

Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : Industries Pétrochimiques.

Spécialité : Génie du Raffinage

Présenté par :

KEMMOUKH Khalil Chahr eddine

CHEBBOUB Abdalhak

Thème :

GPL et échangeurs de chaleur

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mr. MAA Président UKM Ouargla.

Mr. Pr Examineur UKM Ouargla.

Melle. BOUFADES Djamila MAA Rapporteur UKM Ouargla.

Année universitaire : 2019/2020

Résumé :

La consommation mondiale des GPL est en croissance continue due à son bilan économique en tant qu'un carburant propre et efficace pour l'avenir. La production de ce dernier doit répondre à des spécifications bien déterminées.

Dans ce travail on a présenté une vue générale sur le GPL, ses caractéristiques et sa production puis une étude sur les différents types des échangeurs de chaleur et leur différente classification et on a décrit une des méthodes utilisées au dimensionnement des changeurs de chaleur.

Mots clés : GPL. Échangeur de chaleur. Méthode de KERN.

Abstract :

Global consumption of LPG is continuously growing due to its economic record as a clean and efficient fuel for the future. The production of the latter must meet specific specifications.

In this work we presented a general view on LPG, its characteristics and its production, then a study on the different types of heat exchangers and their different classification and we described one of the methods used for the sizing of heat exchanger .

Keywords: GPL. Heat exchanger. KERN method.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon père et à ma mère,

Pour leur générosité, leur confiance, leur patience et leur soutien que Dieu leur accorde une longue vie.

A mes chères sœurs Iman, Djawhara, Asma

A ma sœur Ghazala et son époux Ilyes et leur fils Iyad

A mon oncle Mosbah et toute ma grande famille Kemmoukh et Reguig

A Tous mes amis de la cité 460 logements et en particulier Hakou Ballara, Haïthem Hamster, Housseem Zawali, Raouf Massita, Kadi, Anis, Tarek et Wahid Batar

A Tous mes amis avec qui nous avons passé de merveilleux moments dans notre vie d'université Hakou CH, Issam B, Rabeh K, Djalil A, Akib D, Oussama F et Ramden CH

Sans oublier tous les autres ...

Khalil KEMMOUKH



Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs

Encouragements.

À mes frères.

À mes amis et mes camarades.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du

Primaire, du moyen, du secondaire et de

L'enseignement supérieur.

Abd Alhak CHABBOUB

Remerciement

*Avant tout, nous remercions **DIEU** tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la persistance et de nous avoir permis d'exploiter les moyens disponibles afin d'accomplir ce travail.*

*J'adresse, particulièrement, nos remerciements à notre promotrice de thèse **Melle BOUFADES Djamila** pour son soutien durant la réalisation de notre mémoire, ses explications et ses précieux conseils, sa patience tout au long de l'élaboration de ce modeste travail ainsi que ses connaissances bibliographiques qui nous ont beaucoup apporté.*

Un grand merci à tous les enseignants et les responsables du département de génie des procédés pour leur soutien quotidien qu'on a trouvé toujours pour nous aider.

Nous exprimons notre gratitude à tout le personnel de la faculté des sciences appliquées et particulièrement monsieur le doyen.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous souhaitons également remercier toute nos familles et amis pour leur soutien et leur confiance. Merci de m'avoir accompagnée dans cette aventure.

Khalil. K et Abd Alhak.Ch

Liste des tableaux

Tableau I : Composition des GPL	5
Tableau II : Résumé de Caractéristiques des GPL	8
Tableau III: Equivalence thermique du propane	11
Tableau IV :Les équations utilisé dans la méthode de KERN	43

Liste des figures

Figure1:Origine du GPL.....	4
Figure2: Schéma synoptique de l'unité GPL-2.....	13
Figure 3 : organigramme du process.....	14
Figure 4 : Section manifold.....	15
Figure 5 : Section boosting.....	17
Figure 6: Section déshydratation.....	18
Figure 7 : Section de refroidissement et détente.....	19
Figure 8 : Section de fractionnement	21
Figure 9 : Section d'huile chaude.....	22
Figure 10 : Section de dépropanisation.....	23
Figure 11 : Section de stockage.....	24
Figure12: Représentation schématique du phénomène de conduction	27
Figure 13 : Transfert thermique par convection.....	27
Figure 14 : Transfert thermique par rayonnement	28
Figure 15 : Condenseur.....	29
Figure16: Evaporateur.....	29
Figure17: Echangeur Co-courant	30
Figure 18: Echangeur contre-courant	30
Figure 19 : Echangeur à courants croisés.....	31
Figure20: Echangeur à courants croisés méthodiques	31
Figure 21 : Echangeur à courants croisés anti méthodiques	32
Figure 22 : Compacité des échangeurs.....	32
Figure23: Echangeur a deux fluides.....	33
Figure 24 : Echangeur a trois fluides	33
Figure25: Echangeur monotube	36
Figure26:Echangeur coaxial.....	37
Figure27: Echangeur a tube séparé	37
Figure28: Echangeur a tube rapproché.....	37
Figure29: Echangeur à tube ailette.....	38
Figure30: Echangeur à tube et calandre	39

Nomenclatures et Indices

HMD : Hassi masaoud

GPL : Gaz Pétrole Liquéfié

GPLC : Gaz Pétrole Liquéfié Carburant

PC : Pouvoir Calorifique

USA : United States of America (les États-Unis d'Amérique)

TVR : Tension de Vapeur Reid.

RON :Research Octan Number (indice d'octane recherché)

MON :Motor Octan Number (indice d'octane moteur)

MTBE :Methyl-Tert-Butyl-Ether

Nm³/h : normal cubique mètre par heure

OFEFP : Office Fédéral de l'Environnement des Forêts et du Paysages

DREAL : Directions Régionales de l'Environnement, l'Aménagement et du Logement

GES : Gaz à Effet de Serre

JGC : Japon Gazoline Corporation

GTP : Entreprise de Grand Travaux Pétroliers

GCB : Entreprise de Génie Civil et Béton

ENCC : Entreprise Nationale de Construction et Charpente

SIDEM/ECM : Sidérurgie engineering métallique / Entreprise Chaudronnerie métallique

CINA : Centre Industriel Nord

CIS : Centre Industriel Sud

UTBS : Unité de Traitement de Brut Sud

LDHP :Ligne Directe à Haute Pression

LDBP : Ligne Directe à Basse Pression

HP et BP : Haute Pression et Basse Pression

TEMA : Tubulaire Echanger Manufacture Association

D_c : Diamètre de calandre (m)

d_e : Diamètre extérieur des tubes (m)

μ : Viscosité kg/(h.m).

U's : Coefficient de transfert sale (kcal (h.m.C))

L : Longueur d'échangeur (m)

U_s : coefficient global de transfert sale (kcal (h.m.C))

d_i : diamètre intérieur du tube (m)

C_p : La chaleur spécifique kcal/(kg°C)

Sommaire

Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Nomenclateurs en indices	III
Introduction générale.....	1
Chapitre I: Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL)	2
I.1.Historique des GPL	3
I.2.Définition	3
I.3. Origine des GPL	4
I.3.1. Fractions lourdes de l'extraction de gaz naturel.....	4
I.3.2. Fractions légères du raffinage du pétrole	4
I.4. Composition chimique	4
I.5.Les propriétés des GPL	5
I.6.Caractéristiques générales des GPL	6
I.7.Utilisations de GPL.....	8
I.7.1. Source de chauffage	8
I.7. 2. GPL dans la climatisation	8
I.7.3. GPL dans la pétrochimie	8
I.7.4. GPL pour la production d'électricité.....	9
I.7.5 GPL carburant	9
I.8.Risques et sécurité des GPL	9
I.9.Avantages et inconvénients techniques des GPL	10
I.9.1.Avantages	10
I.9.2.Inconvénients.....	12
I.10.Consommation de GPL	12
I.11.Description de l'unité GPL-2.....	13
I.11.1-Principe de fonctionnement de l'unité GPL-2(unité CS-HMD)	14
I.12.Procédé de production du GPL au niveau de l'unité GPL-2.....	15
I.12.1.Section Manifold	15
I.12.2.Sectionboosting	16
I.12.3.Section de déshydratation	17
I.12.4.Section de refroidissement et de détente (liquéfaction)	18
I.12.5.Section de fractionnement	20
I.12.6.Section d'huile chaude	22

I.12.7. Section du dépropaniseur (14-C-301).....	23
I.12.8. Section de stockage et "pomperie"	23
II.1. Introduction	26
II.2. Transfert de chaleur	26
II.2.1. Conduction	26
II.2.2. Convection	27
II.2.3. Rayonnement	28
II.3. Classes d'échangeurs de chaleur.....	28
II.3.1. Les échangeurs et les réfrigérants.....	28
II.3.2. Les condenseurs	28
II.3.3. Les évaporateurs	29
II.4. Critères de classement des échangeurs de chaleur.....	29
II.4.1. Classification selon le mode de circulation	30
II.4.1.1. Echangeur a courants parallèles	30
II.4.1.2. Echangeur à contrecourant	30
II.4.1.3. Echangeurs à courants croisés	30
II.4.2. Classification selon le mode de fonctionnement	32
II.4.3. Classement suivant la compacité de l'échangeur	32
II.4.4. Classification selon le nombre des fluides	33
II.4.5. Classement suivant la nature de matériau de la paroi d'échange	33
II.4.6. Classification selon le contact	33
II.4.6.1. Echangeur a mélange	33
II.4.6.2. Echangeur a surface	34
II.4.7. Classement suivant le mode de transfert de chaleur	34
II.4.8. Classement suivant le procédé de transfert de chaleur.....	34
II.4.9. Classement suivant la fonction de l'échangeur	34
II.4.10. Classification par mode de conception	36
II.4.10.1 .Echangeurs tubulaires	36
II.4.10.2. Echangeurs a plaques	39
II.5. Méthode de calcul d'un échangeur à faisceau et calandre	40
Méthode du KERN.....	41
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annex	

Introduction générale

En Algérie, Les hydrocarbures occupent une place très importante dans le développement économique du pays. L'accroissement de la rente pétrolière revient à l'augmentation conjointe des volumes produits et de la qualité des hydrocarbures.

Durant ces dix dernières années, une nouvelle énergie a réussi à se frayer un chemin à côté du pétrole et du gaz naturel ; il s'agit des gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Grâce à leurs atouts d'énergie propre et transportable, les GPL ont réussi à pénétrer des secteurs aussi divers que le résidentiel, la pétrochimie, l'agriculture, l'industrie et l'automobile (GPLc) [1],

Le marché mondiale va croître pour atteindre environ 270 millions de tonnes d'ici 2012, Ainsi la demande totale va augmenter d'environ 3.1% par an [2].

Vu la consommation mondiale et nationale sur le GPL est en croissance continue due à son bilan économique fiable, à sa propreté et son efficacité pour le lendemain c'est pourquoi la production et l'amélioration de la qualité de ce dernier doivent passer par des étapes nécessaires et des équipements importants dont nous citons les échangeurs de chaleur.

L'échangeur de chaleur est un élément essentiel dans toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande partie (90%) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. [30].

Un échangeur de chaleur est un système qui permet d'échanger la chaleur entre deux fluides sans se mélanger (un fluide chaud et un fluide froid), ces deux fluides sont séparés par une paroi (plane ou tubulaire), la transmission de la chaleur se fait du fluide chaud vers le fluide froid, les fluides, chauffant et chauffé sont des fluides caloporteurs. [30]

- Notre travail mené dans ce projet de fin d'étude a été enchaîné de la façon suivante :

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré aux généralités sur le gaz pétrole liquéfié et les étapes de sa production.

Le second chapitre est réservé pour la présentation d'une vue générale sur les échangeurs de chaleur utilisés dans l'industrie ainsi que les critères de leur classement.

Finalement, ce mémoire sera terminé par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralités sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL)

I.1.Historique des GPL :

Virginie – USA – 20ème siècle : C'est au cours du processus de croissance du marché des produits pétroliers qu'un ingénieur de la Riverside OilCompany à découvert les Gaz de Pétrole Liquéfié(GPL).

Le 24 décembre 1910, H. Stukeman réussit pour la première fois à obtenir les 658 premiers litres de GPL liquide. Cet ingénieur avait entrepris ses travaux sous l'impulsion de son Directeur Général, A.N. Kerr, qui dirigeait la raffinerie. Ce dernier se trouvait depuis un certain temps confronté au problème de l'évaporation des essences minérales (extraites du gaz naturel associé aux gisements de pétrole) qui étaient stockées dans des bacs à ciel ouvert. Pour limiter ses pertes, il eut l'idée de récupérer les vapeurs et d'essayer de les recondenser, Ainsi étaient nés les Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL) [3].

C'est en 1912 que fut expérimentée la première installation domestique au GPL. Dans la même année, la carburation automobile au GPL fit ses premiers pas. Le pré-développement de cette invention prit cependant une dizaine d'années. En 1922, les statistiques officielles font état de 417 tonnes de GPL vendues dans l'ensemble des Etats-Unis. Les compagnies pétrolières commencent à s'intéresser au GPL et le commercialisent dès 1927, L'impulsion est alors donnée et en 1930, 20 ans après leur découverte, la consommation de GPL aux Etats-Unis atteignait 32 200 tonnes.

Pour l'Europe, c'est en France que débutera le GPL en 1932, en usage domestique, En revanche, Le GPL carburant n'y sera autorisé qu'en 1979 [3].

En Algérie Suite à une phase d'étude et d'expérimentation entamée en 1977 , la décision d'introduire le GPL carburant « SIRGHAZ » est intervenue en 1983 avec l'adoption de la bicarburation et la mise en place de la réglementation liée aux conditions d'utilisation et de distribution du GPL/C [4].

I.2.Définition :

Le GPL est un mélange gazeux composé essentiellement de butane et du propane à température ambiante et pression atmosphérique, et peut passer à l'état liquide sous les conditions suivantes :

- Pression relevée à la température ambiante.
- Pression atmosphérique et basse température.
- Pression modérée et température pas tellement basse.

Cette propriété lui permet d'être stocké dans un volume réduit (250 litres de GPL gazeux égale à un litre de GPL liquide). [5]

I.3. Origine des GPL :

Le GPL provient de deux origines :

I.3.1. 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.

I.3.2. 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. [6]



Figure1 : Origine du GPL [7].

I.4. Composition chimique :

La composition chimique du GPL est variable, selon les normes et sa provenance. Il peut contenir du propylène, du butène, une faible quantité en méthane, éthylène, pentane, et exceptionnellement du butadiène, de l'acétylène et du méthyle acétylène. Les atomes du butane et du propane sont tous reliés par des liaisons simples (ou covalentes), cela signifie que tous ces atomes liés entre eux mettent en commun un électron de leurs couches externes afin de former des doublets d'électrons qui maintiennent l'attraction entre atomes. [8]

Le composant du GPL	% molaire
Méthane	0,32
Ethane	1,12
Propane	60,95
Iso butane	15,46
Normal butane	22,14
Iso pentane	0,01

Tableau I : Composition des GPL [9]

I.5. Les propriétés des GPL :

A température ambiante et à pression atmosphérique, les GPL ont la propriété d'être à l'état gazeux. Mais ils se liquéfient aisément en augmentant leur pression, facilitant ainsi leur stockage et utilisation.

Les GPL ne sont pas vraiment toxiques : ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant, s'ils sont inhalés longuement et peuvent provoquer des migraines et des maux d'estomac.

Le GPL, lorsqu'il se réprend sous sa forme liquide, hors d'un container sous pression s'évapore en produisant du froid : au contact de la peau, il provoque des brûlures. Caractéristiques appelées "brûlures froides" [10].

Les vapeurs des GPL constituent avec l'air un mélange extrêmement inflammable et dangereux. Leur domaine d'inflammabilité dans l'air à 20°C et sous 1 atm varie de 2% à 10% (% volumique). Ce mélange est détonnant au contact d'une source de chaleur (flamme ou étincelle) [10].

Pour mieux les reconnaître ou déceler d'éventuelles fuites, on leur donne une odeur particulière au moyen de substances appropriées (mercaptans).

