses et fosse de brûlage.

Zone de torche.

## **II-7-Procédés de traitement de gaz**

Ils sont multiples et le choix de l'un des procédés se base sur les critères suivants :

- Qualité de l'effluent brut.
- Taux de récupération des hydrocarbures liquides.
- Coûts d'investissement.

Dans la région de Hassi-R'mel on utilise deux types :

### **II-7-1 Procédé Pritchard**

Utilisé dans les modules 0 et 1, il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par des détentes avec l'utilisation d'une boucle de propane comme système de réfrigération afin d'atteindre des températures voisines à  $-23^{\circ}\text{C}$  [16]

### **II-7-2 Procédé HUDSON**

Utilisé dans les modules 2,3, et 4, il est basé sur le refroidissement du gaz par échange thermique et par séries de détentes complètes.

Une détente au niveau de la vanne JOULE THOMSON qui permet d'atteindre une température de  $-15^{\circ}\text{C}$  et une autre détente au niveau d'une machine dynamique appelée «TURBOEXPENDER» où on aura une température de  $-35^{\circ}\text{C}$ , ce dernier est plus performant car il nous permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides et dispose d'un système de refroidissement autonome

**CHAPITRE III :**  
**Généralité sur les**  
**équipements d'échange**  
**de chaleur**

### **III. Le transfert thermique et équipements d'échange de chaleur**

#### **III.1. Théorie et équipements d'échange de chaleur :**

##### **III.1.1. Introduction :**

Les équipements d'échange de chaleur sont des dispositifs conçus pour transférer la chaleur d'un fluide à un autre. Ils jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, la production d'énergie, la climatisation et le chauffage résidentiel. Ces équipements permettent de récupérer, transférer ou dissiper la chaleur d'un processus ou d'un système.

L'échange de chaleur peut être réalisé de différentes manières, notamment par conduction, convection ou rayonnement. Les équipements d'échange de chaleur les plus couramment utilisés sont les échangeurs de chaleur, qui sont des dispositifs qui facilitent le transfert thermique entre deux fluides à des températures différentes, sans qu'ils se mélangent physiquement.[17]

##### **III.1.2. Définition :**

La théorie des échanges de chaleur est un domaine de la science et de l'ingénierie qui étudie les principes fondamentaux, les lois et les mécanismes du transfert de chaleur entre les systèmes. Elle vise à comprendre comment la chaleur est transférée d'une zone à une autre et à développer des modèles mathématiques et des techniques pour prédire et optimiser les performances des équipements d'échange de chaleur.

Les équipements d'échange de chaleur sont des dispositifs conçus pour faciliter le transfert de chaleur entre deux fluides ou entre deux parties d'un même fluide, tout en empêchant leur mélange physique. Ces équipements sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, de production d'énergie, de climatisation, de chauffage résidentiel, etc.

##### **III.1.3. Modes de transfert de chaleur :**

## CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur

L'énergie thermique, dans le contexte scientifique, est définie comme étant la manifestation de l'énergie cinétique résultant de l'agitation microscopique d'un objet. Cette agitation est attribuée au mouvement désordonné de ses molécules et de ses atomes. Les transferts d'énergie thermique entre différents corps sont communément désignés sous le terme de transferts thermiques, et ils jouent un rôle fondamental dans le domaine de la thermodynamique. Lorsque deux corps possèdent la même température, ils sont considérés en équilibre thermique. En revanche, si les températures diffèrent, le corps à plus haute température cède de l'énergie au corps à plus basse température, provoquant ainsi un transfert de chaleur .[18]

Les transferts d'énergie thermique se produisent selon trois modes distincts : la conduction, la convection et le rayonnement thermique.

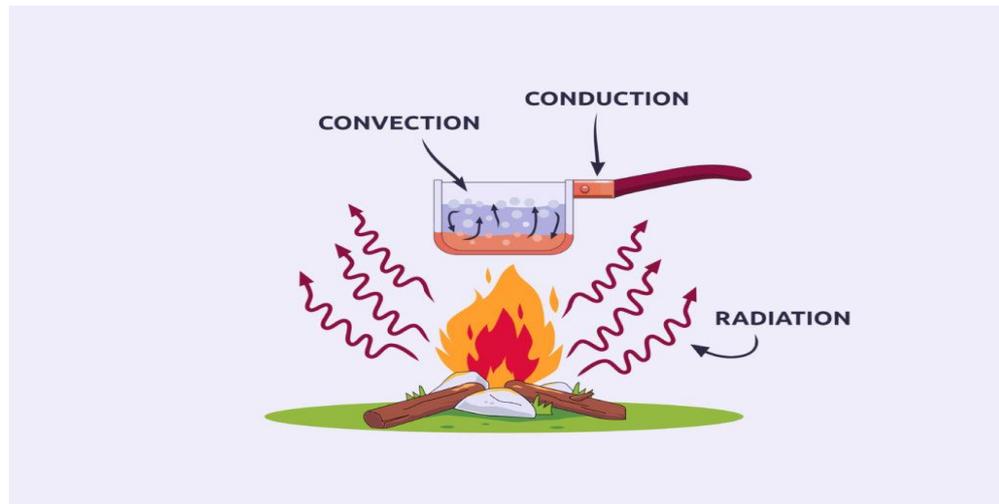


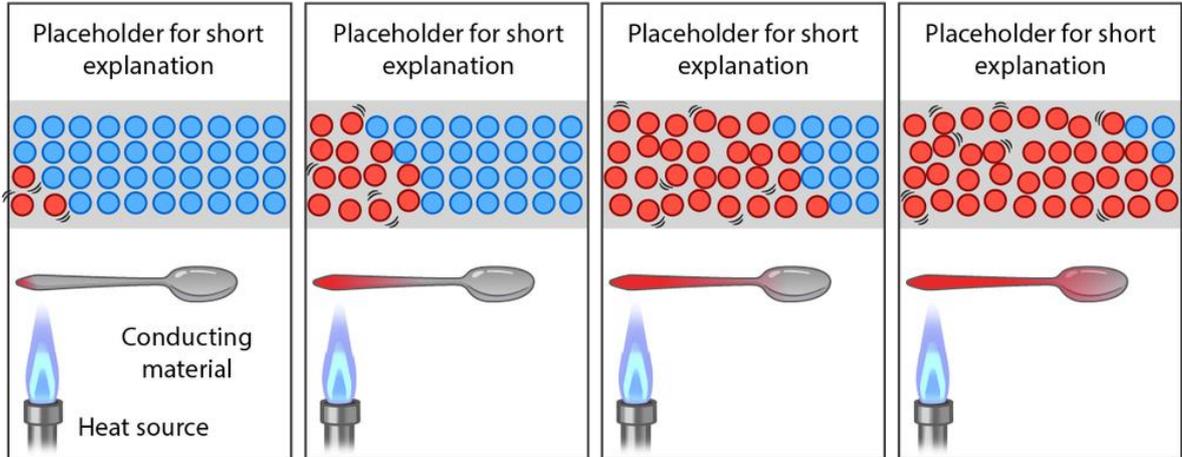
Figure III- 1: les différents modes de transfert de chaleur

### III.1.3.1. La conduction :

La conduction (ou conductibilité) est le processus de transfert de chaleur ou de courant électrique à travers un milieu matériel (liquide, solide ou gazeux), où ce transfert se produit par la collision directe des particules du matériau environnant la chaleur ou la charge électrique. La vitesse de conduction dépend des propriétés du matériau telles que le coefficient de conductivité thermique et la résistance électrique. La conduction peut se produire à l'intérieur des matériaux solides, et ce type de conduction est considéré comme plus efficace et plus rapide que la conduction à l'intérieur des liquides et des gaz. Le concept de conduction est utilisé dans de nombreuses applications physiques et techniques telles que le

### CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur

chauffage, la climatisation, l'éclairage, la transmission de l'électricité et de nombreuses autres applications. [19]



**Figure III- 2 : Transfert de chaleur par conduction**

Ce transfert de chaleur spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse obéit à la loi dite de Fourier (établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822).

La densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température.

$$\varphi = -\lambda \cdot S \cdot \frac{\partial T}{\partial X}$$

La constante de proportionnalité  $\lambda$  est nommée conductivité thermique du matériau. Elle est toujours positive. Avec les unités du système international, la conductivité thermique  $\lambda$  s'exprime en  $J.m^{-1}.K^{-1}.s^{-1}$  ou, soit des  $W.m^{-1}.K^{-1}$ .

Où :

$\varphi$  : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $W. m^{-1} .^{\circ}C^{-1}$ )

$x$  : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

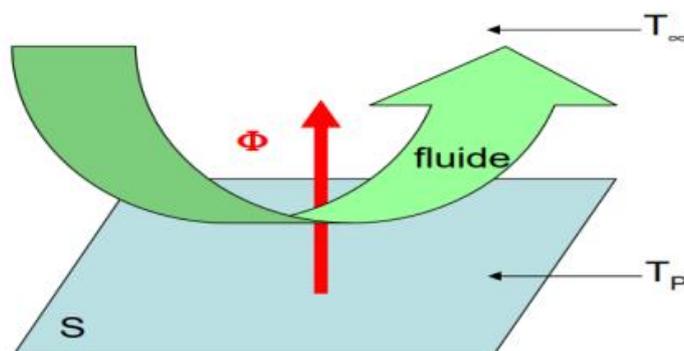
$S$  : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $m^2$ )

### III.1.3.2. La convection :

La convection est un processus de transfert de chaleur qui se produit dans un fluide (liquide ou gaz) en mouvement. Ce processus implique que des particules chaudes se déplacent d'un point à un autre à l'intérieur du fluide, transférant ainsi la chaleur. En raison de cette circulation, la convection est considérée comme un mode plus efficace de transfert de chaleur que la conduction dans certains cas.

La convection peut être naturelle (dite libre) ou forcée. La convection naturelle se produit lorsque le mouvement du fluide est causé par la variation de densité qui résulte de la différence de température entre deux points.

Dans ce cas, le fluide chaud monte, tandis que le fluide froid descend, créant ainsi une circulation de convection. La convection forcée, quant à elle, est produite par un dispositif externe tel qu'une pompe ou un ventilateur, qui force le fluide à circuler et transporte ainsi la chaleur avec lui. La convection forcée est souvent utilisée dans l'industrie pour augmenter l'efficacité du transfert de chaleur dans les systèmes de refroidissement et de chauffage. En résumé, la convection est un mode de transfert de chaleur important qui est impliqué dans de nombreuses applications dans les domaines de la physique, de l'ingénierie et de la météorologie [20]



**Figure III- 3 : Transfert de chaleur par convection**

Sur une surface, le phénomène global de transfert de chaleur s'exprime d'une façon pratique par la loi de refroidissement de **Newton** :

$$\varphi = h \cdot S (T_p - T_\infty)$$

Avec :

$\varphi$  : Flux de chaleur transmis par convection (W)

$h$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W.m<sup>-2</sup> .°C<sup>-1</sup>)

$T_p$  : Température de surface du solide (°C)

$T_\infty$  : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

$S$  : Aire de la surface de contact solide/fluide (m<sup>2</sup>)

### III.1.3.3. Le rayonnement :

Le rayonnement est un mode de transfert de chaleur qui se produit par l'émission d'ondes électromagnétiques, telles que la lumière, la chaleur infrarouge et les rayons X, de la part d'un corps chaud vers un corps plus froid. Le transfert de chaleur par rayonnement peut se produire dans un vide et ne nécessite donc pas de milieu pour se propager. La quantité de rayonnement émise par un corps dépend de sa température et de son émissivité, qui est la capacité à émettre du rayonnement thermique. Le rayonnement est important dans de nombreux domaines, tels que la thermodynamique, l'ingénierie thermique, l'astronomie et la météorologie. [21]

Le flux de la chaleur dans le cas d'un rayonnement est décrit par la loi de **Stephan-Boltzmann** :

$$\varphi = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S \cdot (T_p^4 - T_\infty^4)$$

Tel que :

$\varphi$  : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W).

$\sigma$  : Constante de Stefan (5,67×10<sup>-8</sup> W.m<sup>-2</sup>. K<sup>-4</sup>).

$S$  : Aire de la surface (m<sup>2</sup>).

$\varepsilon$  : Facteur d'émission de la surface.

$T_p$  : Température de la surface (Paroi) en K.

$T_\infty$  : Température du milieu environnant la surface en K.

### III.1.4.1. Définition :

Les échangeurs de chaleur sont des dispositifs utilisés pour transférer la chaleur d'un fluide à un autre. Ils sont couramment utilisés dans les processus industriels pour augmenter l'efficacité énergétique en récupérant et réutilisant la chaleur produite par les systèmes de chauffage et de refroidissement. Les échangeurs de chaleur peuvent prendre plusieurs formes et peuvent fonctionner selon différents principes, mais leur objectif commun est de transférer efficacement la chaleur d'un fluide à un autre. Les exemples courants d'échangeurs de chaleur comprennent les radiateurs de chauffage central, les condenseurs de climatisation et les échangeurs de chaleur utilisés dans les procédés industriels de production de vapeur, de refroidissement et de chauffage des fluides.[ 22]

### III.1.4.2. Principe :

Le principe de base d'un échangeur de chaleur est de transférer la chaleur d'un fluide à un autre en les mettant en contact à travers une surface de transfert de chaleur. Les fluides peuvent être des liquides, des gaz ou une combinaison des deux, et la chaleur peut être transférée par conduction (transfert de chaleur à travers un matériau solide), convection (transfert de chaleur à travers un fluide en mouvement), rayonnement (transfert de chaleur à travers l'émission et l'absorption de rayonnement électromagnétique) ou une combinaison de ces méthodes.

