

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FINE DU CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de master en Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Présenté par : ZOUGAB Lamine

OUAZENE Khaled

Thème

**Etude Energétique et Exergétique d'une installation de liquéfaction de gaz
Sonatrach - Hassi Messaoud**



Devant les jurys composé de :

- | | | |
|--------------------|------------|----------------------|
| - Mr A. DJERRADA | Rapporteur | Université de Bejaia |
| - Mr A. BENSLIMANE | Examineur | Université de Bejaia |
| - Mr D. SADAOUI | Président | Université de Bejaia |

Année Universitaire 2021/2022

Remerciement

Avant toute chose, nous remercions DIEU qui a nous avoir donné de la force, la volonté et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Mes sincères gratitude à mes parents pour leurs soutiens pendant un long parchemin et leurs préoccupations de notre avenir

Nous tenons à remercier Monsieur Abderrahmane DJERRADA pour son encadrement à la fois sérieux et amical, ses conseils précieux surtout sa grande patience. L'expérience humaine qu'on a partagée avec lui constitue l'une des principales richesses qu'on a apporté ce travail.

Nous exprimons toute notre gratitude aux membres du jury :
Mr D SADAoui, pour avoir bien voulu présider notre jury.

Mr A BENSLIMANE, pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Nous remercions tout le personnel de complexe ZCINA HASSI MASSOUD, Mr ALALLI Imad Mr. M. DJOUAHAR , pour tout le soutien, l'aide, la guidance durant la période de stage.

Enfin, nous remerciments vont également à toutes les personnes qui, ont participé à de près ou de loin pour l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Nous avons commencé avec plus d'une main, et nous voici aujourd'hui Dieu merci, nous plions la fatigue des nuits et des jours et à la fin nous cueillons le fruit de notre travail.

Je dédie ce modeste travail à Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mon parcours.

À ceux qui les aiment dans mes veines, et à les mentionner dans mon cœur à mes chères sœurs.

À mes chers amis, je ne peux trouver les mots et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous étés pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Lamine

Dédicace

Je dédie ce travail à

Ma chère Mère

Affable, honorable, aimable.., Tu représentes pour moi le symbole de bonté, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cassé de m'encourager, de me motive,

Tu pries pour moi, ta prière et la bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Ton éducation, amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Mon cher Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

Mes chères Sœur, Frère et Cousin

A vous « Samiha », « Redha » et « Bouzid », veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

Je vous souhaite un avenir plein de santé, bonheur, joie réussite... dans votre vie.

Mon Binôme et mes chères Ami (e) s

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et es pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter.

Je vous souhaite une vie pleine de santé joie et bonheur...

Khaled

Nomenclature

Symbole	Définitions	Unités(SI)
\dot{E}_e^+	Puissance-travail effective reçue	W
\dot{E}_q^+	Copuissance-chaleur reçue	W
\dot{E}_w^+	Copuissance-transformation reçue	W
\dot{E}_{qi}^+	Copuissance-chaleur reçue de la source a T_i	W
\dot{E}_{qi}^-	Copuissance-chaleur cédée de la source a T_i	W
\dot{E}_{wn}^+	Copuissance-transformation reçue du réseau n	W
\dot{E}_{wn}^-	Copuissance-transformation fournie du réseau n	W
\dot{E}_{ek}^+	Puissance-travail effective, reçue par l'élément mobile k	W
E_{wn}^+	cotravaux-transformation	W
$E_{e\ max}^-$	Travail effectif maximal	W
\dot{L}	Perte exergetique globale, en puissance	KW
\dot{M}_j^+	Débit massique reçue de la section j	kg.s ⁻¹
\dot{Q}_i^+	Puissance-chaleur reçue de la source (i)	W
Q_a^-	Puissance-chaleur reçue de l'atmosphère	W
\dot{W}_e^+	Puissance-transformation reçue	W
\dot{W}_e^-	Puissance-transformation cédée	W
\dot{W}_{en}^+	Puissance –transformation effective reçue, du réseau n.	W
V	Volume massique	m ³ .kg ⁻¹