A l'état liquide, les GPL ont un haut coefficient de dilatation, ils se dilatent de 0,25 % par degré de température dont il faut tenir compte lors de leurs stockages dans les récipients que le remplissage ne doit jamais être dépassé au maximum 85% de sa capacité [11].

Le propane et le butane sont chimiquement réactifs et ils peuvent détériorer certains caoutchoucs naturels ou certaines matières plastiques. Il est donc primordial de n'utiliser que des accessoires et des équipements spécialement conçus pour ces gaz.

Les GPL sont insolubles dans l'eau et ils n'ont pas de propriétés lubrifiantes d'où ce qui doit être pris en considération lors du dimensionnement des compresseurs et des pompes.

Les GPL sont d'une pureté parfaite et brûlent sans aucun déchet, n'encrassent ni les conduites, ni les brûleurs des appareils d'utilisation.

Les GPL ne présentent aucun danger d'empoisonnement et n'est pas à craindre par inhalation,

à condition toutefois que l'organisme trouve suffisamment d'oxygène dans l'air. [12].

I.6. Caractéristiques générales des GPL :

➤ Odeur :

Le GPL est inodore à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant, ce sont des composés sulfures tel que le diéthylmercaptane ou le diméthylsulfide pour des raisons de sécurité.

➤ Tension de vapeur :

La TVR du GPL est de 8 et 2 bars pour le propane et le butane respectivement à 20 °C.

➤ Dilatation :

À l'état liquide, le GPL a un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).

➤ Densité :

Aux conditions normales de température et pression, le GPL est plus lourd 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.

➤ Température d'ébullition :

A la pression atmosphérique la température d'ébullition de propane est de (- 42 °C), celle de butane est de (- 6 °C).

➤ Pouvoir calorifique :

C'est la propriété la plus intéressante étant donné que le GPL est traditionnellement utilisé pour les besoins domestiques :

- Iso-butane: PC = 29460 (kcal/kg).

- Normal butane: PC = 29622 (kcal/kg).

- Propane: PC = 22506 (kcal/ kg).

➤ Impuretés :

Le plus important est le soufre, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005 % en masse, ainsi l'eau l'un des impuretés importants.

➤ Le GPL est non corrosif à l'acier mais généralement aux cuivres et ces alliages ou l'aluminium.

- Le GPL n'a aucune propriété de lubrification et cet effet doit être pris en considération lors de la conception des équipements du GPL (pompes et compresseurs) Le GPL est incolore, que ce soit en phase liquide ou en phase gazeuse.
- Le GPL ne sont pas vraiment toxiques, ils présentent tout au plus un léger pouvoir anesthésiant s'ils sont inhalés longuement et provoquer des migraines et des maux d'estomac.
- Le poids spécifique du GPL est environ la moitié de celui de l'eau.
- Le gaz propane a une densité de 1,5 fois de l'air.
- Le GPL n'est ni toxique ni corrosif vis à vis des aciers.
- Le GPL n'est pas de propriétés lubrifiantes et ceci doit être pris en considération lors du dimensionnement des compresseurs et des pompes.
- Le GPL est caractérisé par un indice d'octane recherché (RON) naturellement élevé atteignant aisément 98. Cette propriété découle en fait directement de des valeurs de RON de chacun de ces constituants. Par ailleurs, son indice d'octane moteur (MON) est, lui aussi légèrement plus élevé que celui des essences classiques [13].
- La masse volumique :
 - La masse Volumique G.P.L. à l'état gazeux

Air = 1,2 g/l

Propane = 1,8 g/l

Butane = 2,4 g/l

Les G.P.L en phase gazeuse sont deux fois plus lourds que l'air.

- La masse Volumique G.P.L. à l'état liquide

Eau = 1 kg/l

Propane = 0,51 kg/l

Butane = 0,58 kg/l

Le G.P.L. en phase liquide est deux fois plus léger que l'eau [14].

Odeur	Tension de vapeur	Densité	Température d'ébullition	Pouvoir calorifique	Impuretés	La masse volumique
Le GPL est inodore à l'état naturel	Pour le propane est 8 bar Pour le butane est 2 bar A 20 °C	à 38 °C la densité est égale 0,534	A la pression atm propane est de (- 42 °C), celle de butane est de (- 6 °C).	-iC4: PC= 29460 (kcal/kg). -nC4: PC=29622 (kcal/kg). - C4 : PC = 22506 (kcal/ kg).	La teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005 % en masse	G.P.L. à l'état gazeux Air = 1,2 g/l Propane = 1,8 g/l Butane = 2,4 g/l
						G.P.L. à l'état liquide Eau = 1 kg/l Propane = 0, 51 kg/l Butane = 0, 58 kg/l

Tableau II : Résumé de Caractéristiques des GPL

I.7.Utilisations de GPL :

Les ressources en hydrocarbures sont essentiellement composées d'hydrocarbures gazeux : le gaz naturel et le GPL.

Compte tenu des profils de production prévisionnels, les GPL constituent la ressource la moins entamée. S'agissant du marché national, de grandes possibilités d'utilisation des GPL existent pour tous les usages énergétiques. Cependant, hormis le butane qui a connu une très forte pénétration dans le secteur résiduel, le propane a été très faiblement utilisé dans les autres secteurs potentiels : transports, industrie, agriculture.

I.7.1. Source de chauffage :

Les appareils domestiques utilisés actuellement sont conçus pour s'adapter à l'utilisation de GPL. Une plus grande flexibilité, les aspirations de la clientèle et la recherche du rapport prix /qualité sont les facteurs principaux de l'évolution de ces appareils.

I.7. 2. GPL dans la climatisation :

Il est utilisé pour la construction des réfrigérateurs et des climatiseurs (moyenne capacité) grâce à sa détente d'absorption de la chaleur et de créer le froid.

I.7.3. GPL dans la pétrochimie :

18% des GPL sont consommés comme charge pétrochimique (production de l'éthylène qui est un produit phare de la pétrochimie).La demande globale pétrochimique de GPL enregistre un taux de croissance de 10%.

L'utilisation du butane est liée essentiellement à la fabrication du MTBE utilisé comme booster des essences en substitution au PTE.

I.7.4. GPL pour la production d'électricité :

Les rythmes attendus de la croissance de la demande mondiale en électricité dépasseraient largement ceux des autres formes d'énergies finales. Elle atteindra 21,2% en l'an 2010.

Les GPL pour la production d'électricité s'avère être une solution privilégiée par rapport aux autres combustibles (Charbon, Fuel...), et ce tant du point de vue économique qu'écologique.

I.7.5 GPL carburant :

La pollution de l'air et climat, le bilan écologique comparé des différents carburants attribue les meilleurs notes, et de loin au GPL, et au gaz naturel.

Si on les généralisait, on soulagerait bien plus l'environnement qu'en améliorant la qualité de l'essence et de diesel. Les autres carburants examinés n'apportent guère des avantages comparés à ces derniers.

Parfois même ils sont moins favorables, tel est le résultat d'une étude réalisée à la demande de l'OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement des Forêts et du Paysages) intitulée éco profils des carburants [15].

I.8. Risques et sécurité des GPL :

Le GPL peut 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 [16].
- 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'œuf 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 [17].

I.9. Avantages et inconvénients techniques des GPL :

I.9.1. Avantages :

Les gaz butane et propane, les GPL, sont une énergie exceptionnelle en raison de leurs origines, de leurs caractéristiques et de leurs applications. En tant qu'énergie moins polluante, faiblement émettrice de CO₂, performante et novatrice, les GPL offrent de nombreux avantages pour les consommateurs et les secteurs professionnels comme pour l'environnement, ils permettent aussi d'assurer et de contribuer, sans délai, à un modèle énergétique durable, compétitif et plus sûr.

➤ **Propre :**

Les GPL peuvent contribuer et offrir des solutions immédiates à l'amélioration de la qualité de l'air avec, d'une part, l'adoption du GPL carburant dans le secteur de l'automobile, d'autre part, la substitution du bois et du kérosène par des GPL pour les besoins de cuisson et de chauffage ; permettent de réduire de 15% les émissions de gaz à effet de serre (GES) par rapport au chauffage au fioul.

Les GPL sont l'une des seules énergies conventionnelles disponible partout et plus propre car ils produisent moins de GES que l'essence, le gazole et l'électricité d'origine thermique, ils réduisent significativement les polluants (oxydes d'azote, hydrocarbures...) et les émissions de CO₂. Les GPL provenant majoritairement des champs de gaz naturel, ils sont également non toxiques et sans impact sur les sols, l'eau et les nappes phréatiques.

➤ **Performant :**

Les GPL sont performants énergétiquement car ils ont un plus grand pouvoir calorifique que les autres énergies couramment utilisées comme le charbon, le gaz naturel, le fioul, le diesel, l'essence, et les bio carburants. Cela signifie qu'une flamme de GPL dégage plus de chaleur ce qui se traduit par une plus grande performance énergétique. En termes de quantité de chaleur dégagée, voici les équivalences:

- 1Kg de propane

Bois	Charbon	Fioul	Gaz naturel	Electricité
3 à 6 Kg	1,5 à 2 Kg	1,29 L	1,16 m ³	1,38 KWh

Tableau III : Equivalence thermique du propane [18]

Le rendement de combustion des GPL peut être jusqu'à 5 fois plus important que les combustibles traditionnels, ce qui entraîne moins de gaspillage d'énergie et une meilleure utilisation des ressources de notre planète.

➤ **Innovation :**

Les GPL sont une source d'énergie qui favorise l'innovation, car ils permettent également la production localisée d'électricité ; ils sont couramment utilisés dans le secteur agricole, comme carburant pour les véhicules agricoles et comme insectifuge. Energie moderne et écologique, les GPL peuvent jouer un rôle essentiel dans le développement de l'agriculture en remplaçant les produits chimiques dans la désinfection des étables ou dans le traitement des mauvaises herbes par exemple.

- Les GPL sont facilement transportables, car ils ne nécessitent pas d'infrastructures pour être transportés. C'est pourquoi ils sont souvent la seule énergie disponible dans les îles, en haute altitude voire même lors de situations de crises comme lors de catastrophes naturelles. Ils sont aussi aisément stockable et utilisable quasiment partout dans le monde et ses ressources sont assurées pendant plusieurs décennies. Dans les régions isolées ou difficilement accessibles aux réseaux de gaz naturel, les GPL répondent aux besoins d'énergie soit comme source principale ou en combinaison avec des énergies renouvelables.
- Le fonctionnement du moteur avec le GPLC est plus silencieux et les vibrations diminuent contrairement aux carburants classiques, la combustion du GPL ne laisse aucun dépôt et procure au moteur et au lubrifiant une longévité accrue. Les révisions peuvent être espacées tous les 30000 km.
- L'installation d'un équipement GPL obéit à des normes de sécurité très strictes (nature et emplacement des réservoirs, homologation des matériels...).
- Le GPL est économique :
Le prix du GPL/litre est le moins cher du marché. Il se situe en général à 50% du prix au litre du Sans plomb et à au moins 30% de celui du diesel. De plus, les incitations fiscales couvrent tout ou en partie le surcoût par rapport à une version essence, les tarifs étant généralement inférieurs à ceux du diesel [19].

I.9.2.Inconvénients:

- Persistance d'une possibilité de fuite et d'inflammation du mélange suite à une collision.
- Il existe un inconvénient majeur d'encombrement, le réservoir peut amputer le volume du coffre.

Toutefois les constructeurs proposent dès la conception de leurs modèles une version GPL/c avec réservoir intégré [18].

I.10.Consommation de GPL :

Les dernières statistiques sur la consommation du combustible en Algérie, ont dévoilé un changement dans le comportement des consommateurs, qui recourent de plus en plus au GPL. La consommation des GPL, principalement dans le secteur domestique, a enregistré une croissance de l'ordre de 2%.L'utilisation du GPL comme carburant, suscite un intérêt croissant ; il a augmenté de 40%, chose qui aidera parfaitement l'état à réduire les importations du carburant et les produits pétroliers raffinés dont la facture est estimée à plus d'un milliard de dollars par an [16].

I.11.Description de l'unité GPL-2 :

L'unité de traitement du gaz du pétrole liquéfié GPL est implantée au centre industriel sud de HASSIMESSAOUD.

Les travaux de construction ont débuté en 1994 la supervision est assurée par la firme japonaise J.G.C (Japon Gazoline Corporation), elle a été mise en marche en 1997 dans le but de récupérer le maximum de gaz de propane et de butane (C3 & C4).

L'usine GPL-2 a été réalisée suite à un contrat de partenariat entre SONATRACH et JGC. La partie engineering du projet a été confiée à JGC, tandis que les travaux de construction ont été entrepris par des sociétés et les entreprises de construction algériennes réparties comme suit :

Entreprise de Grand Travaux Pétroliers (GTP) 80%

Entreprise de Génie Civil et Béton (GCB) 16%

Entreprise Nationale de Construction et Charpente (ENCC) 3% Sidérurgie engineering métallique / Entreprise Chaudronnerie métallique (SIDEM/ECM) 1%

Le nombre total d'heures de travail effectuées a été de 34.560 heures. Le démarrage effectif de la production a eu lieu le 05 Janvier 1997 par un personnel mixte Algéro-japonais [36].

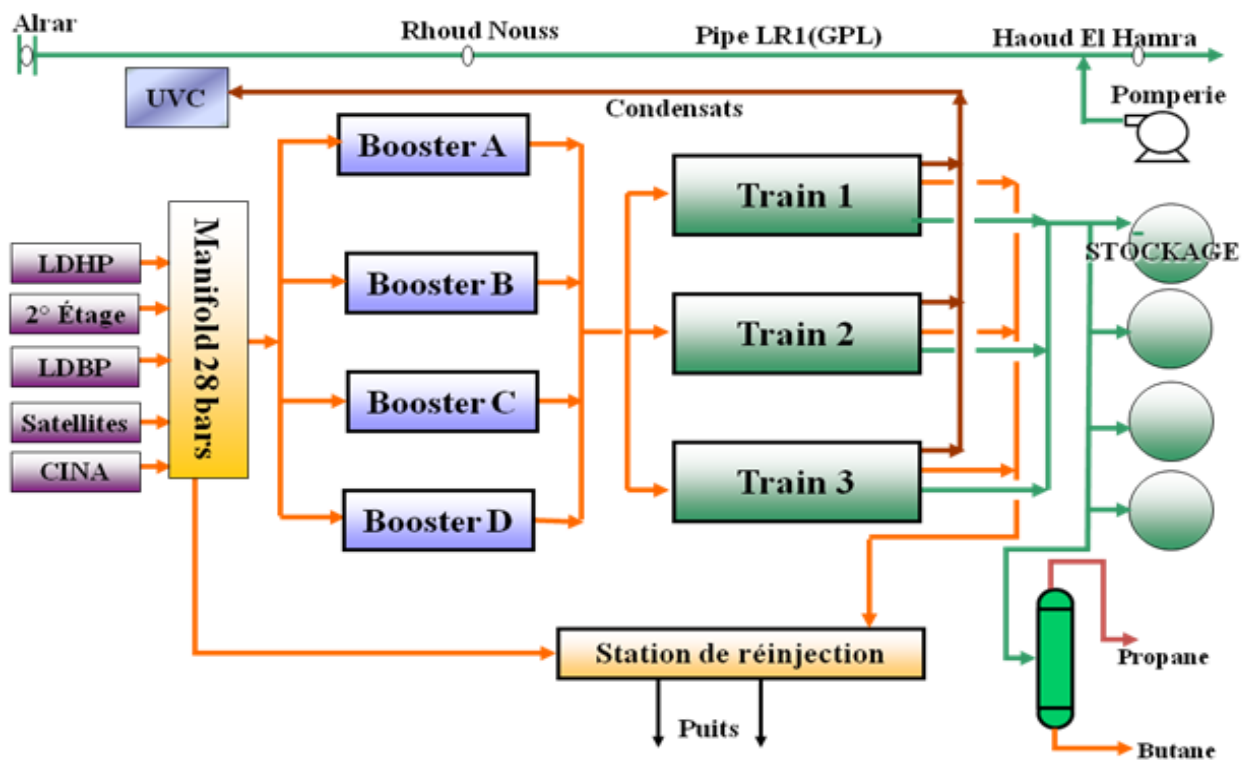


Figure2:Schéma synoptique de l'unité GPL-2.[37]

