



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 20 août 1955 -SKIKDA

Faculté de Technologie

Département de Pétrochimie

**MEMOIRE DE MASTER**

**Filière : Génie Pétrochimique**

**Spécialité : Génie Pétrochimique**

**Thème**

**ETUDE D'UN SYSTÈME DE VAPORISATION DU  
GPL AU NIVEAU DE L'UNITE  
GPL - RHOURDE NOUSS**

Réalisé par :

**Ghoul Douaa**

**Khaoua Linda Silina**

Encadré par:

**Mme. Mechaty Fadia**

Année universitaire  
2022 - 2023

**Résumé :**

L'arrêt de l'expédition à la station GPL de RHOURE NOUSSE a entraîné plusieurs anomalies. Nous avons proposé l'installation d'un évaporateur (échangeur de chaleur) à la sortie du ballon V-11 pour le reconvertir à son état gazeux et le réinjecter dans le gisement.

Dans ce projet, nous avons choisi un échangeur de chaleur, effectué des calculs dimensionnels et validé les résultats à l'aide d'un logiciel de calcul HYSYS .

**Abstract**

The stoppage of LPG transportation at the RHOURE NOUSSE station led to several anomalies. We have proposed the installation of an evaporator (heat exchanger) at the outlet of the V-11 balloon to convert it back to its gaseous state and reinject it into the deposit.

In this project, we chose a heat exchanger, performed dimensional calculations and validated the results using calculation software HYSYS .

## المخلص

أدى توقف نقل غاز البترول المسال في محطة رهورد نوس إلى العديد من المشاكل ، فاقترحنا تركيب مبخر (مبادل حراري) عند مخرج بالون V-11 لتحويله مرة أخرى إلى حالته الغازية وإعادة حقنه في الحقل.

في عملنا اخترنا مبادلاً حراريًا وأجرينا حسابات الأبعاد وتحققنا من صحة النتائج باستخدام برنامج HYSYS .



## *Remerciement*

Premièrement, louange à **Allah** qui nous a fourni de la patience au moment de besoin, de la force au moment de la faiblesse et de la volonté contre le désespoir, et aussi nous le remercions car il nous a mis dans des bonnes mains.

Madame **Mechati** pour ses conseils, sa compétence et ses orientations durant l'élaboration de ce projet.

-Nous remercions Monsieur **Boussaha** de nous aider à tout moment, pour ses efforts et ses précieuses informations, et d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions l'ingénieur **Ayoub** pour son engagement et son soutien ainsi que pour la pertinence de ses remarques qui ont abouti à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous souhaitons aussi adresser nos remerciements au corps enseignant et administratif de l'université de Skikda qui a contribué à la réussite de nos études universitaires.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

Merci à tous



## Dédicaces

Au meilleur des pères, **Ammar**, et à ma très chère maman, **Ilhem**, qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté à qui je dois tout. Ce travail est le fruit de vos sacrifices consentis pour mon éducation.

À mon cher mari, **Mohamed El Amine**, pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail, et à qui je voudrais exprimer mes affections et ma gratitude.

À ma sœur **Asma**, avec tous mes vœux de réussite dans sa vie.

À mes frères **Ahmad** et **Aymen**, à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

À mes amies **Ikram** et **Roumaïssa**, ... à qui je souhaite le succès, et je les remercie pour l'amitié qui nous a toujours unis.

À ma grand-mère décédée **Fatima**, qui était la raison pour laquelle j'ai choisi cette spécialité.

Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et de mon respect envers **moi-même**.

**Douaa Ghoul**



## *Dédicaces*

Je Dédie ce mémoire à :

Mes chers **parents**, que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour tous leur Sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien tout au long de mes études.

Mes chers sœurs **Doudou, Maya et Loudjeyne** . Et aussi mon petit **Bibich** .

A toute ma famille.

A qui j'aime trop.

Et à mes amis de loin ou de près, et surtout El Tayibat.

Merci d'être toujours là pour moi.

**Khaoua Linda Silina**

## Nomenclature :

Symboles	Désignations	Unités
$Q_m$	débit massique du GPL	kg/h
$h_{T1}$	l'enthalpie de GPL à la température $T_1$	Kj/kg
$h_{T2}$	l'enthalpie de GPL à la température $T_2$	Kj/kg
$T_1$	Température d'entrée de GPL (à l'état liquide)	C°
$T_2$	Température de sortie GPL (à l'état vapeur)	C°
$Q_v'$	Débit volumique de l'huile	m <sup>3</sup> /h
$\rho_{t1}'$	La masse volumique de l'huile à la température $t_1$	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{t2}'$	La masse volumique de l'huile à la température $t_2$	kg/m <sup>3</sup>
$H_{t1}$	l'enthalpie massique d'huile à la température $t_1$	kj/kg
$H_{t2}$	l'enthalpie massique d'huile à la température $t_2$	kj/kg
$t_1$	Température d'entrée de l'huile	C°
$t_2$	Température de sortie de l'huile	C°
$Us$	le coefficient d'échange	kcal/h.m <sup>2</sup> .°C
$\Delta TLM_c$	la température moyenne logarithmique corrigée	C°
$\Delta TLM$	La température moyenne logarithmique	C°
$F$	est facteur de correction	---
$A$	surface d'échange thermique globale	m <sup>2</sup>
$d_e$	Diamètre extérieur de tubes	M
$\pi$	Longueur de tubes	M
$n_c$	Nombre de passe côté calandre	----
$N't$	Le nombre de tube calculé	----
$Nt$	Le nombre de tube reel	-----
$Dc$	Diamètre de calandre	M

<b>T<sub>c</sub></b>	Température calorique	C°
<b>U<sub>p</sub></b>	coefficient de transfert propre	kcal/h m <sup>2</sup> °C
<b>Re</b>	nombre de Reynolds	----
<b>G<sub>B</sub></b>	vitesse massique	kg/h.m <sup>2</sup>
<b>Di</b>	diamètre intérieur de tubes	M
$\mu_c$	La viscosité dynamique à la température calorique	kg/h.m
<b>m</b>	débit massique	Kg/h
<b>N</b>	nombre de passe côté tube	---
<b>Jh</b>	coefficient de COLBURN	-----
<b>F</b>	le coefficient de friction	---
<b>P</b>	le pas	M
<b>B</b>	Espace entre chicane	M
$\Delta P_c$	pertes de charge	Pascal
$\lambda$	Conductivité thermique	kcal/h.m.°C
<b>h<sub>io</sub></b>	Coefficient de film interne	kcal/h m <sup>2</sup> °C
<b>h<sub>o</sub></b>	Coefficient de film externe	kcal/h m <sup>2</sup> °C

## SOMMAIRE

<b>Résumé</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>الملخص</b>	
<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Nomenclature</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Introduction</b>	01
<b>Chapitre I. Description du procédé de production du GPL</b>	
1. Présentation de la région	04
1.1. Situation géographique	04
1.2. Historique	05
1.3. Description des complexes de Rhourde Nous	05
1.4. Capacité globale de production de Rhourde Nous	06
2. Description du procédé de GPL	06
<b>Chapitre II. Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL)</b>	
1. Définition	12
2. Origine des GPL	13
3. Caractéristique du GPL	14
4. Les différentes utilisations du GPL	14
4.1. Dans la pétrochimie	15
4.2. Utilisations domestiques	16
4.3. Utilisations industrielles et artisanales	17
4.4. Utilisation comme GPLC (carburant)	18
4.5. Le GPL dans la production d'électricité	19
4.6. Le GPL dans L'agriculture	19
5. Risques et sécurité des GPL	19
6. Stockage des gaz liquéfiés	21
6.1. Types de stockage	21
6.1.1. Réservoirs cylindriques (cigares)	22
6.1.2. Les sphères	22
6.1.3. Les réservoirs sous terrains	22
6.1.4. Stockage sous talus	22
7. Transport des GPL	23
7.1. Le transport par pipelines (canalisations)	23
7.2. Transport par wagon- citernes	24
7.3. Le transport par bateaux (transport maritime)	24
7.4. Le transport par camions - citernes	24
<b>Chapitre III. Théorie sur le transfert de chaleur et la vaporisation</b>	
1. Théorie sur le transfert de chaleur	26

1.1. Définitions	26
1.2. Phénomène de conduction thermique	27
1.3. Phénomène de convection thermique	27
1.4. Phénomène de rayonnement	28
2. Vaporisation	28
2.1. Définition	28
2.2. Types de vaporisation	28
2.2.1. Evaporation	28
2.2.2. Ebullition	30
2.2.3. Caléfaction	30
3. généralité sur les échangeurs et les four	31
3.1. Les différents types d'échangeurs	31
3.1.1. Les échangeurs à plaques	31
3.1.2. Les échangeurs tubulaires	32
4. Les différents types de fours	34
4.1. Fours cabines à tubes horizontaux	34
4.2. Fours cabines à tubes verticaux	35
4.3. Fours cylindriques verticaux	35

#### **Chapitre IV. Simulation et optimisation du train de GPL**

Problématique	37
La proposition	37
1. Simulation et optimisation du train de GPL	39
1.1. Généralité sur la simulation	39
1.2. Spécifications des produits	39
1.3. Conditions aux limites de l'unité	40
1.4. Vérification du design par HYSYS	40
1.4.1. les conditions de la colonne Dééthaniseur T-01	43
1.4.2. les conditions de la colonne Débutaniseur T-02	46
1.4.3. les caractéristiques du turbo-expandeur	49
1.4.4. L'énergie (en MW) consommée par les deux rebouilleurs E-09 et E-10	49
2. Simulation dans le cas de débit minimum	49
3. Conclusion	50

#### **Chapitre V. Dimensionnement de l'évaporateur**

1. Critères de choix de l'échangeur	52
2. Caractéristiques de l'échangeur	52
3. Détermination de la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le débit de GPL sortant d'un seul train	54
3.1. La température d'entrée de GPL à l'évaporateur (T1)	54
3.2. La température du GPL à la sortie de l'évaporateur (T2)	54
3.3. Les enthalpies du GPL à l'état liquide et à l'état gaz	56
3.4. La quantité de chaleur Qreque	56
3.5. Conclusion	56
4. Calcul le dimensionnement de l'évaporateur	56
4.1. Calcul le débit d'huile chaude nécessaire pour l'évaporation de GPL	56

4.1.1. Le bilan thermique	56
4.1.2. Les enthalpies massique $ht_1$ et $ht_2$ d'huile respectivement à la température $t_1$ et $t_2$	57
4.1.3. Calcul le débit d'huile	58
4.2. Calcul de la surface d'échange thermique globale	58
4.2.1. La quantité de chaleur échangée	58
4.2.2. Le coefficient d'échange $Us$	58
4.2.3. La température moyenne logarithmique corrigée	58
4.2.4. La surface d'échange thermique globale $A$	60
4.3. Nombre de passe côté tube et côté calandre	60
4.4. Nombre de tube $N't$	61
4.4.1. Dimensions de tubes	61
4.4.2. Le nombre de tube calculé	62
4.5. Le nombre de tube réel	62
4.6. Le coefficient d'échange $Us$	62
4.7. Dimensions de calandre	62
4.8. Température calorique	62
4.9. Calcul du coefficient de transfert propre <b><math>Up</math></b>	63
4.9.1. Détermination des caractéristiques des fluides froid et chaud à la température TC et $t_c$	63
4.9.2. Le calcul de la température du tube	67
4.9.3. Détermination de $\mu_t$ à $t_t$ (coté tube)	68
4.9.4. Détermination de $\mu_t$ à $t_t$ (coté tube)	68
4.9.5. Calcul du Coefficient de transfert propre	69
4.9.6. Vérification de la résistance d'encrassement	69
4.9.7. Calcul les pertes de charge	69
<b>Conclusion générale</b>	72
<b>Références bibliographiques</b>	75
<b>Annexes</b>	77

# **Introduction**

**Introduction :**

Le gaz naturel est le combustible prédominant dans nos ressources d'hydrocarbures, il conforte sa place en tant qu'énergie fiable et propre.

Longtemps marginalisé, il rentre aujourd'hui dans le cadre de la politique énergétique du pays et selon le modèle de consommation, la principale source d'énergie dans l'industrie afin de produire la chaleur et de l'électricité.

Le gaz naturel est aussi la matière première d'une bonne partie de l'industrie chimique et pétrochimique. A la quasi-totalité de la production de l'hélium, de l'hydrogène et de méthanol et d'autres divers produits qui à leur tour servent dans diverses industries.

Suite aux découvertes croissantes des champs pétroliers au sud Algérien, l'augmentation de la production du GPL est devenue très importante. Des projets de rénovation et d'extensions des installations se sont avérés un objectif primordial en aval pour séparer des charges de plus en plus importantes de GPL en propane et butane commerciaux.

L'unité de GPL qui est située à Rhourde Nouss est l'une de ces projets importants, d'une capacité actuelle de traitement de gaz 32 standard million mètre au cube par jours ; avec une capacité de production de GPL 2640 mètre au cube par jours.

Le problème important auquel est confronté l'unité de production du GPL est la limitation ou l'interruption de l'expédition à cause de certaines contraintes internes et externes qui entraînent une interruption de la production du GPL ainsi que du condensat. En vue de garantir la production de condensat et de gérer la production de GPL, la solution préconisée est la revaporisation du GPL en vue de sa réinjection.

La présente étude a pour thème le dimensionnement et le calcul d'une nouvelle installation appelée "système de vaporisation du GPL" qui va fonctionner avec l'excès d'énergie thermique de l'unité comme source pour la vaporisation du GPL.

Dans, le but d'atteindre les objectifs sus-cités, le présent mémoire est organisé, en quatre chapitres comme suit :

La première partie est consacrée à l'étude technologique qui comporte trois chapitres :

Chapitre I : Description du procédé de production du GPL.

Chapitre II : Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié.

Chapitre III: Théorie sur le transfert de chaleur et la vaporisation.

La deuxième partie c'est une étude numérique qui comporte deux chapitres :

Chapitre IV: Simulation et vérification par HYSYS.

Chapitre V: Dimensionnement de l'évaporateur.

Une conclusion générale est également présentée en fin du document.

# **Chapitre I**

## **Description du procédé de production du GPL**

## Chapitre I. Description du procédé de production du GPL

### 1. Présentation de la région :

Le gaz naturel se trouve sous pression, dans les roches poreuses du sous-sol, on le trouve généralement en solution avec du pétrole brut ou du condensât.

Le gaz naturel est un mélange souvent très riche en méthane, il contient généralement en proportions décroissantes tous les hydrocarbures saturés. En outre, il renferme également en proportions variables de l'azote, du gaz carbonique, ainsi que de l'eau. La présence de l'eau dans le gaz naturel provoque beaucoup de problèmes lors de son traitement, ce qui nécessite une déshydratation de ce dernier.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la présentation de la région de Rhourde Nous.

#### 1.1. Situation géographique :

La région de RHOURE-NOUSS fait partie de la Wilaya d'ILLIZI, elle est située à 350 km au Sud-est de OUARGLA, à 1200 km au Sud-est d'ALGER et à 270 km au Sud-est de HASSI MESSAOUD. Elle est reliée à la route nationale N3 (OUARGLA-ILLIZI).



**Figure 01.** Situation géographique de la région Rhourde Nous [1].

- Altitude moyenne est située à 275m par rapport au niveau de la mer.
- Son climat est désertique (sec avec un très faible taux d'humidité).
- Ecart important de température entre l'hiver et l'été (-5°C à 55°C).
- Fréquence importante des vents de sable.

La région de Rhourde Nouss est composée de plusieurs champs (Gisements) sur un rayon de 100 km par rapport au siège de la direction régionale qui est située dans le champ de RHOURE NOUSS centre [1].

### **1.2. Historique :**

Les travaux de recherche sur cette région ont débuté en 1956 par la compagnie EL paso France Afrique avec l'implantation de premier puit RN1, qui a été foré en 1962, celui-ci a mis en évidence la présence de gaz riche en condensât au niveau de plusieurs réservoirs.

Après la découverte de l'huile sur le puits RN4, un centre de traitement d'huile a été construit et mis en exploitation en 1966 [1].

### **1.3. Description des complexes de Rhourde Nouss :**

Le complexe de traitement du brut et du gaz naturel de Rhourde Nouss a pour but de séparer et récupérer le GPL et le condensât dissous dans le gaz naturel brut ainsi que la production et la stabilisation du brut.

Le complexe contient plusieurs usines et stations comme suite :

- ❖ Trois usines de traitement du gaz humide.
- ❖ La phase A (l'usine d'extraction de condensât) : Traitement de 51 million Sm<sup>3</sup>/j pour récupérer le condensât.
- ❖ La phase B (l'usine de GPL) : Traitement de 48.3 million Sm<sup>3</sup>/j pour récupérer le GPL, et quelques traces de condensât.
- ❖ Le cinquième train (l'usine de CPF) : Traitement de 10 million Sm<sup>3</sup>/j pour récupérer condensât et éliminer le CO<sub>2</sub>.