Les échangeurs de chaleur sont généralement constitués de deux circuits de fluides séparés par une paroi de transfert de chaleur. Le fluide chaud circule dans un des circuits et cède sa chaleur à la paroi de transfert de chaleur. Le fluide froid circule dans l'autre circuit et absorbe la chaleur de la paroi pour se réchauffer. La surface de transfert de chaleur peut être de différentes formes : tubes, plaques, ailettes, etc.

Il existe différents types d'échangeurs de chaleur en fonction de leur conception et de leur utilisation. Les échangeurs les plus fréquents sont les échangeurs à surface plane, les échangeurs à tubes et les échangeurs à plaques. Chaque conception a ses avantages et inconvénients en termes d'efficacité de transfert de chaleur, de coût et de facilité d'entretien.

### III.1.4.3. Classification des échangeurs :

Les échangeurs thermiques peuvent être classés selon différents critères. Voici quelques-uns des critères couramment utilisés pour classer les échangeurs :

1. Classification basée sur le flux de fluide :

- Échangeurs à contre-courant : Les deux fluides (fluide chaud et fluide froid) circulent en sens opposé dans l'échangeur.

- Échangeurs à courants croisés : Les deux fluides circulent perpendiculairement l'un à l'autre, ce qui permet un transfert de chaleur efficace.

2. Classification basée sur le type de contact :

- Échangeurs à contact direct : Les deux fluides entrent en contact direct les uns avec les autres, favorisant un transfert de chaleur direct.

- Échangeurs à contact indirect : Les fluides sont séparés par une paroi solide, ce qui évite tout mélange entre eux, mais permet tout de même un transfert de chaleur à travers la paroi.

3. Classification basée sur la configuration :

- Échangeurs à tubes et calandre : Un fluide circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'extérieur des tubes dans une calandre.

- Échangeurs à plaques : Les deux fluides circulent à travers des plaques minces, formant des canaux alternatifs pour favoriser le transfert de chaleur.

- Échangeurs à coque et tubes : Un fluide circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'extérieur des tubes dans une enveloppe en forme de coque.

- Échangeurs à faisceau tubulaire : Les tubes sont disposés en faisceaux, permettant un transfert de chaleur efficace.

4. Classification basée sur le nombre de passages :

- Échangeurs à simple passage : Chaque fluide ne passe qu'une seule fois à travers l'échangeur.

- Échangeurs à multipassage : Chaque fluide passe plusieurs fois à travers l'échangeur, ce qui permet d'améliorer l'efficacité du transfert de chaleur.

5. Classification basée sur la phase des fluides :

- Échangeurs de chaleur liquide-liquide : Les deux fluides en contact sont des liquides.

- Échangeurs de chaleur gaz-gaz : Les deux fluides en contact sont des gaz.

- Échangeurs de chaleur gaz-liquide : Un fluide est un gaz et l'autre est un liquide.

## CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur

Il est important de noter que cette classification n'est pas exhaustive et qu'il existe d'autres critères et sous-catégories pour classer les échangeurs thermiques en fonction de leurs caractéristiques spécifiques.

### III.1.4.4. Echangeur tube à faisceau et calandre : amélioration du transfert de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont des composants clés dans de nombreuses industries qui requièrent le transfert de chaleur d'un fluide à un autre. Les échangeurs de chaleur nécessitent une grande efficacité et une résistance à la corrosion pour assurer leur durabilité. Les fabricants d'échangeurs de chaleur ont donc cherché des moyens d'optimiser leur performance.

L'une des méthodes pour améliorer le transfert de chaleur dans un échangeur tube à faisceau et calandre est d'utiliser des dispositifs d'amélioration de transfert de chaleur, tels que des baffles hélicoïdaux ou des inserts de bobine de fil.

Les baffles hélicoïdaux modifient le flux du fluide dans l'échangeur (figure III-4), augmentant ainsi le transfert de chaleur de manière significative. Les inserts de bobine de fil améliorent également le transfert de chaleur en perturbant le flux du fluide, créant ainsi une turbulence dans l'échangeur.

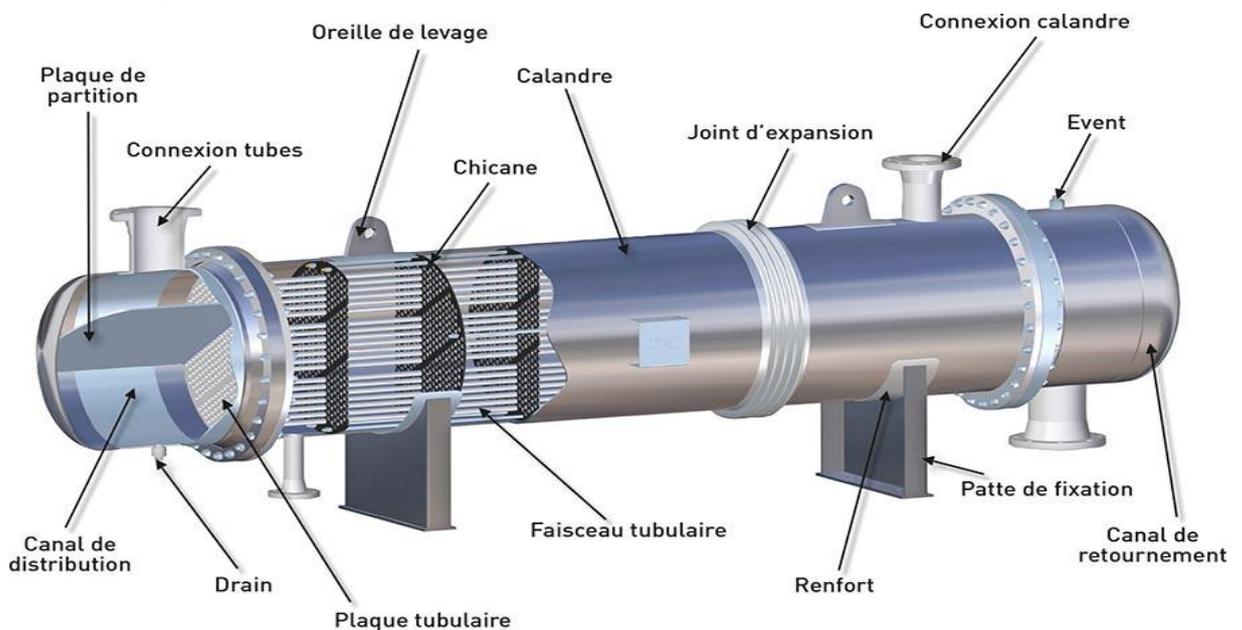


Figure III- 4:- échangeur de chaleur tube/calandre

### CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur

---

- **Description générale de l'échangeur E102 :**

Travers des tubes et d'une calandre, permettant un échange thermique efficace. Les tubes contiennent le gaz brut provenant des puits, tandis que le gaz sec circule à l'extérieur des tubes, dans la calandre.

Le gaz brut, une fois augmenté en pression par la station de boosting et après avoir été séparé des liquides par le séparateur d'admission D101, est acheminé vers le côté tube de l'échangeur E102. Parallèlement, le gaz sec provenant du séparateur D103 et ayant suivi divers autres appareils de processus est dirigé vers le côté calandre de l'échangeur.

Lorsque les deux flux de gaz se croisent dans l'échangeur E102, un échange thermique se produit sans changement de phase. La chaleur est transférée du gaz brut vers le gaz sec, permettant ainsi de refroidir le gaz brut et de réchauffer le gaz sec.

L'échangeur E102 est composé de six batteries individuelles disposées en parallèle, ce qui favorise un échange thermique efficace et une capacité de traitement élevée. Sa configuration statique signifie qu'il ne comporte pas de parties mobiles et qu'il est conçu pour fonctionner en continu.

En somme, l'échangeur E102 joue un rôle crucial dans le processus de traitement du gaz. Il permet l'échange thermique entre le gaz brut provenant des puits, préalablement augmenté en pression par la station de boosting et séparé des liquides par le séparateur d'admission D101, et le gaz sec provenant du séparateur D103. Grâce à sa conception en tubes et calandres, il assure un transfert de chaleur efficace entre les deux flux de gaz, contribuant ainsi au bon fonctionnement global du système.



Figure III- 5: échangeur de chaleur E102 A/F [photo réelle]

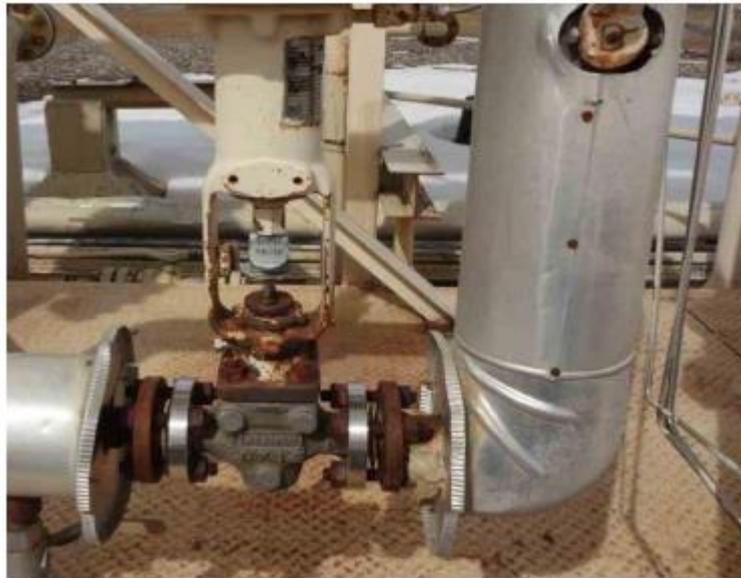
### III.2. Les équipements de détente :

#### III.2.1. La vanne de Joule Thomson :

##### III.2.1.1. Description :

La vanne de Joule-Thomson est un composant utilisé dans les systèmes de réfrigération pour produire un effet de refroidissement en faisant passer un gaz comprimé à travers une valve. La vanne de Joule-Thomson tire son nom de James Prescott Joule et William Thomson (Lord Kelvin), qui ont découvert l'effet en 1852.[ 23]

La vanne de Joule-Thomson est généralement constituée d'un orifice ou d'une vanne réduisant la section transversale de l'écoulement de gaz. Lorsque le gaz est comprimé et fait passer à travers la vanne, il subit une chute de pression et, en même temps, une baisse de température. Cette baisse de température est causée par des effet thermodynamiques résultant de la compression/détente du gaz, qui se traduit par une diminution de l'enthalpie du gaz. L'effet de refroidissement ainsi obtenu peut être utilisé pour des applications de réfrigération, tels que la production d'énergie cryogénique ou le refroidissement de gaz dans des processus industriels.



**Figure III- 6:la vanne Joule Thomson**

### **III.2.1.2. Fonctionnement :**

Le fonctionnement de la vanne de Joule-Thomson repose sur les principes de la thermodynamique. Lorsqu'un gaz est comprimé, sa température augmente en raison du travail supplémentaire effectué sur les molécules du gaz. De même, lorsque le gaz est détendu, sa température diminue car la pression diminue et il y a moins d'énergie cinétique à transférer aux molécules.

Le principe de base de la vanne de Joule-Thomson est que, lorsqu'un gaz subit une chute de pression en passant à travers une vanne, la température du gaz diminue en même temps. Cela est dû au fait que l'enthalpie du gaz diminue lorsqu'il est détendu à travers la vanne. La magnitude de l'effet de refroidissement dépend des propriétés thermodynamiques du gaz, comme sa capacité thermique, sa pression initiale, la température initiale et la géométrie de l'orifice.

La **Figure III- 7** montre un diagramme schématique d'une vanne Joule Thomson.

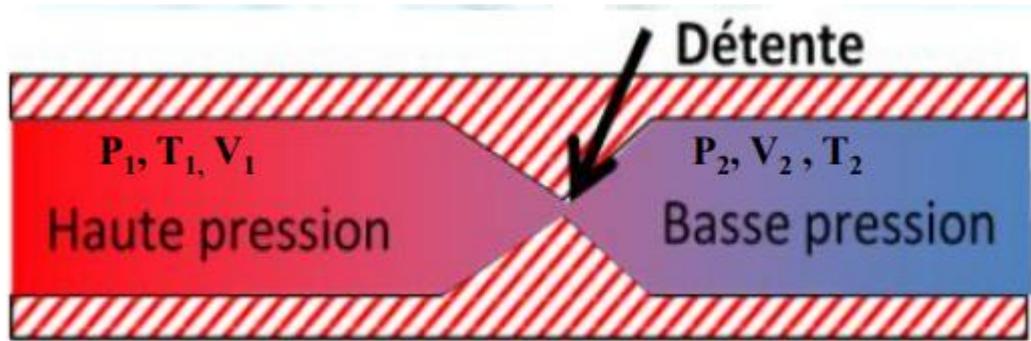


Figure III- 7: schéma descriptif de la vanne de JT

### III.2.1.3. Applications :

La vanne de Joule-Thomson est utilisée dans de nombreuses applications industrielles où le refroidissement de gaz est nécessaire. Les applications typiques comprennent la production d'énergie cryogénique, la liquéfaction de gaz naturel et l'injection de gaz dans les champs de pétrole pour maintenir la pression des réservoirs.