I.11.1-Principe de fonctionnement de l'unité GPL-2(unité CS-HMD) :

Le fonctionnement de l'unité GPL-2 est basé sur le schéma de principe suivant :

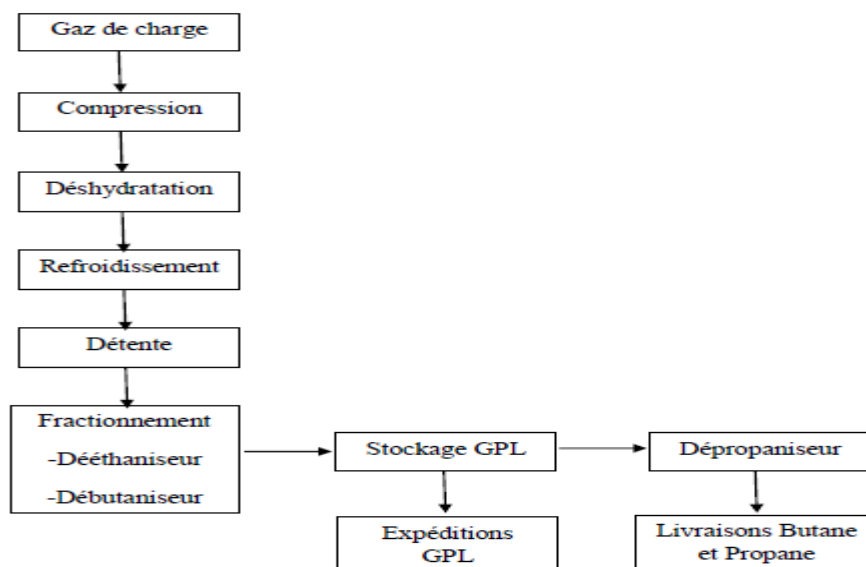


Figure 3 : organigramme du process. [37]

L'unité GPL-2 est composée des sections suivantes :

- Un manifold de distribution, alimente les deux GPL de CIS.
- Une section de Boosting (section10) : composée de quatre turbocompresseurs d'une puissance unitaire de 30000CV.
- Trois trains identiques (section 11-12-13) : constitués chacun de :
 - Trois déshydrateurs (tamis moléculaire).
 - Un turbo-Expandeur (refroidissement et détente).
 - Fractionnement constitué de colonnes déséthaniseur et désbutaniseur.
 - Une boucle d'huile chaude (régénération).
 - Des échangeurs et des Aéroréfrigérants.
- Un dépropaniseur (section 14) : pour la production du propane et butane commerciaux.
- Quatre sphères de stockage de GPL : (section 15), et d'une pomperie d'expédition.
- Utilités (section 16) :
 - Un réseau d'air service et d'air instrument.
 - Unité d'azote pour la production d'azote gazeux.
 - Un système d'injection de méthanol qui a pour but de dégivrer la formation des hydrates.
 - Un bac de stockage d'eau pour le réseau anti-incendie (sécurité) avec pomperie.
 - Unité de fuel gaz.

I.12.Procédé de production du GPL au niveau de l'unité GPL-2:

I.12.1.Section Manifold :

La capacité de charge de ce manifold est d'environ 40 millions de Nm³ /jour.

L'arrivée du gaz au manifold par différentes sources alimente l'unité de GPL-2. Ces gaz sont issus de la séparation du pétrole brut au niveau des champs de séparation appelés communément "satellites",

Les gaz venant des complexes CINA (centre industriel nord) et CIS (centre industriel sud section traitement) et UTBS (unité de traitement de brut sud).

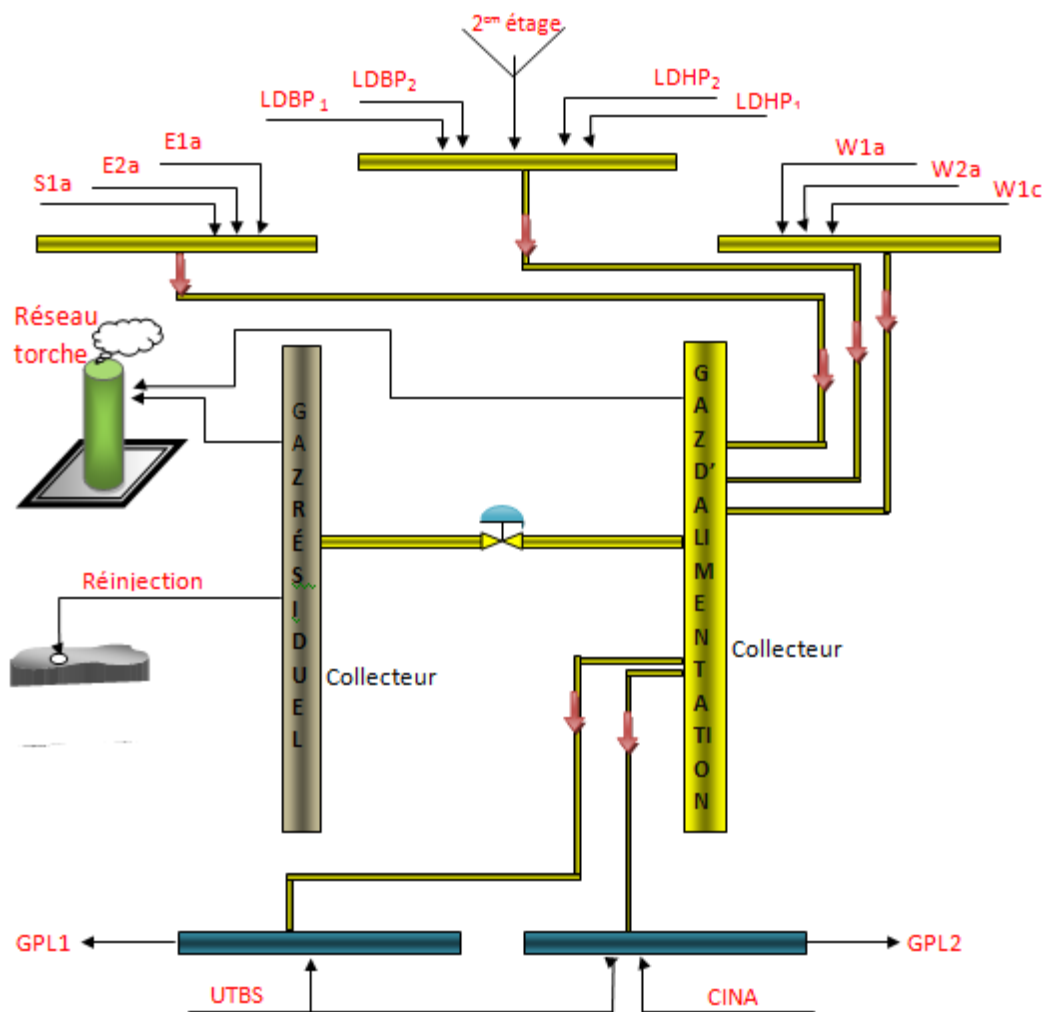


Figure4: Section manifold [37]

Les 3 collecteurs primaires reçoivent une charge de telle manière qu'on a :

- Un collecteur qui regroupe les gaz du satellite : E1a, E2a et S1a.
- Un collecteur ouest collecte les gaz du satellite ouest : W1a, W2a et W1c.
- Un troisième collecteur qui réunit les gaz provenant de la zone de traitement des gaz de LDHP1, LDHP2, (ligne directe à haute pression) et ceux de LDBP1, LDBP2 (ligne

directe à basse pression qui ont subi une compression de 11 bars à 28 bars) et les gaz de 2ieme étage (qui ont subi une double compression de 6 à 11bars puis à 28 bars).

Ces 3 collecteurs renvoient le gaz dans un autre collecteur d'alimentation de 48'' d'une capacité de 40Millions Nm³/jour (en unité standard, 42 Millions Nm³/jour) et ce dernier alimente le GPL-1 et GPL-2.

Une ligne de banalisation munie d'une vanne de banalisation assure l'évacuation du gaz du collecteur d'alimentation à un autre collecteur résiduel en cas d'augmentation de la pression. Le gaz est par la suite comprimé et réinjecté dans des puits.

Les collecteurs d'alimentation et résiduel sont munis d'une sécurité de surpression (haute pression)grâce à des vannes de torches qui y sont installées [38].

Le gaz envoyé par CINA pique directement dans la conduite du GPL-2 pour atteindre une capacité de 24 MNm³/jour. Le gaz qui provient de l'UTBS (unité de traitement) rentre dans les deux conduites de GPL-2 42'' et GPL-1 20'' pour que cette dernière (GPL-1) reçoive une capacité de 5,6 MN m³/jour.

I.12.2.Section boosting :

Avant que le gaz ne soit comprimé il devra être en premier lieu séparé et cela est assuré par son passage par deux ballons de séparation (SLAG-CATCHER) qui ont pour rôle d'éliminer une quantité de liquide. Le fond du ballon est envoyé vers la section de traitement car il contient une quantité de condensat et le haut de ce ballon est envoyé vers la section boosting qui est composée de quatre compresseurs Nuevo Pignone de type BCL 506 A entraînés par une turbine à gaz de type "General Electrics Fram 5001" [38].

Le gaz provenant du manifold à une pression de 28 bars passe dans les ballons d'aspiration (10-D101A/B/C/D) pour séparer d'une part les liquides et d'autre part les gaz. Le liquide c'est de l'eau huileuse qui est envoyée vers le bassin API. Le haut de ce ballon (gaz) est comprimé dans les compresseurs (10-K101 A/B/C/D), dont l'un est en stand-by à une pression de 97 bars (soit une température de 125°C). Ce compresseur est entraîné par une turbine qui est composée par un moteur de lancement et un compresseur axial, une chambre de combustion qui donne naissance à une énergie pour tourner deux roues HP et BP puis un multiplicateur de vitesse pour augmenter la rotation du compresseur à gaz(c'est un compresseur centrifuge à 6 roues).

Ces gaz sont ensuite refroidis à une température de 50°C par des aéro-réfrigérants (E101), puis se dirigent vers les ballons de refoulement (10-E202 A/B/C/D) où a lieu la séparation et l'élimination de l'eau condensée. Les gaz sortant en tête de ces séparateurs sont collectés dans un collecteur commun de 34'' qui alimente les trois trains.

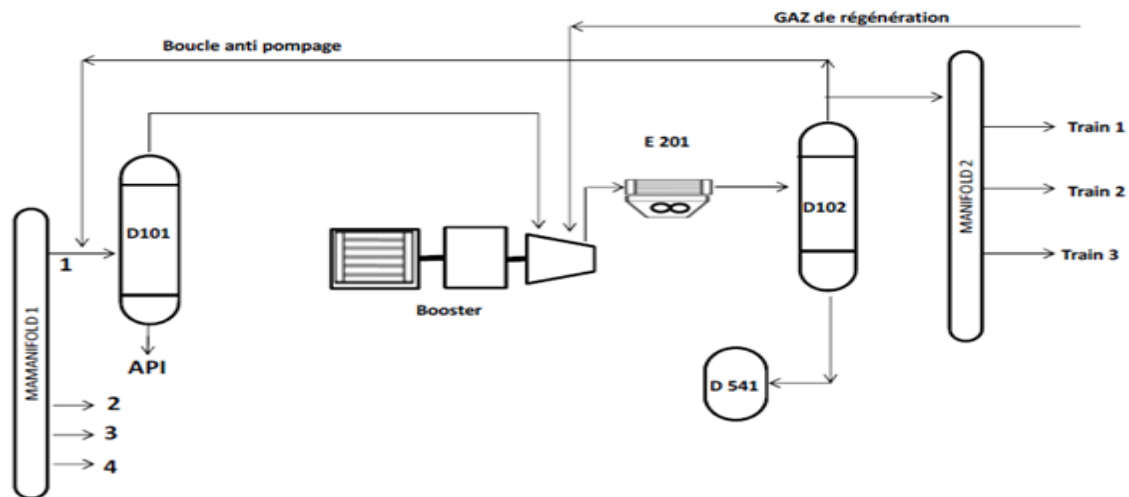


Figure5:Section boosting. [37]

I.12.3.Section de déshydratation :

Le gaz d'alimentation sortant du collecteur de refoulement des boosters à 50°C et 95 bars à une teneur en eau de 1600 ppmv. Celui-ci traverse de haut en bas les sécheurs où à lieu un phénomène d'adsorption par un lit de tamis moléculaire type 4 A° qui élimine et réduit la teneur en eau à moins de 1 ppmv. Ce déshydrateur est un ballon qui comporte un support métallique et un support granulaire (forme bille 1/2'' et 1/4'') et une couche de tamis 1/8'' de forme cylindrique.

Deshydrateurs en service : (XV-201) c'est une vanne tout ou rien par la quelle le gaz rentre dans cette section pour passer dans le haut des trois déshydrateurs (sécheurs) dont l'un est en régénération.

Deux filtres V-201A/B en aval des trois sécheurs retiennent les éventuelles particules de poussière afin d'éviter la formation de bouchons dans les instruments de mesure et les appareils sensibles ainsi que l'érosion de ces derniers. Des hygromètres en ligne placés à la sortie de la section de déshydratation servent à mesurer la teneur en eau du gaz séché. Toujours : température = 50°C, pression=95 bar.

Deshydrateurs en régénération: Une partie de ce gaz déshydraté (54 kNm³ /h) est chauffée dans les échangeurs d'huile E-201A/B/C pour augmenter sa température jusqu'à 275°C. Pendant 2 heures, ce gaz passe au fond du ballon de régénération pour faciliter l'évaporation des gouttes d'eau absorbées par le tamis. On récupère le liquide dans le ballon D-202 qui sera envoyé vers le traitement par une vanne

LV-202, après avoir refroidi ce gaz à 50°C par son passage à travers les aéro E-202 A/B, dans ce parcours la pression du gaz chute de 10 bars (87 bars) c'est pour cette raison on le renvoie dans la Giemeroue du compresseur pour le comprimer à 95 bars avec le gaz provenant du manifold.

Après la régénération du tamis, un gaz du process froid passe à travers le ballon de régénération pour le refroidir dont l'objectif est d'éviter la perturbation de la température dans le train [38].

Donc le cycle d'un déshydrateur est de 12 heures : 8 heures de service et 4 heures de régénération (2heures de chauffage et 1 heure 40 min de refroidissement).

Donc le cycle d'un déshydrateur est de 12 heures : 8 heures de service et 4 heures de régénération (2heures de chauffage et 1 heure 40 min de refroidissement).

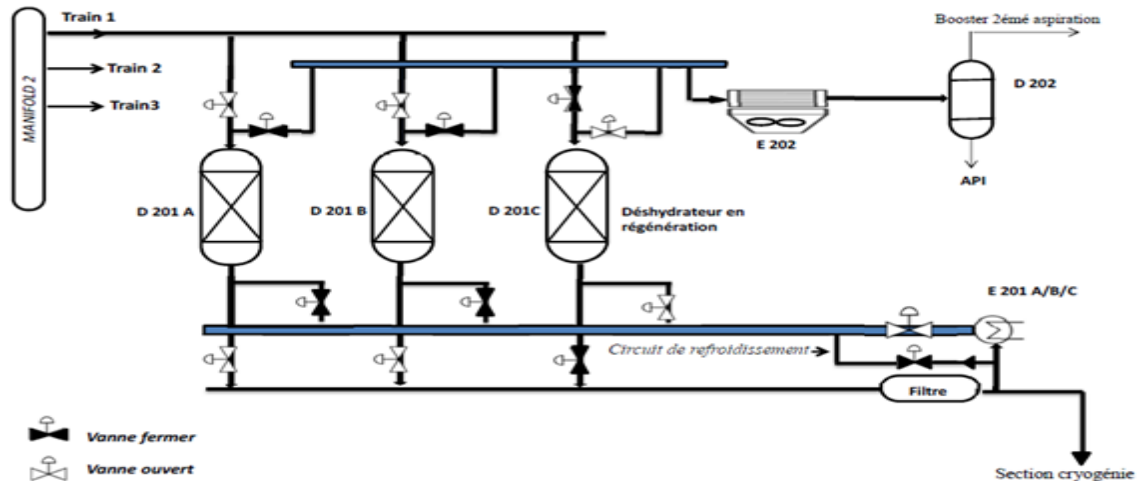


Figure 6 : Section déshydratation. [37]

I.12.4. Section de refroidissement et de détente (liquéfaction) :

Le gaz entre dans la section de réfrigération à une pression de 94 bars et une température de 50°C se divise en deux courants, l'un se dirige vers l'échangeur 11-E-203 ; et l'autre vers l'échangeur 11-E-204 pour un premier refroidissement jusqu'à une température de 14.3°C. Les deux courants convergent vers le même échangeur 11-E-205 où leur température diminue jusqu'à 12°C.