- ❖ Un centre de traitement d'huile (l'usine de CSC) : d'une capacité de 1058 m<sup>3</sup>/j. Il consiste à séparer l'huile, l'eau et le gaz, et à envoyer le brut vers HEH (Haoud El Hamra) et le gaz vers la phase A.
- ❖ Un réseau de collectes : contient 37 manifolds
- ❖ Une centrale électrique produit 21 MW de l'énergie propre pour la région.

#### 1.4. Capacité globale de production de Rhourde Nouss:

Le tableau 01 représente la capacité de production du champ de Rhourde Nouss. Selon le design :

**Tableau 01:** Capacité de désigne du complexe RNS [1]

Produits	Quantités
Gaz brut	51 millions SM <sup>3</sup> /j.
Réinjection	75% environ, soit 32 millions SM <sup>3</sup> /j gaz sec.
Commercialisation	20 MMSM <sup>3</sup> /j.
Gpl	3986 T/j.
Condensat	5000 T/j.
Pétrole brut	500T/j.

#### 2. Description du procédé de GPL :

Le gaz d'alimentation provenant des cinq trains de traitement de condensât (93 bar /60°C) se divise en trois branches pour alimenter les trois trains. Un régulateur de pression avec biais permet de contrôler la répartition des charges entre les trois trains.

Le gaz alimentant chaque train de GPL se divise en deux courants : le premier courant passe dans l'échangeur E-01 afin d'être refroidi à -1,5°C en échangeant de la chaleur avec le courant de gaz froid provenant du séparateur de sortie du turbo-expandeur (V-09) et le deuxième courant va vers l'échangeur E-02 à -5°C en échangeant de la chaleur avec le courant de gaz froid provenant du ballon de tête du dééthaniseur V-10. Environ 90 % du débit d'alimentation passe par l'échangeur E-01. Les deux courants de gaz se

rejoignent et sont refroidis dans l'échangeur E-03 par le liquide froid en provenance du séparateur de sortie du turbo-expandeur (V-09). La température de sortie de E-03 est régulière automatiquement à  $-15^{\circ}\text{C}$  en ajustant le by-pass du gaz chaud (TV – 1051). Le gaz refroidi est dirigé vers le séparateur d'entrée du turbo-expandeur (V-08) où le liquide présent dans le courant est séparé du gaz lequel va alimenter l'expandeur. Aux conditions de fonctionnement normales, aucun liquide ne devrait être collecté. Du liquide sera produit seulement lorsqu'une quantité plus importante de condensât sera laissée dans le gaz par les trains de récupération de condensât.

Le débit d'alimentation du train est régulière par le débit à l'expandeur. L'expandeur opère en régulation de débit régulière, dont le point de consigne est ajusté par la pression à l'entrée du manifold de l'usine du GPL. Le turbo-expandeur fonctionne avec une chute de pression d'environ 53 bars et une chute de température de  $38^{\circ}\text{C}$  (opère à 40 bar (a) et  $-53^{\circ}\text{C}$  à la sortie).

L'effluent bi-phasique de l'expandeur est séparé dans le séparateur de sortie de l'expandeur (V-09).

Le gaz est ensuite réchauffé dans le condenseur de tête du dééthaniseur (E-06) à  $-38^{\circ}\text{C}$  et l'échangeur primaire gaz/gaz (E-01) à  $50^{\circ}\text{C}$  avant d'être repris par le turbocompresseur.

A la sortie d'E-06. Une petite fraction du gaz (environ 1,5 %) se dirige vers E-11 pour refroidir à  $45^{\circ}\text{C}$  le GPL produit. Ce gaz se combine avec le gaz sortant de la calandre d'E-11 et se dirige vers le turbocompresseur. Le gaz de refoulement du turbocompresseur (EC-01), refroidi à  $55^{\circ}\text{C}$  dans AE-03, est repris par les compresseurs de gaz de vente (C-01) qui comprime les gaz à la pression de gaz de vente soit 94 bar(a) à la limite de l'unité. L'optimisation de la dimension des compresseurs de surpression et des compresseurs de gaz de vente avec le pourcentage de récupération des GPL, combinée avec cette contrainte de 94 bar(a), a permis de fixer la pression de sortie du turbocompresseur à 50.4 bar(a). La pression de sortie du turbocompresseur étant fixe, la pression et la température de sortie du

turbo-expandeur se trouvent par conséquent fixées tout comme le taux de récupération des GPL.

L'effluent liquide du V-09, réchauffé à  $-5^{\circ}\text{C}$  par l'échangeur E-03, alimente, par régulation de niveau, le dééthaniseur (T-01) au niveau du 14<sup>e</sup> plateau. Le dééthaniseur contient 35 plateaux. L'effluent de tête du dééthaniseur ( $-19,8^{\circ}\text{C}/29\text{ bar(a)}$ ) se condense partiellement à  $-36,5^{\circ}\text{C}$  dans le ballon V-10 en passant par l'échangeur E-06. Les non condensables en tête du dééthaniseur sont réchauffés à  $53^{\circ}\text{C}$  au travers d'E-02, repris par les compresseurs de surpression (C-02) qui les compriment à 50 bar(a) et combinés avec le gaz du compresseur de l'expandeur (EC-01). Le gaz sec combiné est ensuite comprimé à 95 bar(a) par les compresseurs de gaz de vente (C-01) et dirigé vers la phase A pour être véhiculé vers la vente ou vers les unités de réinjection.

Le liquide du ballon de reflux V-10 retourne vers la colonne par régulation de niveau par les pompes de reflux P-03/ A/B. aucun produit liquide n'est soutiré de ce ballon de tête.

La charge thermique requise pour la séparation dans le dééthaniseur est fournie par un circuit d'huile chaude propre à chaque train. L'huile, chauffée dans un four (H-203) à  $270^{\circ}\text{C}$ , est utilisée pour assurer le rebouillage de la colonne à  $99^{\circ}\text{C}$  par E-09. Le rebouilleur est un thermosiphon à circulation naturelle dont le soutirage du produit se fait du rebouilleur. Le produit liquide de dééthaniseur alimente par régulation de niveau, le 15<sup>e</sup> plateau du débutaniseur.

La teneur en GPL dans le gaz de tête du dééthaniseur est régularisée par la température de fonctionnement du ballon de tête (V-10). Cette dernière n'est pas régularisée directement et dépend de la température de sortie du turbo-expandeur qui dépend de la pression de sortie du turbocompresseur et de l'état du train de frigorie en aval de l'expandeur. La teneur en gaz dans le GPL est régularisée en maintenant une température de rebouillage de  $80^{\circ}\text{C}$  au 30<sup>e</sup> plateau de la colonne en ajustant le débit d'huile chaude vers le rebouilleur E-09.

Le débutaniseur (T-02), opérant à une pression inférieure (15 bar(a) en tête) à celle du dééthaniseur. Aucune préchauffe n'est requise pour vaporiser une partie de l'alimentation. Le débutaniseur contient 35 plateaux. L'effluent de tête (66°C/15 bar a) se condense totalement dans le ballon V-11 à 53 °C en passant par l'aéroréfrigérant AE-02. La condensation étant complète. La pression dans le ballon de tête V-11 est régularisée par un by-pass chaud (PV-1035B) autour de EA-02, par une vanne de régulation (PV-1035A) vers la torche et l'ajustement du taux de condensation en variant l'angle des pâles des ventilateurs (HIC-1037) de AE-02.

Une fraction du liquide du ballon de tête. V-11 est utilisé comme reflux par régulation de débit et le reste est envoyé au stockage par régulation de niveau comme produit GPL après avoir été refroidi à 45 °C dans E-11.

La charge thermique requise pour la séparation dans le débutaniseur est fournie par un circuit d'huile chaude propre à chaque train. L'huile, chauffée dans un four à 270°C, est utilisée pour assurer le rebouillage de la colonne à 153°C par E-10. Le rebouilleur est un thermosiphon à circulation naturelle dont le soutirage du produit se fait du rebouilleur. Le produit liquide du débutaniseur est refroidi à 55°C via l'aéroréfrigérant EA-05 avant d'être envoyé vers l'aire de stockage de phase A. Dans le meilleur des cas, le condensât produit aura une TVR de 15,7 psi à cause de la richesse du produit en iC5. De ce fait et pour des raisons de sécurité. Il est prévu de diriger le condensât produit dans le circuit hors norme lors des perturbations des unités de GPL. Le reflux du débutaniseur sera ajusté, selon le bilan-matière, pour obtenir la teneur en C<sub>5</sub><sup>+</sup> requise dans le GPL. La teneur en GPL dans le condensât (et sa TVR) est ajustée en contrôlant la température de rebouillage à 141°C au 30<sup>e</sup> plateau de la colonne en contrôlant le débit d'huile chaude vers E-10.

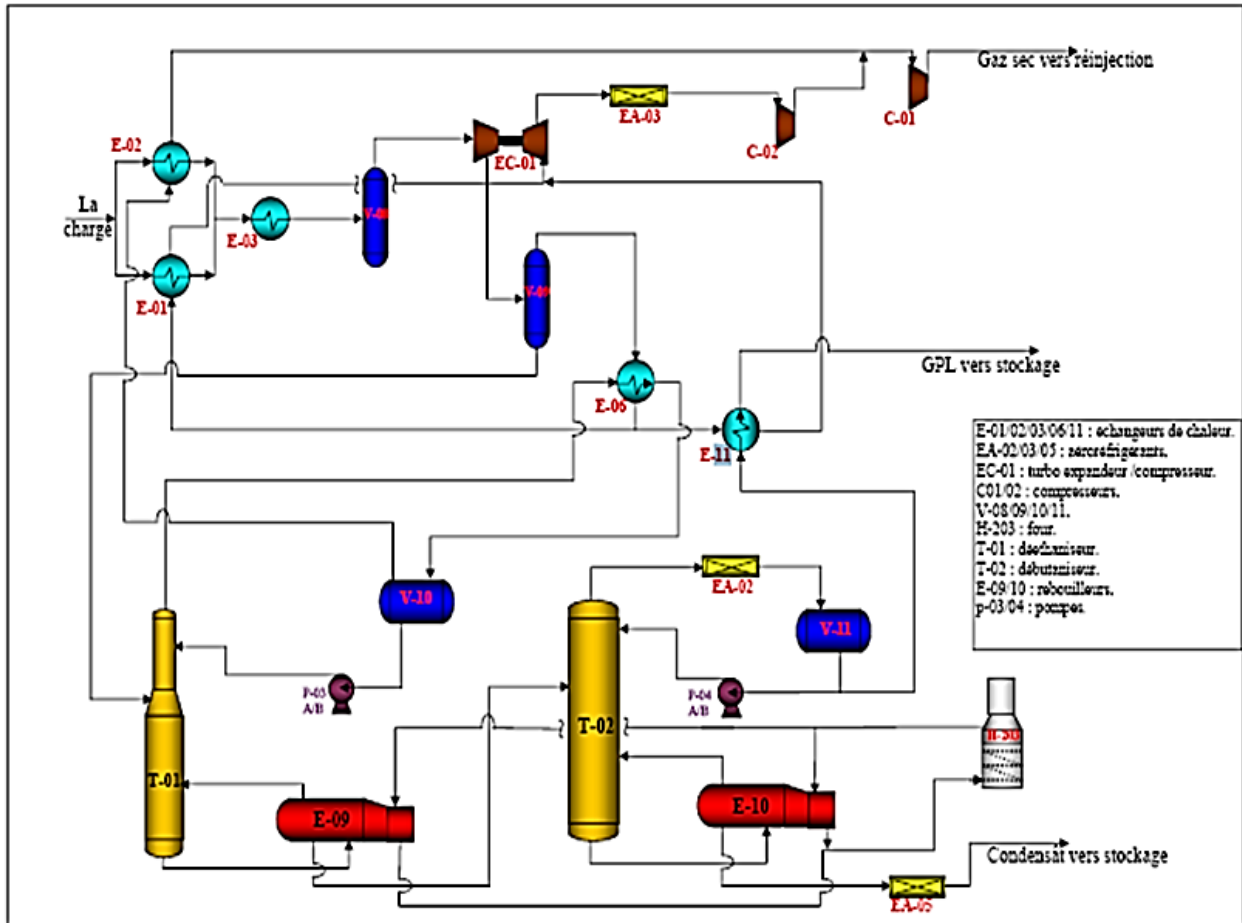


Figure 02. Schéma général de l'usine de GPL

# **Chapitre II**

## **Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL)**

## Chapitre II : Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Historiquement, ce type de gaz a été libéré en tant que produit de rebut de l'industrie de l'extraction du pétrole. [3]

Appelé aussi gaz de torchère, Il est séparé directement lors de l'extraction du pétrole. Pendant longtemps, ce gaz était considéré comme un parent pauvre de l'exploitation du pétrole, que l'on voyait sur les champs pétroliers mondiaux, des centaines de torchères brûlant à l'air libre la plus grande partie du gaz produite en même temps que le pétrole. Il était considéré comme un déchet, ce qui constitue un gaspillage de ressources énergétiques non renouvelables et une pollution inutile.

### 1. Définition :

Le gaz de pétrole liquéfié ou GPL est un mélange gazeux d'hydrocarbures légers composé d'environ 80% de butane ( $C_4H_{10}$ ) et 20% de propane ( $C_3H_8$ ) (ce sont des hydrocarbures saturés) à température ambiante et pression atmosphérique, mais il peut être à l'état liquide, dès qu'on le soumet à l'une des conditions suivantes [6] :

- Pression relevée à la température ambiante.
- Pression atmosphérique et température basse.
- Pression modérée et température partiellement basse [7] .

Cette propriété, leur confère l'avantage de manipuler et/ou d'emmagasiner une importante quantité d'énergie sous un très faible volume (1 litre de GPL liquide égal 250 litres de GPL gazeux), ce qui permet de le transporter plus facilement que pour les gaz non condensables (méthane, éthane) qui exigent des pressions très élevées pour pouvoir être liquéfiés à la température ambiante, et de le commercialiser aisément, dans des bouteilles en acier. La production de ce carburant est issue du raffinage du pétrole (40 % des ressources mondiales) et plus généralement du traitement du gaz naturel (60 % des ressources mondiales). Ainsi, les GPL existent aussi à l'état naturel. Dans le passé, les GPL étaient détruits par torchage (brûlage des gaz indésirables), gaspillant le potentiel de cette énergie exceptionnelle.

La composition chimique du GPL est variable selon les normes et ses utilisations dans différents pays (50% butane ,50% propane en France et 95% butane ,5% propane aux états-unis). Il peut contenir, le propylène, butène et une faible quantité de méthane( $CH_4$ ), éthylène, pentane ( $C_5H_{12}$ ), et exceptionnellement des hydrocarbures tels que le butadiène, l'acétylène et le méthylacrylique.[8]

## **2. Origine des GPL :**

Le GPL provient de deux origines :

### **❖ Fractions lourdes de l'extraction de gaz naturel :**

Les champs de gaz (pour plus de 60%). En moyenne, un champ de gaz naturel fournit près de 90% de méthane ( $CH_4$ ) mais aussi 5% de propane et 5 % d'autres gaz dont le butane. Schématiquement, on refroidit le gaz naturel extrait pour en séparer les différents constituants.

On obtient alors des GPL (butane et propane à l'état liquide), alors que le méthane se trouve encore à l'état gazeux, ces gaz ayant des points de liquéfaction différents. Du butane et du propane sont également récupérés lors de l'extraction de pétrole, sous forme de gaz associés dissous (d'où l'appellation de « de gaz de pétrole » liquéfiés). Les pourcentages de butane et du propane contenus dans le gaz naturel et le pétrole brut sont très variables d'un gisement à un autre.

### **❖ Fractions légères du raffinage du pétrole :**

Lors du raffinage du pétrole brut, le butane et le propane constituent entre 2 et 3% de l'ensemble des produits obtenus. Ils constituent les coupes les plus légères issues de la distillation du pétrole brut. Ces gaz sont également récupérés à l'issue d'opérations de traitement « secondaires », après la phase de distillation. Selon sa provenance, une tonne de pétrole brut traitée produit 20 à 30 kg de GPL, dont 2/3 de Butane et 1/3 de Propane. Au total, les GPL ne pourront dépasser 5% de la ressource mondiale en hydrocarbures.

### 3. Caractéristique du GPL:

- **Densité** : Aux conditions normales de température et pression, les GPL sont plus lourds que l'air, il est diminué avec l'augmentation de la température à titre exemple: à **38°C** la densité est égale **0,534**, la densité est très importante dans le GPL commerciale.
- **Dilatation** : à l'état liquide, ils ont un coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage, car les sphères ne doivent jamais être remplies. complètement.
- **Tension de vapeur** : Soumis à des températures supérieures à leur point d'ébullition, le propane et le butane ne peuvent être amenés à l'état liquide sous pression ou par réfrigération. Le GPL à une tension de vapeur, à **20°C**, égale à :
  - Pour le butane : **2 bars**.
  - Pour le propane: **8 bars**.
- **Température d'ébullition** : À la pression atmosphérique, la température d'ébullition du butane est de **-0.6 °C** et celle du propane est de **-40 °C**.
- **Impuretés** : Le **GPL**, produit au niveau des différents champs, doit répondre aux spécifications suivantes:
  - Teneur en gaz sec inférieure ou égale à **3% mol**.
  - Teneur en condensât inférieure ou égale à **0.4% mol**.
- **Odeur et couleur** : Le **GPL** est incolore, soit à l'état vapeur ou liquide et pratiquement inodore. Pour des raisons de sécurité. un odorant doit être ajouté pour la détection des fuites. Cet odorant est à base de soufres appelés Mercaptans.
- **Toxicité** : Le **GPL** s'enflamme dans l'air, il émet un gaz considéré comme toxique. Le gaz en question est dénommé le monoxyde de carbone qui est formé suite à une combustion.
- **Pouvoir calorifique supérieur**: C'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques.