Dans les applications cryogéniques, la vanne de Joule-Thomson est souvent utilisée pour refroidir les gaz à des températures très basses. Les gaz à des pressions élevées peuvent être détendus à travers la vanne, entraînant des baisses importantes de température. Dans les applications pétrolières et gazières, la vanne de Joule-Thomson est utilisée pour séparer les composants du gaz en refroidissant les gaz. [ 24]

### III.2.2. Le Turbo-expander :

#### III.2.2.1. Définition d'un turbo-expander :

Un turbo-expander est un composant utilisé dans les systèmes de réfrigération pour produire de l'énergie frigorifique à partir de la détente d'un gaz comprimé. Le turbo-expander a pour fonction de récupérer l'énergie potentielle du gaz sous pression et de la convertir en énergie cinétique, qui peut être utilisée pour produire de l'énergie frigorifique. Le turbo-expander est composé d'une turbine et d'un générateur électrique, ainsi que de diverses autres composantes, tels que des filtres, des échangeurs de chaleur et des vannes de régulation. [ 25]



Figure III- 8:le turbo expander [photo réelle]

### III.2.2.2. Fonctionnement d'un turbo-expander :

Le fonctionnement d'un turbo-expander est basé sur le principe de la détente adiabatique d'un gaz comprimé. Lorsqu'un gaz est comprimé, il stocke de l'énergie sous forme de pression et de température élevée. Lorsque le gaz est détendu, cette énergie est libérée sous forme d'énergie cinétique, qui peut être utilisée pour produire de l'énergie électrique ou frigorifique. Dans un système de réfrigération utilisant un turbo-expander, le gaz est comprimé par un compresseur avant d'être envoyé dans la turbine du turbo-expander. Dans la turbine, le gaz est détendu de manière adiabatique, ce qui entraîne une baisse de la température et de la pression. Cette détente adiabatique produit de l'énergie cinétique, qui est ensuite convertie en énergie électrique ou frigorifique.

### III.2.2.3. Principales caractéristiques :

Les caractéristiques spécifiques mentionnées concernent généralement les turbo-expanders utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière. Voici une explication détaillée de ces caractéristiques :

1. Turbine axiale ou radiale : Les turbo-expanders peuvent être équipés d'une turbine axiale ou radiale en fonction des besoins de l'application. Les turbines axiales sont utilisées pour des

### CHAPITRE III : Généralité sur les équipements d'échange de chaleur

---

débits élevés et des puissances moyennes à élevées, tandis que les turbines radiales sont utilisées pour des débits plus faibles et des puissances plus faibles.

2. Admission axiale ou radiale : Les turbo-expanders peuvent avoir une admission axiale ou radiale, ce qui se réfère à la direction d'entrée du gaz. L'admission axiale permet un écoulement du gaz parallèle à l'axe de rotation de la turbine, tandis que l'admission radiale implique un écoulement perpendiculaire à l'axe de rotation.

3. Récupération en un seul étage : La plupart des turbo-expanders récupèrent l'énergie du gaz en expansion en utilisant un seul étage de détente. Cependant, dans les cas de taux de détente élevés (supérieurs à 10), il est possible d'utiliser deux étages ou plus pour une meilleure récupération d'énergie.

4. Vitesse élevée : Les turbo-expanders peuvent atteindre des vitesses de rotation élevées en fonction de la puissance requise. Pour les moyennes et fortes puissances, la vitesse peut varier de 10 à 50 000 tours par minute (tpm), tandis que pour les faibles puissances (inférieures à 50 kW), elle peut atteindre de 45 à 70 000 tpm.

5. Gamme de puissance : Dans les utilisations pétrolières, la gamme de puissance des turbo-expanders varie généralement de 50 à 8000 kW, en fonction des besoins spécifiques de l'application.

6. Bon rendement isentropique : Les turbo-expanders sont conçus pour offrir un rendement élevé, mesuré par le rendement isentropique. Ce rendement varie généralement de 80 à 86 %, mais il peut diminuer légèrement avec l'augmentation du taux de détente.

7. Aubages directeurs mobiles : Pour maintenir le rendement à charge variable, certains turbo-expanders utilisent des aubages directeurs mobiles à l'admission. Ces aubages permettent de réguler le débit de gaz et d'optimiser les performances du turbo-expander à différentes charges.

8. Variation de charge : Les turbo-expanders sont capables de supporter une variation de charge allant de 50 à 120 % du débit nominal, ce qui leur confère une certaine flexibilité dans les applications où les conditions de fonctionnement peuvent varier.

9. Tolérance aux contaminants : Les turbo-expanders sont conçus pour tolérer la présence de condensat (liquide) et de particules solides jusqu'à une certaine taille. Ils peuvent résister à la présence de condensat et à des particules solides d'une taille allant jusqu'à environ 3 microns.

Il est important de noter que ces caractéristiques peuvent varier en fonction des

### III.2.2.4. Rôle d'un turbo-expander :

Un turbo-expander, également connu sous le nom de turbine d'expansion, est un dispositif mécanique utilisé pour récupérer l'énergie d'un fluide en expansion. Son rôle principal est de convertir l'énergie de la pression d'un gaz en énergie mécanique, généralement sous forme de rotation de l'arbre de la turbine.

Voici quelques-uns des rôles principaux d'un turbo-expander :

1. Récupération d'énergie : L'un des rôles les plus importants d'un turbo-expander est de récupérer l'énergie d'un gaz en expansion, généralement sous haute pression, et de la convertir en énergie mécanique. Cette énergie mécanique peut être utilisée pour entraîner un générateur électrique, une pompe, un compresseur ou d'autres dispositifs mécaniques.

2. Production d'électricité : Dans certaines applications, le turbo-expander est utilisé pour produire de l'électricité. Lorsque le gaz en expansion fait tourner la turbine, l'arbre de la turbine entraîne un générateur électrique qui produit de l'électricité. Cette méthode est souvent utilisée dans les processus industriels où il y a un excès de gaz à haute pression qui peut être utilisé pour générer de l'électricité.

3. Réfrigération : Les turbo-expanders sont également utilisés dans les cycles de réfrigération pour produire du froid. Dans ces systèmes, le gaz en expansion à travers le turbo-expander est utilisé pour refroidir un autre fluide ou un environnement spécifique. Le processus d'expansion du gaz entraîne une diminution de la température, ce qui permet d'obtenir des températures de refroidissement très basses.

4. Séparation des composants : Dans certains processus industriels, les turbo-expanders sont utilisés pour séparer les composants d'un mélange gazeux en exploitant les différences de pression de vaporisation des différents composés. Le turbo-expander est utilisé pour abaisser la pression du mélange, provoquant la vaporisation sélective de certains composants tandis que d'autres restent sous forme liquide. Cette méthode est couramment utilisée dans les processus de récupération du gaz naturel et de la production d'hydrogène.

En résumé, le rôle principal d'un turbo-expander est de récupérer l'énergie d'un fluide en expansion, qu'il s'agisse de produire de l'électricité, de fournir du froid dans les systèmes de réfrigération ou de faciliter la séparation des composants d'un mélange gazeux.

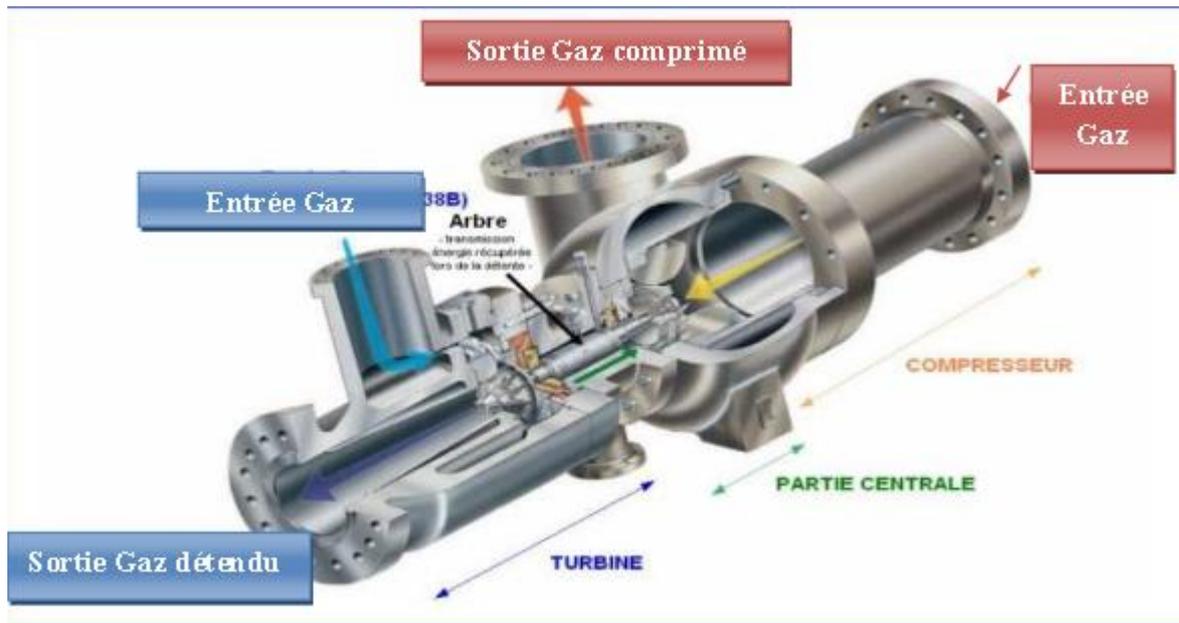


Figure III- 9: Schéma descriptif du turbo expander. ]26[

### III.3. Conclusion :

Les turbos-expanders sont des composants essentiels dans les systèmes de réfrigération industriels nécessitant une production importante d'énergie frigorifique. Leur principe de fonctionnement basé sur la détente adiabatique du gaz comprimé permet de récupérer l'énergie potentielle du gaz sous pression et de la convertir en énergie cinétique. Les applications principales des turbos-expanders sont la production d'énergie cryogénique, la liquéfaction de gaz naturel et le refroidissement de gaz dans les processus industriels. Leur utilisation permet de récupérer de l'énergie et de réduire les coûts énergétiques associés aux processus de réfrigération.

# **CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE**

### IV.1 Problématique

Suite à la chute conséquente de la pression du gisement, la composition de la charge tend vers un changement graduel et significatif avec une diminution de la richesse.

Ce problème a été pris en charge par la mise en service d'une station Boosting, en septembre 2004, pour permettre aux installations de fonctionner dans de bonnes conditions selon le design.

Néanmoins, ces variations perturbent le fonctionnement de l'unité et diminuent la production du GPL et du condensât.

Notre étude consiste à optimiser les paramètres opératoires de fonctionnement de la section HP, pour d'augmenter la récupération du GPL et du condensât, et la minimisation de la consommation du propane des chillers.

### IV.2 Présentation l'outil de simulation Hysys

#### IV.2.1 Introduction

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement, autrement dit, la simulation permet de représenter les différents phénomènes : transfert de matière et de chaleur dans les différentes opérations unitaires par modèles thermodynamiques, qui traduisent leur comportement par l'intermédiaire de résolution des équations analytiques.

Il existe, sur le marché, un très grand nombre de simulateur de procédés chimiques dont les plus répandus au niveau mondial sont : Aspen, Chemcad, Chemshare, Design II, Prosim, ProII et Hysys. En ce qui nous concerne, nous avons utilisé pour la présente étude, le simulateur Hysys de la société Hyprotech. Cela à cause des difficultés de faire des tests sur site pour la modélisation de notre procédé.

Le développement de l'informatique dans le domaine de simulation nous permet de simulation.

Le simulateur peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin de :

- Etablir les bilans de matière et d'énergie.
- Dimensionner les équipements de ce procédé.

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

Ou bien dans le suivi des procédés déjà existant afin de :

- Réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de composition de l'alimentation ou les conditions de fonctionnement d'un certain équipement.
- Déterminer les performances des équipements

### IV.2.2 Modèle thermodynamique

Les modèles thermodynamiques sont utilisés pour la détermination des propriétés thermodynamiques, volumiques ainsi que l'état physique des constituants des mélanges. La réussite de la simulation dépend du choix du modèle thermodynamique. Parmi les modèles thermodynamiques existant dans la base de données du simulateur, il y lieu de citer ceux des :

- Equations d'état telles que : Peng Robinson (PR), Soave Redlich Kwong (SRK), etc...
- Equations de coefficients d'activité telles que : UNIQUAC, UNIFAC, NRTL, etc...

L'équation de *Peng - Robinson* est recommandée pour des mélanges hydrocarbure contenant des molécules à chaînes moyennes, ce qui est le cas du système étudié.

### IV.2.3 Modèles de Peng-Robinson

L'équation de Peng et Robinson est de la même forme générale que l'équation de Redlich-Kwong et Soave (SRK) qui sont basés sur l'équation de Van Der Waals avec une modification empirique du terme d'attraction. Ces équations sont très largement utilisées dans les modèles de simulation, en production et traitement du gaz naturel. Le domaine d'application du modèle Peng-Robinson est représenté dans le tableau.

**Tableau IV- 1: Domaine d'application du modèle Peng-Robinson**

<i>Modèle</i>	<i>Température (°F)</i>	<i>Température (°C)</i>	<i>Pression (Psia)</i>	<i>Pression (kPa)</i>
<i>Peng-Robinson</i>	> 456	>-271	<15 000	<100 000

### **IV.3 Les Spécifications Du Procédé**

Avant de lancer le calcul et d'entamer l'analyse des résultats, il est préférable de définir d'abord les contraintes de fonctionnement utilisées dans la simulation du procédé.

#### **IV.3.1 Les Equipements Relies A Notre Travail**

- Ballon de séparation bi-phasique chaude (V1).
- La batterie des échangeurs gaz-gaz (3 échangeurs).
- Echangeur gaz-liquide.
- Chiller de propane.
- Vanne de contrôle de pression Joule-Thomson.
- Ballon de séparation bi-phasique froide (V3).

#### **IV.3.2 spécifications Du Produit Fini (Gaz Sec)**

- Pouvoir calorifique supérieur  $9350 \text{ kcal/m}^3 < \text{PCS} < 9450 \text{ kcal/m}^3$ .
- Teneur en eau  $\text{H}_2\text{O} < 50 \text{ ppm}$ .
- Teneur en  $\text{C}_5^+$  0,5% molaire

### **IV.4 Vérification des paramètres design du l'unité HP :**

Dans cette première étape, notre objectif est de vérifier la validité du modèle thermodynamique choisi (Peng-Robinson), pour son utilisation ultérieure.