Nomenclature

h_{czi}	Enthalpie totale massique du fluide au droit de la section j.	$J.kg^{-1}$
k_{cz}	Coenthalpie totale massique	$J.kg^{-1}$
S	Entropie du système	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
S_j	Entropie massique du fluide au droit de la section j	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
\dot{S}^i	Taux de création d'entropie due aux opérations interne	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
T	Température	K
T_i	Température de source chaude	K
T_a	Température de la source froide	K
U	Energie interne	J
u	Energie interne massique	$J.kg^{-1}$
u_{cz}	Energie interne totale	J
u_{ecz}	Energie interne effective massique	$J.kg^{-1}$
g	Accélération de la pesanteur	$m.s^{-2}$
J_{cz}	Coénergie totale	J
$P_a P_0$	Pression atmosphérique	Pa

Indices et abréviation

Symbole	Définition
Barg	Pression relative
CIS	Centre Industriel Sud
CINA	Centre Industriel (NAILI Abdelhalim)
LDHP	Unité d'extraction des liquides et gaz associés et séparation d'huile
PPM	Particule par million
ZCINA	Nouvelle zone Centre Industriel (NAILI Abdelhalim)

Lettres de Grèce

Symbole	Définition
ϵ, η	Efficacité, rendement
θ	Facteur de Carnot

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique du Champs HMD	3
Figure I.2 : Schéma bloc de l'unité	8
Figure I.3 : Schéma de séparation d'entrée (unité 20)	11
Figure I.4 : Schéma compression de gaz de charge	12
Figure I.5 : Déshydratation du gaz de charge unité 24	15
Figure I.6 : Schéma section de refroidissement (turbo expander)	19
Figure I.7 : Schéma section dééthanisation	21
Figure I.8 : Schéma section débutanisation.....	23
Figure I.9 : Schéma section stockage, export et recyclage du GPL.....	25
Figure I.10 : Schéma section stockage, export et recyclage du condensat	28
Figure II.1 : Schéma d'un système thermodynamique quelconque.....	30
Figure II.2 : Schéma d'un système thermodynamique quelconque.....	35
Figure III.1 : Vue générale de process sur logiciel HUDSON.	42
Figure III.2 : Répartition des pertes exergétique dans l'unité de compression.....	49
Figure III.3 : Répartition des pertes exergétique dans l'unité de déshydratation.	54
Figure III.4 : Répartition des pertes exergétique dans l'unité de refroidissement.	64
Figure III.5 : Répartition des pertes exergétique dans l'unité de dééthanisation.	78
Figure III.6 : Répartition des pertes exergétique dans l'unité de débutanisation.	88

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : La composition en % molaire de l'effluent entrant	10
Tableau III.1 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le compresseur	50
Tableau III.2 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'aéroréfrigérant	51
Tableau III.3 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VD-24-01	52
Tableau III.4 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur (gaz de charge / gaz résiduel) G11-GA-3202(A/B)	54
Tableau III.5 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur (gaz de charge / gaz de charge déth G11-GA-32-01	56
Tableau III.6 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VI-32-01	57
Tableau III.7 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'expandeur G11-KH-32-01	58
Tableau III.8 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le compresseur G11-KA-32-01	60
Tableau III.9 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'aéroréfrigérant	61
Tableau III.10 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'absorbeur G11-CA-32-01	63
Tableau III.11 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-04	65
Tableau III.12 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-06	66
Tableau III.13 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-01	67
Tableau III.14 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le condenseur G11-GA-32-03 ..	69
Tableau III.15 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-03	70
Tableau III.16 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-02	71

Tableau II.17 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-02	72
Tableau III.18 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le dééthaniseur G11-CE-32-01	74
Tableau III.19 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le débutaniseur G11-CB-32-01	77
Tableau III.20 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-05	79
Tableau III.21 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-03	80
Tableau III.22 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-04	82
Tableau III.23 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la batterie froide du condensat G11-GC-32-04	83