### 4. Les différentes utilisations du GPL :

Grâce à leur fort pouvoir calorifique, à leur grande pureté et à la propreté de leur combustion ainsi qu'à la commodité de leur transport, les GPL sont la seule énergie à

pouvoir répondre à une large variété d'usages, ils sont largement utilisés dans les secteurs industriels, commerciaux, domestiques ou dans le domaine des loisirs.

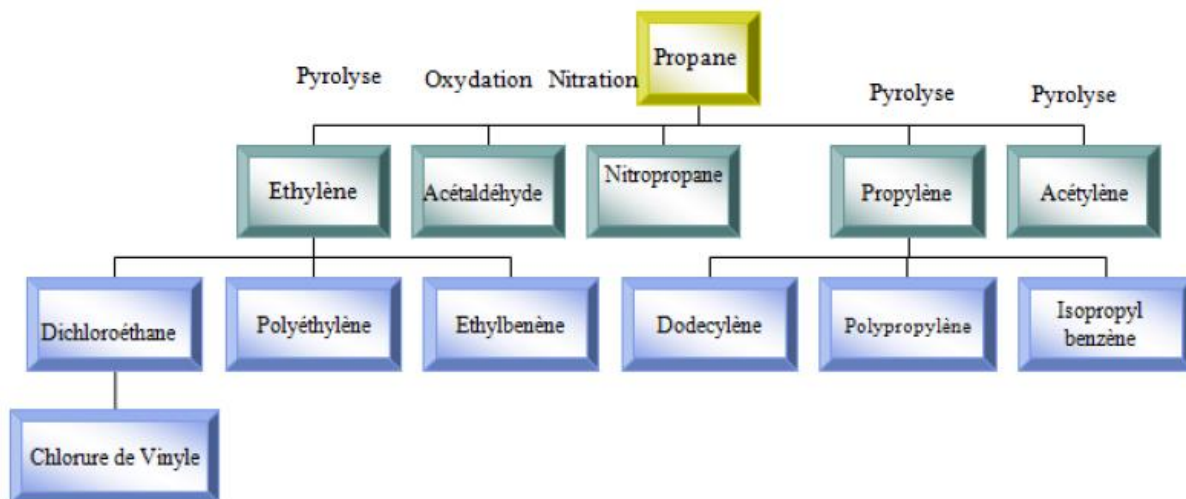
Les GPL sont utilisés aussi comme gaz combustible ou comme carburant automobile ou encore comme matière première pour la pétrochimie [6].

#### 4.1. Dans la pétrochimie :

##### ❖ Propane :

Le propane est essentiellement utilisé comme combustible domestique, cependant l'industrie pétrochimique en consomme 18% comme charge pour l'obtention de différents produits à savoir:

- Acétaldéhyde, formaldéhyde, acide acétique par oxydation.
- Ethylène et propylène par pyrolyse.
- Nitroéthane et nitropropane par nitration.



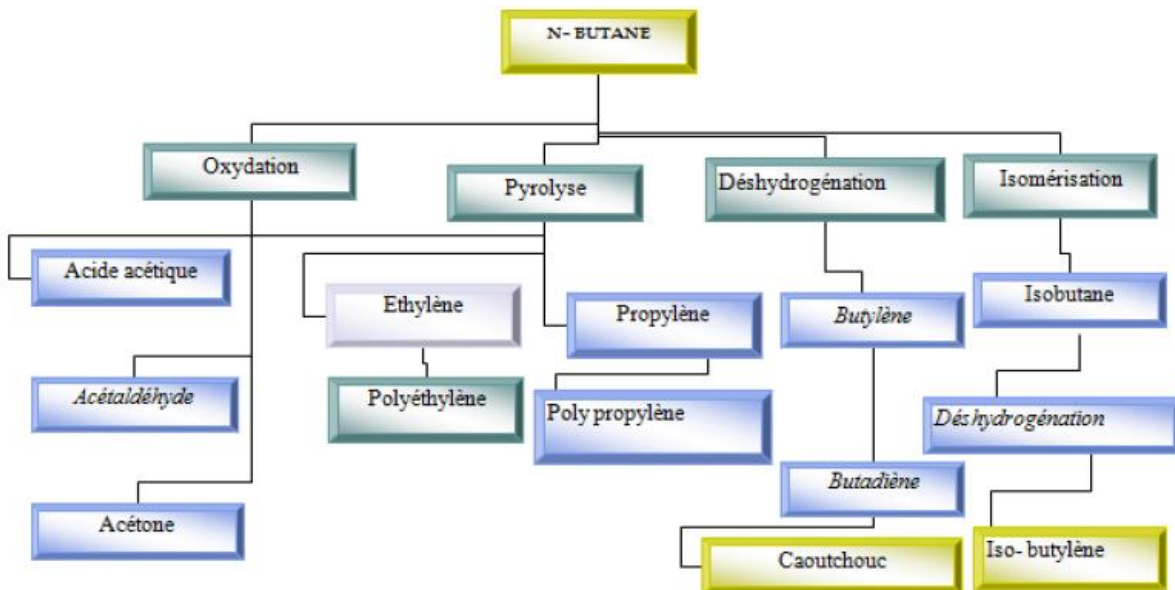
**Figure 03.** Principales transformations du propane [6].

##### ❖ Butane :

L'usage principal du butane est la fabrication d'essences.

L'isobutane est utilisé pour la production d'alkylats et le n-butane est mélangé directement dans le pool essence pour régler la tension de vapeur, on utilise ainsi le butane pour l'obtention de :

- Butadiène par déshydrogénation du n-butane
- Anhydride maléique par oxydation.
- L'iso butylène formé lors de la déshydrogénation de l'isobutane, sert de matière première pour la fabrication de plastique, caoutchouc et aussi pour la fabrication des produits pharmaceutiques et cosmétiques.



**Figure 04.** Principales transformations du butane [6].

## 4.2. Utilisations domestiques :

### ❖ Cuisiner :

Cuisiner est une des activités indispensables les plus énergivores au monde. Dans les pays industrialisés, les consommateurs ont la possibilité généralement de choisir une cuisinière ou un four fonctionnant au butane ou propane (les GPL), au gaz naturel ou à l'électricité. Dans les pays en voie de développement, la majorité des habitants utilisent des

combustibles locaux (par exemple le bois, les résidus de récolte ou les déjections animales) avec des incidences néfastes pour la santé (particules – produits chimiques – suies...) comme pour l'environnement (déforestation...) [9].

❖ **Chauffage :**

Maisons (et hôtels) exigent une source d'énergie fiable pour une variété d'applications comprenant le chauffage central, production d'eau chaude, le chauffage des piscines voire la climatisation, par exemple, en sus de la cuisson. Les GPL peuvent répondre à tous ces besoins et présentent l'avantage supplémentaire de garantir particuliers et entreprises des risques de ruptures ou de fluctuations d'alimentation en énergie [6].

❖ **Climatisation :**

Dans les climatiseurs ou les réfrigérateurs [10].

-Soit la détente de GPL absorbe la chaleur de l'environnement pour s'évaporer et crée un froid.

-Soit un moteur fonctionnant au GPL peut entraîner un compresseur qui comprime le gaz GPL.

**4.3. Utilisations industrielles et artisanales :**

Le propane intervient dans de nombreux travaux de fabrication, manuels ou mécaniques. Il convient aussi bien aux grands ensembles de production d'un automatisme poussé qu'aux installations les plus modestes.

Exemples :

- Climatisation et refroidissement à l'échelle industrielle.
- Production des carburants.
- Centrale électrique : combustible pour la génération électrique.
- Industrie chimique

- Chauffage de bacs d'acide.
- Fabrication de produits insecticides.
- Fabrication de caoutchouc synthétique.
- Aérosols.
- Production de gaz inerte.
- Matières plastiques .
- Ramollissement avant formage.
- Chauffage d'objets métalliques avant enrobage ; cuisson avant enrobage.
- Travail au chalumeau.

#### 4.4. Utilisation comme GPLC (carburant) :

Les GPL sont utilisés également comme carburant efficace pour les véhicules, les bateaux de plaisance, les montgolfières qu'ils alimentent en air chaud, les chariots élévateurs. car ils préservent les performances du véhicule et peuvent réduire l'usure du moteur .La consommation mondiale du GPL comme carburant s'élevait à près de 20 millions de tonnes en 2010 [10].

**Tableau 02:** Comparaison entre le pouvoir calorifique de GPL et celui de l'essence.

<b>Pouvoir calorifique GPL Essence</b>	<b>GPL</b>	<b>Essence</b>
<b>Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/ kg)</b>	11300	11850
<b>Pouvoir calorifique inférieur (Kcal/kg)</b>	10500	11000
<b>Pouvoir calorifique supérieur (Kcal/L)</b>	8200	6480
<b>Pouvoir calorifique inférieur (kcal/L)</b>	7600	6050

#### **4.5. Le GPL dans la production d'électricité :**

Il est utilisé pour la génération d'électricité, il pourrait être important si les conditions de nature économique venaient à être favorables, les marchés ciblés à cet effet sont attractifs pour le GPL.

La production d'électricité en Algérie est effectuée uniquement par le gaz naturel, les GPL ne sont pas introduits jusqu'ici dans la génération d'électricité.

#### **4.6. Le GPL dans L'agriculture :**

L'utilisation du GPL dans ce secteur sera orientée vers l'aviculture, et certaines cultures sous-verre, le niveau de consommation prévu est relativement faible (40.000 tonnes/an) pour le court terme et il est attendu une évolution plus significative à moyen et long terme particulièrement par son introduction dans le domaine de l'élevage (éclairage, climatisation, chauffage... etc.).

La distribution des GPL est assurée par voie routière et ferroviaire depuis les centres de stockage vers les citernes, les revendeurs de bouteilles et les stations de GPL carburant [8].

### **5. Risques et sécurité des GPL :**

Les GPL peuvent constituer une source de danger dans la mesure où les précautions suivantes n'ont pas été prises en considération :

- Les GPL peuvent présenter un risque d'incendie dès qu'une fuite se produit ou dès que le gaz s'échappe dans l'atmosphère.
- Les GPL ne sont jamais remplis dans les réservoirs à plus de 85 % (15% du réservoir est réservé pour la dilatation).
- Les GPL étant plus lourds que l'air, ils risquent, en cas de fuite, de s'accumuler au niveau du sol et dans les parties basses, comme les caves. Cela entraîne un danger d'explosion lorsque l'accumulation permet un mélange GPL/air adéquat et qu'il y a une source d'inflammation. Cela entraîne également un danger d'asphyxie, les GPL remplaçant l'air

et diminuant donc la concentration en oxygène. Donc il faut éviter les cavités, il faut aérer et ventiler les endroits pollués.

- Ils ont une viscosité faible, ceci augmente les fuites, donc il faut éviter au maximum les assemblages non soudés.
- Purger les canalisations de liquide après dépotage afin d'éviter les risques de rupture des réservoirs s'ils sont remplis [11].
- Les GPL liquide par évaporation peuvent causer des brûlures.
- La dissipation de gaz est lente, il faut aérer.
- La limite inférieure d'inflammabilité du gaz est environ de 2% de gaz dans l'air et le mélange devient inflammable en cas de fuite.
- Pour faciliter la détection des fuites, un gaz odorant est ajouté aux gaz (naturel ou GPL) : cette odeur caractéristique "d'oeuf pourri" permet de détecter à l'odeur une concentration de gaz dans l'air très inférieure à la limite inférieure d'explosibilité.
- Une série d'accidents impliquant des véhicules au GPL motivent un changement de réglementation rendant obligatoire l'installation d'une soupape de sécurité et d'un clapet anti-retour sur les réservoirs de GPL, pour en éviter l'explosion en cas de feu.
- Toutes les installations subissent des contrôles réguliers, notamment réalisés par les DREAL

(Directions Régionales de l'Environnement, l'Aménagement et du Logement).  
L'installation des réservoirs de GPL doit respecter des règles de distances de sécurité vis-à-vis des habitations et de la voie publique, d'entretien de l'environnement autour du réservoir.

Des mesures de sûreté doivent être également prises par les usagers afin d'éviter tout risque. Les bouteilles de GPL doivent en particulier être placées bien droites verticalement et de façon stable à plus d'un mètre des ouvertures d'un bâtiment et sur un sol incombustible, c'est-à-dire exempt de papiers, chiffons, essences, herbes sèches et de tout autre produit facilitant un départ de feu [13].

## 6. Stockage des gaz liquéfiés :

Il est indispensable de penser, d'ores et déjà, à la valorisation des excédents de GPL pour ne pas avoir à les torcher ; il faut prévoir des moyens efficaces pour le stockage.

### Problématique :

Une extension de la capacité de stockage en surface pour recevoir de grandes quantités de GPL excédentaires est à écarter à cause de ses coûts élevés et l'incertitude des quantités de GPL à stocker, quant aux techniques de stockage souterrain en usage actuellement dans le monde, elles peuvent apparaître difficiles à envisager à cause des investissements élevés qu'elles requièrent. Certains experts de SONATRACH proposent un procédé de stockage qui consiste à réinjecter le GPL sous forme liquide au sein même du gisement du gaz où il est produit à l'aide d'un ou plusieurs puits injecteurs de GPL liquide et possibilité de stocker de grands volumes de GPL avec un investissement minime en plus de la possibilité de déstocker à n'importe quel moment. La distribution des GPL a débuté dans des bouteilles dès les années 1930 et s'est étendue avec le développement du stockage dans les récipients en acier ou en aluminium de capacité pouvant varier de 150 g à 3000 T dans les années 1960.

### 6.1. Types de stockage :

Le GPL est stocké en utilisant plusieurs techniques [11] :

- ❖ **Stockage sous pression** : le GPL est stocké à l'état liquide sous pression de 14 à 14,5 bars à la température ambiante et cette pression est maintenue avec fuel gaz ,dans le but d'éviter la perte des vapeurs de GPL qui se dégagent par ébullition et ce qui permet d'avoir un volume plus réduit (plus de 250 fois). Les réservoirs utilisés pour le stockage sont sous formes sphérique ou bien cylindrique à axe horizontal (cigare) à des capacités différentes, revêtus d'une peinture qui réfléchit la chaleur et munis d'une soupape de sécurité.
- ❖ **Stockage réfrigéré** : sous pression où les gaz liquéfiés sont stockés à des températures voisines ou inférieures à 0°C, cela permet une réduction importante de la pression de

stockage c'est le cas des produits volatils (ex : propylène, butadiène stocké à 0°C et 4,5 bars).

❖ **Stockage cryogénique** : pour les gaz incondensables à la température ambiante. La pression de stockage est légèrement supérieure à la pression atmosphérique, la température est alors voisine de la température normale d'ébullition du produit.

#### 6.1.1. Réservoirs cylindriques (cigares) :

- Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement.
- Ils ont une capacité limitée (jusqu'à 500 m<sup>3</sup>) et sont sensibles à la mise sous vide, très peu résistantes au vide (0,1 bar maxi).
- Les équipements rencontrés sur ces capacités sont identiques à ceux équipant les sphères.

#### 6.1.2. Les sphères :

La forme sphérique permet de mieux utiliser la résistance de la tôle et d'obtenir un moindre coût d'investissement. La gamme de capacités réalisables va de 200 m<sup>3</sup> (7 m de diamètre) jusqu'à 7000 m<sup>3</sup>.

Certaines résistent peu au vide, d'autres sont calculées pour résister à un vide de - 0.6 bar et parfois jusqu'au vide « total ».

#### 6.1.3. Les réservoirs sous terrains :

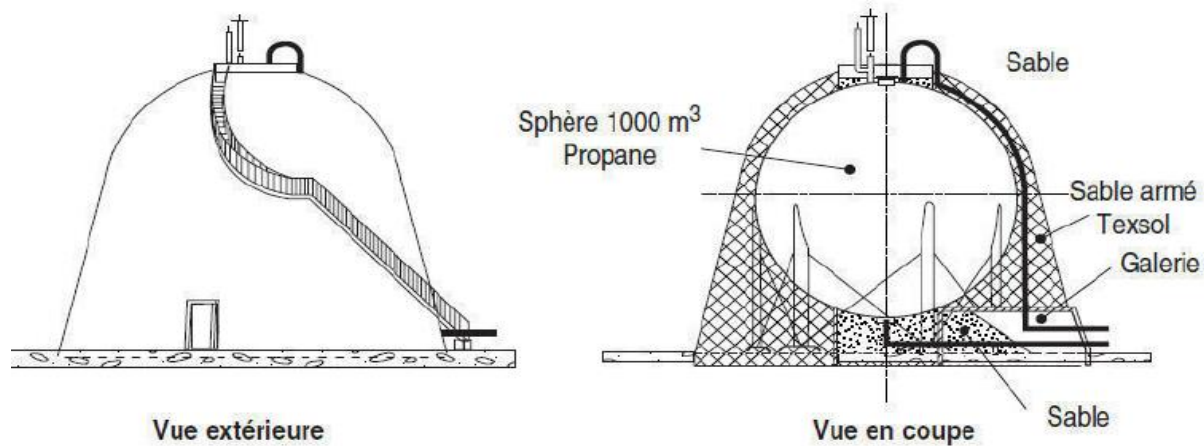
Les gaz liquéfiés sont stockés dans des cavités creusées dans la roche (calcaire, craie...) à partir d'un puits central ou à partir d'une rampe d'accès. Ça permet le stockage d'une grande quantité du gaz liquéfié en toute sécurité.