La procédure de calcul de l'unité HP dans l'environnement HYSYS nécessite les données suivantes :

- La composition de la charge.
- Le design de l'unité HP.
- La température, débit et pression de gaz.
- L'unité HP est alimentée par la charge provenant de Boosting, les compositions et les données de départ sont données dans les tableaux suivants

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

Tableau IV- 2: la composition de la charge dans le cas design

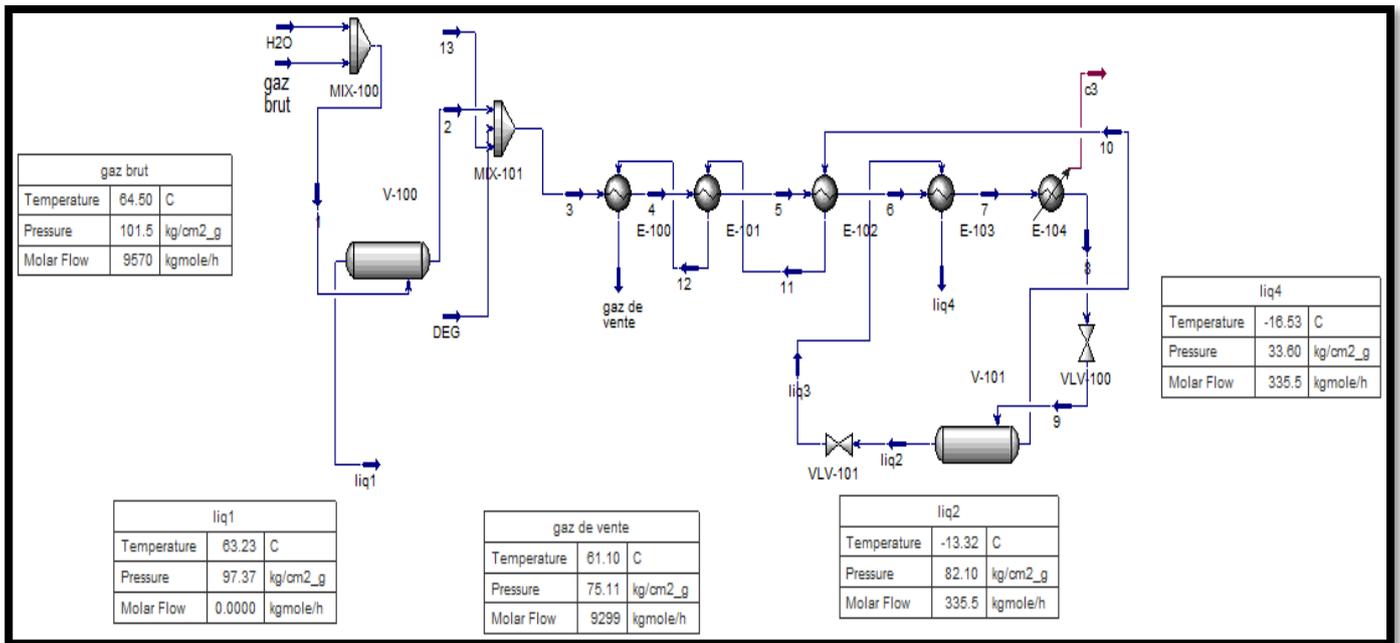
Constituants	Fraction molaire
N <sub>2</sub>	0,08040
CO <sub>2</sub>	0,00470
CH <sub>4</sub>	0,66918
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,11813
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,05049
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,01213
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,02070
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00698
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,00844
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,01009
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,00510
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,00407
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0,00326
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0,00217
C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	0,00000
C <sub>12+</sub>	0,00260
H <sub>2</sub> O	0,00156
DEGlycol	0,00000

Tableau IV- 3: spécifications de la charge dans le cas design

Paramètres	Valeur
Debit(kgmol/h)	9570
T(°C)	64,5
P(kg/cm <sup>2</sup> )	101,5

Cette partie a pour but de simuler un cas design de la section de récupération du liquide

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE



**Figure IV- 1 : Schéma de cas design par simulateur HYSYS**

### IV.4.1 comparaisons entre le cas design et le cas design simulé :

Les compositions molaires du liquide et gaz de vente à la sortie de l'unité sont représentées dans les tableaux suivant :

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

**Tableau IV- 4: comparaison de la composition à la sortie de gaz de vente et de liquide  
(voir l'annexe 1.2)**

	Cas design		Cas design simulé	
	Sortie de gaz	Sortie de liquide	Sortie de gaz	Sortie de liquide
<b>N<sub>2</sub></b>	<b>0,061001</b>	<b>0,011319</b>	<b>0,057720</b>	<b>0,008975</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>0,002033</b>	<b>0,002041</b>	<b>0,002093</b>	<b>0,001882</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>0,833990</b>	<b>0,422527</b>	<b>0,832013</b>	<b>0,320826</b>
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	<b>0,069718</b>	<b>0,143255</b>	<b>0,075507</b>	<b>0,109267</b>
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	<b>0,021701</b>	<b>0,116719</b>	<b>0,020396</b>	<b>0,076482</b>
<b>i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	<b>0,003447</b>	<b>0,037484</b>	<b>0,003347</b>	<b>0,024175</b>
<b>n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	<b>0,005165</b>	<b>0,075339</b>	<b>0,005351</b>	<b>0,051345</b>
<b>i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	<b>0,001040</b>	<b>0,029133</b>	<b>0,001180</b>	<b>0,021482</b>
<b>n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	<b>0,001122</b>	<b>0,010082</b>	<b>0,001286</b>	<b>0,029957</b>
<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	<b>0,000549</b>	<b>0,045834</b>	<b>0,000798</b>	<b>0,043486</b>
<b>C<sub>7</sub>H<sub>16</sub></b>	<b>0,000187</b>	<b>0,034144</b>	<b>0,000190</b>	<b>0,023250</b>
<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub></b>	<b>0,000047</b>	<b>0,018927</b>	<b>0,000067</b>	<b>0,018114</b>
<b>C<sub>9</sub>H<sub>20</sub></b>	<b>0,000000</b>	<b>0,010206</b>	<b>0,000024</b>	<b>0,013609</b>
<b>C<sub>10</sub>H<sub>22</sub></b>	<b>0,000000</b>	<b>0,004639</b>	<b>0,000007</b>	<b>0,008362</b>
<b>C<sub>11</sub>H<sub>24</sub></b>	<b>0,000000</b>	<b>0,002783</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>
<b>C<sub>12+</sub></b>	<b>0,000000</b>	<b>0,005567</b>	<b>0,000002</b>	<b>0,008507</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000018</b>	<b>0,141980</b>
<b>DEGlycol</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,098302</b>

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

**Tableau IV- 5 : vérification des paramètres à la sortie de gaz de vente et de liquide (voir l'annexe 3.4)**

	Paramètres	Cas design	Cas design simulé	Ecart (%)
<b>Sortie de gaz</b>	Température (°C)	58,4	61,1	4,42
	Débit (kgmol/h)	8557,5	9299	7,97
	Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	74,5	75,11	0,81
	C <sub>3</sub> <sup>+</sup>	0,033258	0,032649	1,87
	PCS (kcal/m <sup>3</sup> )	9450	9557,41	1,12
<b>Sortie de liquide</b>	Température (°C)	-17	-16,53	2,84
	Débit (kgmol/h)	400	380	5,26
	Pression(kg/cm <sup>2</sup> )	33	33,6	1,79

### IV.4.2 Interprétation des Résultats :

Selon les données présentées dans les tableaux, il est observé que les variations relatives sont en dessous de 10%. Par conséquent, nous pouvons conclure que le modèle utilisé par notre simulateur, le modèle de Peng-Robinson, fournit des résultats satisfaisants et peut être étendu à l'étude du cas actuel.

### IV.5 Vérification des Paramètres Actuels

#### IV.5.1 Calcul le débit actuel de gaz d'alimentation pour une seule chaîne

$$N_{gaz} = n_T / 6$$

Tel que :

$n_T$  : débit de gaz d'alimentation total

$$n_T = m_T / M_{gaz} \longrightarrow n_T = \rho_{gaz} \cdot V_T / M_{gaz}$$

Tel que :

$n_T$  : le nombre de mole de gaz.       $m_T$  : la masse du gaz.

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

$M_{gaz}$ : masse molaire du gaz.     $\rho_{gaz}$ : la masse volumique du gaz

$$\rho_{gaz} = \rho_{air} \cdot d_{gaz}$$

$$d_{gaz} = \frac{M_{gaz}}{M_{air}}$$

$M_{gaz}$ : masse molaire moyenne du gaz.     $M_{air}$ : masse molaire de l'air.

Avec :     $M_{air} : 28,97 \text{ g/mol}$

Calcul du  $M_{gaz}$

$$M_{gaz} = \sum(M_i * Y_i)$$

$M_{gaz} =$

$$(0,0523 \times 28,01) + (0,00216 \times 44,01) + (0,8259 \times 16,04) + (0,07713 \times 30,07) + (0,002375 \times 55,5) + \\ (0,004 \times 58,12) + (0,00675 \times 58,12) + (0,00176 \times 72,15) + (0,0022 \times 72,15) + (0,00192 \times 86,18) + \\ (0,0011 \times 100,2) + (0,00058 \times 114,23) + (0,00015 \times 128,26) + (0,00004 \times 142,28) + \\ (0,00003 \times 156,31) + (0,000001 \times 170,34)$$

$$M_{gaz} = 19,5 \text{ g/mole}$$

Donc :

$$d_{gaz} = \frac{19,5}{28,97} = 0,673$$

$$d_{gaz} = 0,673$$

$$\rho_{gaz} = \rho_{air} \cdot d_{gaz}$$

$$\rho_{gaz} = 824 \text{ g/m}^3$$

$V_T$  : débit volumique de gaz

$$V_T = 5,48.106 \text{ m}^3 / \text{J}$$

$$n_T = \frac{824 \times 5,48 \times 10^6}{19,5}$$

$$n_T = 231565,128 \text{ Kmol/jour}$$

$$n_T = \frac{231565,128}{24} \quad N_T = 9648,547 \text{ Kmol/h}$$

La quantité du gaz pour une seule chaîne est comme suite :

$$N_{gaz} = \frac{9648,547}{6} \quad N_{gaz} = 1608,09 \text{ Kmol/h}$$

### IV.5.2 Teneur en eau actuelle de gaz d'alimentation :

Pour trouver la teneur en eau à l'entrée de section HP on utilise la formule de Khaled :

$$W_{H_2O} = 16,02 \left[ \frac{\sum_{i=1}^5 a_i (T+273,15)^{i-1}}{1} \right] + \sum_{i=1}^5 b_i (T + 273,15)^{i-1} \quad (IV.7) [27]$$

Les conditions opératoires dans le V101 : P=99 bar et T = 55C°

On utilise la formule de Khaled on trouve la teneur égale : 600 kg/M<sup>3</sup>

La quantité d'eau Pour 14 M<sup>3</sup> de gaz =8400 kg / J

Le débit massique d'eau pour une chaîne par heure égale = 87,5 kg/h

Pour mener à bien notre étude, nous avons structuré notre simulation en 3 catégories au niveau a d'unité HP.

### IV.5.3 Les spécifications de gaz d'alimentation actuel :

Les débits molaires et la fraction molaire des constituants de gaz brut sont donnés dans le tableau suivant :

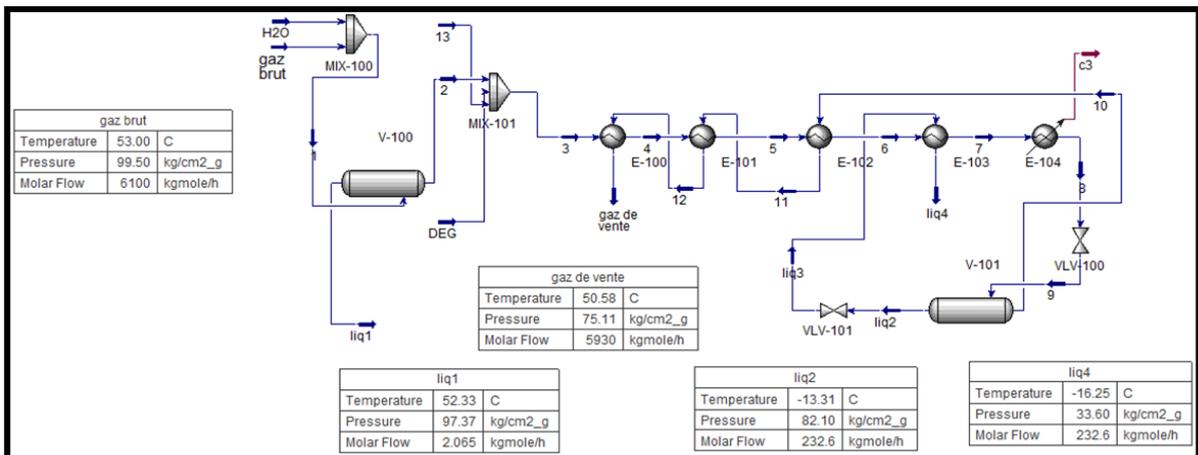
## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

**Tableau IV- 6: la composition de la charge dans le cas actuel**

Constituants	Fraction molaire
<b>N<sub>2</sub></b>	0,08040
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,00470
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,66918
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	0,11813
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	0,05049
<b>i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,01213
<b>n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,02070
<b>i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,00698
<b>n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,00844
<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	0,01009
<b>C<sub>7</sub>H<sub>16</sub></b>	0,00510
<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub></b>	0,00407
<b>C<sub>9</sub>H<sub>20</sub></b>	0,00326
<b>C<sub>10</sub>H<sub>22</sub></b>	0,00217
<b>C<sub>11</sub>H<sub>24</sub></b>	0,00000
<b>C<sub>12+</sub></b>	0,00260
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,00156
<b>DEGlycol</b>	0,00000

**Tableau IV- 7: spécifications de la charge dans le cas actuel**

Paramètre	Valeur
Debit(kgmol/h)	6100
T(°C)	53
P(kg/cm <sup>2</sup> )	99,5



**Figure IV- 2: schéma de cas actuel par simulateur HYSYS**

### IV.5.4 Comparaison entre cas actuel et le cas actuel simulé

Les critères qui ont guidé notre sélection du modèle sont les suivants : la température, pression, PCS et la composition *du gaz de vente*.