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de l'installation

I.1	Présentation du champ de Hassi Massaoud	3
I.2	Historique.....	4
I.3	Présentation de complexe Z-CINA.....	5
I.3.1	Introduction	5
I.3.2	Définitions.....	5
I.3.3	Présentation de complexe Z-CINA	5
I.4.	Description du procédé de traitement de l'unité d'extraction des liquides de GPL.....	6
I.4.1.	Système d'alimentation en gaz	8
I.4.2.	Système d'alimentation en liquides	9
I.4.3.	Trains de traitement des liquides	9
I.4.4.	Système d'expédition des produits gazeux :.....	9
I.4.5.	Unités des utilités	9
I.5.	Description des unités de procédés	9
I.5.1.	Canalisation de gaz de charge depuis CINA	9
I.5.2.	Séparation d'entrée	11
I.5.3.	Compression du gaz de charge (unité 23).....	11
I.5.3.1.	Conditionnement du gaz à l'aspiration.....	13
I.5.3.2	Compression	13
I.5.3.3	Refoulement et refroidissement du gaz	14
I.5.4.	Déshydratation du gaz de charge	14
I.5.4.1	Sécheur du gaz - Adsorption	15
I.5.4.2	Four de gaz de régénération	16
I.5.5.	Section de refroidissement du gaz & section de déthanisation.....	17
I.5.5.1	Refroidissement du gaz – Expandeur de gaz de charge/ Recompresseur.....	17
I.5.5.2	Section de dééthanisation	19
I.5.6.	Export du gaz résiduel – (unité 34).....	22
I.5.7.	Import & Distribution de condensat M4 de CINA – (unité 37).....	22
I.5.8.	Section de débuthanisation – Séparation des liquides – unité 32	22

I.5.9. Stockage, export & recyclage du GPL – (unité 33).....	24
I.5.9.1 Stockage du GPL	24
I.5.9.2 Système d’export du GPL	25
I.5.9.3 Recyclage du GPL	26
I.5.10. Canalisation d’export du GPL – (unité 36)	26
I.5.11. Stockage, export & recyclage du condensat – (unité 35)	26
I.5.11.1 Stockage des condensats	27
I.5.11.2 Export des condensats	27
I.5.11.3 Recyclage des condensats	28
I.5.12. Canalisation d’export du condensat	29
I.5.13. Expédition de l’isopentane	29
I.7 Conclusion	29

Chapitre II : Approche énergétique et approche exergetique

II.1 Introduction.....	30
II.2 Approche énergétique	30
II.2.1 Bilan énergétique	30
II.2.2 Energie effective	31
II.2.3 Puissance transformation et puissance transformation effective	32
II.2.4 Efficacité ou rendement thermique	33
II.3 Approche exergetique	34
II.3.1 Historique et définition	34
II.3.2 Bilan exergetique	35
II.3.3 Expression générale	37
II.3.4 Travail effective maximale	38
II.3.5 Rendement exergetique	39
II.4 Conclusion	40

Chapitre III : Analyse énergétique et exergetique de l'installation

III.1 Introduction	41
III.2 Description superficielle de l'installation	41
III.3 Propriété thermodynamique du fluide dans l'installation	43
III.4 Analyse exergetique de section de compression	45
III.4.1 Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01	45
III.4.2 Réfrigérant du compresseur de gaz de charge G05-GC-23-01	46
III.4.3 Ballon de refoulement du compresseur G05-VD-23-02.....	47
III.4.4 Perte exergetique totale dans l'unité de compression.....	48
III.4.5 Résultats et discussions d'unité de compression.....	49
III.5 Analyse exergetique de la section de déshydratation.....	50
III.5.1 Sécheur en phase de déshydratation G11-VK-24-01.....	50
III.5.2 Sécheur en phase de régénération G11-VK-24-01	51
III.5.3 Aéroréfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01	52
III.5.4 Ballon de séparation de gaz de régénération G11-VD-24-.....	53
III.5.5 Perte exergetique totale dans l'unité de déshydratation	54
III.5.6 Résultats et discussions d'unité déshydratation	54
III.6 Analyse exergetique de la section de refroidissent	55
III.6.1 Echangeur (gaz de charge/gaz résiduel) G11-GA-32-02(A/B)	55
III.6.2 Echangeur (gaz de charge/charge du dééthaniseur) G11-GA-32-01	58
III.6.3 Ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VI-32-01.....	59
III.6.4 Expandeur de gaz résiduel G11-KH-32-01	59
III.6.5 Recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01	61
III.6.6 Aéroréfrigérant de gaz résiduel G11-GC-32-01	62
III.6.7 Perte exergetique totale dans l'unité de refroidissement	63
III.6.8 Résultats et discussions d'unité déshydratation	64
III.7 Analyse exergetique de la section de dééthanisation	65
III.7.1 Absorbeur G11-CA-32-01	65
III.7.2 Echangeur de tête de l'absorbeur G11-GA32-04	66
III.7.3 Ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06.....	68