#### 6.1.4. Stockage sous talus :

Réservoirs dont les parois sont recouvertes avec une couche protectrice à l'égard des effets thermiques et mécaniques. Cette couche protectrice a une épaisseur minimale

d'un mètre (1 m) de matériau dense et inerte (terre, sable, matériau composite). Le principal avantage est la sécurité accrue par rapport à l'environnement.

La couche de sable ou de terre offre une protection contre le rayonnement thermique, les ondes de choc et la projection d'éclats consécutifs à un incident sur une installation proche.



**Figure 05.** Sphère existante sous talus.

La pression de service et donc les pressions de calcul sont moindres en raison de l'effet d'écran thermique du talus.

Pour les réservoirs sous talus, la pression de calcul actuellement retenue correspond à la pression d'équilibre de la phase gaz du liquide à 30°C (soit 12 bars pour le propane). Pour les réservoirs aériens la température retenue est généralement de 40°C (soit 16 bar pour le propane).

## 7. Transport des GPL :

Les GPL sont transportés selon différentes modes [12]:

### 7.1. Le transport par pipelines (Canalisations) :

Ce mode de transport est utilisé dans le cas d'un transfert de quantités importantes de GPL de leur point de récupération vers des unités de séparations ou vers les stockages importants.

Ce mode de transport est retenu également dans le cas d'acheminement des GPL sur de longues distances ; et il est plus économique.

### **7.2. Transport par wagon- citernes :**

Pour des quantités plus petites, il est préférable d'utiliser la voie ferroviaire. Dans ce cas le train comporte plusieurs wagons-citernes dont la capacité unitaire est de 50 tonnes. Les wagons - citernes sont sous pression et sont fabriqués conformément à des normes contrôlées. Ce mode de transport est surtout utilisé pour la livraison des GPL à partir des raffineries vers des stockages primaires ou à partir des stockages primaires vers des stockages secondaires.[13].

### **7.3. Le transport par bateaux (Transport maritime) :**

Ce mode de transport est utilisé fréquemment pour les échanges internationaux. Dans ce cas, les GPL sont stockés dans des réservoirs réfrigérés (jusqu'à -50°) ou sous pression [13].

### **7.4. Le transport par camions - citernes :**

C'est le mode de transport le plus utilisé pour le transport de petites quantités de GPL sur de courtes distances à partir des centres de stockages vers les utilisateurs [13].

# **Chapitre III**

## **Théorie sur le transfert de chaleur et la vaporisation**

## Chapitre III : Théorie sur le transfert de chaleur et la vaporisation

### 1. Théorie sur le transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur est l'un des modes, les plus connus d'échange d'énergie. Lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un système à des températures différentes sont mises en contact, on constate une tendance à l'égalisation des températures. On dit qu'il y'a transfert de chaleur. Le transfert de chaleur obéit aux principes fondamentaux de la thermodynamique, mais les lois de la thermodynamique ne suffisent pas pour expliquer de quelle manière s'effectue le transfert de chaleur ou pour prévoir la vitesse de ce transfert. Le transfert de chaleur est donc régit par d'autres lois, très importantes dans différentes branches de l'industrie. Citons par exemple pour le génie chimique.

Pour se transmettre, la chaleur fait appel à trois mécanismes fondamentaux :

- La conduction.
- La convection.
- Le rayonnement.

#### 1.1. Définitions :

- **La Quantité de chaleur :**

C'est une quantité d'énergie calorifique mise en jeu (absorbée, produite ou transférée).

On l'exprime dans le système international d'unités (SI), en joule (J) ou en calorie (1cal =4.1855 J).

- **Température (T) :**

C'est la grandeur physique qui caractérise la variation des propriétés physiques des corps chauffés ou refroidis. On peut le repérer dans une échelle conventionnelle, comme

l'échelle Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), ou bien on la mesure dans une échelle absolue définie en s'appuyant sur la loi de la thermodynamique, comme l'échelle Kelvin (**K**).

### **1.2. Phénomène de conduction thermique :**

Ce transfert de chaleur est le seul que l'on puisse rencontrer dans les solides. La propagation de la chaleur s'effectue d'atome en atome, de proche en proche, par transmission d'énergie d'agitation thermique. En milieu solide les atomes, dont les positions d'équilibre sont fixes dans l'espace, transfèrent de la chaleur sans déplacement de matière. La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier: le flux de chaleur est proportionnel au gradient de température .

### **1.3. Phénomène de convection thermique :**

C'est, de façon générale, un transfert de chaleur entre deux phases de nature différente. Elle intervient, par exemple, à la surface de séparation entre un solide et un fluide (liquide ou gaz ), ou aussi bien, à la surface libre entre un liquide et un gaz. Le transfert de chaleur s'effectue en 2 phases : 1ère phase : la chaleur est échangée par conduction entre la surface solide et une mince couche de fluide (appelée "film"), au voisinage de la surface. 2ème phase : le fluide du film est déplacé dans la masse du fluide ; ce déplacement du fluide est, soit naturel (variation de la masse volumique du film chauffé ou refroidi, par rapport celle du fluide en masse), soit artificiel (action d'une pompe, d'un agitateur). On parle alors soit de convection naturelle, soit de convection forcée. Donc, le transfert de chaleur par convection est provoqué par le déplacement d'un fluide, qui transporte avec lui l'énergie qu'il contient.

**a-** Des caractéristiques de la paroi en contact avec le fluide : forme, dimension et état de surface.

**b-** De la manière dont le fluide circule par rapport à la paroi : orientation de la vitesse et grandeur de cette vitesse.

**c-** Des caractéristiques physiques du fluide : conductivité thermique, chaleur massique,

masse volumique et viscosité.

#### **1.4. Phénomène de rayonnement :**

Tous les corps quelque soit leur état : solide, liquide ou gazeux, de température absolue  $T > 0 \text{ K}$ , émettent des ondes électromagnétiques ; on dit qu'ils émettent "un rayonnement thermique". En plus, au processus d'émission de rayonnement thermique s'ajoute un processus d'absorption des radiations électromagnétiques provenant de l'environnement de ces corps. Leur état thermique est alors régi par le bilan des processus d'émission et d'absorption. Le rayonnement thermique correspond à un transfert de chaleur ne nécessitant aucun support matériel, c'est ainsi que la terre est "chauffée" par le rayonnement thermique du soleil qui s'est propagé dans le vide, de la surface solaire, qui l'a émis, jusqu'à la terre qui l'absorbe. Le flux de chaleur échangé entre la surface  $S$  et l'environnement est donné par loi de Stefan-Boltzmann

## **2. Vaporisation :**

### **2.1. Définition :**

La vaporisation est la transformation isotherme d'une phase liquide pure en vapeur. Cette opération est réalisée en interposant une paroi métallique entre le liquide à vaporiser et le fluide chauffant. L'observation courante met en évidence trois formes de vaporisation, différenciées non seulement par leur manifestation visuelle, mais également par leur mécanisme interne

### **2.2. Types de vaporisation :**

#### **2.2.1. Evaporation :**

Un liquide contenu dans un récipient disparaît au bout d'un temps plus ou moins long ; on dit qu'il s'évapore. Cette vaporisation lente et naturelle, en l'absence de toute source contrôlée de la chaleur, correspond à un phénomène diffusionnel affectant uniquement l'interface liquide air. La transformation des molécules liquides en molécules gazeuses s'effectue sous l'action d'un potentiel, mesurée par la différence des valeurs de tensions de vapeur du liquide à la température considérée et de sa pression partielle dans

l'air au voisinage immédiat de l'interface. La chaleur de vaporisation est fournie par le réservoir de chaleur que constitue l'atmosphère. A par la constatations d'une baisse de niveau, aucune manifestation visuelle n'accompagne le phénomène.

Le taux de vaporisation est liée aux deux résistances constituées d'une part, par le transfert de chaleur en conduction et convection à travers la paroi de récipient et le milieu liquide, et d'autre part, par le film de résistance diffusionnel a l'interface. Pour un liquide peu volatil, tel l'eau, c'est la diffusion en surface qui limite l'évaporation, de sorte que la température de liquide reste constante. Au contraire, pour un liquide volatil, éther par exemple, l'échange thermique par conduction et convection pressente une résistance importante alors que la diffusion est rapide ; il s'en suit une baisse de température de liquide qui revient réduit par contre-coup, le potentiel de diffusion.

L'évaporation est caractérisée par des variations de température très faibles entre l'atmosphère, milieu chaud, et l'interface liquide-air, ainsi que par des coefficients de transfert relativement faible. En utilisant un grand interface bien ventilés, on peut atteindre des faibles vaporisations important mais la phase gazeuse engendrée, fortement diluée dans l'air, doit être considérée comme irrécupérable, de sorte que malgré un coût réduit, ce procédé de vaporisation a reçu très peu d'application industrielle (marais salants, tour de refroidissement des eaux industrielles).

Dans l'industrie, on pratique couramment un abus de langage, en désignant par évaporateur, tout appareille que l'on effectue la vaporisation de l'eau sous pression ou sous vide, en fournisse de la chaleur au système : évaporateur de central thermique, évaporateur sous vide pour la concentration de solution aqueuse, etc.

Par contre, toutes les installations dans le but est de refroidir la température de l'eau : tours ou colonnes sous vide de refroidissement, relèvent effectivement de la technique de l'évaporation.

### 2.2.2. Ebullition :

Lorsque la vaporisation est réalisée en absence de l'air, tout au moins au voisinage de l'interface, et que la chaleur nécessaire au changement d'état est fournie par source thermique contrôlée, dont la température est légèrement supérieure à celle de fluide on observe alors l'ébullition. La vaporisation s'amorce au niveau de la paroi chaude, grâce à la présence d'imperfections qui retiennent des micros bulle du gaz a la surface du métal et qui l'on appelle des « germes ». Les bulles de vapeur prennent donc naissance à partir de ces germes commencent à se développer, tout en restant accrochées à la paroi sous l'effet du force de capillarité : lorsque leur diamètre atteint une certaine valeur, elle se détache de la paroi,

S'élèvent dans le liquide en continuant à grossir, puis finalement viennent éclater a la surface libre en se mélangeant a la phase vapeur déjà former. Ce type de vaporisation engendrée à partir germes et quelque fois désigner par « ébullition nucléée » ((nucleateboiling)) pour des parois parfaitement propre et polies, l'absence presque totale de germe permet la surchauffe du liquide, c'est-à-dire d'obtenir un état métastable de la phase liquide au-dessous de sa température d'ébullition. L'apport de la moindre impureté fait cesser brutalement cette surchauffe sous forme d'une vaporisation intempestive jusqu'à ce que le liquide fasseretrouver sa température normale de saturation.

C'est sur le principe de l'ébullition nucléée que fonctionnent tous les appareils générateur de vapeur : chaudières, bouilleurs, rebouilleur de fond de colonne de distillation, évaporateur, vaporiseur, ....etc.

### 2.2.3. Caléfaction :

Lorsque la différence de température entre la paroi métallique et le liquide est très grandes, la vaporisation s'amorce toujours au niveau des germes ; mais le nombre et l'importance du bulle initiale sont tels qu'immédiatement la paroi se recouvre d'un film vapeur contenue qui s'interpose, comme une résistance au transfert, entre la paroi métallique et le liquide. La vaporisation s'effectue alors à l'interface entre le liquide et le film vapeur qui se

substituée à la paroi en tenant qu'élément chauffant. Dans ces conditions, le coefficient de transfert reste faible, par suite de la résistance importante créée par le film de vapeur. Ce phénomène s'observe lorsque l'on dépose une goutte d'eau sur une surface polie très chaude ; la goutte reste suspendue au-dessous de son métal de vapeur et se résorbe progressivement. La trempe des métaux procède de la même mécanisme. Lorsque dans un rebouilleur, on utilise un fluide chauffant trop chaud, on constate des irrégularités dans la vaporisation, provoquant des à-coups bruyants ; ceux-ci sont dus au décollage du film de vapeur qui brutalement remplacé sur la paroi par le liquide froid.

### 3. généralité sur les échangeurs et les fours :

Les échangeurs, sont des équipements permettant d'abaisser, de relever la température d'un fluide, ou de modifier son état physique.

Dans les procédés pétrochimiques, il est nécessaire de modifier la température où l'état d'un fluide pour le séparer le distiller, le stocker et le transporter. Pour cela on doit lui ajouter ou lui enlever une certaine quantité de chaleur via des équipements de transfert de chaleur : Échangeur, condenseur, réchauffeur.

#### 3.1. Les différents types d'échangeurs :

##### 3.1.1. Les échangeurs à plaques :

Un échangeur à plaques est constitué d'un ensemble de plaques métalliques embouties au travers desquelles s'effectue le transfert de chaleur entre deux fluides.

- **Les plaques** sont serrées entre un bâti fixe et un bâti mobile. Elles sont positionnées et guidées par deux barres support inférieure et supérieure.
- **Les bâtis** maintiennent les plaques serrées au moyen de tirants. Les deux barres guides sont-elles même supportées par un pied support.
- **Un joint** par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques.

Le raccordement des fluides s'effectue généralement sur le bâti fixe de l'appareil.

L'emboutissage des plaques en chevrons ou en cannelures (industrie alimentaires) favorise la turbulence des fluides et assure une bonne tenue à la pression.

Les fluides circulent alternativement entre les plaques. Grâce aux corrugations l'écoulement est souvent turbulent même à faible vitesse, générant ainsi des coefficients d'échange très élevés.

➤ **Sens de circulation des fluides :**

Deux types de circulation sont possibles :

▪ **Circulation à Co-courant (ou anti méthodique) :**

Dans ce cas les deux fluides circulent dans le même sens.

La différence de température entre les deux fluides est donc maximum à l'entrée de l'échangeur (risque de choc thermique) et tend vers 0 à la sortie de l'échangeur.

On est donc limité par le fait que  $\theta_2 < T_2$ .

Ce type de circulation des fluides est le moins efficace. [15]

▪ **Circulation à contre-courant (ou méthodique) :**

Dans ce cas les deux fluides circulent en sens inverse.

La différence de température entre les deux fluides reste donc constante dans tout l'échangeur.

De plus on peut avoir  $\theta_2 < =$  ou  $> T_2$  ce qui permet d'utiliser une plus grande plage de température. Ce type de circulation des fluides est le plus efficace.

**3.1.2. Les échangeurs tubulaires :**

Un des fluides circule dans un faisceau de tubes monté sur deux plaques tubulaires.

Ce faisceau est logé dans une calandre munie de tubulures d'entrées et de sortie pour le fluide circulant à l'extérieur des tubes du faisceau.

Ce fluide suit un trajet imposé entre les chicanes, celles-ci ont pour rôle entre autres de supporter les tubes du faisceau afin d'éviter leurs déformation.

**a. Les échangeurs à faisceau tubulaire :**

Les échangeurs tubulaires sont constitués :

- d'un faisceau tubulaire

- d'une calandre
- de boîtes de distribution et de retour

Le **faisceau tubulaire** est composé de deux à plusieurs centaines de tubes soudés ou dudgeonnés à leur extrémité sur une plaque

La **calandre** est un tube cylindrique de gros diamètre dans laquelle est placé le faisceau tubulaire.

Les **boîtes de distribution et de retour** sont fixées aux extrémités et servent de collecteur pour le fluide circulant dans les tubes.

### **b. Les échangeurs type KETTLE (AKT) :**

Cet appareil, est utilisé quand il s'agit de vaporiser partiellement ou totalement un liquide et, est conçu pour assurer la séparation des deux phases. Le liquide à vaporiser vient baigner le faisceau tubulaire à l'intérieur duquel circule le fluide chaud. Un déversoir maintient le niveau liquide juste au-dessus du faisceau, sauf dans le cas des générateurs de vapeur.

La calandre est d'un diamètre nettement supérieur à celui du faisceau, ce qui aménage une zone de désengagement de la vapeur et permet d'éviter les entraînements de liquide.

La vapeur produite sort par la ou les tubulures situées sur la partie supérieure de la calandre.

Le liquide non vaporisé passe au-dessus du barrage et il est soutiré de l'appareil généralement sous contrôle de niveau (les prises de niveau apparaissent sur le schéma).