**Tableau IV- 8: comparaison de la composition à la sortie de gaz de vente (voir l'annexe 5.6)**

	Valeur laboratoire	Valeur HYSYS	L'écart (%)
<b>Température (°C)</b>	47	51,38	9,32
<b>Pression (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	65	65,19	7,55
<b>PCS (kcal/m<sup>3</sup>)</b>	9483	9638,75	1,64
<b>C<sub>3</sub><sup>+</sup> (%)</b>	3,14	3,14	0,00
<b>Composition</b>			
<b>N<sub>2</sub></b>	0,05500	0,05778	5,05
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,00200	0,00209	4,50
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,83770	0,83321	0,54
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	0,07340	0,07545	2,79
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	0,02000	0,02014	0,70
<b>i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,00290	0,00323	11,38
<b>n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,00470	0,00508	8,09

### IV.5.5 Interprétation

D'après les résultats de simulation, il est observé que les paramètres du cas actuel simulé concordent avec ceux du cas réel de la section HP, ce qui confirme l'efficacité du simulateur utilisé.

### IV.6 Optimisation des paramètres opératoires de fonctionnement de la section HP :

La simulation dans l'environnement Hysys permet d'étudier et de représenter les différents phénomènes qui se fait dans un procédé industriel, parmi ces différents phénomènes on a choisi l'étude de l'effet de l'ajout d'un autre échangeur gaz-gaz.

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

L'objectif de la présente simulation est de chercher des nouveaux paramètres de fonctionnement de la section HP permettant une bonne séparation avec un gain d'énergie (consommation de propane des chillers) et augmentation de la récupération de liquide.

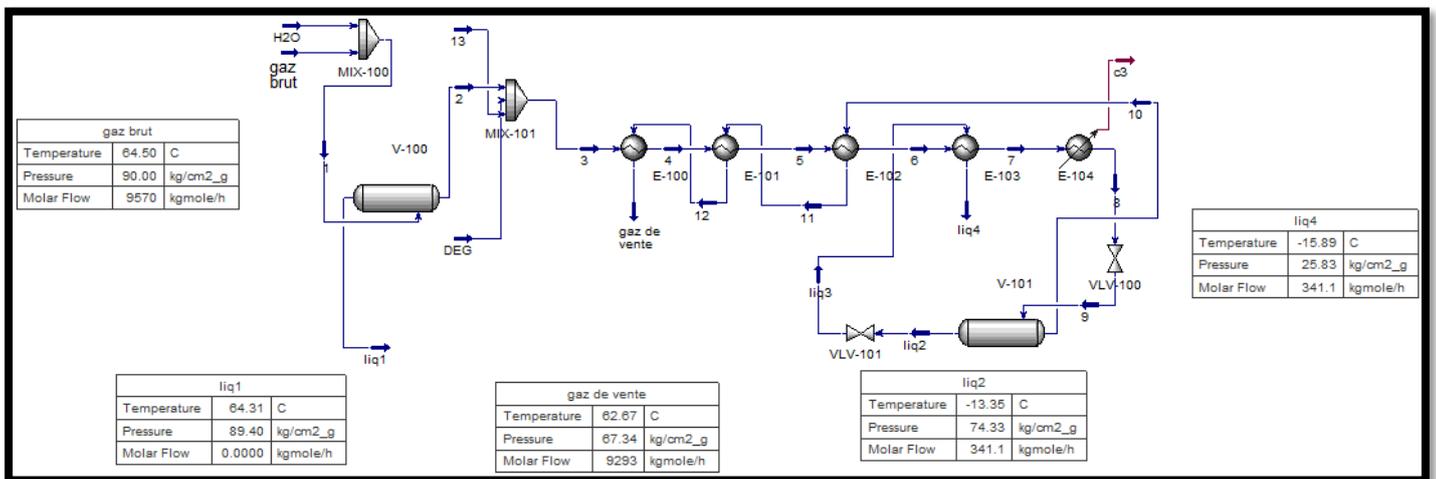
Trois paramètres sensitifs sont pris en considération :

La température et pression de gaz de vente.

Les contraintes des produits finis (la teneur en  $C_3^+$ , point de rosée, PCS)

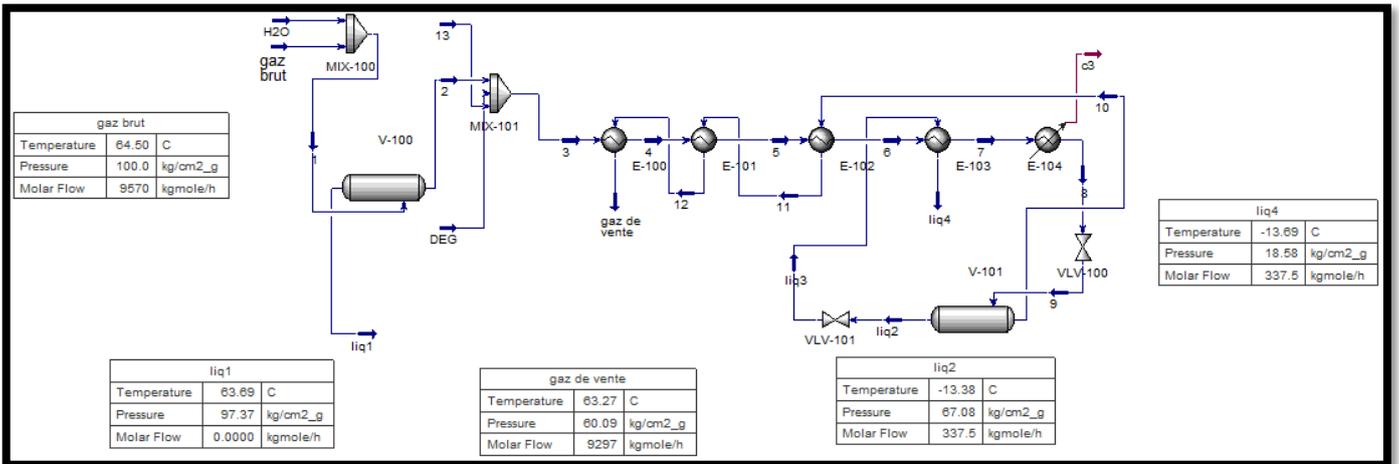
L'étude la variation de pression sur la spécification de gaz de vente et récupération de liquide

La composition des produits gazeux et liquides récupérées sortant des échangeurs (E100 et E103) à pression 90-100-110 kg/cm<sup>2</sup>

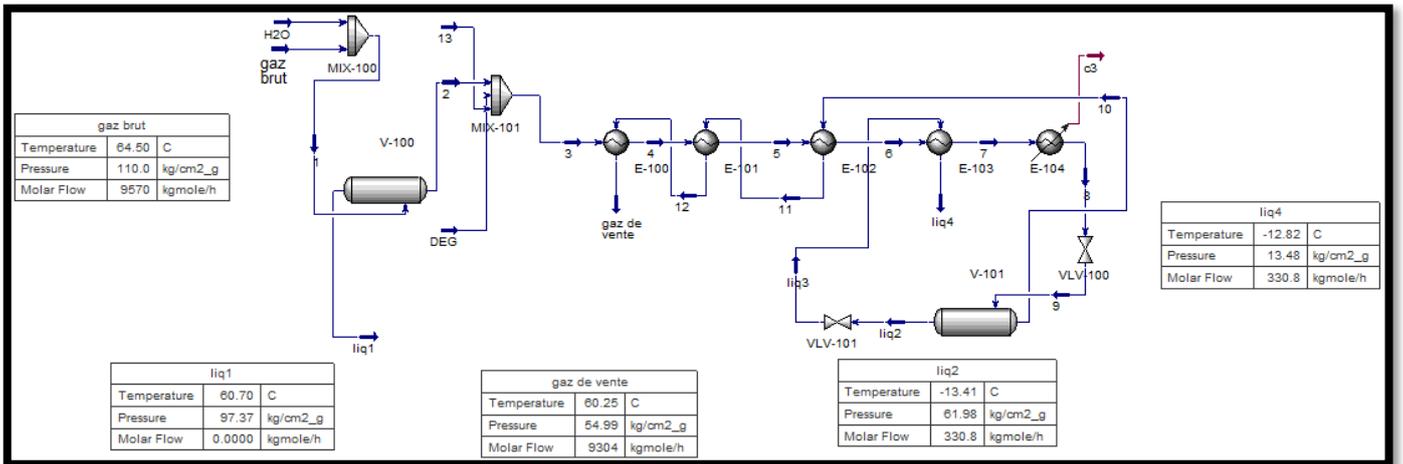


**Figure IV- 3: schéma de cas 90 pression par simulateur HYSYS**

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE



**Figure IV- 4: schéma de cas 100 pression par simulateur HYSYS**



**Figure IV- 5: schéma de cas 110 pression par simulateur HYSYS**

**CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE**

**IV.6.1 Etude comparative spécifications du produit pour les trois cas**

**IV.6.1.1 Les spécifications de gaz de vente**

**Tableau IV- 9: les paramètres et la composition de gaz de vente des pressions 90,100 et 110 kg/cm<sup>2</sup> (voir l'annexe 7.8.9.10.11.12)**

	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>
<b>Température (°C)</b>	62,67	63,27	60,25
<b>Pression (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	67,34	60,09	54,99
<b>PCS (kcal/m<sup>3</sup>)</b>	11200	10650	9320
<b>C<sub>3</sub><sup>+</sup> (%)</b>	3,16	3,08	3,05
<b>Point de rosée (°C)</b>	-5	-8	-15
<b>Composition</b>			
<b>N<sub>2</sub></b>	0,05779	0,05781	0,05780
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,00210	0,00210	0,00210
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,83312	0,83381	0,83409
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	0,07542	0,07544	0,07552
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	0,02014	0,02000	0,01996
<b>i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,00324	0,00316	0,00312
<b>n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,00511	0,00493	0,00484
<b>i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,00107	0,00100	0,00095
<b>n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,00115	0,00104	0,00099
<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	0,00065	0,00054	0,00049
<b>C<sub>7</sub>H<sub>16</sub></b>	0,00014	0,00011	0,00009
<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub></b>	0,00005	0,00003	0,00003
<b>C<sub>9</sub>H<sub>20</sub></b>	0,00001	0,00001	0,00001
<b>C<sub>10</sub>H<sub>22</sub></b>	0,00000	0,00000	0,00000
<b>C<sub>11</sub>H<sub>24</sub></b>	0,00000	0,00000	0,00000
<b>C<sub>12</sub><sup>+</sup></b>	0,00000	0,00000	0,00000
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,00002	0,00002	0,00002
<b>DEGlycol</b>	0,00000	0,00000	0,00000