Le gaz de charge passe ensuite dans un séparateur haute pression 11-D-203 où les deux phases : gaz et liquide sont séparées. Après avoir cédé ses frigories dans l'échangeur 11-E-204 afin de refroidir le gaz de charge, le liquide de ce ballon est envoyé comme première charge du dééthaniseur, introduite au niveau de 21^{ème} plateau, tandis que la phase gazeuse subit une détente dans le turbo-expandeur 11-K-201 jusqu'à une pression de 21 bars et une température de -43°C et il se produit une condensation partielle du gaz, le mélange diphasique est séparé dans le ballon de refoulement de l'expander 11-D-204.

Le gaz froid du ballon 11-D-204 refroidit le produit de tête du 11-C-201 jusqu'à une température de -24°C dans l'échangeur 11-E-208 puis il se mélange avec le gaz du ballon de reflux du dééthaniseur 11-D-205 en formant le mélange du gaz résiduel. Ce mélange de gaz

refroidit par la suite le gaz de charge dans l'échangeur 11-E-203. La température du gaz résiduel à la sortie de l'échangeur 11-E-203 est de 42.3°C [45].

Ce gaz résiduel est comprimé dans le compresseur du turbo-expandeur 11-K-201 jusqu'à une pression de 28 bars avant d'être envoyé vers le manifold, puis vers les unités de réinjection.

Le liquide provenant du ballon 11-D-204 aspiré par la pompe 11-G-201A/B vers l'échangeur 11-E-207, pour refroidir le gaz de tête du dééthaniseur et le gaz de charge dans l'échangeur 11-E-205 ; ensuite il est acheminé vers le dééthaniseur 11-C-201 comme une deuxième charge, introduite au niveau de 13ème plateau. Les deux températures de ce liquide à la sortie de chaque échangeur sont respectivement de 16°C et de -5.7°C.

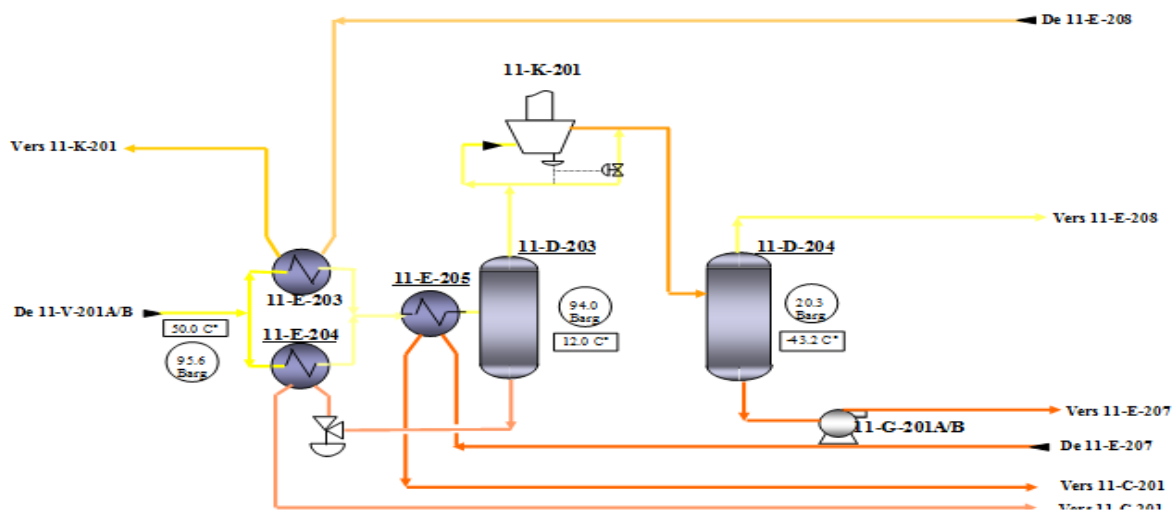


Figure 7 : Section de refroidissement et détente [37]

➤ **Exploitation de la vanne Joule Thomson :**

Si l'expander K-201 est à l'arrêt, le gaz de tête de D-203 est envoyé au D-204 via la vanne J-T. Lors du passage de l'exploitation normale à l'exploitation J-T la pression de service du dééthaniseur augmente, le GPL de production est stocké dans le réservoir du GPL Off Spec T-402.

Lorsque l'exploitation J-T est stabilisée, et la qualité de GPL est conforme à la spécification commerciale, le GPL est envoyé vers le pipe d'expédition.

Remarque : Puisque la détente à travers le turbo-expander est presque isentropique, la baisse en température du gaz est plus importante que dans le cas d'une vanne Joule Thomson (détentes enthalpique).

➤ **Techniques de traitement :**

Les procédés de traitement de gaz sont multiples et le choix de type de traitement se base sur les critères suivants :

- La quantité de l'effluent brut.
- Taux de récupération d'hydrocarbures visé.
- Spécification des produits.
- Coût global des investissements.

Nous allons citer trois types de procédés :

➤ **Procédé HUDSON :**

Basé sur le refroidissement du gaz par des échanges thermiques et par une série de détentes complétée d'une détente à travers une machine dynamique appelée « turbo-expander », il permet d'atteindre un niveau de température de (-40°C). Ce procédé est plus performant et permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

➤ **Procédé PRITCHARD :**

C'est le plus simple et le plus direct procédé pour la récupération des liquides ,il est basé sur le refroidissement du gaz par des échanges thermiques et par des détentes avec utilisation d'une boucle de propane comme système réfrigérant pour atteindre en fin de cycle des températures voisines de (-23°C).

➤ **Procédés mixtes :**

Ils sont plus performants, car ils utilisent le turbo-expander, la vanne Joule Thomson et la boucle de propane, où on atteint les (-66°C). Ils permettent une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

Le procédé utilisé au niveau de l'unité GPL-2 est le procédé HUDSON. Ce procédé se caractérise par l'utilisation d'un turbo-expander qui lui permet une autonomie pour ses besoins en frigories.

I.12.5. Section de fractionnement :

La section de fractionnement est composée de deux colonnes de distillation par train : le dééthaniseur et le débutaniseur. Les colonnes sont munies d'un refroidisseur de tête et d'un rebouillage de fond utilisant de l'huile chaude comme fluide caloporteur.

➤ **Dééthaniseur (11-C-201) :**

C'est une colonne de fractionnement (distillation) constituée de 48 plateaux à clapets. Le rôle de cette colonne est de séparer la charge en constituants légers en tête (méthane et éthane) et les constituants lourds au fond (condensât et GPL), ces derniers serviront de charge au débutaniseur.

Les paramètres opératoires de cette colonne sont les suivants :

- Pression de service 23,6 bars.
- Température de tête : -23°C.

- Température de fond : 90°C.
- Reflux total.

Deux circuits assurent l'alimentation de la colonne 11-C-201 : L'alimentation supérieure, provenant du ballon 11-D-204, est introduite au niveau du 13^{ème} plateau à une température de -5.7°C tandis que l'alimentation inférieure est assurée par le liquide provenant du ballon 11-D-203. Ce liquide est introduit au niveau du 21^{ème} plateau à une température de 9 °C.

La vapeur de tête est condensée partiellement dans les échangeurs 11-E-207 et 11-E-208, placés en séries, ensuite elle est récupérée dans le ballon de reflux 11-D-205.

Le rebouillage est assuré par le rebouilleur 11-E-209 qui garantit une température de fond de 90°C.

Le produit de fond de cette colonne est utilisé comme charge pour la colonne 11-C-202.

b)-Débutaniseur (11-C-202) :

C'est une colonne à 33 plateaux à clapets fonctionnant à une pression de 14 bars. Celle-ci est conçue pour séparer le produit issu du fond du dééthaniseur en :

- Produit de tête : GPL (mélange de propane et butane).
- Produit de fond : condensât (fraction pentane et plus).

Les vapeurs de tête à 67°C sont entièrement condensées dans les aéro-réfrigérants E-210 où le GPL est recueilli dans le ballon de reflux D-206 à une température 55°C. Une partie de ce liquide est retournée par la pompe G-203 A/B comme reflux vers le 1^{er} plateau du débutaniseur C202 afin de maintenir la température de tête, l'autre est acheminé vers le stockage.

Le système de rebouillage assure une température de fond de 152°C dans le rebouilleur 11-E-211.

Les condensats chauds sortant de ce dernier sont refroidis dans l'aéro-réfrigérants 11-E-212 à une température de 55°C pour être envoyés vers l'unité de traitement de brut [38].

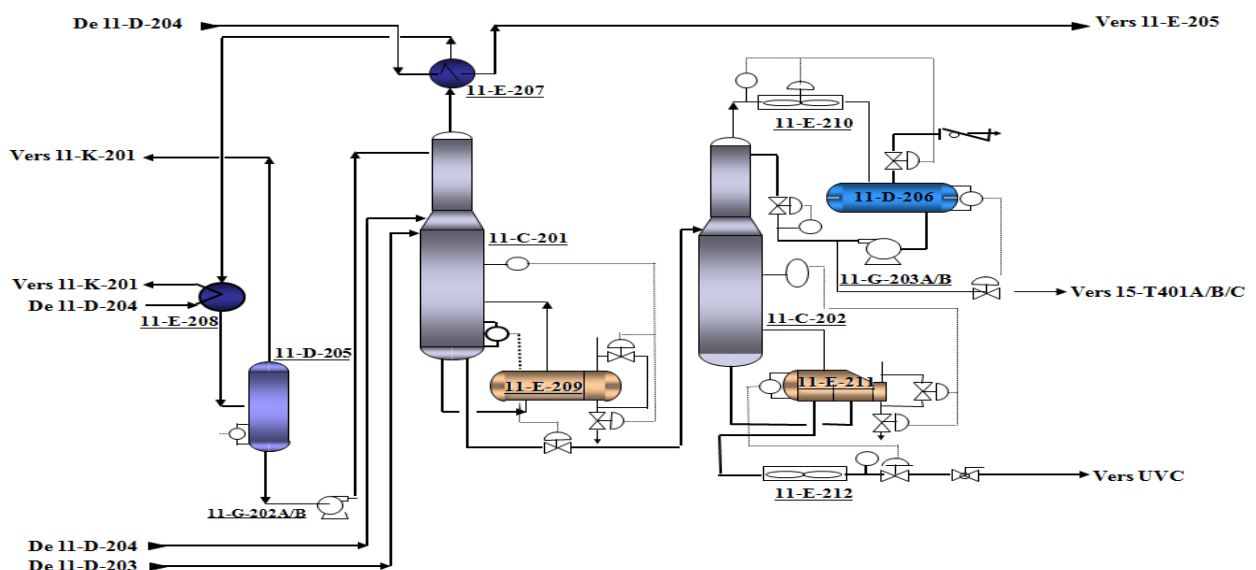


Figure 8 : Section de fractionnement [37]

I.12.6. Section d'huile chaude :

Un système d'huile chaude est prévu afin d'assurer le chauffage du gaz dans :

- Le rebouilleur du dééthaniseur E-209.
- Le rebouilleur du débutaniseur E-211.
- Le rebouilleur du Dépropaniseur 14-E-302.
- Les réchauffeurs de gaz de régénération E-201-A/ B/C.

Ce système d'huile se compose :

- Du four H-231
- Du ballon tampon d'huile chaude D-231
- Des pompes d'huile chaude G-231A/B/C
- Du refroidisseur d'huile chaude E-231
- Des récupérateurs de chaleur de l'échappement des boosters 10-H-101A/B/C/D.
- Du ballon d'appoint 10-D-103
- De la pompe d'appoint 10-G-101

Le chauffage est assuré par un fluide colporteur (TORADA TC). L'huile chaude refoulée par les pompes G231 A/B/C est transférée du ballon tampon D231 (stockage d'huile) au récupérateur de chaleur 10-H101A/B/C/D afin de subir un préchauffage à une température de 207°C (récupération de la chaleur des gaz chauds d'échappement des turbines) et est ensuite chauffée à une température de 288°C dans le four (H-231). Après avoir libérée ses calories dans les rebouilleurs et les échangeurs, l'huile revient au ballon tampon, le cycle recommence.

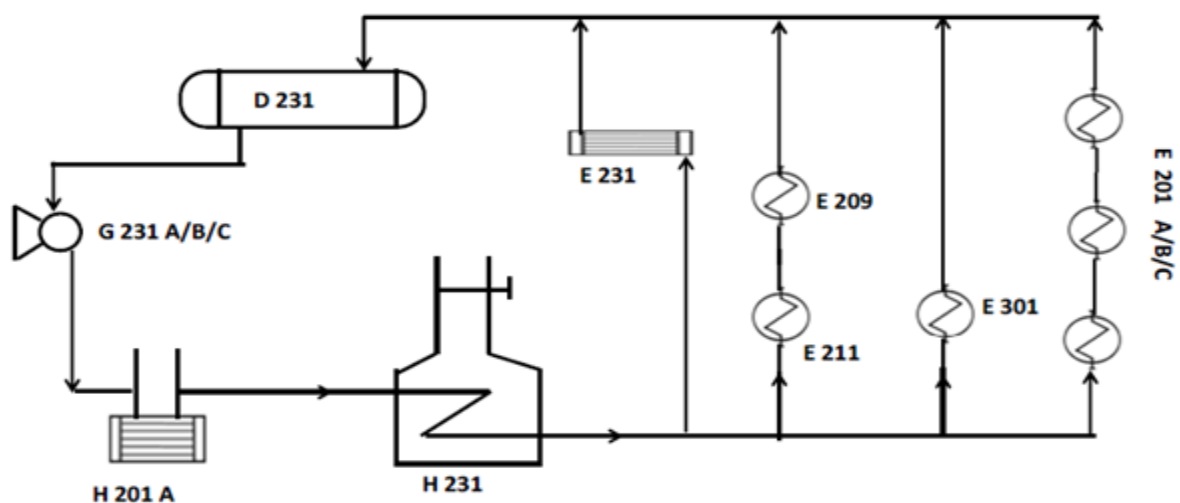


Figure 9 : Section d'huile chaude. [37]

I.12.7. Section du dépropaniseur (14-C-301) :

Le dépropaniseur est une colonne composée de 33 plateaux à clapets, son rôle est de fractionner la charge d'alimentation (GPL) et de produire du propane commercial (produit de tête) et du butane commercial (produit de fond) suivant les besoins et la demande locale.

Le dépropaniseur fonctionne à une pression de 20 bars, une température de 58°C en tête et 111°C au fond [38].

La charge du dépropaniseur provient du stockage, assurée par l'une des pompes de recyclage 15-G-402A/B et rarement par les pompes d'expédition, le dépropaniseur est équipé d'un rebouilleur 14-E-302, d'un ballon de reflux, de pompes de reflux 14-G-301A/B, d'aérocondenseurs de propane et de refroidisseurs de butane. A préciser que les deux produits sont stockés au niveau de l'unité GPL-1 avant d'être livrés à NAFTAL (centre enfûteur de HASSI-MESSAOUD) pour la mise en bouteilles.