Ici, le faisceau (à deux passes) est du type en U mais on utilise également des fonds flottants

Ce type d'appareil tolère des taux de vaporisation élevés. Mais le temps de séjour du liquide y est relativement grand, ce qui favorise l'encrassement.

### **c. Les échangeurs à tête flottante :**

L'une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre. Ces appareils,

permettant l'expansion thermique du faisceau ainsi que son nettoyage mécanique, constituent la presque totalité des échangeurs utilisés avec les tubes en U .

#### **d. Les échangeurs à tubes en "U" :**

L'utilisation des tubes en forme d'épingles à cheveux supprime une plaque tubulaire, tout en conservant les propriétés d'expansion de la tête flottante.

Le nombre de tubes est plus faible que dans les autres appareils par suite du diamètre minimal de cintrage des tubes. Ces faisceaux seront utilisés à chaque fois que le fluide coté tube est propre exemple : Eau douce, Gaz, Gazole. [15]

#### **4. Les différents types de fours :**

Le choix d'un type de four dépend principalement des facteurs suivants :

- Nature du produit chauffé et conditions de service (débit, température, pression).
- Drainabilité des faisceaux tubulaires.
- Présence ou non de catalyseur dans les tubes.
- Combustible.
- Encombrement.
- Facilité de construction ou de transport.
- Coût pour une application donnée.

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours.

On peut, toutefois, distinguer les différentes catégories suivantes : [14]

##### **4.1. Fours cabines à tubes horizontaux :**

La zone de radiation de ces fours est de forme parallélépipédique dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues. En général, les brûleurs sont situés sur la sole.

Ce type de four se distingue essentiellement par l'existence d'un plan de symétrie permettant d'installer un grand nombre de brûleurs sur la sole. Ces derniers réalisent un véritable rideau de flammes dans le plan médian de la zone de radiation. La largeur de la zone de radiation est d'environ 6 m et la hauteur de 10 à 15 m. La longueur du four dépend

de la puissance thermique par le nombre de brûleurs qu'il est nécessaire d'installer ; elle peut atteindre 40 m. Dans certains cas, pour limiter la longueur du four, la zone de radiation est découpée en deux cellules disposées parallèlement et surmontées d'une zone de convection commune.

#### **4.2. Fours cabines à tubes verticaux :**

La zone de radiation de ces fours est de forme parallélépipédique. Les tubes sont placés circonférentiellement le long de la paroi intérieure. Les brûleurs sont situés sur la sole.

#### **4.3. Fours cylindriques verticaux :**

La zone de radiation de ces fours se présente sous la forme d'un cylindre à axe de symétrie vertical. Les brûleurs sont situés sur la sole. Pour un four équipé d'un seul brûleur, celui-ci est situé au centre de la sole. Si plusieurs brûleurs sont nécessaires, ceux-ci sont disposés sur un cercle centré sur l'axe du four. Selon la puissance thermique du four les dimensions des zones de radiation varient entre 1,5 m et 13 m de diamètre avec des hauteurs allant de 2,5 m à 25.

# **Chapitre IV**

## **Simulation et optimisation du train de GPL**

## Chapitre IV: Simulation et optimisation du train de GPL

### Problématique :

L'arrêt fréquent de l'usine GPL en cas d'arrêt d'expédition engendre plusieurs anomalies, parmi lesquelles :

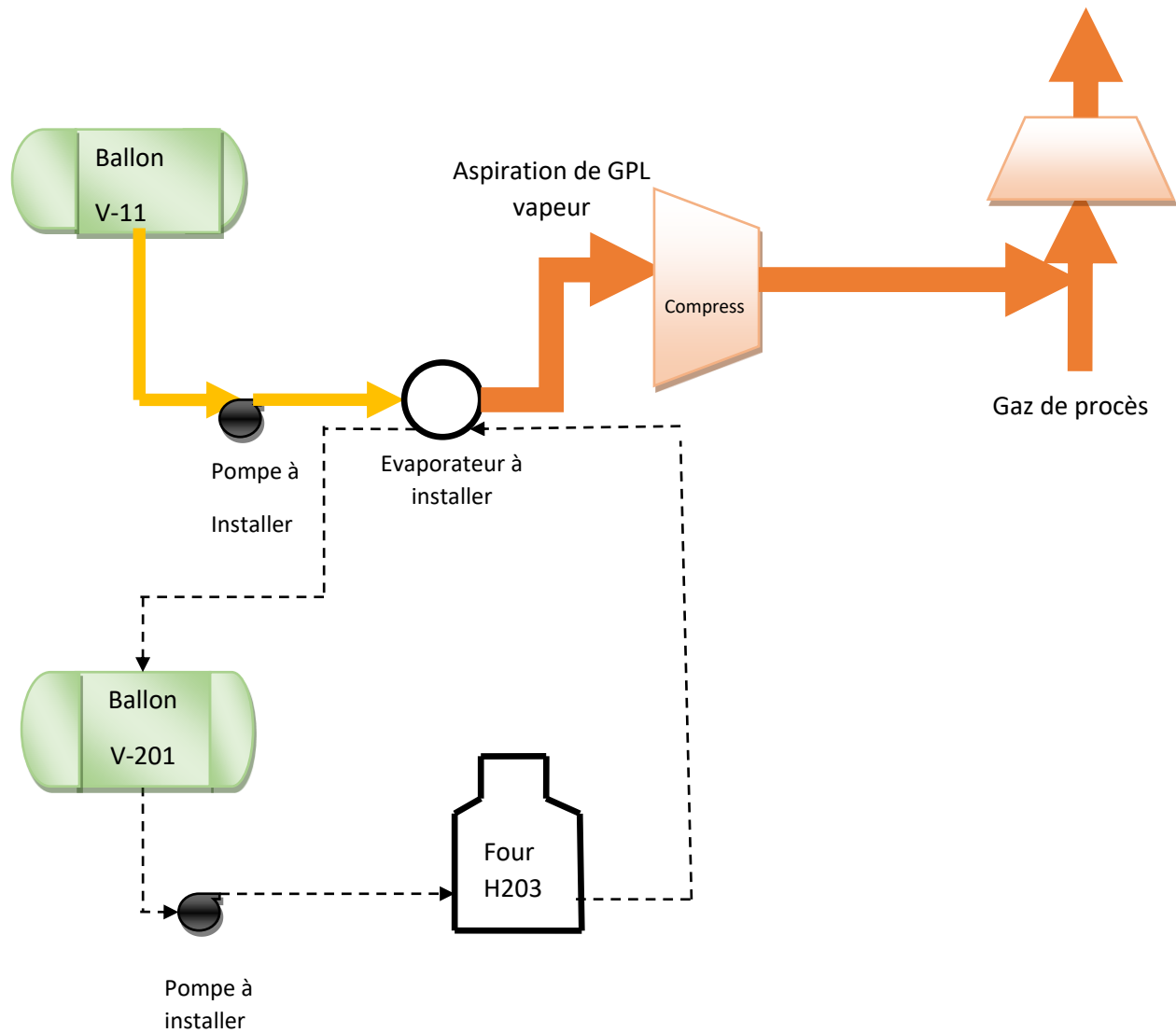
- La dégradation dans le temps des machines tournantes comme les turbines, le turbo-expander, les moto-compresseurs, les pompes .....etc.
- Le changement de régime, de régime froid vers régime chaud ou le contraire provoque aussi la dégradation des matériaux des équipements où le fluide circule comme les pipes, les vannes .....etc.
- La stabilisation des paramètres de l'usine prend un temps important
- Les sphères ne sont pas conçues pour stocker le GPL, mais comme transit

Pour remédier à cette situation nous proposons la solution suivante :

#### ➤ **La proposition :**

On équipe chaque train par une pompe, un évaporateur et un compresseur ; le GPL sortant du ballon V-11 (à une température de 48 C° et à une pression de 12 bar) est aspiré par la pompe puis refoulé vers coté calandre de l'évaporateur où subit un changement d'état physique, de l'état liquide à l'état gaz, puis est comprimé par le nouveau compresseur.

Le GPL sortant de nouveau compresseur (à une température de 140 C° et à une pression de 50 bars) est mélangé avec le gaz entrant de chaque turbine pour être réinjecté dans le gisement.



**Figure 06.** Installation de La proposition

## 1. Simulation et optimisation du train de GPL :

On utilise un simulateur pour simuler le train de GPL. on travaille avec une charge minimale, le but c'est de déterminer le débit de GPL produit en travaillant sous cette charge, la différence entre la quantité de chaleur produite en plein charge et la charge minimale sera utilisée pour vaporiser le GPL.

On fait la simulation du train en utilisant un simulateur qui s'appelle HYSYS, pour déterminer la quantité de chaleur à utiliser dans l'évaporateur.

### 1.1. Généralité sur la simulation :

La simulation est une méthode de mesure qui consiste à représenter un phénomène ou un système par un modèle mathématique ayant un comportement semblable.

Dans le domaine du génie chimique, plusieurs logiciels ont été élaborés pour la réalisation d'un grand nombre de problèmes de traitement et de conception.

Ces logiciels se différencient par l'étendue du domaine d'application, la complexité d'exploitation, la flexibilité et le temps de programmation et de calcul nécessaires pour effectuer une application.

Pour s'assurer de la fiabilité du HYSYS les résultats obtenus sont comparés avec ceux du designer au niveau des paramètres les plus importants dans l'unité.

### 1.2. Spécifications des produits :

Les spécifications des différents produits de l'unité sont données dans le tableau suivant :

**Tableau 03** : Les spécifications des différents produits.

Spécifications	GPL	Condensât	Gaz résiduel
Température [°C]	45	55	60
Pression [bar ]	12,25	14	94

poids moléculaire	49	76,36	17,8
Masse volumique à 15°C [Kg/m <sup>3</sup> ]	530	637	-----
Masse volumique à 45°C [Kg/m <sup>3</sup> ]	491	603	-----
Teneur en C <sub>2</sub> [% molaire]	3	-----	-----
Teneur en C <sub>5</sub> <sup>+</sup> [% molaire]	0,4	-----	-----
TVR [psia]	-----	15,7	-----

### 1.3. Conditions aux limites de l'unité :

Le tableau suivant montre la température et la pression des courants entrants et sortants de l'usine de GPL :

**Tableau 04** : la température et la pression des courants entrants et sortants.

Courant	Température en °C	Pression en bar
Gaz d'alimentation	60	94,68
GPL produit vers le stockage	45	12.25
GPL produit vers le pipeline	45	21,5
Gaz de vente	60	94
Condensât	55	14

### 1.4. Vérification du design par HYSYS :

#### ➤ La charge design calculée :

La charge entrée usine de la phase B est :

✓ Débit Gaz à traiter :  $48.10^6$  STm<sup>3</sup>/j.

Les produits de la phase B sont :

✓ Gaz résiduel :  $46,2.10^6$  STm<sup>3</sup>/j.

- ✓ GPL produit : 3986 T/j.
- ✓ Condensât produit : 611 T/j.

➤ **Caractéristiques d'alimentation :**

**Tableau 05 :** Caractéristiques d'alimentation.

<u>Température</u>	60°C
<u>Pression</u>	94,68 bar
<u>Débit</u>	29947,92 k mol/h
Poids moléculaire	19,3
Densité à 15 °C	0,106
Teneur en eau	< 4 ppm

➤ **La composition de la charge :**

La composition de gaz à traiter est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau 06 :** La composition de gaz à traiter.

<b>Composant</b>	<b>% molaire</b>
CO2	0,61
N2	0,11
C1	85,34
C2	8,56
C3	3,33
IC4	0,84
NC4	0,8
IC5	0,21
NC5	0,11
C6	0,06
C7	0,03
TOTALE	100



La vérification du design par HYSYS est basée sur la comparaison des principaux paramètres qui sont :

#### 1.4.1. Les conditions de la colonne Dééthaniseur T01 :

- ✓ Les paramètres et la composition (% mol) d'alimentation :

**Tableau 07** : Les paramètres d'alimentation.

	<u>Design</u>	<u>HYSYS</u>	<u>Différence <math>\Delta</math></u>
<u>Température en °C</u>	<u>-4,9</u>	<u>-4,75</u>	<u>0,15</u>
<u>Pression en bar</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>0</u>
<u>Débit en kmol/h</u>	<u>4334,43</u>	<u>4330</u>	<u>4,43</u>

**Tableau 08** : La composition d'alimentation.

	<u>Design</u>	<u>HYSYS</u>	<u>Différence <math>\Delta</math></u>
CO2	0,0086	0,0086	0
N2	0,00017	0,00017	0
C1	0,4631	0,4631	0
C2	0,2297	0,2296	0,0001
C3	0,1685	0,1685	0
IC4	0,0512	0,0512	0
NC4	0,0508	0,0508	0
IC5	0,0140	0,014	0
NC5	0,0074	0,0074	0
C6	0,0041	0,0041	0
C7	0,0021	0,0020	0,0001
TOTALE	1	1	

✓ **Les paramètres et la composition (%mol) du gaz de tête :****Tableau 09 :** Les paramètres du gaz de tête.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
<u>Température en °C</u>	-36,5	-37,93	1,43
<u>Pression en bar</u>	29	29,3	0,3
<u>Débit en kmol/h</u>	3024,05	3021	3,05

**Tableau 10 :** La composition du gaz de tête.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
CO2	0,0	0,0123	0,0004
N2	0,0002	0,0002	0
C1	0,5057	0,6639	0,1582
C2	0,4631	0,3233	0,1398
C3	0,0190	0,000041	0,018
IC4	0,0000	0,0000	0
NC4	0,0000	0,0000	0
IC5	0,0000	0,0000	0
NC5	0,0000	0,0000	0
C6	0,0000	0,0000	0
C7	0,0000	0,0000	0
TOTALE	1	1	

✓ **Les paramètres et la composition (%mol) du liquide de fond :****Tableau 11 :** Les paramètres du liquide de fond.

	<b><u>Design</u></b>	<b><u>HYSYS</u></b>	<b><u>Différence <math>\Delta</math></u></b>
<u>Température en °C</u>	99	99,15	0,15
<u>Pression en bar</u>	30	29,5	0,5
<u>Débit en kmol/h</u>	1310,37	1310	0,37

**Tableau 12 :** La composition du liquide de fond.

	<b><u>Design</u></b>	<b><u>HYSYS</u></b>	<b><u>Différence <math>\Delta</math></u></b>
CO2	0	0,0000	0
N2	0	0,0000	0
C1	0	0,0000	0
C2	0,0427	0,0135	0,0292
C3	0,6219	0,5571	0,0648
IC4	0,1474	0,1694	0,022
NC4	0,1342	0,1681	0,0339
IC5	0,0294	0,0465	0,0171
NC5	0,0147	0,0246	0,0099
C6	0,0065	0,0136	0,0071
C7	0,0027	0,0068	0,0041
TOTALE	1	1	

### 1.4.2. Les conditions de la colonne Débutaniseur T-02 :

✓ Les paramètres et la composition (% mol) d'alimentation :

**Tableau 13 :** Les paramètres d'alimentation.

	<u>Design</u>	<u>HYSYS</u>	<u>Différence <math>\Delta</math></u>
<u>Température en °C</u>	<u>68,5</u>	67,72	<u>1,6</u>
<u>Pression en bar</u>	<u>15,5</u>	15	<u>0,5</u>
<u>Débit en kmol/h</u>	<u>1310,37</u>	1310	<u>0,37</u>

**Tableau 14 :** La composition d'alimentation.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
CO2	0	0,0000	0
N2	0	0,0000	0
C1	0	0,0000	0
C2	0,025	0,0135	0,0115
C3	0,5458	0,5571	0,0113
IC4	0,1695	0,1694	0,0001
NC4	0,1682	0,1681	0,0001
IC5	0,0465	0,0465	0
NC5	0,0246	0,0246	0
C6	0,0136	0,0136	0
C7	0,0068	0,0068	0
TOTALE	1	1	

✓ **Les paramètres et la composition (%mol) du GPL vers stockage :****Tableau 15 :** Les paramètres du GPL vers stockage.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
<u>Température en °C</u>	45	52,98	7,98
<u>Pression en bar</u>	13,9	13,2	0,7
<u>Débit en kmol/h</u>	1193,05	1187	6,05

**Tableau 16 :** La composition du GPL vers stockage.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
CO2	0,0000	0,0000	0
N2	0,0000	0,0000	0
C1	0,0000	0,0000	0
C2	0,0274	0,0168	0,0106
C3	0,5995	0,6901	0,0906
IC4	0,1861	0,1870	0,0009
NC4	0,1842	0,1050	0,0792
IC5	0,0024	0,0078	0,0054
NC5	0,0002	0,00010	0,0010
C6	0,0000	0,0000	0,0000
C7	0,0000	0,0000	0,0000
TOTALE	1	1	

✓ **Les paramètres et la composition du condensât vers stockage :****Tableau 17 :** Les paramètres du condensât vers stockage.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
<u>Température en °C</u>	153,2	55,0	0
<u>Pression en bar</u>	15,5	14,0	0,9
<u>Débit en kmol/h</u>	117,33	122,9	5,57

**Tableau 18 :** La composition du condensât vers stockage.

	<b>Design</b>	<b>HYSYS</b>	<b>Différence <math>\Delta</math></b>
CO2	0	0,0000	0
N2	0	0,0000	0
C1	0	0,0000	0
C2	0	0,0000	0
C3	0	0,0000	0
IC4	0,00045	0,0016	0,00115
NC4	0,008	0,0443	0,0363
IC5	0,5667	0,4762	0,0905
NC5	0,2867	0,2593	0,0274
C6	0,1032	0,1453	0,0421
C7	0,0346	0,0730	0,0384
TOTALE	1	1	

### 1.4.3. Les caractéristiques du turbo-expandeur :

**Tableau 19 :** Les caractéristiques du turbo-expandeur.

	Design	HYSYS	Erreur relatif %
Température en °C	-52,8	-52,76	0
Pression en bar	40	40	0
Energie en kW	6935	6887	0,59

### 1.4.4. L'énergie (en MW) consommée par les deux rebouilleurs E-09 et E-10 :

**Tableau 20 :** L'énergie (en MW) consommée.

	Design	HYSYS	Différence $\Delta$
E-09	10,35	10,23	0,12
E-10	7,902	7,900	0,002
Total	18,252	18,13	_____

➤ **Conclusion :**

D'après ces tableaux de comparaison, les résultats obtenus à partir de HYSYS sont proches de ceux du design, avec une erreur négligeable ; ce qui justifie l'utilisation du HYSYS comme simulateur pour notre étude.