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

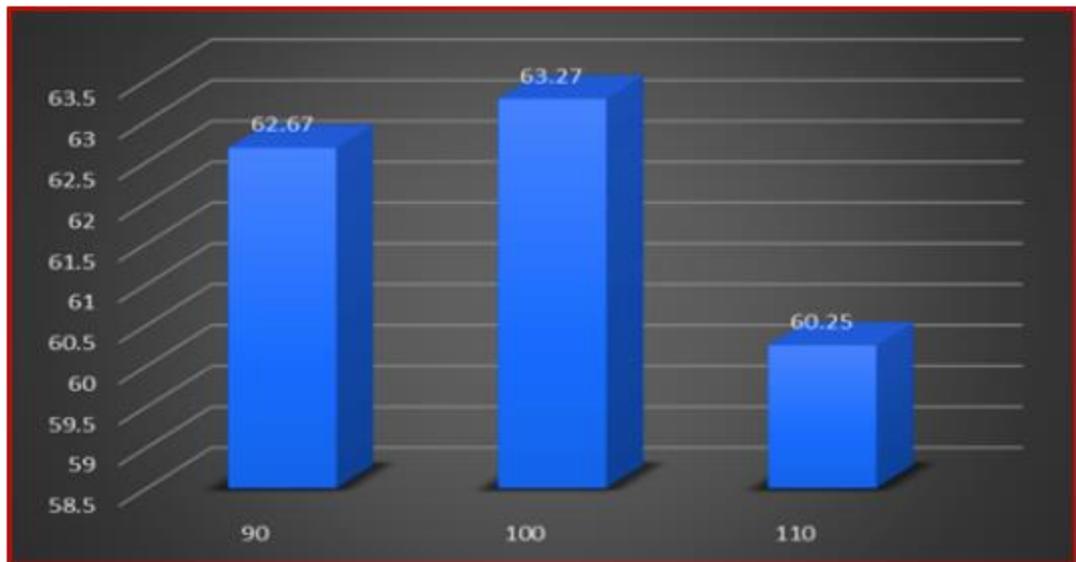


Figure IV- 6: les températures des trois cas

-On remarque une diminution de température

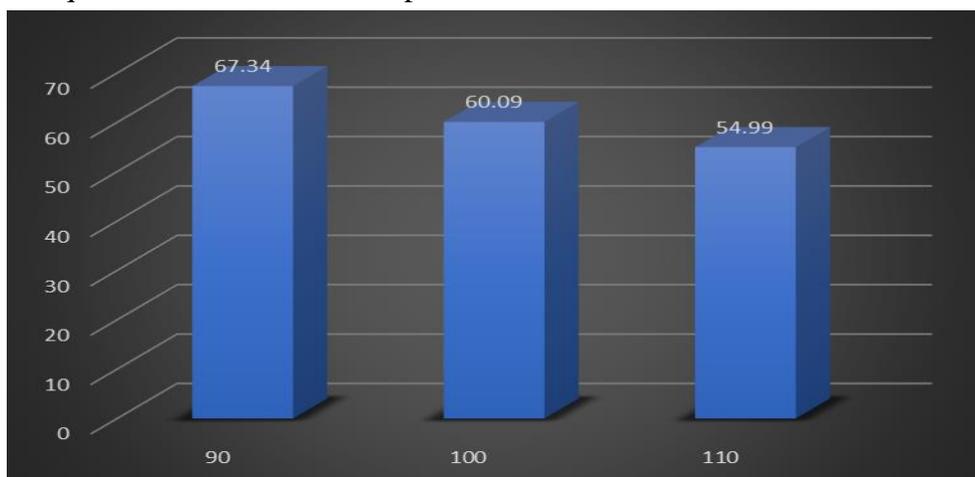
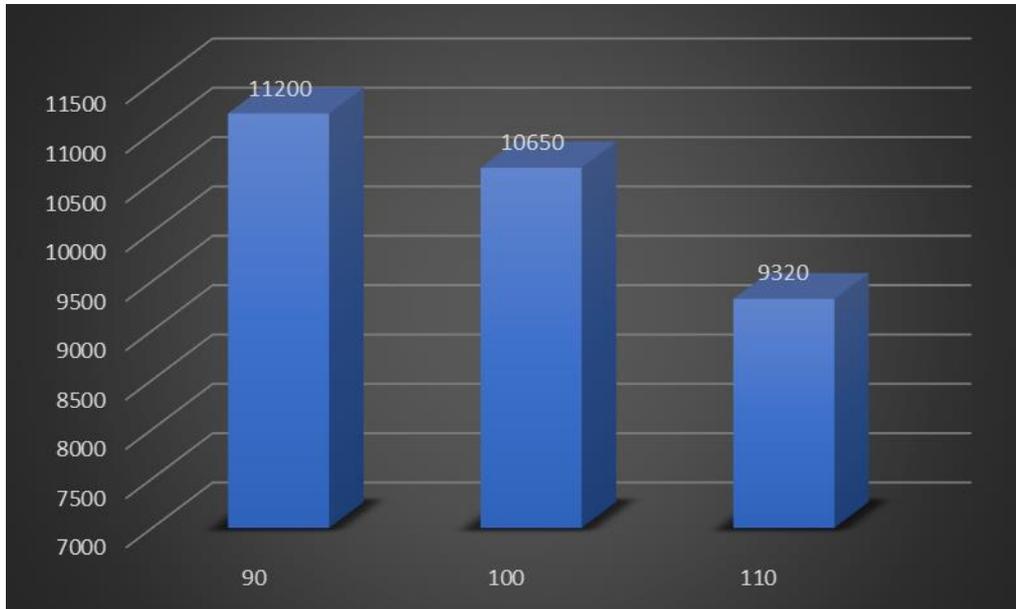


Figure IV- 7: les pressions des trois cas

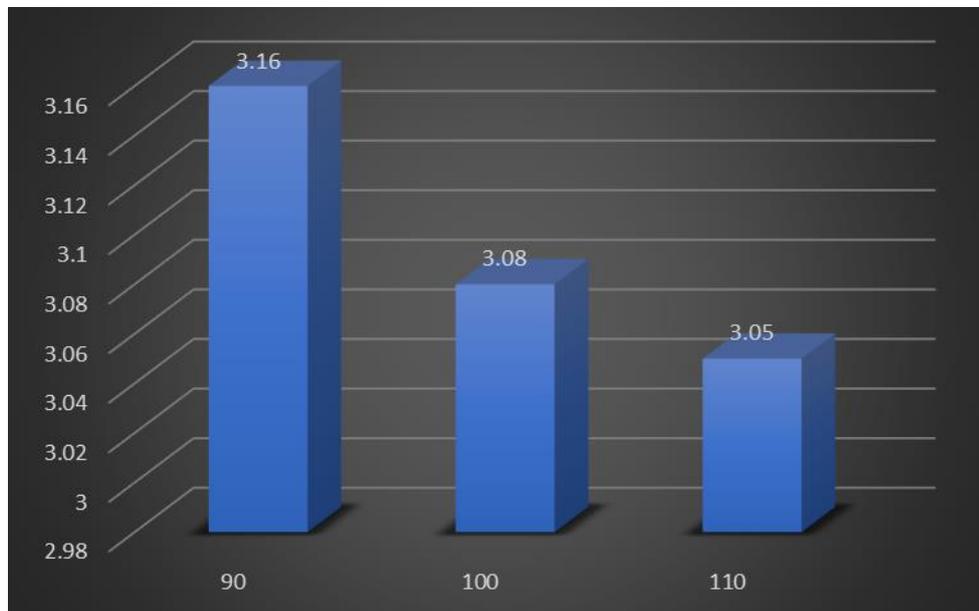
## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

-On remarque une diminution de pression



**Figure IV- 8: les pouvoirs calorifiques supérieurs des trois cas**

-On remarque une diminution de PCS



**Figure IV- 9: la teneur en C3 + des trois cas**

-On remarque une diminution de C<sub>3</sub><sup>+</sup>

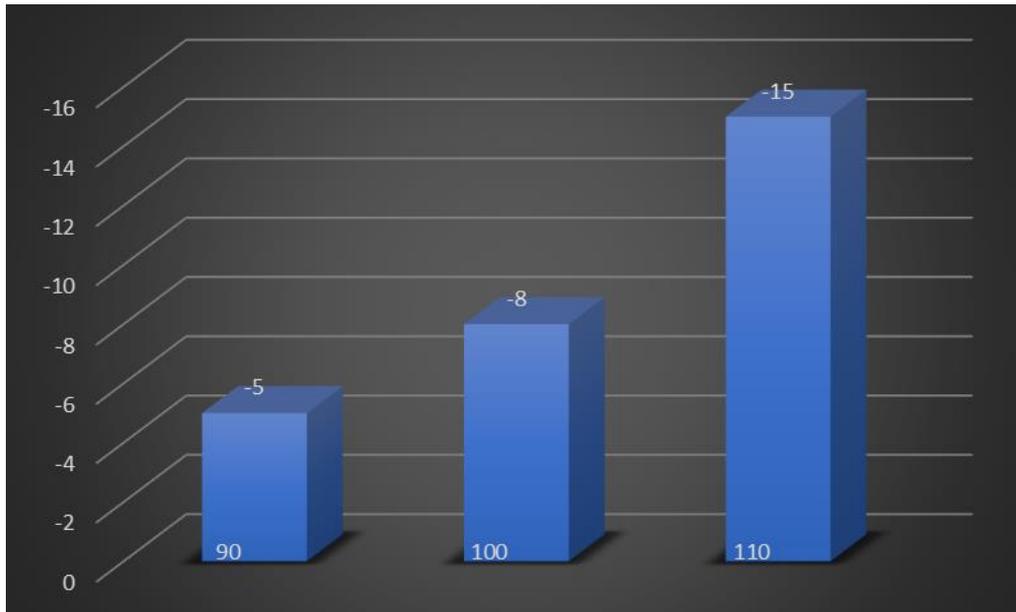


Figure IV- 10: les points de rosée des trois cas

-On remarque une augmentation de point de rosée

#### IV.6.1.2 Interprétation :

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) dans le cas 90 pression est supérieur par rapport les cas 100 et 110 pressions parce que PCS est proportionnelle avec le nombre des Carbon.

La réduction du point de rosée résulte de l'efficace récupération du liquide, lequel joue un rôle crucial en tant que vecteur majeur d'énergie.

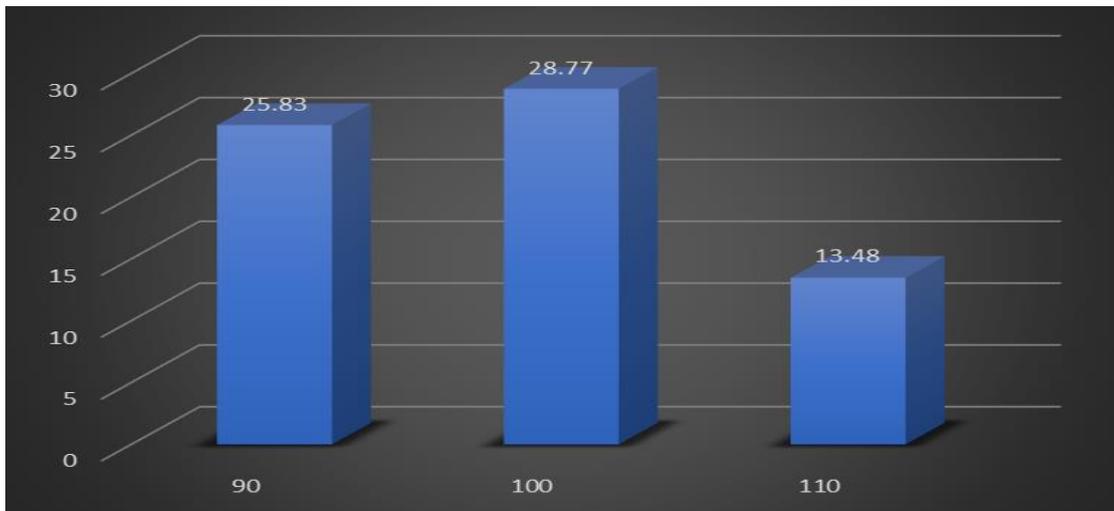
#### IV.6.1.3 Les spécifications de liquide de la sortie :

Tableau IV- 10: les paramètres et la composition de liquide de sortie à 90, 100 et 110 kg/cm<sup>2</sup>(voir l'annexe 13.14.15.16.17.18)

	90	100	110
Température (°C)	-15,89	-15,58	-12,82
Pression (kg/cm <sup>2</sup> )	25,83	28,77	13,48
Débit massique (kg/h)	15970	16090	16270
C <sub>2</sub> (%)	41,87	41,03	36,46

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

	Composition		
<b>N<sub>2</sub></b>	0,00790	0,00831	0,00616
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,00183	0,00185	0,00169
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,29905	0,30794	0,25509
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	0,11121	0,11073	0,10946
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	0,08244	0,08029	0,08956
<b>i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,02684	0,02584	0,03078
<b>n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0,05724	0,05502	0,06631
<b>i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,02403	0,02306	0,02819
<b>n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0,03330	0,03203	0,03883
<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	0,04688	0,04558	0,05285
<b>C<sub>7</sub>H<sub>16</sub></b>	0,02423	0,02384	0,02634
<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub></b>	0,01841	0,01826	0,01952
<b>C<sub>9</sub>H<sub>20</sub></b>	0,01362	0,01358	0,01425
<b>C<sub>10</sub>H<sub>22</sub></b>	0,00830	0,00830	0,00863
<b>C<sub>11</sub>H<sub>24</sub></b>	0,00000	0,00000	0,00000
<b>C<sub>12+</sub></b>	0,00839	0,00841	0,00867
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,13964	0,14001	0,14396
<b>DEGlycol</b>	0,09669	0,09694	0,09971



**Figure IV- 11: les pressions des trois cas**

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

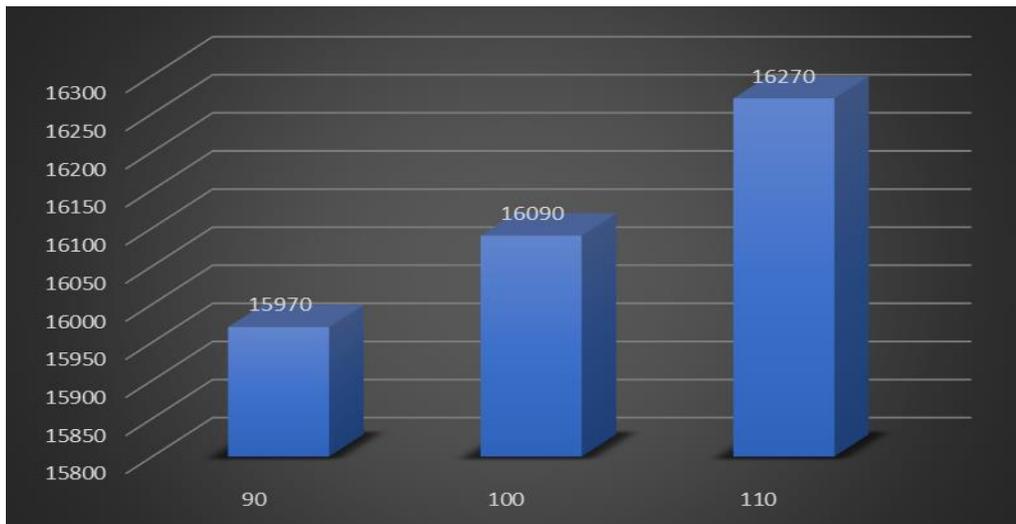


Figure IV- 12: les débits massiques des trois cas

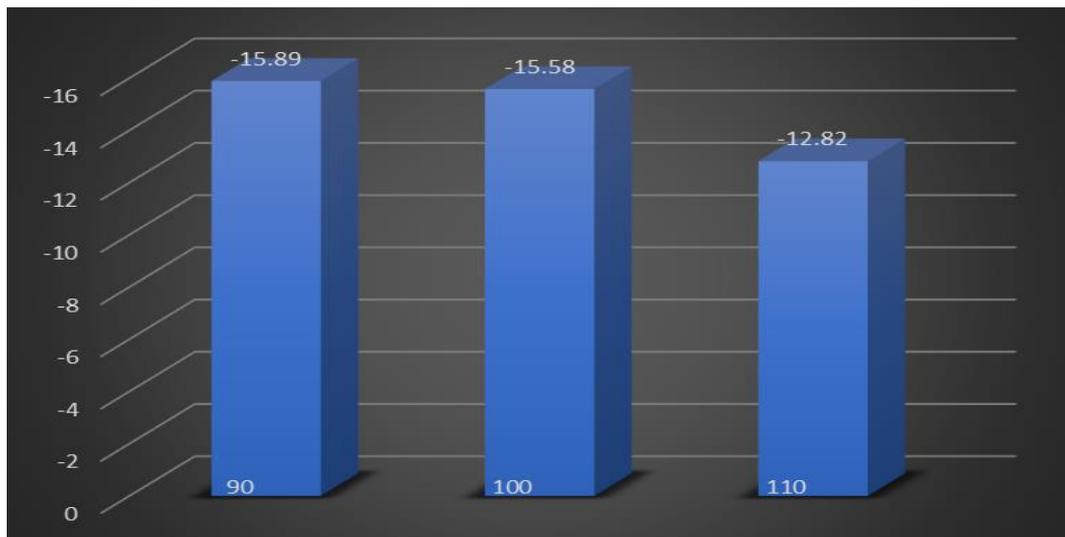


Figure IV- 13: les températures des trois cas

### IV.6.1.4 Interprétation :

On résulte que la récupération des lourds ( $C_3^+$ ) dans le cas 110 pression est plus élevée par rapport au cas 100 et 90 qui est traduite par l'augmentation de leur fractions molaire dans le tableau précédant.