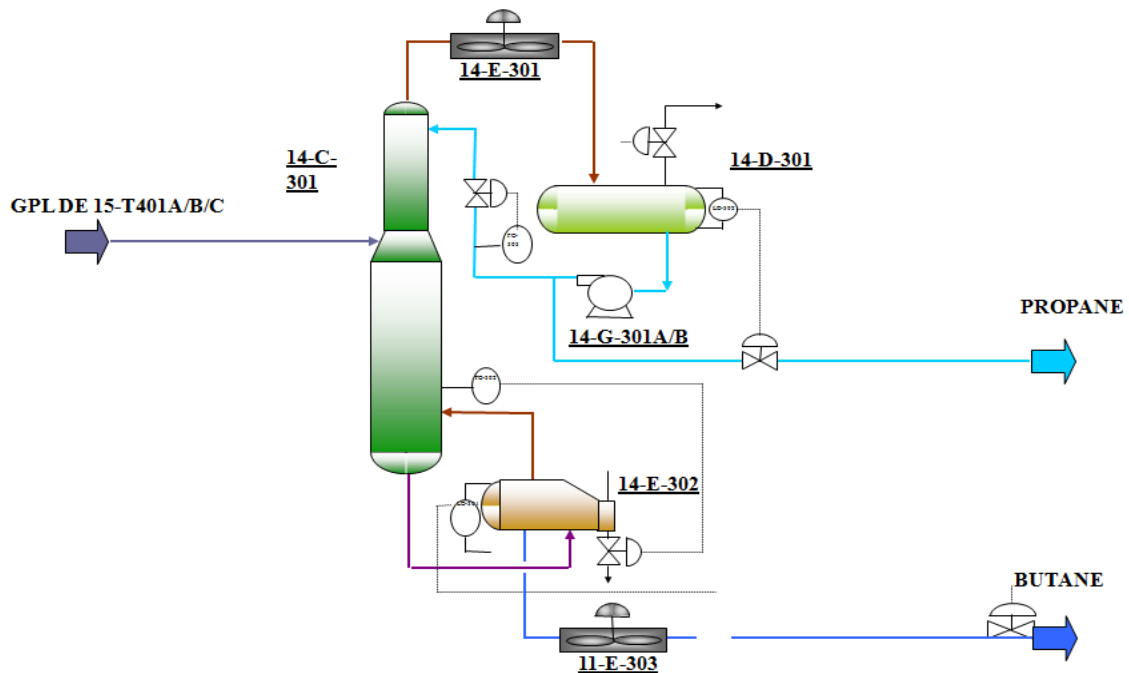


Figure 10 : Section de dépropanisation[37]

I.12.8. Section de stockage et "pomperie":

La section de stockage et "pomperie" est composée de :

- 4 sphères d'une capacité unitaire de 500 m³ :
 - 3 sphères (T401A/B/C) pour stocker le GPL (produit On Spec) avant expédition vers Arzew.
 - Une sphère 15-T-402, est utilisée pour stocker les produits hors spécifications (off spec). Les produit soff-spec peuvent être placés dans les réservoirs de stockage et seront retraités dans le dééthaniseur.

- 2 pompes immergées (15-G-402-A/B) sont utilisées pour alimenter le dépropaniseur 14-C-301 en GPL ou pour recycler les produits hors spécifications vers le dééthaniseur 11-C-201 ou vers le débutaniseur 11-C-202.
- 3 pompes immergées (15-G-401-A/B/C) sont utilisées pour l'expédition des GPL (on spec), à une pression de 32 bars, vers H.E.H. En cas de mise hors service du pipeline, l'unité GPL-2 peut être exploitée pendant environ 3 heures sans drainage, en mettant les produits dans les réservoirs de stockage. [38]

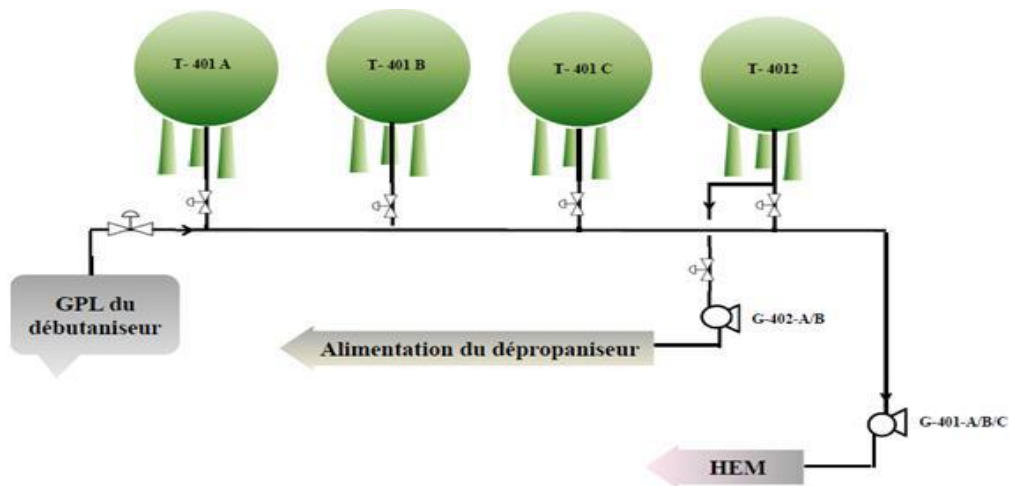


Figure 11 : Section de stockage. [38]

Chapitre II :

Les échangeurs de chaleurs

II.1.Introduction :

L'industrie de chauffage et de froid nécessite pour la majorité de leur application des échangeurs de chaleur. Un échangeur est un appareil qui assure le transfert de chaleur entre des fluides ou des suspensions à des températures différentes. C'est un élément clé dans la transformation de la matière et de l'énergie et il joue un rôle essentiel dans tout cycle thermodynamique en contribuant à l'amélioration du rendement globale de cycle. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.).[20]

II.2.Transfert de chaleur :

On appelle transfert de chaleur le processus par lequel une énergie est échangée sous forme de chaleur entre deux ou plusieurs corps à des températures différentes ; cette chaleur peut être transmise par conduction, convection ou rayonnement.

Bien que les trois processus puissent avoir lieu simultanément, l'un des mécanismes est généralement prépondérant. Par exemple, la chaleur est principalement transmise par conduction à travers les murs en brique d'une maison : l'eau dans une casserole placée sur une cuisinière est surtout chauffée par convection ; la terre reçoit sa chaleur du soleil en grande partie par rayonnement. [21]

Les modes de transfert de chaleur

II.2.1.Conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres [22].

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\Phi = -\lambda grad(T) \dots\dots\dots[24]$$

Ou sous forme algébrique :

$$\Phi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial X} \text{ (W)} \dots\dots\dots[24]$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction (W)

λ : Conductivité thermique du milieu (W m⁻¹ °C⁻¹)

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

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)

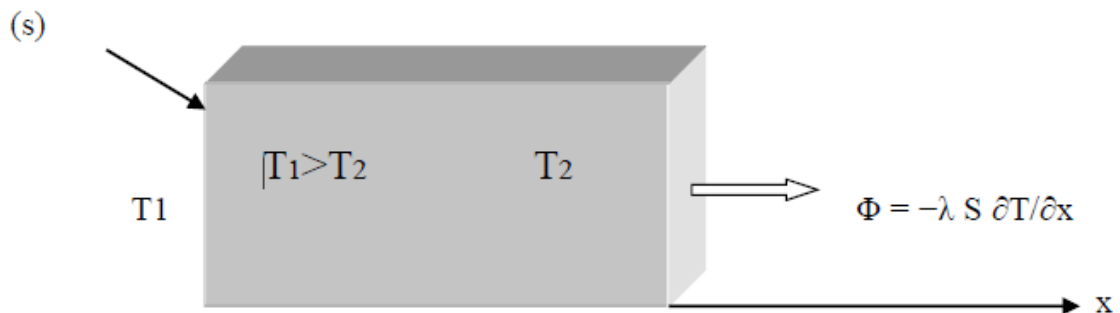


Figure 12 : Représentation schématique du phénomène de conduction [23]

II.2.2. Convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide [24].

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de NEWTON :

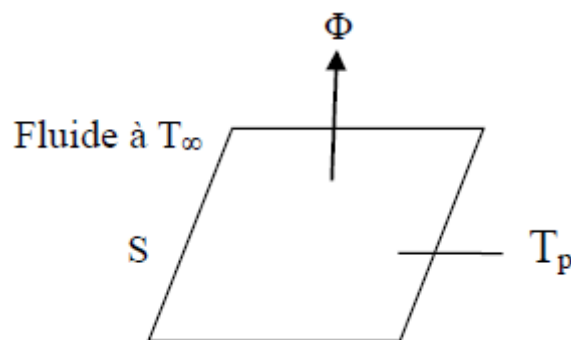


Figure 13: Transfert thermique par convection [23]

$$\Phi = hS (T_p - T_\infty) \text{ (W)} \dots \dots \dots [25]$$

Avec:

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m⁻² °C⁻¹)

T_p : Température de surface du solide (°C)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m²)

Remarque : La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

II.2.3. Rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation [25] :

Milieu environnant à T_{∞}

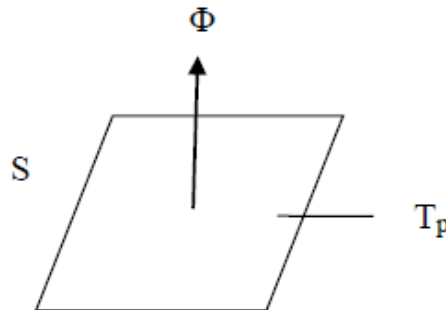


Figure 14: Transfert thermique par rayonnement [23]

$$\Phi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_{\infty}^4)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : Constante de Stephan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

ε_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface (K)

T_{∞} : Température du milieu environnant la surface (K)

S : Aire de la surface (m^2)

II.3. Classes d'échangeurs de chaleur :

On distingue trois classes d'appareils correspondant à des fonctions très spécifiques, est qui sont les suivants :

II.3.1. Les échangeurs et les réfrigérants :

Dans lesquels ne se produit aucun changement de phase, la désignation «échangeur» est réservé aux appareils où le transfert entre fluide chaud et froid correspond effectivement à une récupération de la chaleur, alors que le terme « réfrigérant » s'applique aux appareils où l'on refroidit un effluent par un fluide auxiliaire.

II.3.2. Les condenseurs :

Qui permettant la condensation et le refroidissement d'un effluent vapeur en tête de colonne, soit à l'aide d'un fluide froid, (condenseur essence brut), soit à l'aide d'un fluide auxiliaire (eau, air, saumure, produit frigorigène).

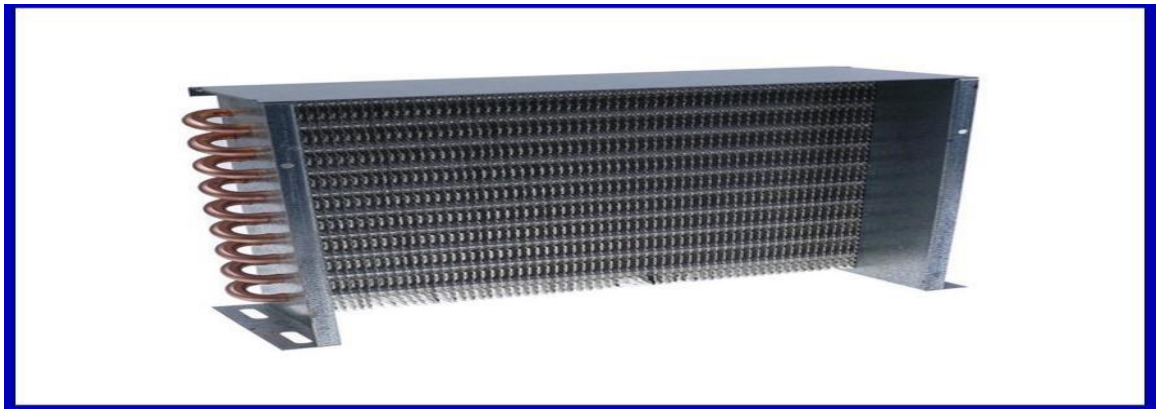


Figure 15 : Condenseur [26]

II.3.3. Les évaporateurs :

Qui assurent une vaporisation des produits de fonds de tours gaz grâce à la circulation d'un effluent chaud (gasoil de recyclage par exemple) ou d'un fluide auxiliaire (vapeur d'eau).

Dans tous ces appareils la surface de transfert est matérialisée par des tubes dans les divers arrangements permettant de résoudre avec satisfaction les nombreux problèmes de récupération de chaleur rencontrés dans l'industrie.[27]

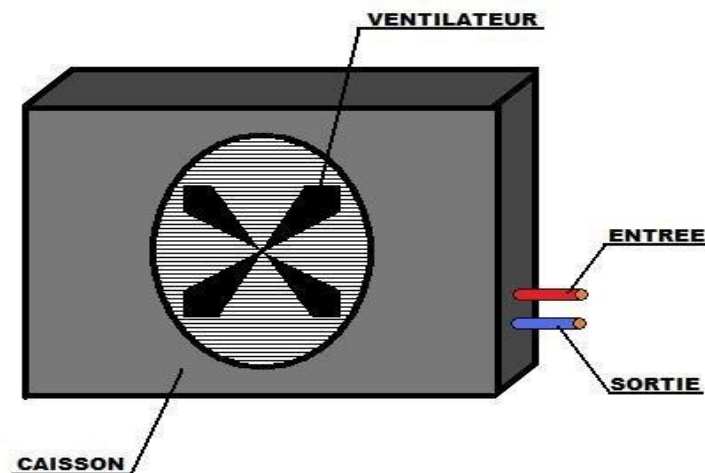


Figure 16: Evaporateur [28]

II.4. Critères de classement des échangeurs de chaleur :

Il existe plusieurs critères de classements des différents types d'échangeurs, énumérons les principaux :

II.4.1. Classification selon le mode de circulation :

Ce classement est réalisé à partir de la géométrie de l'échangeur et de sens relatif des écoulements des deux fluides dans ce qui suit, on représente uniquement les circulations des fluides les plus souvent rencontrées.

II.4.1.1. Echangeur à courants parallèles :

Dans cette configuration (figure 15) les deux fluides s'écoulent dans la même direction.

Cette circulation est dite Co-courant ou anti méthodique.

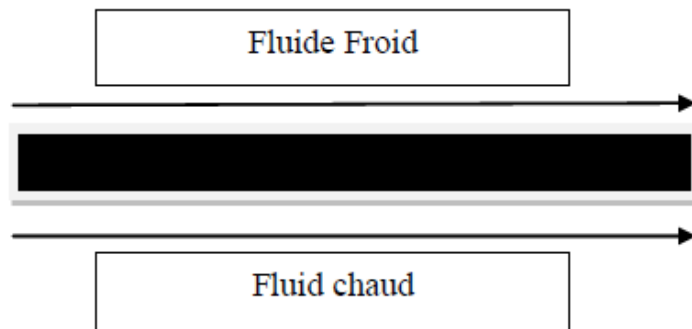


Figure 17: Echangeur Co-courant [20]

II.4.1.2. Echangeur à contrecourant :

Si la circulation a lieu dans le sens contraire, les écoulements sont dits à contre-courant ou Méthodique

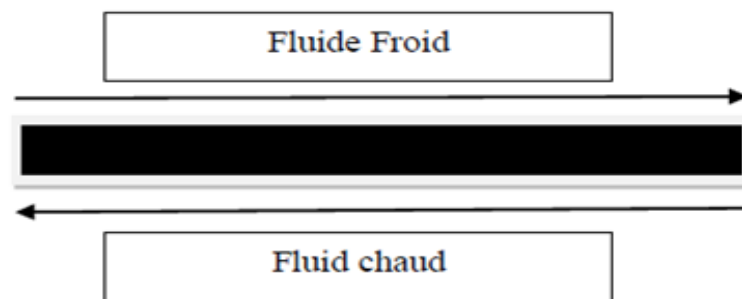


Figure18: Echangeur contre-courant [20]

II.4.1.3. Echangeurs à courants croisés :

Dans ce type d'échangeurs les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre (figure 17) en remarque ainsi que le sens d'écoulement est sans importance.