## 2. Simulation dans le cas de débit minimum :

➤ **Caractéristiques d'alimentation :**

**Tableau 21 :** Les Caractéristiques d'alimentation.

Température	60°C
Pression	94,68 bar
Débit	8,10 <sup>6</sup> sm <sup>3</sup> /j

**Tableau 22** : Les paramètres du GPL vers stockage.

	Dans le cas débit minimum
Température en °C	48
Pression en bar	12,5
Débit en kmol/h	573
Débit en m <sup>3</sup> /h	58

**Tableau 23** : L'énergie consommée par les deux rebouilleurs E-09 et E-10.

	Energie en MW
E-09	3,030
E-10	5,092
Total	8,122

A partir de ces résultats obtenus on peut déterminer l'énergie non consommée comme suit :  
 L'énergie consommée en pleine charge – l'énergie consommée en débit minimum =  $18,252 - 8,122 = 10,13$  MW

### 3. Conclusion :

Nous avons déterminé déjà le débit de GPL produit dans le cas de la charge minimale et l'énergie non consommée par les deux rebouilleurs E-09 et E-10, alors on doit vérifier si cette énergie est suffisante pour évaporer cette quantité de GPL ou non.

# **Chapitre V**

## **Dimensionnement de l'évaporateur**

## Chapitre V. Dimensionnement de l'évaporateur

### 1. Criters de choix de l'échangeur :

A partir des différents types d'échangeur mentionné dans la partie théorique, l'évaporateur choisi est le rebouilleur de type kettle.

Méthode de calcul (Méthode de KERN) Pour le calcul d'un évaporateur à faisceaux et calandre, c'est une méthode semi empirique, basé sur un travail expérimental concernant les échangeurs commerciaux.

Choix d'écoulement des fluides (côté faisceau ou calandre) :

- **Côté faisceau** : fluide chaud (l'huile TORADA)
- **Côté calandre** : fluide froid (GPL)

### 2. Caractéristique de l'échangeur :

**Tableau 24** : Résume les résultats (ou la fiche technique)

Caractéristiques	Les résultats de calcul
$\Phi$ Chaleur échangée (MW)	2,66
Surface d'échange (m <sup>2</sup> )	59,56
DTLM (°C)	128, 47
<b>COTE TUBE</b>	
Type de fluide	Huile de TORADA
Debit ( m <sup>3</sup> /h)	32,72

<b>Température entrée t1 (°C)</b>	270
<b>Température sortie t2(°C)</b>	140
<b>Nombre des tubes</b>	166
<b>Le diamètre intérieur de tube (m)</b>	0,01483
<b>Le diamètre extérieur de tube(m)</b>	0,01905
<b>L'épaisseur(m)</b>	0,0021
<b>Nombre de passe</b>	2
<b>Le pas(m)</b>	2,54
<b><math>\Delta P_{tubes}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,11
<b>COTE CALANDRE</b>	
<b>Type de fluide</b>	GPL
<b>Debit (Kg/h)</b>	28240
<b>Température entrée T1 (°C)</b>	50
<b>température sortie T2 (°C)</b>	80
<b>Le diamètre de calandre(m)</b>	0,439
<b>nombre de passe</b>	1
<b>La longueur de l'évaporateur(m)</b>	6,096
<b><math>\Delta P_{calandre}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,30

### 3. Détermination de la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le débit de GPL sortant d'un seul train :

$$Q_{\text{reque}} = Q_m \cdot \Delta h_{\text{GPL}}$$

$$= Q_m \cdot (h_{T_2} - h_{T_1})$$

Tel que :

$Q_m$  : débit massique du GPL (kg/h)

$h_{T_1}$  : l'enthalpie de GPL à la température  $T_1$  (kJ/kg)

$h_{T_2}$  : l'enthalpie de GPL à la température  $T_2$  (kJ/kg)

$T_1$  : Température d'entrée de GPL (à l'état liquide) ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  : Température de sortie GPL (à l'état vapeur) ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 3.1. La température d'entrée de GPL à l'évaporateur ( $T_1$ )

C'est la température de GPL liquide refoulé par la pompe et entrant à l'évaporateur, elle est environ de :

$$T_1 = 50 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

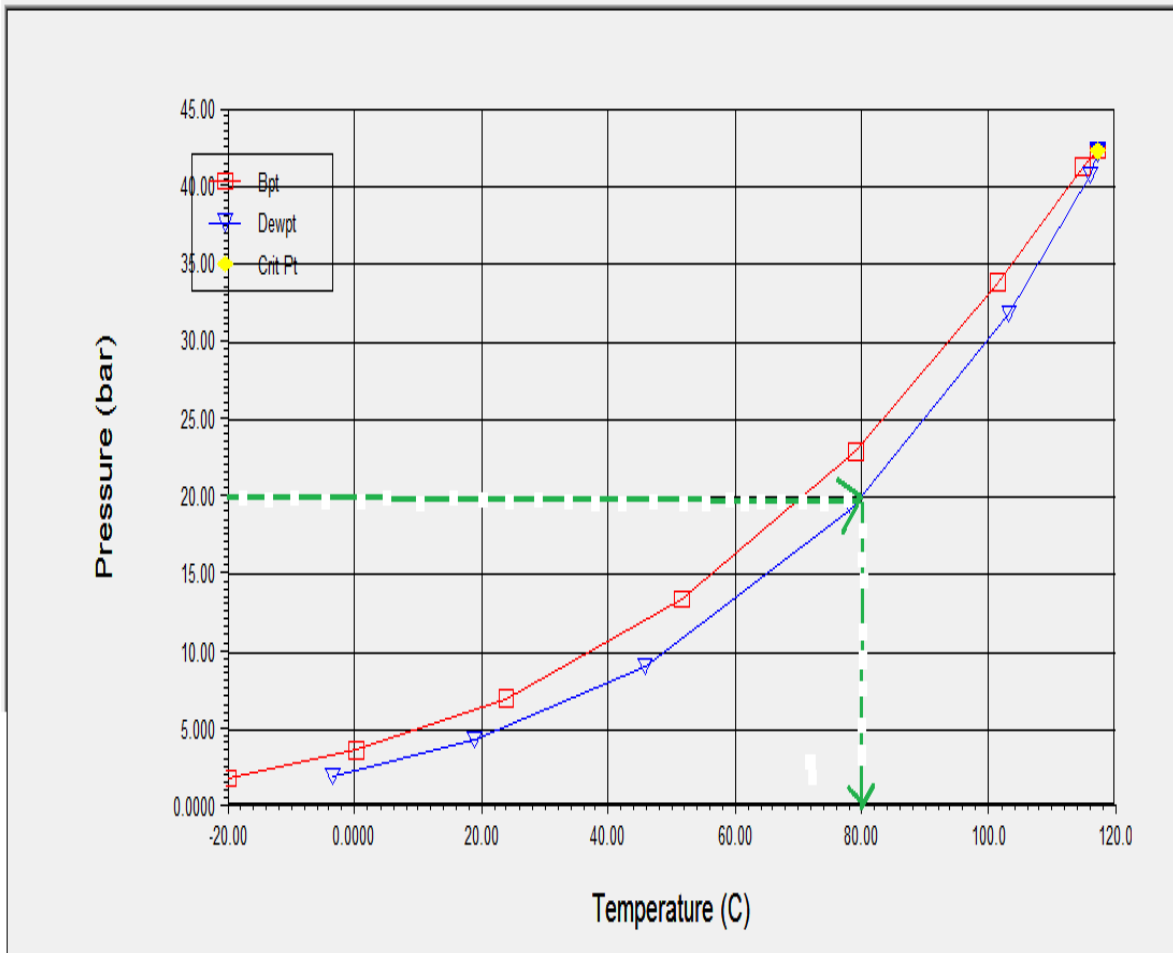
#### 3.2. La température du GPL à la sortie de l'évaporateur ( $T_2$ )

La température à la sortie de l'évaporateur est déterminée à partir du diagramme d'équilibre de P-T (la pression en fonction de la température).

La méthode de détermination de cette température est comme suit :

La  $T_2$  est la température du gaz à aspirer par le compresseur à installer, alors elle doit correspondante à la pression choisi par le refoulement de la pompe, et légèrement supérieur à la température de rosée de GPL pour assurer qu'il est totalement à l'état gaz.

La courbe suivante démontre le choix de cette température :



— : La courbe de rosée de GPL.

— : La courbe de bulle de GPL.

◆ : Le point critique de GPL.

**Figure 08 .** Diagramme de changement d'état de GPL

La température optimale à partir de ce graphe est :  $T_2 = 80\text{ C}^\circ$

### 3.3. Les enthalpies du GPL à l'état liquide et à l'état gaz :

A partir des diagrammes de de la pression en fonction de l'enthalpie (P-H) de chaque constituant de GPL en fonction des deux températures (50 C° et 80 C°) et à la pression 20 bar ( HYSYS)

$$h_{T1} = -2604 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{T2} = -2264 \text{ kJ/kg}$$

### 3.4. La quantité de chaleur $Q_{re\grave{c}ue}$ :

$$\begin{aligned} Q_{re\grave{c}ue} &= Q_m \cdot (h_{T2} - h_{T1}) \\ &= 28240 \cdot (2264 - 2604) \\ &= 2,66 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$Q_{re\grave{c}ue} = 2,66 \text{ MW}$$

### Conclusion :

la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le débit de GPL sortant de chaque train est 2,66 MW Alors on peut conclure maintenant que la chaleur gagné de four est suffisante pour évaporer le GPL obtenu de train.

## 4. Calcul le dimensionnement de l'évaporateur :

### 4.1. Calcul le débit d'huile chaude nécessaire pour l'évaporation de GPL :

#### 4.1.1. Le bilan thermique :

La quantité de chaleur cédée par l'huile chaude (qui circule à coté tube) est donnée par la formule suivante :

$$Q_{c\acute{e}d\acute{e}} = Q_v \cdot (\rho_{t1} \cdot H_{t1} - \rho_{t2} \cdot H_{t2})$$

Avec :

$Q_v$  : Débit volumique de l'huile ( $m^3/h$ )

$\rho_{t1}$  : La masse volumique de l'huile à la température  $t_1$  ( $kg/m^3$ )

$\rho_{t2}$  : La masse volumique de l'huile à la température  $t_2$  ( $kg/m^3$ )

$H_{t1}$  : l'enthalpie massique d'huile à la température  $t_1$  ( $kJ/kg$ )

$H_{t2}$  : l'enthalpie massique d'huile à la température  $t_2$  ( $kJ/kg$ )

$t_1$  : Température d'entrée de l'huile ( $C^\circ$ )

$t_2$  : Température de sortie de l'huile ( $C^\circ$ )

#### 4.1.2. les enthalpies massique $h_{t1}$ et $h_{t2}$ d'huile respectivement à la température $t_1$ et

$t_2$  :

$$H_{t1} = C_{p_{t1}} \cdot t_1$$

$$H_{t2} = C_{p_{t2}} \cdot t_2$$

$C_{p_{t1}}$  : La chaleur spécifique massique d'huile à la température  $t_1$  ( $kJ/kg.k^\circ$ )

$C_{p_{t2}}$  : La chaleur spécifique massique d'huile à la température  $t_2$  ( $kJ/kg.k^\circ$ )

Les caractéristiques d'huile dans des différentes valeurs de la température sont identifiées dans le tableau (Figure 06) :

$$\rho_{t1} \cdot H_{t1} = 790.2, 333.413 = 761187,91 \text{ kJ/m}^3$$

$$\rho_{t2} \cdot H_{t2} = 696.2, 79.543 = 1054419,12 \text{ kJ/m}^3$$

$$\rho_{t1} \cdot H_{t1} = 761187,91 \text{ kJ/m}^3$$

$$\rho_{t2} \cdot H_{t2} = 1054419,12 \text{ kJ/m}^3$$

**4.1.3. Calcul le débit d'huile :**

$$Q_{cédée} = Q_v \cdot (\rho_{t1} \cdot H_{t1} - \rho_{t2} \cdot H_{t2})$$

$$\Rightarrow Q_v = Q_{reçue} / (\rho_{t1} \cdot H_{t1} - \rho_{t2} \cdot H_{t2})$$

$$Q_v = 2660.3600 / (1054419,12 - 761187,91) = 32,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

**4.2. Calcul de la surface d'échange thermique globale :**

$$A = \frac{Q}{U_s \cdot \Delta TLM_c}$$

Q : la quantité de chaleur échangée.

Us : le coefficient d'échange.

$\Delta TLM_c$  : la température moyenne logarithmique corrigée.

**4.2.1. La quantité de chaleur échangée :**

$$Q = 2,66 \text{ MW}$$

**4.2.2. Le coefficient d'échange Us :**

On choisit la valeur initiale de  $U'_s$  (coefficient d'échange), selon la nature des fluides misent en service le tableau de la (Figure 02).

$$U'_s = 300 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

**4.2.3. La température moyenne logarithmique corrigée  $\Delta TLM_c$  :**

$$\Delta TLM_{corrigée} = \Delta TLM \cdot F$$

Où :

$\Delta TLM$  : La température moyenne logarithmique.

F : est facteur de correction.

❖ **Calcul  $\Delta TLM$  :**

$$DLTM = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{Ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

L'écoulement contre-courant est représenté comme suit :

$\Delta t_1$  : Différence de température maximale

$\Delta t_2$  : Différence de température minimale

$$\Delta t_1 = T_1 - t_2$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_1$$

$t_1$  : Température d'entrée côté tube (°C)

$t_2$  : Température de sortie côté tube (°C)

$T_1$  : Température d'entrée côté calandre (°C)

$T_2$  : Température de sortie côté calandre (°C)

Alors :

$$\Delta t_1 = 140 - 50 = 90 \text{ C}^\circ$$

$$\Delta t_2 = 270 - 80 = 190 \text{ C}^\circ$$

$$DLTM = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{Ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

$$DTLM = 133,83 \text{ C}^\circ$$

❖ **Calcul F :**

F : est déterminé à partir de graphe de (Figure 01 )

$$F = f(R, E)$$

Avec :

$$E = 270 - 140 / 270 - 50 = 0,59$$

$$E = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$$R = 80 - 50 / 270 - 140 = 0,23$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$F = 0,96$$

❖ **Calcul DTLM<sub>c</sub> :**

$$DTLM_c = DTLM \cdot F = 0,96 \cdot 133,83 = 128,47 \text{ C}^\circ$$

$$DTLM_c = 128,47 \text{ C}^\circ$$

**4.2.4. la surface d'échange thermique globale A :**

$$A = 2,66 \cdot 10^3 \cdot 3600 / (300 \cdot 128,47 \cdot 4,18)$$

$$A = 59,56 \text{ m}^2$$

**4.3. Nombre de passe côté tube et côté calandre :**

A partir de facteur de correction **F**, on peut déterminer le nombre de passe coté tube et coté calandre en utilisant des abaques présentés dans la (Figure 01).

01 passe côté calandre.

02 passes côté tube.