**IV.6.2 la consommation du propane et la quantité économisée :**

**IV.6.2.1 Quantité du propane économisée au niveau du module 0**

**IV.6.2.1.1 Calcul du débit de propane consommé**

La consommation de propane dépend d'énergie du propane donné au chillers

$$\beta = \frac{Q_{réelle}}{PCS}$$

Avec :

$\beta$  : débit du propane.

Pouvoir calorifique de cas actuel :

$$PCS = 11\,955 \text{ kcal/m}^3$$

$Q_{réelle}$  : étant la chaleur réelle apportée par le propane introduit dans le Chiller de l'unité HP pour refroidir le gaz brut, sa valeur est donnée par le HYSYS.

Dans le tableau suivant on compare entre les énergies fournies (réelle) et les débits de propane Consommés pour les pressions 90, 100 et 110 kg/cm<sup>2</sup>

**Tableau IV- 11: spécification de propane (voir l'annexe 19.20.21)**

	<b>Actuel</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>
<b>Q fournie (kcal/h)</b>	380900	999300	768500	30520
<b>PCS (kcal/m<sup>3</sup>)</b>	11955	11200	10650	9320
<b><math>\beta</math> (m<sup>3</sup>/h)</b>	31,86	89,22	72,16	3,27

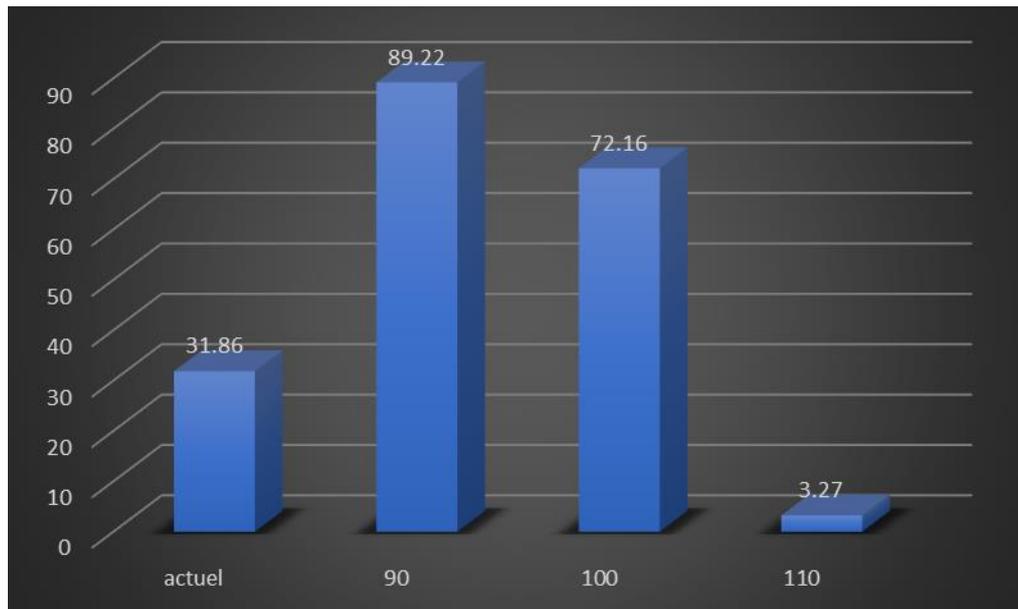


Figure IV- 14: les débits volumiques de propane

#### IV.6.2.2 Evaluation du gain

Le débit de propane pour une seul unité HP du module 0 est de : 28,59 m<sup>3</sup>/h.

Le débit de propane pour 6 unités HP est de : 171,54 m<sup>3</sup>/h.

Le gain en propane par année est de : 171,54.24.365 = 1,50.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an.

##### IV.6.2.2.1 Calcul de l'énergie économisée en Kcal et en BTU par année

- En Kcal

$$\text{Energie en Kcal} = (380900 - 30520) \cdot 24.365 = 3,07 \cdot 10^9 \text{ Kcal/an}$$

$$E = 3,07 \cdot 10^9 \text{ Kcal/an}$$

- En BTU

$$\text{Energie en BTU} = \text{Energie en Kcal} / 0,25$$

$$E = 33,92 \cdot 10^9 \text{ BTU}$$

##### IV.6.2.2.2 Estimation de l'économie réalisée en Dollars

$$3,07 \cdot 10^9 \text{ Kcal/an} = 12,85 \cdot 10^6 \text{ MJ/an}$$

## CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE

---

$$12,85 \cdot 10^6 \text{ MJ/an} = 12,85 \cdot 10^6 \text{ MWh/an} = 12,85 \cdot 10^9 \text{ kWh/an} = \frac{12,85 \cdot 10^9}{3600}$$

$$= 3,57 \cdot 10^6 \text{ kWh/an}$$

$$\text{Alors : } 12,85 \cdot 10^6 \text{ MJ/an} = 3,57 \cdot 10^6 \text{ kWh/an}$$

Donc : prix de l'unité kWh sur le marché international est environ 0,188 \$/ kWh

*L'économie en Dollars au niveau du module 0 = 671160 \$/an*

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

---

### Conclusion générale

Dans notre étude, nous avons cherché à optimiser les paramètres opérationnels de la section HP, spécifiquement au sein du module de traitement du gaz (MPPO) situé à Hassi-R'mel. Notre objectif était d'améliorer la récupération du GPL et du condensat tout en réduisant la consommation d'énergie.

Nous avons initié notre étude en approfondissant la compréhension du processus de traitement dans le module 0 de la section HP, qui se base sur le refroidissement du gaz brut à haute pression, tout en nous familiarisant avec les différents équipements de cette section. Ensuite, nous avons utilisé l'outil Hysys pour simuler cette section en utilisant les données du cas design et du cas actuel, ce qui nous a permis de développer un modèle de cette section pour analyser d'autres scénarios de fonctionnement.

L'analyse de la section HP nous a conduit à améliorer la récupération de liquides et à réduire la consommation d'énergie par augmentation de pression de charge de 90 à 100 enfin à 110 kg/cm<sup>2</sup>.

Finalement, le gain est augmenté à *671160 \$/an* en abaissant la consommation d'énergie à pression 110 kg/cm<sup>2</sup> donc le supérieur pression est le plus efficace.

## RÉFÉRENCE :

---

### Référence :

- [1] Le, M. T. (2017). *Le rôle des gaz conventionnels et non-conventionnels dans la transition énergétique en Asie* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes (ComUE)).
- [2] "Caractérisation des réservoirs et modélisation des réservoirs de gaz non conventionnels : une revue" par Mehdi Ostadhassan et al., publié dans le Journal of Natural Gas Science and Engineering en 2016. (page 37)
- [3] Glennon, K.W., Davis, P.G. et Matthew, J.A. (2013). L'origine du gaz naturel : un examen des sources de gaz organiques et inorganiques. Journal of Petroleum Science and Engineering, 223-238.
- [4] GHEZAL, M. C., & BENHADI, Z. S. *Simulation de déshydratation du gaz naturel Par HYSYS* (Doctoral dissertation, Université de Kasdi Merbah Ouargla).
- [5] BP Statistical Review 2022
- [6] Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP).
- [7] Jouhara, H. (2015). *Liquefied Petroleum Gas Handbook: Safety, Quality, and Regulations*. Elsevier. (p. 47)
- [8] Jouhara, H. livre : "Liquefied Petroleum Gas Handbook: Safety, Quality, and Regulations" Éditeur Elsevier , Année de publication : 2015
- [9] MAZOUZI, D., HADJI, Z., & SAKMECHE, M. (2019). *Etude et vérification des paramètres de fonctionnement de Dépropaniseur au niveau de l'unité Gas plant-Raffinerie d'ADRAR* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR)
- [10] SMAHI, F., MORSLI, H., & ARBAOUI, I. (2021). *Étude de l'impacte économique et environnementale généré à travers l'optimisation des paramètres de fonctionnement d'une colonne de distillation* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).
- [11] Mémoire fin de formation /Ing. Benaraima Zine El Abidine/2015
- [12] Sonatrach et le champ de Hassi R'mel : une histoire de 60 ans." Agence de Presse Africaine. 27 mai 2016.

## RÉFÉRENCE :

---

- [13] CHEBLI, L., & ABBASSI, Y. (2012). *CALCUL DES PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT DU DÉPROPANISEUR (UNITÉ (38); TRAITEMENT DE GPL)" MODULE III À HASSI R'MEL"* (Master's thesis).
- [14] ABADI, I. E., & HADJAJ, A. *Optimisation des paramètres de fonctionnement de section HP à l'aide de l'outil HYSYS au niveau de MPP0 à Hassi-R'mel* (Doctoral dissertation).
- [15] SAOUDI, J., & BOUGDAH, I. *Modélisation et analyse de performances de production des puits de gisement de HASSI R'MEL (cas de champ sud-2018-)* (Doctoral dissertation).
- [16] ABADI, I. E., & HADJAJ, A. *Optimisation des paramètres de fonctionnement de section HP à l'aide de l'outil HYSYS au niveau de MPP0 à Hassi-R'mel* (Doctoral dissertation).
- [17] Bouremana, M., BouhadeF, K., & Azzi, A. (2016). Numerical study of combined natural convection and radiation heat transfer in a square cavity filled with a fluid-saturated porous medium. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92, 287-298.  
doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.09.071
- [18] CHEBAANI, S. (2012). *Modélisation Thermique d'Un Transformateur Utilisant Un Matériau Composite Fer-Résine* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [19] Transfert de chaleur par conduction, Chevrier J- C Ecole des Mines, Nancy, 1979.
- [20] Bouremana, M., BouhadeF, K., & Azzi, A. (2016). Numerical study of combined natural convection and radiation heat transfer in a square cavity filled with a fluid-saturated porous medium. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92, 287-298.  
doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.09.071
- [21] Transfert de chaleur par rayonnement, Chevrier J- C .Ecole des Mines, Nancy, 1979.
- [22] Hamid, N., & Hammad, R. (2018). *Simulation d'une centrale à gaz pour la production combinées d'électricité et de chaleur* (Doctoral dissertation, Université Akli Mohand Oulhadje-Bouira).

## RÉFÉRENCE :

---

- [23] KHEMILI, F., OTMANI, M., & TRIKI, Z. (2017). Simulation et comparaison des cycles (Linde et Claude) de liquéfaction de l'air utilisant thermoptim.
- [24] AYAB Bilal, B. M. (2022). Régulation du turbo-expander et automatisation de la vanne Joule-Thomson au niveau de SH-FCP sous YOKOGAWA Centum VP.
- [25] Généralités sur le T.E, vanne J.T & notions de thermodynamique
- [26] MELLOUKI AMINA. Optimisation des paramètres de fonctionnement du turbo-expander de l'unité GPL2 (CIS-DP-HMD) Promotion: juin 2018
- [27] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854014000217>  
Formula calculation methods of water content in sweet natural gas and their adaptability analysis.