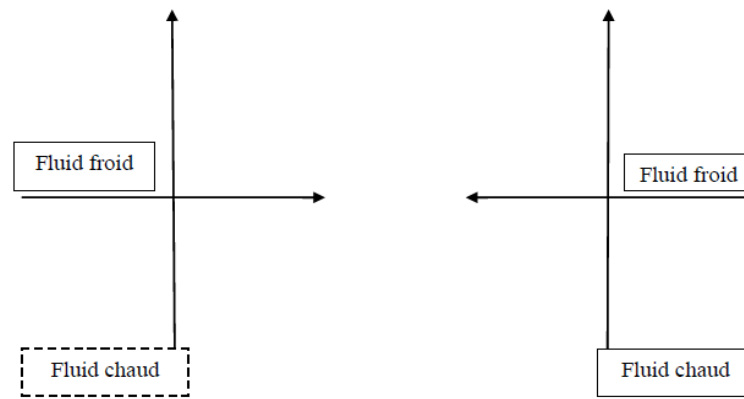


Figure19 : Echangeur à courants croisés[20]

Dans la plupart des cas l'un des fluides traverse l'écoulement de l'autre fluide plusieurs fois, et l'échangeur est appelé à multiple passe. On distingue deux modes de circulation :

a- Circulation à courants croisés méthodiques :

L'un des fluides entre par l'extrémité de l'appareil d'où sort le deuxième fluide (figure 18).

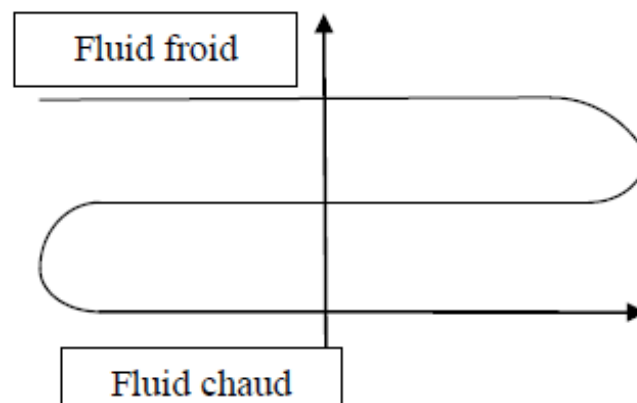


Figure 20 : Echangeur à courants croisés méthodiques [20]

b- Circulation à courants croisés anti méthodiques :

Les deux fluides entre par la même extrémité de dispositif (figure21). [29]

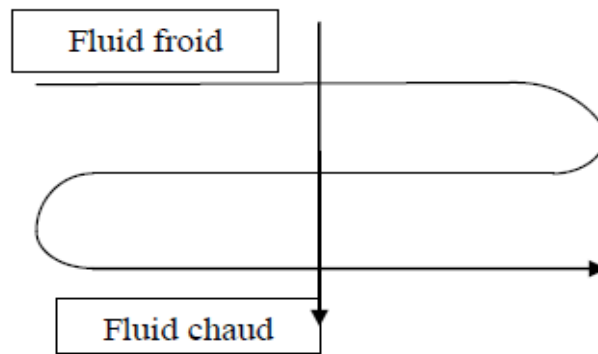


Figure 21 : Echangeur à courants croisés anti méthodiques [20]

II.4.2. Classification selon le mode de fonctionnement :

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

- les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- un seul fluide a un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou de condenseurs.
- les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapo-condenseurs.

II.4.3. Classement suivant la compacité de l'échangeur :

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. R.K.Shah propose qu'un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$; cette valeur est susceptible de varier de 500 à $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$. [30]

Une classification en fonction de la compacité peut être donnée :

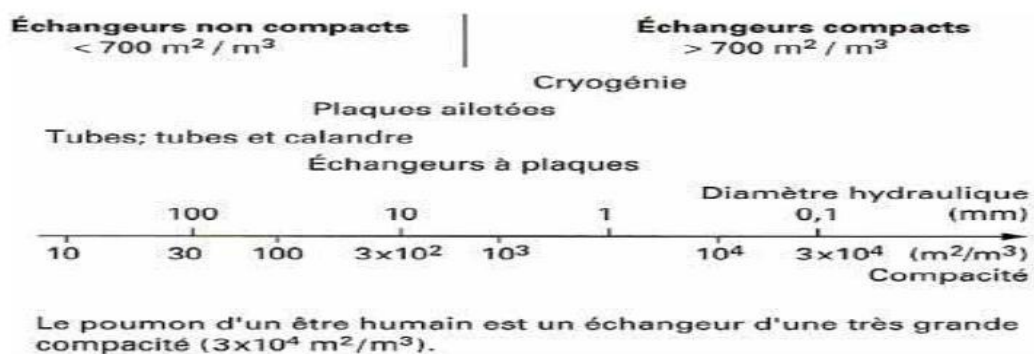


Figure 22 : Compacité des échangeurs [30]

II.4.4. Classification selon le nombre des fluides :

- Deux fluides.

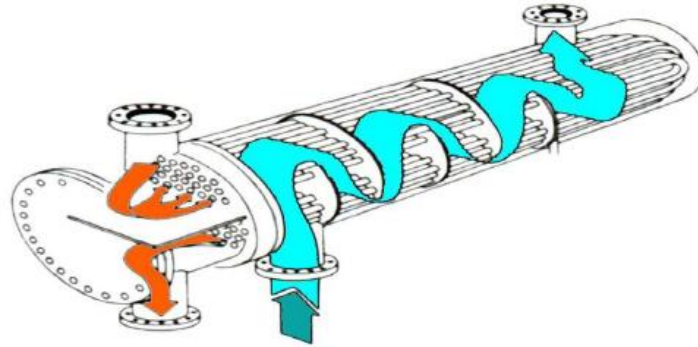


Figure 23 : Echangeur a deux fluides [31]

- Trois fluides

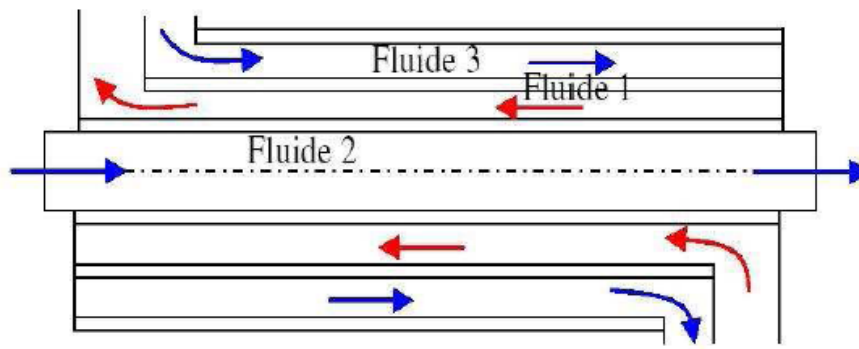


Figure 24 : Echangeur a trois fluides [32]

II.4.5. Classement suivant la nature de matériau de la paroi d'échange :

On retiendra deux types de paroi :

- Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages métaux ou alliages réfractaires.
- Les échangeurs non métallique en plastique, céramique, verre,etc. [30]

II.4.6. Classification selon le contact :

II.4.6.1. Echangeur a mélange :

Dans ces appareils, les fluides sont intimement mélangés, ces échangeurs sont simples, compact et très efficaces puisque toutes les calories cédées par le fluide chaud sont utilisées pour chauffer le fluide froid.

II.4.6.2.Échangeur a surface :

Dans ce type d'échangeur les fluides sont séparés par des surfaces métalliques. L'échange thermique entre les deux fluides se fait par un contact direct. [33]

II.4.7.Classement suivant le mode de transfert de chaleur:

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications (chambre de combustion, récupération sur les fumées, etc.) ; il y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la convection intervient.

II.4.8.Classement suivant le procédé de transfert de chaleur :

Suivant qu'il y a ou non stockage de chaleur, on définit un fonctionnement en récupérateur ou en régénérateur de chaleur :

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur, avec 2 ou n passages et un écoulement en général continu.
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique. [34]

II.4.9.Classement suivant la fonction de l'échangeur :

Parmi les fonctions de l'échangeur de chaleur qu'il existe en site les suivants :

a-Fonction réfrigération :

- Réfrigérant (cooler) : il refroidit un liquide ou un gaz par circulation d'un fluide auxiliaire, généralement de l'eau.
- Réfrigérant intermédiaire : (intercooler), final (aftercooler) : ces termes sont plutôt réservés aux réfrigérant de gaz comprimés au divers étages de compression.
- Réfrigérant final (trim cooler) : réfrigérant qui termine la régénération d'un produit.

Souvent, ce terme désigne : le réfrigérant a eau qui assure les conditions de sécurité requises pour le stockage des produits ; par extension, il désigne aussi l'association aéro-réfrigérant suivi d'un réfrigérant a eau fréquemment utilisés pour cette fonction.

- Chiller : refroidit un fluide de procédé par évaporation d'un fluide frigorigène (ou par de l'eau réfrigérée).

b-Fonction réchauffage :

- Préchauffeur (preheater) : il préchauffe un fluide de procédé par la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé, la chauffe se poursuivant souvent dans un four en aval.
- Réchauffeur (heater) : il réchauffe également un fluide de procédé mais le terme s'emploie surtout pour désigner l'appareil qui réchauffe un produit stocké généralement pour assurer sa comptabilité.

Les termes réchauffeur et préchauffeur d'air s'applique aux appareils (cycliques ou non) assurant la préchauffe de l'air de combustion d'une chaudière ou d'un four par récupération d'une partie de la chaleur contenue dans les fumées ou dans un autre fluide auxiliaire.

- Economiseur (economizer) : ce terme est plutôt réservé au serpentin permettant la préchauffe de l'eau d'alimentation des chaudières par les fumées.
- Surchauffeur (super heater) : il augmente la température d'une vapeur au-delà de sa température de condensation.

c-Fonction condensation :

- Condenseur (condenser) : il assure la condensation totale (total condenser) ou partielle (partial condenser) de vapeur par circulation d'eau ou d'un fluide de procédé suffisamment froid.
- Aérocondenseur (subcooler) : il a la même fonction que le précédent en utilisant l'air comme fluide froid. Il assure simultanément la condensation de vapeur et le refroidissement des condensats généralement par circulation d'eau.

d-Fonction vaporisation :

- Vaporiseur (vaporizer) : il assure la vaporisation totale ou partielle d'un liquide de procédé, l'apport de chaleur étant fait par de la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé éventuellement en condensation.
- Bouilleur (boiler), rebouilleur (reboiler) : il vaporise une partie des produits de fonds de colonnes pour les renvoyer au fractionnement.
- Générateur de vapeur : il produit de la vapeur par récupération de chaleur sensible contenue dans les fluides de procédés, des fumées de fours ou des lits catalytiques (Waste heat boiler) ou par combustion de gaz ou de liquides résiduels (Steam generator).

e-Fonction particulière :

- Evaporateur (evaporator) : terme plutôt utilisé pour désigner l'appareil qui concentre des solutions aqueuses par évaporation d'eau ; cependant il peut désigner aussi un vaporiseur et un Chiller.

Quelle que soit leur fonction, le principe de fonctionnement de tous ces appareils est celui des échangeurs de chaleur par surface interposée entre deux fluides et mettant en œuvre la transmission par conduction et convection simultanées. Par ailleurs, la façon d'organiser la circulation des fluides de chaque côté de la paroi conditionne leur performance. Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs.[35]

II.4.10.Classification par mode de conception :**II.4.10.1 .Echangeurs tubulaires :**

Pour des raisons historiques et économiques, les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont les plus répandus. On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, toujours réalisés pour avoir la meilleure efficacité possible pour une utilisation donnée :

A. Echangeur monotube :

Dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent. (Figure 25).



Figure 25 : Echangeur monotube [30]

B. Echangeur coaxial :(Double tube)

Dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans l'intérieur (figure 26).

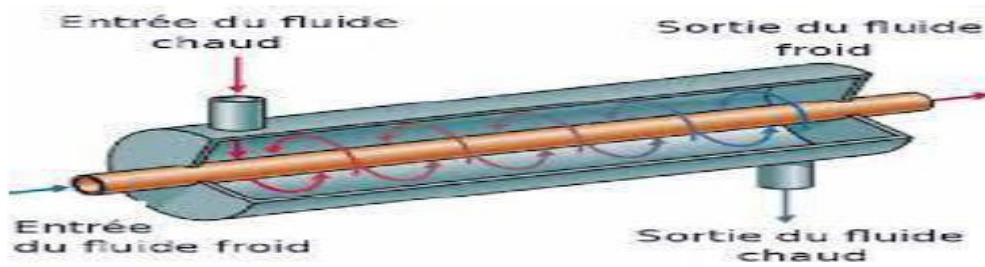


Figure 26 : Echangeur coaxial [31]

C. Echangeur multitubulaire :

Existant sous trois formes :

- Echangeur a tubes séparés (figure 27) ; à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant (de l'ordre de 100mm) se trouvent plusieurs tubes de petit diamètre (de 8 a 20 mm) maintenue écartés par des entretoises. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé.

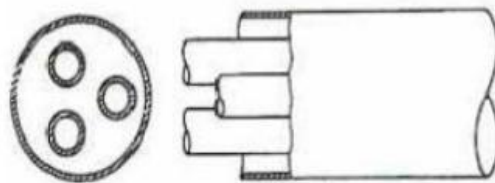


Figure 27 : Echangeur a tube séparé [30]

- Echangeur a tubes rapprochés (figure 28) ; pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale au tourde certains d'entre eux .les tubes s'appuient les uns sur les autre par l'intermédiaire des rubans

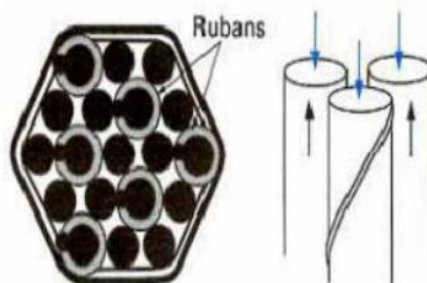


Figure 28 : Echangeur a tube rapproché [13]

D. Echangeur a tubes ailettes :

Elles sont constituées d'un faisceau de tubes, répartis en rangs ou nappes, dans lesquels circule un fluide caloporteur ayant un bon coefficient d'échange

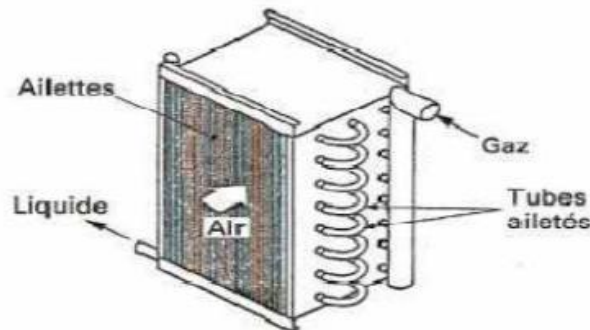


Figure 29 : Echangeur à tube ailette [30]

Les ailettes peuvent être disposées de différentes façons :

- ailettes transversales : elles peuvent être continues ou indépendantes, on peut rencontrer d'autres types d'ailettes fréquemment utilisés.

- ailettes longitudinales : elles peuvent être situées à l'intérieur ou l'extérieur des tubes. [34]

E. Echangeur tube et calandre :

Ce type d'appareil est de loin le plus répandu, le principe de faisceau logé à l'intérieur d'une calandre a été retenu également dans la construction des condenseurs et rebouilleurs (figure 30).

L'appareil est constitué par un faisceau de tubes montés dans deux plaques tubulaires et portant un certain nombre de chicanes.

A chaque extrémité de l'appareil, sont fixées les boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passes. Le faisceau est logé dans une calandre, munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide qui circule à l'extérieur des tubes suivant le chemin imposé par les chicanes.

Tous les éléments entrant dans la construction des échangeurs ont fait l'objet d'une normalisation publiée par la TEMA (tubulaire échangeur manufacture association) qui spécifie les caractéristiques mécaniques et thermiques correspondant aux diverses conditions de fonctionnement.

La capacité maximum (surface d'échange par mètre cube) obtenue avec cette configuration est de l'ordre de $500\text{m}^2/\text{m}^3$.