**4.4. Nombre de tube  $N'_t$  :**

$$A = \pi \cdot d_e \cdot L \cdot N'_t \cdot n_c \Rightarrow N'_t = A / \pi \cdot d_e \cdot L \cdot n_c$$

Avec :

A : Surface d'échange nécessaire au transfert ( $m^2$ )

$d_e$  : Diamètre extérieur de tubes (m)

$\pi$  : Longueur de tubes (m)

$n_c$  : Nombre de passe côté calandre

Substituant les valeurs dans l'équation on trouve

**4.4.1. Dimensions de tubes :**

Selon les normes de TEMA les dimensions des tubes les plus utilisés d'après le tableau de la (Figure 04) sont :

- ✓ Le type d'échangeur :

BWG 14

- ✓ Le diamètre intérieur de tubes :

$$d_i = 1,483 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- ✓ Le diamètre extérieur de tubes :

$$d_e = 1,905 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- ✓ L'épaisseur de tubes :

$$e = 0,21 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- ✓ Disposition des tubes (le pas) :

D'après le tableau (**Figure 05**) voir annexe La disposition des tubes en carré avec un pas :

$$P = 2,54 \text{ cm}$$

✓ La longueur de l'échangeur (par analogie) Le plus utilisée est 20ft :

$$L = 6,096 \text{ m}$$

#### 4.4.2. Le nombre de tube calculé :

$$N't = 59,56 / (3,14 \cdot 1,905 \cdot 10^{-2} \cdot 6,096) = 163 \text{ tube}$$

$$N't = 163 \text{ tube}$$

#### 4.5. Le nombre de tube réel :

D'après le tableau de TEMA de la (Figure 05), on normalise le nombre de tube :

$$N_t = 166 \text{ tube}$$

#### 4.6. Le coefficient d'échange $U_s$ :

$$U_s = U's \cdot N't / N_t = 295,20 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_s = 295,20 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

#### 4.7. Dimensions de calandre :

D'après le tableau de la Figure 05 :

$$D_c = 0,439 \text{ m}$$

#### 4.8. Température calorique :

$$T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1)$$

$$F_c = f(K_c, r)$$

Si les écarts de température sont faibles ( $DTLM < 30^\circ\text{C}$  ou  $T_1 - T_2 < 60^\circ\text{C}$  ou  $t_2 - t_1 < 60^\circ\text{C}$ ) alors, on prend directement :  $F_c = 0,5$

$$t_c = 140 + 0,5 \cdot (270 - 140) = 205^\circ\text{C}$$

$$T_c = 50 + 0,5 \cdot (80 - 50) = 65^\circ\text{C}$$

#### 4.9. Calcul du coefficient de transfert propre $U_p$ :

Le calcul de coefficient propre est effectué comme suit :

##### 4.9.1. Détermination des caractéristiques des fluides froid et chaud à la température

$T_c$  et  $t_c$  :

**Tableau 25** : Caractéristiques des fluides froid et chaud à la température  $T_c$  et  $t_c$  :

Fluide	Chaud	Froid (à partir de HYSYS)
Chaleur spécifique $C_p$ (kj/kg.K°)	2,55	3,2
Viscosité dynamique $\mu$ (kg/h .m)	2,52	0,31
Conductivité thermique $\lambda$ (kcal/h.m.k°)	0,091	0,062

##### a. Coté tube :

Calcul du nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{G_B \cdot d_i}{\mu_c}$$

Avec :

$G_B$  : vitesse massique (kg/h.m<sup>2</sup>)

$d_i$  : diamètre intérieur de tubes (m)

$\mu_c$  : La viscosité dynamique à la température calorique (kg/h.m)

- **Calcul de la vitesse massique**

$$G_B = \frac{4.m}{\pi \cdot d_i^2} \cdot \frac{n}{N_t}$$

Avec :

$m$  : débit massique (kg/h)

$n$  : nombre de passe côté tubes

$N_t$  : nombre de tubes

Substituant les valeurs dans l'équation on trouve

$$G_B = \frac{4.32,65.741.2}{166.3,14.0,01483^2} = 1692292,559 \text{ kg/h.m}^2$$

$$Re = \frac{1692292,559.0,01483}{2,52} = 9959,0074$$

**Le régime est turbulent.**

On détermine coefficient de COLBURN  $j_h$  par abaque  $j_h = f(Re, L/d_i)$

(Graphe de la Figure 07) :

$$\frac{L}{d_i} = \frac{6,096}{0,01483} = 411$$

$$j_h = 40$$

On peut conclure à partir de même graphe le coefficient de friction  $f$  :

$$f = 0,04$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = j_h \frac{\lambda}{d_i} \left( \frac{Cp \cdot \mu_c}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = 40 \cdot \frac{0,091}{0,01483} \left( \frac{0,61 \cdot 2,52}{0,091} \right)^{\frac{1}{3}} = 631,1438813 \text{ kj/h m}^2\text{k}^\circ$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = \left( \frac{h_i}{\phi_t} \right) \frac{d_i}{de}$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = 631,14 \cdot 0,01483 / 0,01905$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = 491,33 \text{ kj / h.m}^2 \text{.k}^\circ$$

### b. Coté calandre

Diamètre équivalent

$$D_e = \frac{4P^2}{\pi \cdot d_e} - d_e$$

$$D_e = \frac{4 \cdot (0,0254)^2}{3,14 \cdot 0,01905} - 0,01905 = 0,024 \text{ m}$$

$$D_e = 0,024 \text{ m}$$

**Calcul de la vitesse massique :**

$$G_{CT} = \frac{M}{a_{CT}}$$

$$a_{CT} = \frac{D_c(P - d_e)B}{P}$$

Avec :

M : Débit massique (kg/h)

$a_{CT}$  : Surface par calandre (m<sup>2</sup>)

D<sub>c</sub> : Diamètre de la calandre (m)

P : le pas (m)

B : Espace ente chicane (m)

d<sub>e</sub> : diamètre extérieur de tubes (m)

Substituant les valeurs dans l'équation on trouve :

$$a_{CT} = \frac{0,591}{0,0254} (0,0254 - 0,019) \cdot 0,5 = 0,0744 \text{ m}^2$$

$$G_{CT} = \frac{28240}{0,0744}$$

$$G_{CT} = 514332,574 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

**Calcul du nombre de Reynolds :**

$$R_e = \frac{D_e \cdot G_{CT}}{\mu_{TC}}$$

$$R_e = \frac{0,024.514332,574}{0,31}$$

$$R_e = 39912,81051$$

Détermination de  $j'_h$  et  $f'$  (d'après le graphe de la figure 03) :

$$j'_h = 140$$

$$f' = 0,12$$

$$\frac{h_0}{\phi_C} = j'_h \cdot \frac{\lambda'}{D_C} \left( \frac{Cp' \cdot \mu'_{TC}}{\lambda'} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_0}{\phi_C} = 140 \cdot \frac{0,06273}{0,439} \left( \frac{0,3104620,76555}{0,06273} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_0}{\phi_C} = 568,27 \text{ kj/h.m}^2.\text{k}^\circ$$

**4.9.2. Le calcul de la température du tube :**

$$t_t = T_C - \frac{\frac{h_{i0}}{\phi_t}}{\frac{h_0}{\phi_C} + \frac{h_{i0}}{\phi_t}} (T_C - t_C)$$

$$t_t = 65 - \frac{3,68}{568,27 + 491,33} (65 - 205)$$

$$t_t = 129,91^{\circ}\text{C}$$

#### 4.9.3. Détermination de $\mu_t$ à $t_t$ (coté tube) :

$$\phi_t = \left( \frac{\mu}{\mu_t} \right)^{0,14}$$

$$\mu_t = 4,644 \text{ kg/m.h}$$

$$\left( \frac{2,52}{4,644} \right)^{0,14} = 0,91$$

$$\phi_t = 0,91$$

$$h_{i0} = \left( \frac{h_{i0}}{\phi_t} \right) \phi_t$$

$$h_{i0} = 451,03 \text{ kj} / \text{h.m}^2 .^{\circ}\text{k}$$

#### 4.9.4. Détermination de $\mu'_t$ à $t_t$ (coté calandre) :

La viscosité dynamique à la température  $t$  est déterminée à partir de l'HYSYS.

$$\phi_C = \left( \frac{\mu'}{\mu'_t} \right)^{0,14}$$

$$\left( \frac{0,31}{0,044} \right)^{0,14} = 1,31$$

$$\phi_C = 1,31$$

$$h_0 = \left( \frac{h_0}{\phi_c} \right) \phi_c$$

$$h_0 = 746,66 \text{ kj/h.m}^2 \cdot \text{°k}$$

#### 4.9.5. Calcul du Coefficient de transfert propre :

$$U_p = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_p = \frac{746,66451,03}{746,66 + 451,03} = 281,18 \text{ kj/hm}^2\text{C}^\circ$$

$$U_p = 281,18 \text{ kj/hm}^2\text{C}^\circ$$

#### 4.9.6. Vérification de la résistance d'encrassement :

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p \cdot U_s}$$

$$R_s = (281,18 - 295,2) / 281,18 \cdot 295,2 = 0,00022 < R_{s(\text{admissible})}$$

#### 4.9.7. Calcul les pertes de charge :

- Côté tube :

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{d_i \cdot \rho \cdot \phi_t}$$

$f$  : Coefficient de friction.

$G$  : la vitesse massique (kg/m<sup>2</sup>.s).

$L$  : la longueur de tubes (m).

$d_i$  : diamètre intérieur de tube (m).

$\rho$  : Masse volumique de l'huile ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$\Delta P_t = \frac{0,04 \cdot 1692292,5^2 \cdot 6,096}{0,01483 \cdot 741 \cdot 0,91}$$

$$\Delta P_t = 11875,78321 \text{ pascal}$$

- **Coté calandre :**

$$\Delta P_c = \frac{n_c \cdot f_{ct} \cdot G_{ct}^2 \cdot (N_c + 1) \cdot D_c}{\rho \cdot D_e \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_t}\right)^{0,14}}$$

$$\Delta P_c = \frac{1,0,12,514332,574 \cdot (38 + 1) \cdot 0,439}{44,1,0,024,1,31}$$

$$\Delta P_c = 30040,95863 \text{ Pascal}$$

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Durant nos études à l'université de SKIKDA, nous avons pu acquérir une base théorique, ce qui nous a permis de réaliser notre stage pratique au niveau de l'unité de La phase B (l'usine de GPL) de Rhourde Nous.

Cette mise en situation professionnelle nous a permis de nous familiariser avec le secteur des équipements mécaniques ainsi que les hydrocarbures, en touchant de près les problèmes réels, notamment celui lié au dimensionnement et au calcul des échangeurs à changement de phase (évaporateurs). Nous avons également pu mettre en application les bases théoriques acquises durant notre cursus.

Un des problèmes majeurs de l'unité de GPL est l'interruption de l'expédition du GPL. Afin d'y remédier, ce dernier doit être revaporisé pour sa réinjection. Une nouvelle installation de vaporisation du GPL utilisant l'excès d'énergie de l'unité doit être implantée. Le thème de notre mémoire consiste en le dimensionnement et le calcul des paramètres de cette installation. On a opté pour un échangeur de chaleur tube calandre et la méthode de KERN a été utilisée pour dimensionner cet échangeur.

Ce système de vaporisation du GPL qui existe déjà dans des différents champs à l'instar de Tiguentourine et Alrar a bien montré son efficacité opérationnelle. En effet, il permet de:

- 1) Maîtriser le stockage du GPL d'une façon adaptée avec la norme de sécurité de l'installation.
- 2) Maintenir la production de condensât de l'unité GPL pour assurer une production permanente des condensats.
- 3) Garantir une reprise facile et rapide de la production de GPL, après la résolution du problème des expéditions de ce dernier.

- 4) Assurer la marche optimale de l'installation sans changement d'aucun paramètre.
- 5) Résoudre le problème de recyclage de l'unité.
- 6) Eviter toute éventuelle anomalie telle que les déclenchements et l'endommagement des garnitures des pompes.
- 7) Assurer un gaz combustible traité pour les fours et les turbines de l'unité GPLet pour les stations de compression et éviter les risques de présence de bouchons liquides dans les brûleurs et les chambres de combustion.

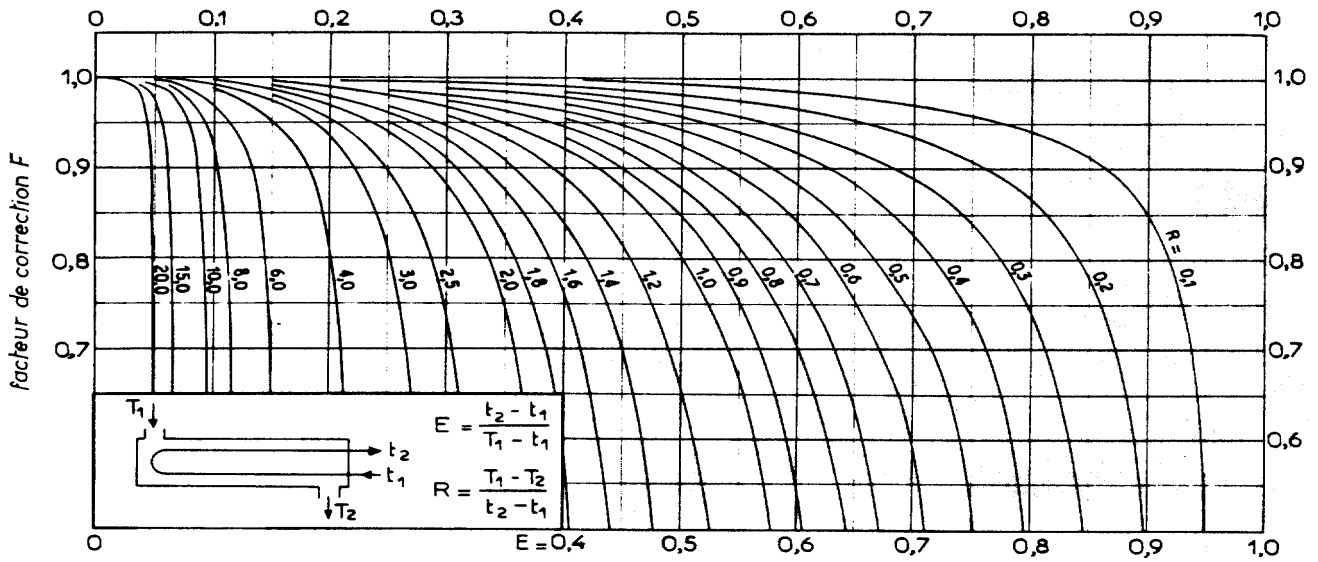
# **Références bibliographiques**

**Références bibliographiques :**

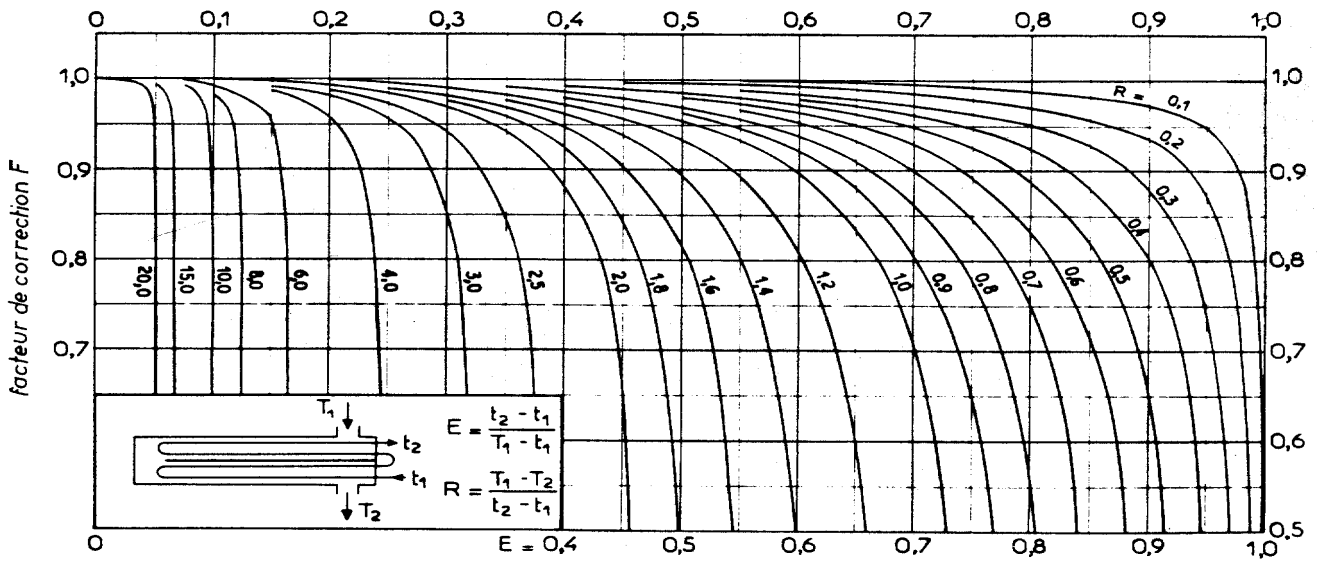
1. Manuel opératoire d'unité de GPL de traitement du gaz brut phase B, Rhourde Nouss, 1999.
2. connaissance des energies.org/ fiches pédagogiques.
3. Associated Petroleum Gas in Russia : Reasons for Non-utilization (PDF). FNI Report 13/2010.
4. comité français du butane et du propane, les gaz butane et propane.
5. procédés de pétrochimie Belov.
6. Chouat, Chahinez. Etude de l'unité GTFT en mode Turn Down. Janvier 2017; 61P.
7. Dimensionnement d'une batterie d'échangeur E201. Octobre 2015; 72P.
8. Hajd, Ali Djamel. Etude de la section de déshydratation de l'unité GPL-2 HASSIMESSAOUD.
9. European Environment Agency, Air pollution is the biggest environmental health risk in Europe, accessed 8 December 2022,
10. Abbaci, Youcef. Calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (Unité 38, Traitement du GPL) à HASSI-R'MEL. Juin 2012; 60P.
11. Kaabouche, Boumedién. Description de la section de stockage de l'unité GPL1 HASSI MESSAOUD. Novembre 2017; 38P.
12. Etude des fours tubulaires de l'unité GPL-1 à HASSI-MESSAOUD. Septembre 2015; 91P
13. Daddiou, Abdelaziz. Optimisation des paramètres de marche de l'unité de GPL de RHOURDE NOUSS. 2010; 58P.
14. MANUEL DE FORMATION COURS EXP-PR-EQ110 Révision 0.1
15. Institut Algérien du Pétrole Equipements d'Echanges Thermiques

# **Annexes**

Annexes : Tableaux et graphes de calcul.



a. une passe côté calandre, deux passes (ou plus) côté tubes.



b. deux passes côté calandre, quatre passes (ou plus) côté tubes

Figure 01. Nombre de passes côté tube et côté calandre.