# **Annexe**

# ANNEXE

## Annexe 1

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

**Worksheet**

- Conditions
- Properties
- Composition
- Oil & Gas Feed
- Petroleum Assay
- K Value
- User Variables
- Notes
- Cost Parameters
- Normalized Yields
- ▶ Emissions

	Mole Fractions	Vapour Phase
Nitrogen	0.0577	0.0577
CO2	0.0021	0.0021
Methane	0.8320	0.8320
Ethane	0.0755	0.0755
Propane	0.0204	0.0204
i-Butane	0.0033	0.0033
n-Butane	0.0054	0.0054
i-Pentane	0.0012	0.0012
n-Pentane	0.0013	0.0013
n-Hexane	0.0008	0.0008
n-Heptane	0.0002	0.0002
n-Octane	0.0001	0.0001
n-Nonane	0.0000	0.0000
n-Decane	0.0000	0.0000
n-C11	0.0000	0.0000
n-C12	0.0000	0.0000
H2O	0.0000	0.0000
DEGlycol	0.0000	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

← →

# ANNEXE

## Annexe 2

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase	Liquid Phase
Conditions	Nitrogen	0.0090	0.0300
Properties	CO2	0.0019	0.0028
Composition	Methane	0.3208	0.8321
Oil & Gas Feed	Ethane	0.1093	0.1038
Petroleum Assay	Propane	0.0765	0.0226
K Value	i-Butane	0.0242	0.0028
User Variables	n-Butane	0.0513	0.0041
Notes	i-Pentane	0.0215	0.0007
Cost Parameters	n-Pentane	0.0300	0.0007
Normalized Yields	n-Hexane	0.0435	0.0003
▾ Emissions	n-Heptane	0.0232	0.0000
	n-Octane	0.0181	0.0000
	n-Nonane	0.0136	0.0000
	n-Decane	0.0084	0.0000
	n-C11	0.0000	0.0000
	n-C12	0.0085	0.0000
	H2O	0.1420	0.0000
	DEGlycol	0.0983	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

# ANNEXE

## Annexe 3

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	gaz de vente	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	61.10	61.10
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	75.11	75.11
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	9299	9299
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.768e+005	1.768e+005
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	2300	2300
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.149e+004	-3.149e+004
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	36.52	36.52
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-6.456e+008	-6.456e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3.309e+007	3.309e+007
▸ Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 4

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	liq4	Vapour Phase	Liquid Phase	A
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.2646	0.2646	0.4949	
Properties	Temperature [C]	-16.53	-16.53	-16.53	
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	33.60	33.60	33.60	
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	335.5	88.77	166.0	
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.535e+004	1684	9309	
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	113.5	22.45	73.54	
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-8.521e+004	-3.371e+004	-6.494e+004	
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	23.77	35.94	24.08	
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-6.303e+007	-6.596e+006	-2.377e+007	
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3729	3.158e+005	2460	
Emissions	Fluid Package	<i>Basis-1</i>			
	Utility Type				

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 5

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	gaz de vente	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	51.38	51.38
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	65.19	65.19
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	5926	5926
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	2.476e+005	2.476e+005
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	1464	1464
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.158e+004	-3.158e+004
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	36.55	36.55
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-4.126e+008	-4.126e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	2.109e+007	2.109e+007
Emissions	Fluid Package	<i>Basis-1</i>	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 6

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

**Worksheet**

- Conditions
- Properties
- Composition
- Oil & Gas Feed
- Petroleum Assay
- K Value
- User Variables
- Notes
- Cost Parameters
- Normalized Yields
- ▾ Emissions

	Mole Fractions	Vapour Phase
Nitrogen	0.0578	0.0578
CO2	0.0021	0.0021
Methane	0.8332	0.8332
Ethane	0.0755	0.0755
Propane	0.0201	0.0201
i-Butane	0.0032	0.0032
n-Butane	0.0051	0.0051
i-Pentane	0.0011	0.0011
n-Pentane	0.0011	0.0011
n-Hexane	0.0006	0.0006
n-Heptane	0.0001	0.0001
n-Octane	0.0000	0.0000
n-Nonane	0.0000	0.0000
n-Decane	0.0000	0.0000
n-C11	0.0000	0.0000
n-C12	0.0000	0.0000
H2O	0.0000	0.0000
DEGlycol	0.0000	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 7

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	gaz de vente	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	62.67	62.67
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	67.34	67.34
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	9293	9293
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.762e+005	1.762e+005
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	2296	2296
User Variables	M All Stream Properties [le]	-3.137e+004	-3.137e+004
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	36.85	36.85
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.621e+008	-1.621e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3.307e+007	3.307e+007
Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Stream... View Assay

← →

# ANNEXE

## Annexe 8

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase
Conditions	Nitrogen	0.0578
Properties	CO2	0.0021
Composition	Methane	0.8331
Oil & Gas Feed	Ethane	0.0754
Petroleum Assay	Propane	0.0201
K Value	i-Butane	0.0032
User Variables	n-Butane	0.0051
Notes	i-Pentane	0.0011
Cost Parameters	n-Pentane	0.0011
Normalized Yields	n-Hexane	0.0006
▸ Emissions	n-Heptane	0.0001
	n-Octane	0.0000
	n-Nonane	0.0000
	n-Decane	0.0000
	n-C11	0.0000
	n-C12	0.0000
	H2O	0.0000
	DEGlycol	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

← →

# ANNEXE

## Annexe 9

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	gaz de vente	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	62.16	62.16
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	70.28	70.28
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	9294	9294
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.764e+005	1.764e+005
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	2297	2297
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.141e+004	-3.141e+004
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	36.73	36.73
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.623e+008	-1.623e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3.307e+007	3.307e+007
▾ Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annex 10

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase
Conditions	Nitrogen	0.0578
Properties	CO2	0.0021
Composition	Methane	0.8327
Oil & Gas Feed	Ethane	0.0754
Petroleum Assay	Propane	0.0202
K Value	i-Butane	0.0033
User Variables	n-Butane	0.0052
Notes	i-Pentane	0.0011
Cost Parameters	n-Pentane	0.0012
Normalized Yields	n-Hexane	0.0007
▾ Emissions	n-Heptane	0.0002
	n-Octane	0.0001
	n-Nonane	0.0000
	n-Decane	0.0000
	n-C11	0.0000
	n-C12	0.0000
	H2O	0.0000
	DEGlycol	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

← →

# ANNEXE

## Annexe 11

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	gaz de vente	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	60.25	60.25
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	54.99	54.99
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	9304	9304
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.759e+005	1.759e+005
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	2296	2296
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.130e+004	-3.130e+004
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	37.27	37.27
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.619e+008	-1.619e+008
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3.311e+007	3.311e+007
▾ Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 12

Material Stream: gaz de vente

Worksheet Attachments Dynamics

**Worksheet**

- Conditions
- Properties
- Composition
- Oil & Gas Feed
- Petroleum Assay
- K Value
- User Variables
- Notes
- Cost Parameters
- Normalized Yields
- Emissions

	Mole Fractions	Vapour Phase
Nitrogen	0.0578	0.0578
CO2	0.0021	0.0021
Methane	0.8341	0.8341
Ethane	0.0755	0.0755
Propane	0.0200	0.0200
i-Butane	0.0031	0.0031
n-Butane	0.0048	0.0048
i-Pentane	0.0010	0.0010
n-Pentane	0.0010	0.0010
n-Hexane	0.0005	0.0005
n-Heptane	0.0001	0.0001
n-Octane	0.0000	0.0000
n-Nonane	0.0000	0.0000
n-Decane	0.0000	0.0000
n-C11	0.0000	0.0000
n-C12	0.0000	0.0000
H2O	0.0000	0.0000
DEGlycol	0.0000	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 13

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	liq4	Vapour Phase	Liquid Phase	A
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.2729	0.2729	0.4905	
Properties	Temperature [C]	-15.89	-15.89	-15.89	
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	25.83	25.83	25.83	
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	341.1	93.10	167.3	
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.597e+004	1801	9805	
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	117.6	23.86	76.15	
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-8.547e+004	-3.392e+004	-6.685e+004	
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	23.80	36.72	23.36	
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.621e+007	-1.756e+006	-6.218e+006	
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3852	3.312e+005	2535	
Emissions	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 14

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase	Liquid Phase
Conditions	Nitrogen	0.0079	0.0014
Properties	CO2	0.0018	0.0018
Composition	Methane	0.2990	0.1567
Oil & Gas Feed	Ethane	0.1112	0.1604
Petroleum Assay	Propane	0.0824	0.1529
K Value	i-Butane	0.0268	0.0528
User Variables	n-Butane	0.0572	0.1140
Notes	i-Pentane	0.0240	0.0485
Cost Parameters	n-Pentane	0.0333	0.0675
Normalized Yields	n-Hexane	0.0469	0.0954
▾ Emissions	n-Heptane	0.0242	0.0494
	n-Octane	0.0184	0.0375
	n-Nonane	0.0136	0.0278
	n-Decane	0.0083	0.0169
	n-C11	0.0000	0.0000
	n-C12	0.0084	0.0171
	H2O	0.1396	0.0000
	DEGlycol	0.0967	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

# ANNEXE

## Annex 15

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	liq4	Vapour Phase	Liquid Phase	A
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.2715	0.2715	0.4914	
Properties	Temperature [C]	-15.58	-15.58	-15.58	
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	28.77	28.77	28.77	
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	340.2	92.36	167.2	
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.577e+004	1774	9640	
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	116.4	23.56	75.33	
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-8.520e+004	-3.384e+004	-6.611e+004	
Notes	Molar Entropy [All Stream Properties]	23.86	36.43	23.69	
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.611e+007	-1.737e+006	-6.144e+006	
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3820	3.285e+005	2511	
Emissions	Fluid Package	<i>Basis-1</i>			
	Utility Type				

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 16

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase	Liquid Phase
Conditions	Nitrogen 0.0083	0.0276	0.0016
Properties	CO2 0.0019	0.0030	0.0019
Composition	Methane 0.3079	0.8203	0.1734
Oil & Gas Feed	Ethane 0.1107	0.1137	0.1626
Petroleum Assay	Propane 0.0803	0.0256	0.1492
K Value	i-Butane 0.0258	0.0032	0.0508
User Variables	n-Butane 0.0550	0.0047	0.1094
Notes	i-Pentane 0.0231	0.0007	0.0465
Cost Parameters	n-Pentane 0.0320	0.0007	0.0648
Normalized Yields	n-Hexane 0.0456	0.0003	0.0926
▸ Emissions	n-Heptane 0.0238	0.0000	0.0485
	n-Octane 0.0183	0.0000	0.0372
	n-Nonane 0.0136	0.0000	0.0276
	n-Decane 0.0083	0.0000	0.0169
	n-C11 0.0000	0.0000	0.0000
	n-C12 0.0084	0.0000	0.0171
	H2O 0.1400	0.0000	0.0000
	DEGlycol 0.0969	0.0000	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

# ANNEXE

## Annexe 17

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	liq4	Vapour Phase	Liquid Phase	A
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.2942	0.2942	0.4620	
Properties	Temperature [C]	-12.82	-12.82	-12.82	
Composition	Pressure [kg/cm2_g]	13.48	13.48	13.48	
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	330.8	97.32	152.8	
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1.627e+004	2028	9883	
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]	117.4	26.06	73.80	
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-8.790e+004	-3.468e+004	-7.138e+004	
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	24.01	38.53	22.10	
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-1.616e+007	-1.876e+006	-6.064e+006	
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	3825	3.459e+005	2450	
Emissions	Fluid Package	Basis-1			
	Utility Type				

OK

Delete Define from Stream... View Assay ← →

# ANNEXE

## Annexe 18

Material Stream: liq4

Worksheet Attachments Dynamics

**Worksheet**

- Conditions
- Properties
- Composition
- Oil & Gas Feed
- Petroleum Assay
- K Value
- User Variables
- Notes
- Cost Parameters
- Normalized Yields
- Emissions

	Mole Fractions	Vapour Phase	Liquid Phase
Nitrogen	0.0062	0.0201	0.0005
CO2	0.0017	0.0036	0.0012
Methane	0.2551	0.7453	0.0774
Ethane	0.1095	0.1662	0.1311
Propane	0.0896	0.0466	0.1642
i-Butane	0.0308	0.0061	0.0627
n-Butane	0.0663	0.0089	0.1379
i-Pentane	0.0282	0.0014	0.0602
n-Pentane	0.0388	0.0013	0.0832
n-Hexane	0.0529	0.0005	0.1141
n-Heptane	0.0263	0.0001	0.0570
n-Octane	0.0195	0.0000	0.0422
n-Nonane	0.0142	0.0000	0.0308
n-Decane	0.0086	0.0000	0.0187
n-C11	0.0000	0.0000	0.0000
n-C12	0.0087	0.0000	0.0188
H2O	0.1440	0.0001	0.0000
DEGlycol	0.0997	0.0000	0.0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

OK

Delete Define from Stream... View Assay

# ANNEXE

## Annexe 19

Cooler: E-104

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

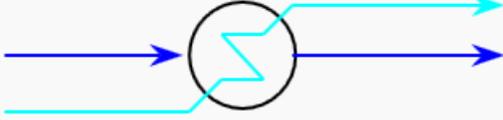
**Design**

- Connections
- Parameters
- User Variables
- Notes

Delta P: 7.000 psi

Delta T: -12.05 F

Duty: 9.993e+005 kcal/h



Delete OK Ignored

The image shows a software interface for a cooler component. It features a sidebar with navigation options: Design, Connections, Parameters, User Variables, and Notes. The main area displays three parameters: Delta P (7.000 psi), Delta T (-12.05 F), and Duty (9.993e+005 kcal/h). Below these parameters is a schematic diagram of a cooler, represented by a circle with a zigzag line inside, and four arrows indicating flow directions. At the bottom, there are buttons for 'Delete', 'OK', and 'Ignored'.

# ANNEXE

## Annexe 20

Cooler: E-104

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

**Design**

Connections  
Parameters  
User Variables  
Notes

Delta P  
7.000 psi

Delta T  
-9.110 F

Duty  
7.685e+005 kcal/h

Delete OK Ignored

# ANNEXE

## Annexe 21

Cooler: E-104

Design Rating Worksheet Performance Dynamics

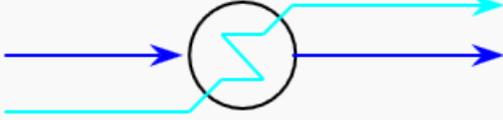
**Design**

Connections  
Parameters  
User Variables  
Notes

Delta P  
7.000 psi

Delta T  
-0.7299 F

Duty  
3.052e+004 kcal/h



Delete OK Ignored

The image shows a software interface for a cooler component. It features a sidebar with 'Design' selected, and a main area with input fields for Delta P (7.000 psi), Delta T (-0.7299 F), and Duty (3.052e+004 kcal/h). A schematic diagram below the fields shows a circular component with a zigzag internal symbol, with blue arrows indicating flow from left to right and cyan arrows indicating flow from top to bottom.