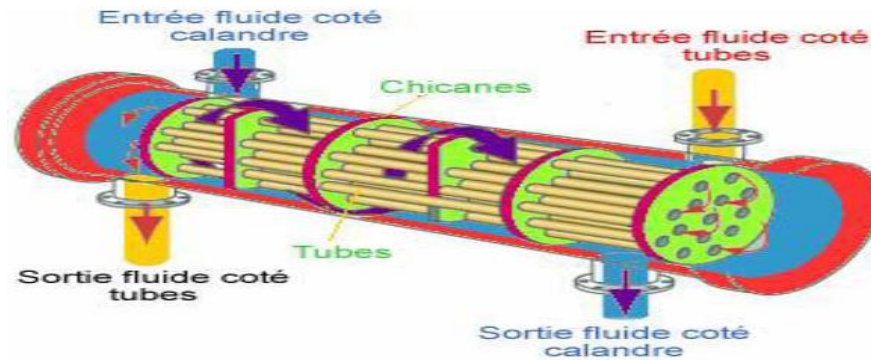


Figure 30 : Echangeur à tube et calandre [31]

II.4.10.2. Echangeurs a plaques :

Ils sont les plus fréquemment utilisés. Les échangeurs a plaque sont constitués par un assemblage de plaques canulées indépendantes. Les plaques sont encastrées et serrées dans un bâti chaque paire de plaques adjacentes forme un canal et les fluides (produits et fluides caloporteur) circulent alternativement dans les canaux. Des profils spéciaux sont utilisés pour augmenter la turbulence, et le coefficient de convection. Les plaques sont équipées des joints permettant d'éviter tout mélange de fluide on distingue suivant la géométrie de canal utilisé les échangeurs a surface primaire et les échangeurs a surface secondaire.

a. Echangeurs à surface primaire :

Les échangeurs à surface primaire sont constitués de plaques corrigées, nervurées ou picotées. Le dessin du profil de plaques peut être assez varié mais il a toujours un double rôle d'intensification du transfert de chaleur et de tenue à la pression par multiplication des points de contact.[30]

➤ Echangeurs à plaques et joint :

L'appellation « échangeur a plaques et joints » est plus précise et permet d'éviter la confusion avec les échangeurs à plaque soudée ou à plaque brassée qui seront décrits par la suite.

Dans un échangeur à plaque et joints la surface d'échangeur est composée de série de plaques métalliques, équipés de joints, serrés les unes contre les autres à l'aide des tirons entre deux flasques, l'un fixe et l'autre mobile.

Les plaques définissent un ensemble de canaux dans lesquelles circulent respectivement chacune des fluides

Les échangeurs à plaques et joints sont surtout utilisés pour le transfert de chaleur monophasique, mais de plus en plus l'application existe en double phase condensation ou évaporation.

➤ Echangeurs à plaques soudées ou brassées :

Ces échangeurs sont en générale fabriqués à l'aide des matériaux plus noble tel que l'acier inoxydable, le titan, le nickel,... On distingue :

-Echangeur à spirale

-Echangeur brasée

-Echangeur lamellaire

b. Echangeurs à surface secondaire :

➤ Echangeurs à plaques serties :

Ces échangeurs sont constitués de tôles planes parallèles entre lesquelles sont disposées des ailettes ; ils sont en général fabriqués en tôlerie légère (acier galvanisé, acier inoxydable, aluminium, etc.).Les fluides empruntent un canal sur deux et la circulation est soit contre courant, soit a courant croisés.les ailettes sont de type très variés. Ces échangeurs sont en général utilisés en récupération sur l'air.

➤ Echangeur a plaques brasées :

Ces échangeurs sont en aluminium brasé.les fluides circulent dans des passages définis par de tôles planes consécutives et fermés latéralement par des barres.[35]

II.5.Méthode de calcul d'un échangeur à faisceau et calandre :

Plusieurs méthodes ont été élaborées pour le calcul du dimensionnement des échangeurs de chaleur. Parmi les plus appropriées citons : NUT, Bell-Delaware et KERN

Dans notre travail nous nous concentrons à l'une de ces méthodes qui est la méthode de KERN

Méthode du KERN:

Pour le calcul d'un échangeur à faisceaux et calandre, on utilise la méthode de Kern qui est une méthode semi empirique, basé sur un travail expérimental concernant les échangeurs commerciaux. Les étapes de calcul de méthode de KERN:

- Etape 1: Spécification des propriétés des flux thermique:
 - Température d'entrée fluide chaud T_{ce}
 - Température d'entrée fluide froid T_{fe} .
 - Débit du fluide chaud m_c .
 - Débit du fluide froid m_c .
 - Les propriétés physico-chimiques de chaque fluide (la viscosité - la masse volumique - la conductivité thermique -Chaleur spécifique à partir la figure 6 dans l'annexe).
 - Etape 2: Estimation de la charge thermique transférée
 - Etape 3: Estimation du facteur de correction F
- Ratio de température R.
- Efficacité thermique de l'échangeur E.
- Facteur de correction F Estimation a partir du graphique de $F=f(R, E)$ (voire annexe figure 3. a et b), en fixe le nombre de passe coté calandre.
 - Etape 4: Estimation de la surface d'échanges nécessaire :
 - Calcule de la température moyenne logarithmique. ΔTLM
 - Calcule de la température moyenne logarithmique corrigée $\Delta TLM_{\text{corrigée}}$
 - Calcule de surface d'échange thermique nécessaire A.
 - Etape 5: Choix des caractéristiques thermiques de l'équipement:
 - Diamètre extérieur et intérieur et la longueur des tubes.
 - Nombre des tubes.
 - Diamètre de la calandre.
 - Nombre de passe.
 - Etape 6: Détermination du coefficient de transfert thermique:
 - Coté tube :

En calcule la section par passe et la vitesse massique et en détermine les caractéristiques des fluides chaud et froid à T_c et T_c (T_c : température calorique fluide chaud, T_C : température calorique fluide froid, en déterminé à l'aide de la figure 5 voire annexe), et en calcule les nombres de Reynold, Prandtl et Nusselt, après tout sa en calcule la température de tube à l'aide de figure 1 et 4 dans l'annexe.

- Côté calandre:

En calcule la surface d'échange coté calandre, vitesse massique, diamètre équivalent et) à l'aide de μ , λ nombre de Reynold, et détermine les caractéristiques du fluide à Tc (C_p , d , les figure 2 dans l'annexe.

- Etape 7: Détermination de μ_i à t_i et μ_i' à t_i
- Etape 8: Calcule du coefficient de transfert propre.
- Etape 9: Calcule de coefficient de la résistance d'encrassement à l'aide du tableau 1 de l'annexe.
- Etape 10: Calcule de la perte de charge cotée tube puis coté calandre. [13]

Paramètre		Équation
Quantité de chaleur Q		
Température moyenne logarithmique ΔTLM		$\Delta TLM = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$
Température moyenne corrigée $\Delta TLM_{corrigée}$		$\Delta TLM_{corrigée} = \Delta TLM \cdot F$
Température calorique les deux fluides chaude et froide T_c, t_c		$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$ $t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1)$
Surface d'échange globale A		$A = \frac{Q}{U_s \cdot F \cdot \Delta TLM}$
Surface d'échange d'un tube a		$a = \pi d_e \cdot l$
Côté faisceau	Section par passe α_t	$\alpha_t = \frac{N_t \pi d_1^2}{n_t \cdot 4}$
	Vitesse massique G_B	$G_B = \frac{m}{\alpha_t}$
	Nombre de Reynolds R_e	$R_e = \frac{d_i G_t}{\mu}$
Côté calandre	Section de la Calandre α_{CT}	$\alpha_{CT} = \sqrt{\alpha} \frac{D_C}{P} (P - d_e) B$
	Vitesse massique G_{CT}	$G_{CT} = \frac{M}{\alpha_{CT}}$
	Diamètre équivalent D_e	$D_e = \frac{4 \cdot p^2}{\pi \cdot d_e} - d_e$
	Nombre de Reynolds R_{eCT}	$R_{eCT} = \frac{D_C G_{CT}}{\mu'}$
température du tube t_t		$t_t = T_c - \frac{\frac{h_{i0}}{\phi_t}}{\frac{h_0}{\phi_c} + \frac{h_{i0}}{\phi_t}} (T_c - t_c)$
coefficient de transfert propre U_p		$U_p = \frac{h_0 h_{i0}}{h_0 + h_{i0}}$
Coefficient de la résistance d'encrassement R_s		$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s}$
pertes de charge au niveau des tubes ΔP_t		$\Delta P_t = \frac{n_c n_t G_T^2}{1,272 \cdot 10^{15} \cdot d} \left[\frac{f_t \cdot L}{d_i \cdot \phi_t} + 2 \right]$
pertes de charge côté calandre ΔP_c		$\Delta P_c = \frac{n_c f_{CT} G_{CT}^2 (N_C + 1) \cdot D_C}{1,271 \cdot 10^{15} \cdot d' D_C \cdot \phi_C}$

Tableau IV: Les équations utilisés dans la méthode de KERN [13]

Conclusion générale

A la fin de notre travail nous avons obtenu des conclusions que nous citons les plus importantes.

- GPL est une source d'énergie propre et immédiatement disponible qui peut être utilisée pratiquement n'importe où, il émet de 35 % moins de CO₂ que le charbon et de 12 % moins que l'huile. Il n'émet aussi presque aucun carbone. Le GPL est utilisé dans les secteurs tertiaires et industriels en tant que combustible, dans la pétrochimie en tant que charge et dans les secteurs de transport en tant que carburant et pour la production d'électricité.
- Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres : les propriétés physiques des fluides, leur agressivité, les températures ainsi que les pressions de service, les contraintes d'encombrement et de maintenance doivent aussi être prises en compte, ainsi que les considérations économiques.
- La méthode de KERN est la plus populaire pour le calcul le dimensionnement des échangeurs de la chaleur à cause du fait de sa simplicité et la rapidité de sa mise en œuvre. Elle donne des résultats satisfaisants dans la plupart des cas. Celle-ci a été largement utilisée dans la performance et la conception des échangeurs de chaleur. Cependant, l'erreur peut être élevée dans certains cas notamment pour le calcul des pertes de charge.

Bibliographie

- [1] Y. ABCHI ‘ ‘ Perspective des exportations des GPL et place de Sonatrach sur le marché méditerranéen, revue de l’Algérien Petroleum Institute, Vol 04 N-01, p10 Janvier 2010
- [2]K. Otto, Global LPG Market Outlook, Purvin& Gertz Inc, LP Gas exceptional energy Journal, Edition of International Systems and Communications Limited (ISC) & the World LP Gas Association (WLPGA), (September 2009), p. 12.
- [3].Comité Français Butane Propane, GPL carburant historique, Site web www.cfbp.fr,05/05/2020
- [4] : M. Nasserredine, Simulation et optimisation des paramètres technologiques de l’unité de fractionnement des GPL à Haoud Berkaoui, mémoire de magister, BOUGARA BOUMERDES,2012/2013
- [5] : Z.HANICHI ; «Optimisation des paramètres de fonctionnement d’une débutaniseuse» ; Mémoire de fin d’étude université de BOUMERDES ; 2005.
- [6] : Bendaas Okba, optimisation des paramètres de fonctionnement de dééthaniseur (C-701) et débutaniseur (C-702) de la section, mémoire de master,2016/2017
- [7] :Hajd, Ali Djamel. Etude de la section de déshydratation de l’unité GPL-2 HASSIMESSAOUD. Aout 2005; 75P.
- [8]. Gaz de pétrole liquéfiés, site web www.naftal.dz,05/05/2020
- [9]DALIL Youssouf, GPL techniques et problématiques / raffinerie de SBAA (ADRAR),Mémoire de master,2012 /2013
- [10]. Centre canadien d’hygiène et sécurité au travail ; site web www.cchst.ca,05/05/2020
- [11]. Agence international de l’énergie (AIE/OCDE), division des statistiques de l’énergie (l’AIE transmettra les données à la commission économique pour l’Europe des nations Unies.
- [12]. Air liquide, fiche sécurité sur site web www.airliquide.com.
- [13]. P.WUITHIER. Raffinage et génie chimique, tome I et tome II, 2eme édition, 1972 paris.
- [14]-SAID KHALIL, rapport d’induction de districit Tlemcen NAFTAL GPL ,2004.

- [15] BENCHINOUNE Rochdi, Mémoire fin de formation, thème Optimisation des paramètres de fonctionnement de la colonne de production GPL au niveau de ROURDE NOUSS année 2014.
- [16] Kaabouche, Boumedien. Description de la section de stockage de l'unité GPL-1HASSI MESSAOUD. Novembre 2017;p.38
- [17] Daddiou, Abdelaziz. Optimisation des paramètres de marche de l'unité de GPL de RHOURE NOUSS. 2010;p.58
- [18] M. Haslay, les gaz de pétrole liquéfiés dossier CFBP, édition comité français du butane et propane, (1996), p.85.
- [19] Abbaci, Youcef. Calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (Unité38, Traitement du GPL) à HASSI-R'MEL. Juin 2012;p.60.
- [20]B.Nadira, I.meriem, etude thermique de l'échangeur de chaleur à faisceau et calandre E05 existant dans le complexe gazier de Rhourdenouss (sonatrach algerie), mémoire master, 2017
- [21] <https://www.google.com/search?q=Transfert+de+chaleur,05/05/2020>
- [22] J.V.Beck, B. Blackwell and C.R. St Clair. InverseHeat conduction. – III posed Problems.WileyInter science Publication 1985.
- [23]H. Mzad, dimensionnement d'un échangeur a tubes et calandre de l'unité de décarbonatation du complexe gllk Skikda, mémoire de master, ubm-annaba,2016/2017
- [24] Kim, Y.Y., K.S., Jeong, G.H., Jeong, S., An experimental study on the quantitative interpretation of local convective heat transfer for a plate fin and tube heat exchanger using the lumped capacitance method..International Journal of heat and Mass Transfer, 49:230-239,2006.
- [25] Cours de rayonnement olivier PERROT 2010-2011
- [26] <https://www.google.com/search?q=condenseur,05/05/2020>
- [27] A.BOUDJELA, Z.SENOUCI, Séminaire sur les échangeurs de chaleur, centre inter entreprise de formation industrielle, AIN EL TURK.
- [28] <https://www.google.com/search?q=evaporateur,05/05/2020>
- [29] B. Cherif, «Calcul et technologie des échangeurs de chaleur », office des publications universitaires 2012.