ÉCHANGEURS		$U_s$	
FLUIDE CHAUD	FLUIDE FROID	kcal/h.m <sup>2</sup> .°C	BTU/hr. ft <sup>2</sup> .°F
Eau .....	Eau .....	1 250 - 2 500	250 - 500
Solutions aqueuses .....	Solutions aqueuses .....	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers <sup>(2)</sup> .....	Hydrocarbures légers .....	200 - 370	40 - 75
Hydrocarbures moyens <sup>(2)</sup> .....	Hydrocarbures moyens .....	100 - 300	20 - 60
Hydrocarbures lourds <sup>(2)</sup> .....	Hydrocarbures lourds .....	50 - 200	10 - 40
Hydrocarbures lourds .....	Hydrocarbures légers .....	150 - 300	30 - 60
Hydrocarbures légers .....	Hydrocarbures lourds .....	50 - 200	10 - 40
<b>RÉFRIGÉRANTS</b>			
Eau, méthanol, ammoniac et solutions aqueuses .....	Eau .....	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers .....	Eau .....	370 - 730	75 - 150
Hydrocarbures moyens .....	Eau .....	250 - 610	50 - 125
Hydrocarbures lourds .....	Eau .....	25 - 730	5 - 75
Gaz .....	Eau .....	10 - 250	2 - 50
Eau .....	Saumure .....	500 - 1 000	100 - 200
Hydrocarbures légers .....	Saumure .....	200 - 500	40 - 100
<b>RÉCHAUFFEURS</b>			
Vapeur d'eau .....	Eau, méthanol, ammoniac .....	1 000 - 3 400	200 - 700
Vapeur d'eau .....	Solutions aqueuses : $\mu < 2$ cPo ...	1 000 - 3 400	200 - 700
	$\mu > 2$ cPo ...	500 - 2 500	100 - 500
Vapeur d'eau .....	Hydrocarbures légers .....	500 - 1 000	100 - 200
Vapeur d'eau .....	Hydrocarbures moyens .....	250 - 500	50 - 100
Vapeur d'eau .....	Hydrocarbures lourds .....	30 - 300	6 - 60
Vapeur d'eau .....	Gaz .....	25 - 250	5 - 50
Dowtherm .....	Gaz .....	20 - 200	4 - 40
Dowtherm .....	Hydrocarbures lourds .....	30 - 300	6 - 60

Figure 02. Coefficient de transfert sale  $U's$ .

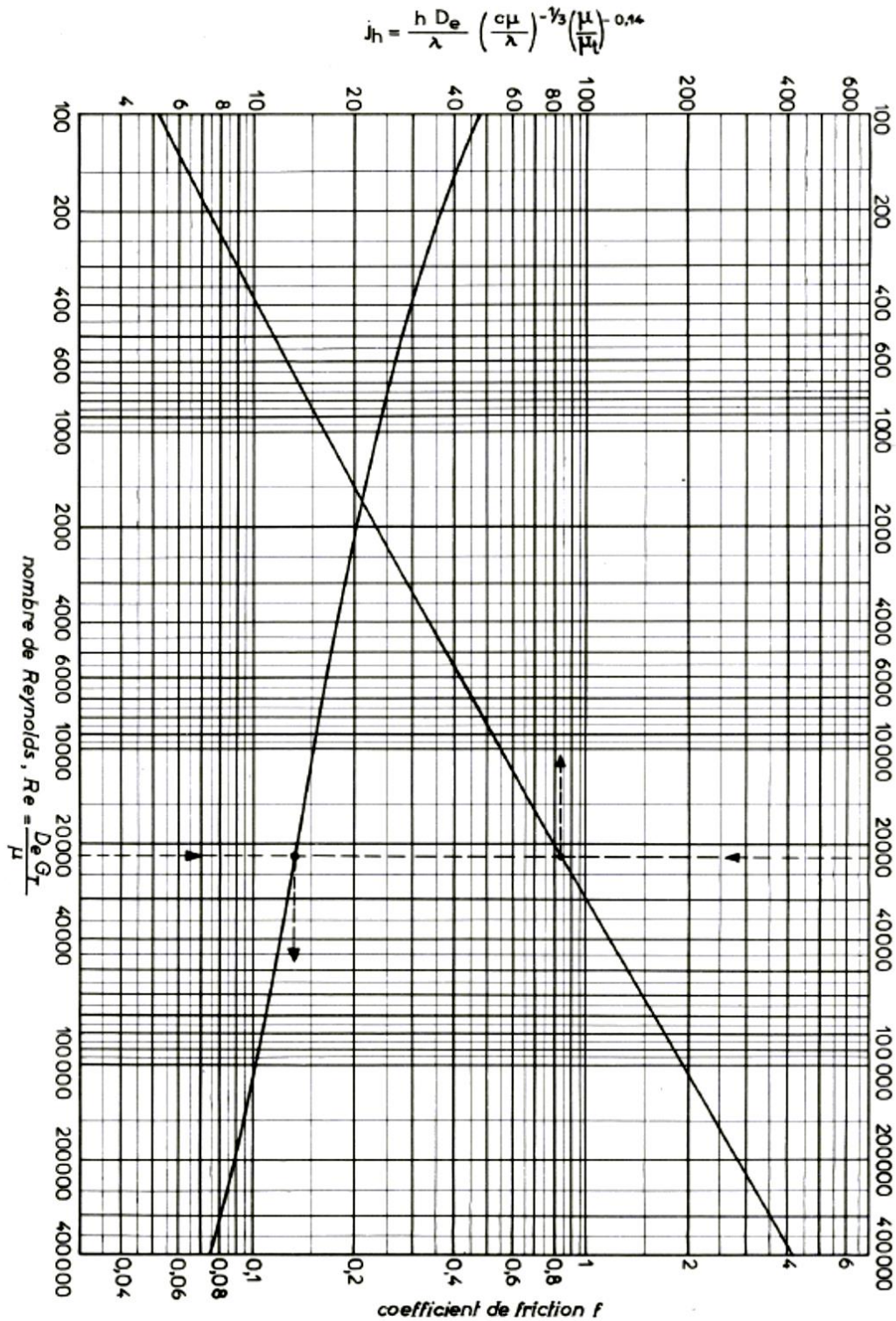


Fig. V.1.26. — Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction du nombre de Reynolds modifié, à l'extérieur des tubes.

**Figure 03.** Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction de nombre de Reynolds à l'extérieur des tubes.

TABLEAU V.1.2  
CARACTÉRISTIQUES DES TUBES D'ÉCHANGEURS

DIAMÈTRE EXTÉRIEUR (in et mm)	BWG	ÉPAISSEUR (mm)	DIAMÈTRE INTÉRIEUR (cm)	SECTION (cm <sup>2</sup> )	SURFACE (m <sup>2</sup> /m)		POIDS (kg/m)
					extérieure	intérieure	
1/2 in (12,7 mm)	14	2,10	0,848	0,565	0,0399	0,0266	0,600
	16	1,65	0,940	0,694		0,0295	0,490
	18	1,24	1,021	0,819		0,0321	0,384
3/4 in (19,05 mm)	10	3,40	1,224	1,177	0,0598	0,0384	1,436
	12	2,77	1,351	1,434		0,0424	1,216
	14	2,10	1,483	1,727		0,0466	0,963
	16	1,65	1,575	1,948		0,0495	0,774
	18	1,24	1,656	2,154		0,0520	0,597
1 in (25,4 mm)	10	3,40	1,859	2,714	0,0798	0,0584	2,024
	12	2,77	1,986	3,098		0,0624	1,696
	14	2,10	2,118	3,523		0,0665	1,324
	16	1,65	2,210	3,836		0,0694	1,057
	18	1,24	2,291	4,122		0,0720	0,811
1 1/4 in (31,75 mm)	10	3,40	2,494	4,885	0,0997	0,0783	2,604
	12	2,77	2,616	5,375		0,0822	2,158
	14	2,10	2,743	5,909		0,0862	1,682
	16	1,65	2,845	6,357		0,0894	1,340
	18	1,24	2,921	6,701		0,0918	1,024
1 1/2 in (38,1 mm)	10	3,40	3,124	7,665	0,1197	0,0981	3,185
	12	2,77	3,251	8,300		0,1021	2,634
	14	2,10	3,378	8,962		0,1061	2,039
	16	1,65	3,480	9,512		0,1093	1,622
	18	1,24	3,556	9,931		0,1171	1,237

Figure 04. Caractéristiques des tubes d'échangeurs.

TABLEAU V.1.4  
DISPOSITION DES TUBES EN CARRÉ

D <sub>c</sub> calandre		Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"				Tubes : 1 1/4" P = 1 9/16"			
		nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	26	20	20		16	14						
10	25,4	52	40	36		32	26	24		12	10		
12	30,5	76	68	68	60	45	40	38	36	24	22	16	16
13 1/4	33,7	90	82	76	70	56	52	48	44	30	30	22	22
15 1/4	38,7	124	116	108	108	76	68	68	64	40	37	35	31
17 1/4	43,9	166	158	150	142	112	96	90	82	53	51	48	44
19 1/4	48,9	220	204	192	188	132	128	122	116	73	71	64	56
21 1/4	54,0	270	246	240	234	166	158	152	148	90	86	82	78
23 1/4	59,1	324	308	302	292	208	192	184	184	112	106	102	96
25	63,5	394	370	356	346	252	238	226	222	135	127	123	115
27	68,6	460	432	420	408	288	278	268	260	160	151	146	140
29	73,7	526	480	468	456	326	300	294	286	188	178	174	166
31	78,8	640	600	580	560	398	380	368	358	220	209	202	193
33	83,8	718	688	676	648	460	432	420	414	252	244	238	226
35	88,9	824	780	766	748	518	488	484	472	287	275	268	258
37	94,0	914	886	866	838	574	562	544	532	322	311	304	293
39	99,0	1024	982	968	948	644	624	612	600	362	348	342	336

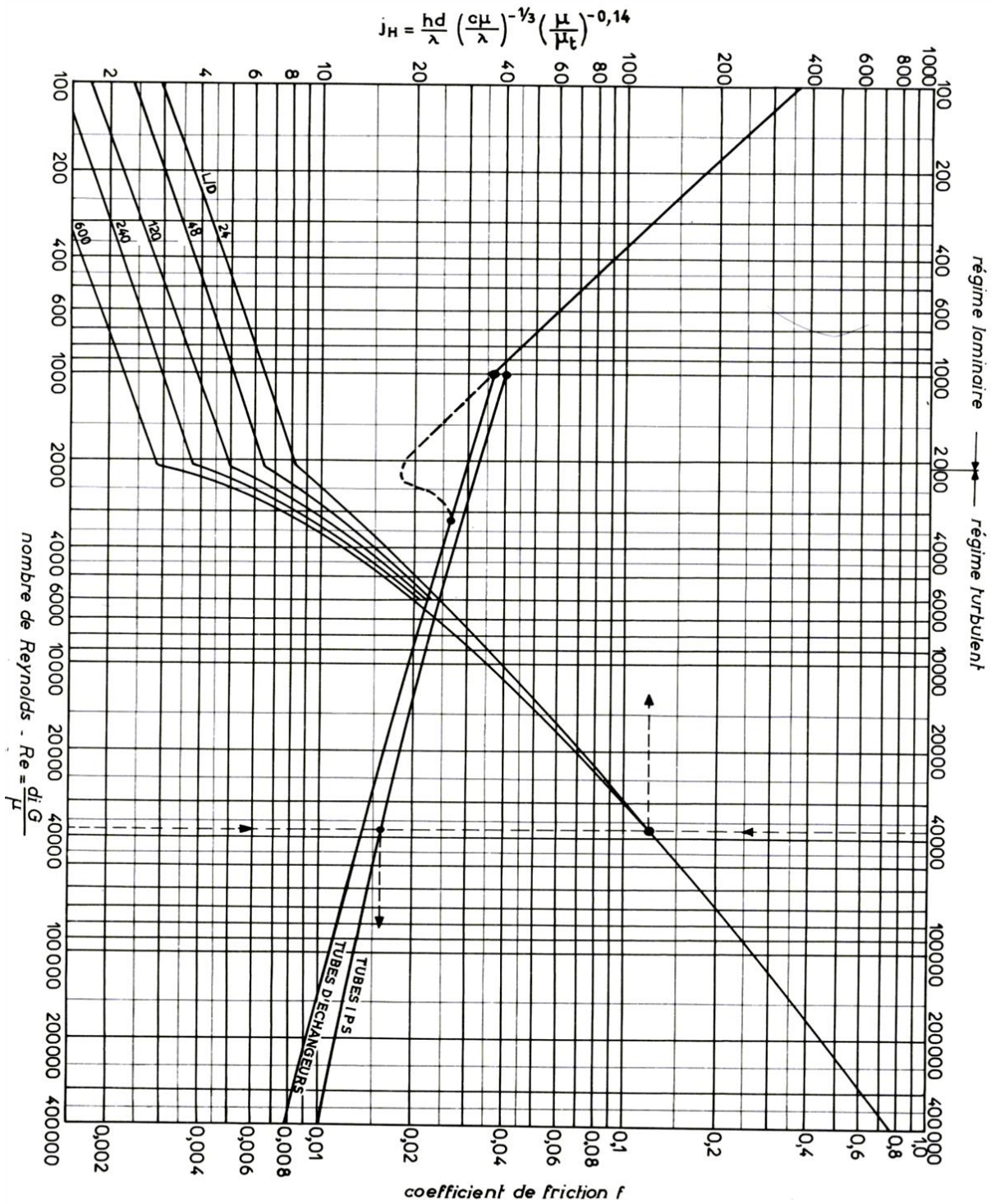
DISPOSITION DES TUBES EN TRIANGLE

D <sub>c</sub> calandre		Tubes : 3/4" P = 15/16"				Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"			
		nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>				nombre de passes : n <sub>t</sub>			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	32	26	24	18	30	24	24		16	16	14	
10	25,4	56	47	42	36	52	40	36		32	26	24	
12	30,5	98	86	82	78	82	76	74	70	52	48	46	44
13 1/4	33,7	114	96	90	86	106	86	82	74	66	58	54	50
15 1/4	38,7	160	140	136	128	138	122	118	110	86	80	74	72
17 1/4	43,9	224	194	188	178	196	178	172	166	118	106	104	94
19 1/4	48,9	282	252	244	234	250	226	216	210	152	140	136	128
21 1/4	54,0	342	314	306	290	302	278	272	260	188	170	164	160
23 1/4	59,1	420	386	378	364	376	352	342	328	232	212	212	202
25	63,5	506	468	446	434	452	422	394	382	282	256	252	242
27	68,6	602	550	536	524	534	488	474	464	334	302	296	286
29	73,7	692	640	620	594	604	556	538	508	376	338	334	316
31	78,8	822	766	722	720	728	678	666	640	454	430	424	400
33	83,8	938	878	852	826	830	774	760	732	522	486	470	454
35	88,9	1068	1004	988	958	938	882	864	848	592	562	546	532
37	94,0	1200	1144	1104	1072	1044	1012	986	870	664	632	614	598
39	99,0	1330	1258	1248	1212	1176	1128	1100	1078	736	700	688	672

Figure 05. Disposition des tubes.

	Design	
Zone du four	Radiation	Convection
Service	Huile	
Débit d'huile	900 T/h Service	
Pression entrée huile		14 bars Service
		16 bars Maxi
Pression sortie huile	11.2 bars Service	
Pression différentielle $\Delta P$	3 bars Maxi	
Température entrée four		140 °C Normale
		170 °C Maxi
Température sortie four	200 °C Moyenne de service	
	250 °C Maxi	
Chaleur spécifique Cp (Kcal/kg C)	0.56	
Viscosité (Cpoise)	1.05	
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	776	
Résistance à l'encrassement (hm <sup>2</sup> °C/Kcal)	0.0002	
Point flash (°C)	216	
Densité à 15°C	0.86	

**Figure 06.** Les caractéristiques d'huile Torada TC 32.



**Figure 07.** Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction de nombre de Reynolds à l'intérieur des tubes.