- [30] A.BONTEMPS, A.GARRIGUE, C. GOUBIER, J.HEUTZ, C.MARVILLET, P.MERCIER, R.VIDIL, «Description des échangeurs», techniques de l'ingénieur (B 2341).
- [31] M.MANAA, «Optimisation énergétique des échangeurs tubulaires », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2016.
- [32] K.BAADACHE et C.BOUGRIOU, «Etude numérique d'un échangeur de chaleur à triple tubes concentriques en régime permanent », Revue des énergies renouvelables CER'07 Oujda(2007) 193-196.
- [33] M.TERBECHE-M.SEBIANE, «Calcul de vérification d'un condenseur à surface codé par CS40/50-242.00 », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2006-2007.
- [34] A.S.ARBAOUI, «Calcul de vérification thermique, mécanique et maintenance de l'échangeur E07», Projet de fin d'étude en vue de l'obtention de la confirmation du recrutement à SONATRACH
- [35] R.BOUCHNAFA, A.BENSEDDIK, «Calcul de vérification d'un échangeur de chaleur E102 », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2010-2011.
- [36] Farah, Ali. Etude de l'impacte de méthanol comme inhibiteur de formation d'hydrates au niveau de l'unité GPL-2/CIS-HASSI-MESSAOUD. Janvier 2014;p.86
- [37] H.Nour el houda, Etude d'un système de vaporisation du GPL au niveau de l'unité GPL-2/CIS-HMD, mémoire de master, ANNABA,2018
- [38] Daddiou, Abdelaziz. Etude de la section déshydratation au niveau de l'unité GPL2 HASSI-MESSAOUD. Novembre 2015;p.124

Annexes

1 : Les abaques :

Figure 1 : Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction de nombre Reynolds modifié à l'extérieur des tubes. [13]

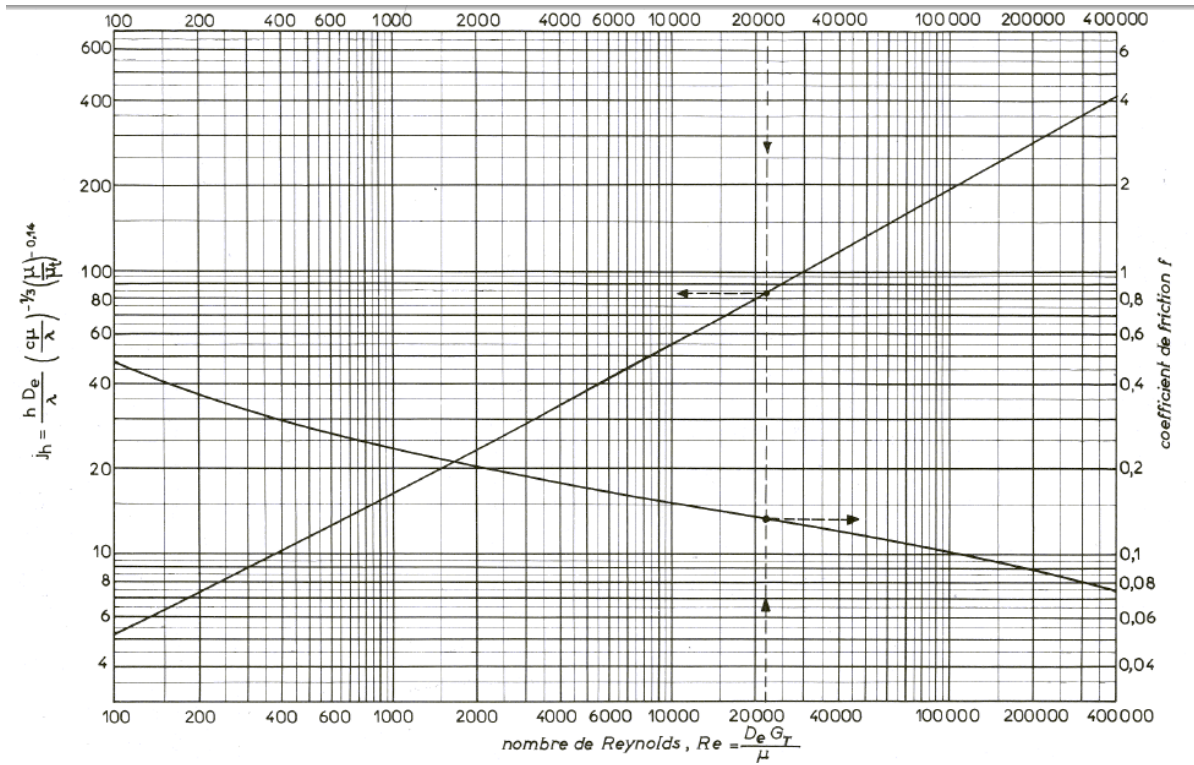


Figure 2 : Abaque général d'enthalpie des fractions pétrolière [13]

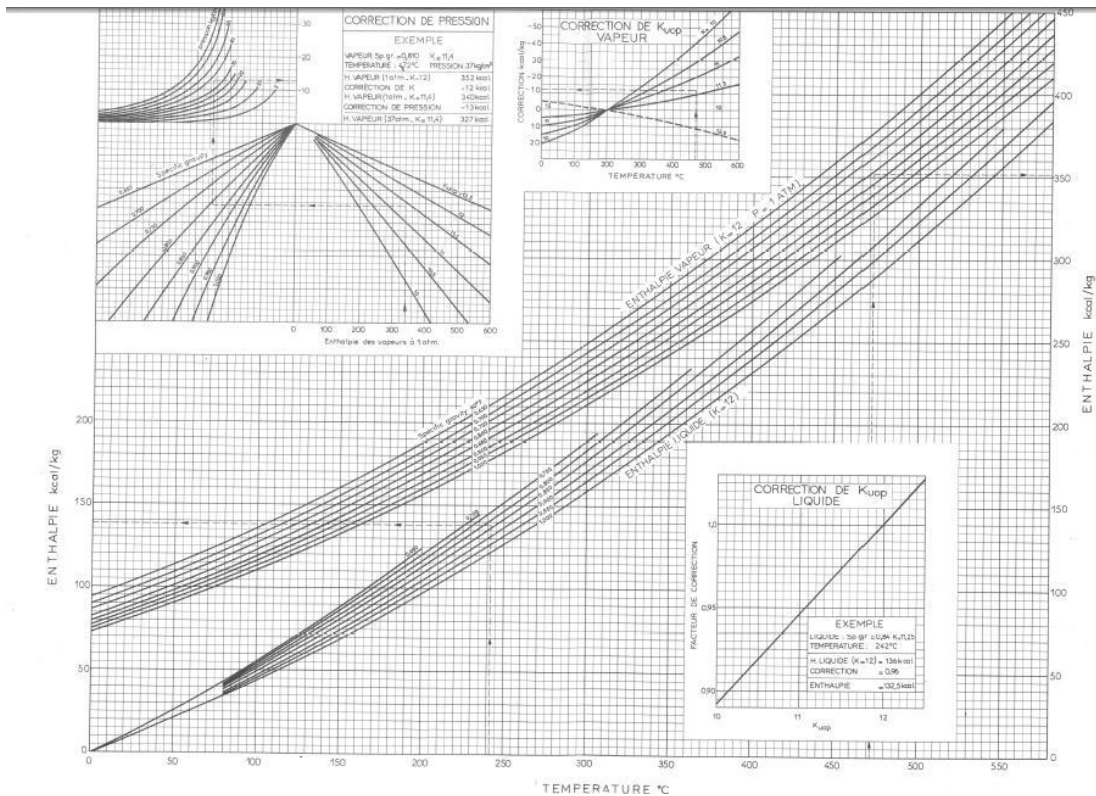


Figure 3 : Abaque a et b : Détermination de facteur de correction a partir de R et E [13]

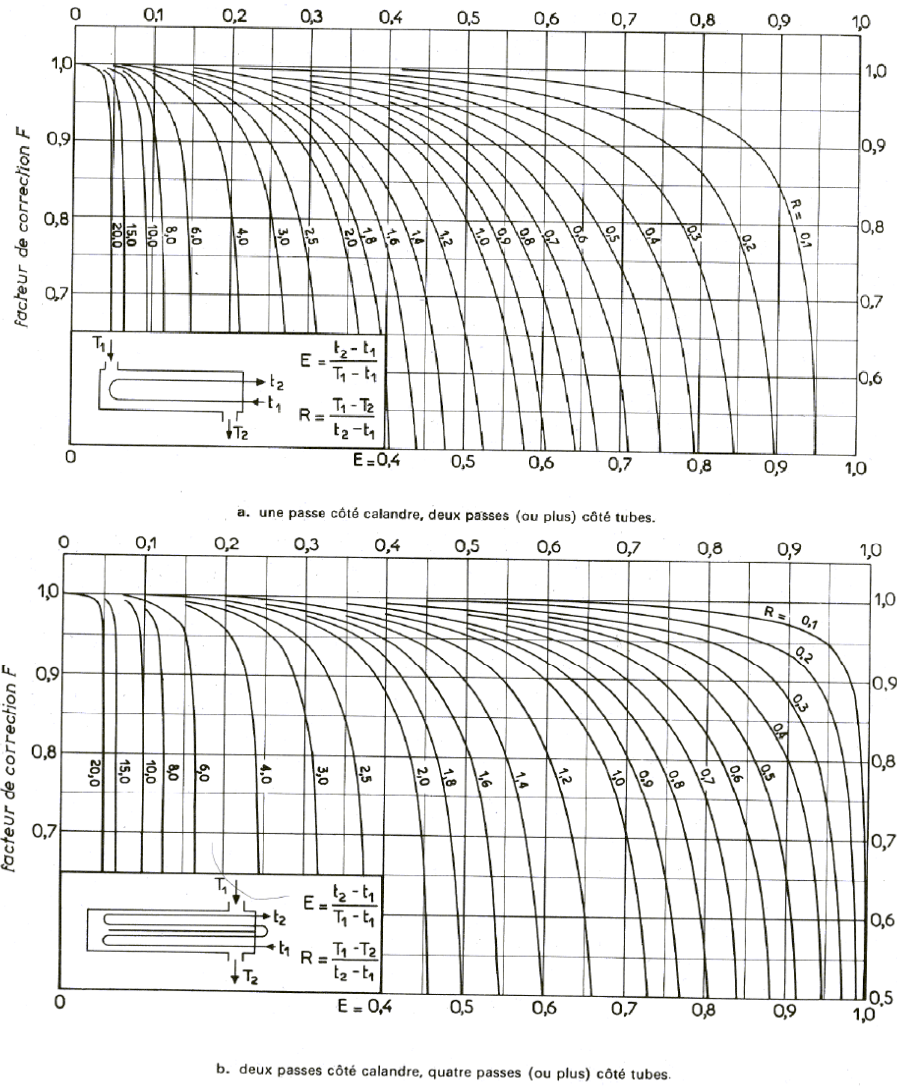


Figure 4 : Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction de nombre Reynolds modifié à l'intérieur des tubes. [13]

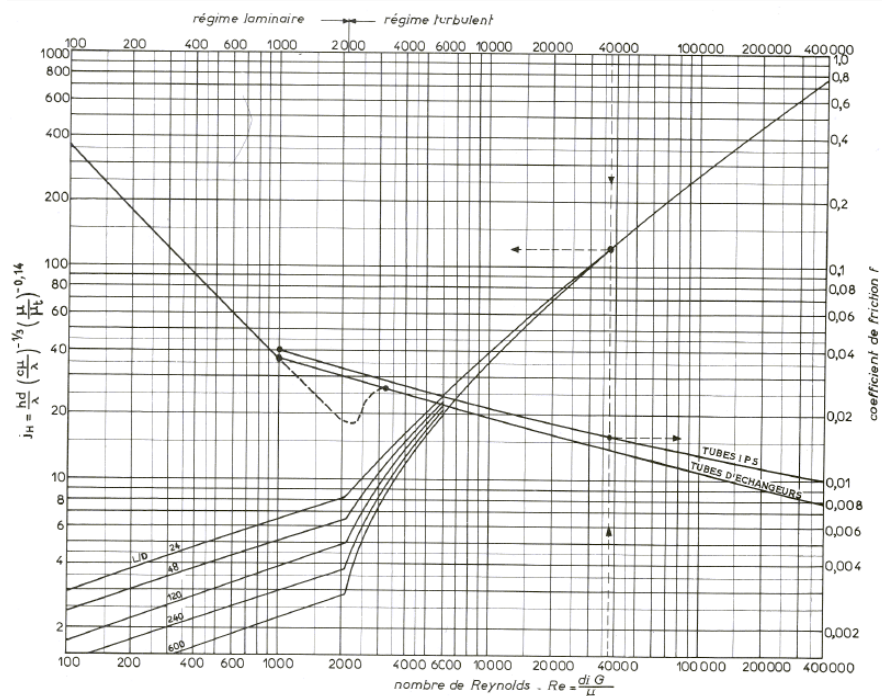


Figure 5 :Détermination des températures caloriques. [13]

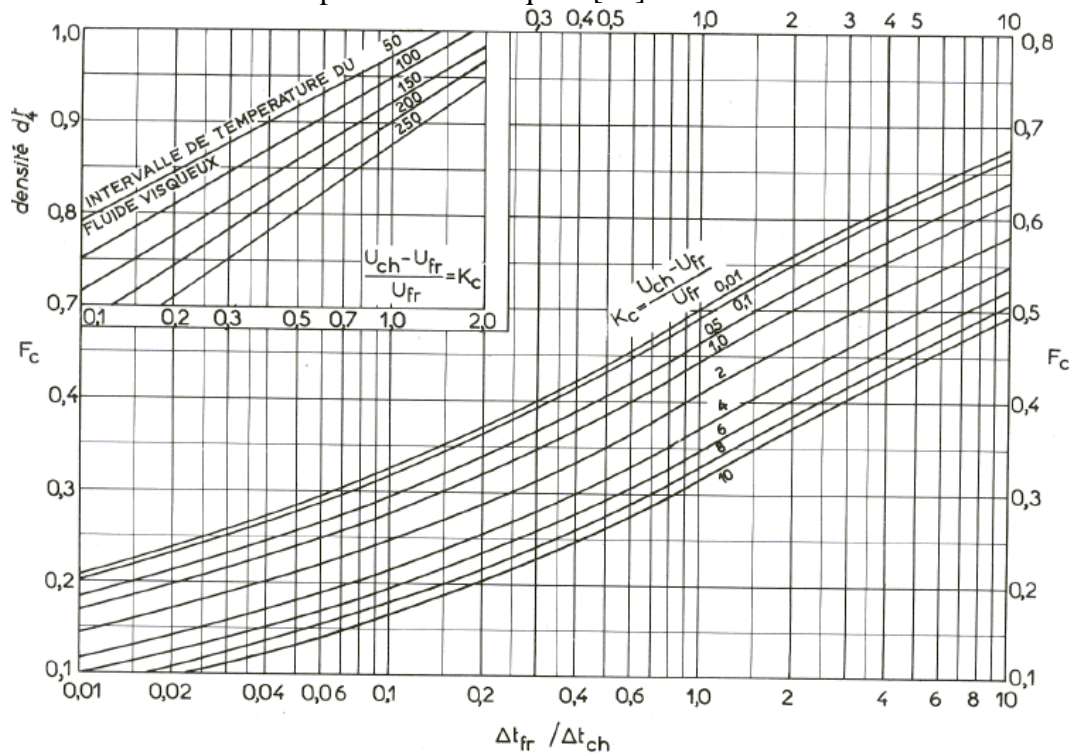


Figure 6 : Chaleur spécifique des hydrocarbures et fractions pétrolières liquides [13]

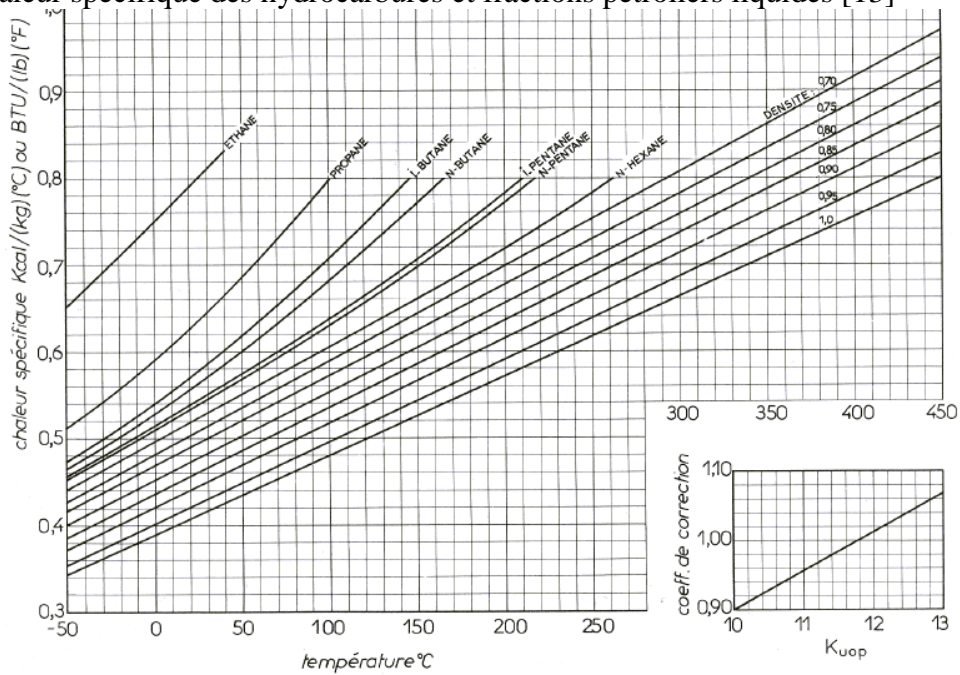


Tableau 1: Pouvoir calorifique inferieur de les constituent de fuel-gaz

Constituent de fuel-gaz	Pouvoir calorifique (Kcal/Nm3)
Méthane	8714
Ethane	15272
Propane	21655
i-Butane	27641
n-Butane	27725
i-Pentane	32163
n-Pentane	32242
Hexane	34551