III.7.4 Pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01.....	69
II.7.5 Condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03.....	70
III.7.6 Ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03.....	72
III.7.7 Ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02.....	73
III.7.8 Pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02.....	74
III.7.9 Dééthaniseur G11-CE-32-01	76
III.7.10 Perte exergetique totale dans l'unité de dééthanisation.....	77
III.7.5 Résultats et discussions d'unité dééthanisation	78
III.8 Section de débutanisation.....	79
III.8.1 Débutaniseur G11-CB-32-01.....	79
III.8.2 Aéroréfrigérant de débutaniseur G11-GC-32-02.....	80
III.8.3 Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05.....	81
III.8.4 Pompe de reflux de débutaniseur G11-PA-32-03.....	82
III.8.5 Pompe de reflux d'isopontane G11-PA-32-04	84
III.8.6 Batterie froide du condensat G11-GC-32-04.....	85
III.8.7 Batterie froide d'isopontane G11-GC-32-03.....	86
III.8.8 Perte exergetique totale dans l'unité de débutanisation.....	87
III.8.9 Résultats et discussions section débuthanisation	88
III.9 Bilan de l'instalation	89
III.9.1 Perte exergetique globale.....	89
III.10 Analyse des résultats	90
<i>Conclusion générale.....</i>	91

Références bibliographiques

annexes

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Les sciences et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources énergétiques. à savoir tous les produits à vocation énergétique dont nous citons le pétrole et le gaz naturel, qui sont les seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins en énergie

En pratique, la thermodynamique, vers 1800 a commencé en étudiant les moteurs thermique machines à vapeur ou à gaz chaud pour comprendre leur fonctionnement et améliorer leur rendement qui au début était faible car avec des méthodes empiriques sans méthode scientifique précise.

La thermodynamique est la science qui étudie la manière dont l'énergie sous toutes ses formes se comporte entre tous ses supports. C'est pour cela que l'ingénieur vise à améliorer le rendement des procédés qu'il met en œuvre, qui est de tirer un maximum de profit d'un minimum de ressources.

Le gaz naturel joue un rôle énergétique croissant. L'importance de ses réserves et les avantages qu'il présente sur le plan de l'environnement favorisent son utilisation, notamment dans des secteurs à forte valeur ajoutée : industries de précision, production d'électricité [2].

En effet, depuis une dizaine d'années, la société nationale SONATRACH a lancé un ambitieux programme de développement, en vue d'augmenter la contribution de ces produits dans les exportations globales d'hydrocarbures.

L'un des champs qui ont bénéficié de ce programme est le champ nord de Hassi Messaoud, et cela a été concrétisé par la construction d'une nouvelle unité GPL Zcina mis en fonction en 2013 pour améliorer la production en GPL et condensat à partir des gaz associés.

Cette unité utilise un procédé baptisé « HUDSON" basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques ensuite par une détente via "turbo-expander" suivi par un fractionnement dans trois colonnes de rectification appelées respectivement : absorbeur, dééthaniseur et débutaniseur. [5]

Notre travail consiste à faire une étude énergétique et exergétique du processus cité ci-dessus. En effet, l'étude exergétique peut être utilisée pour évaluer les pertes exergétiques de tous les éléments d'un système, pour essayer ensuite d'améliorer le manque de performance en minimisant ces pertes, et chercher à atteindre un rendement exergétique globale maximal, mais à un coût d'investissement réduit.

Notre travail, élaboré à l'issue d'un stage pratique au niveau de l'unité de production du GPL Z-Cina Hassi Messaoud, consiste en une étude énergétique et exergetique du train 3. Le travail est subdivisé en trois chapitres : le premier est consacré à la description de l'installation Z-Cina Hassi Messaoud. Quant au deuxième, il présente un aperçu général sur les notions d'énergie (rendement et bilan) et au concept d'exergie, et en terminons par le troisième qui représente la partie calcul où on a mis en œuvre les approches énergétique et exergetique pour évaluer les performances des équipements.

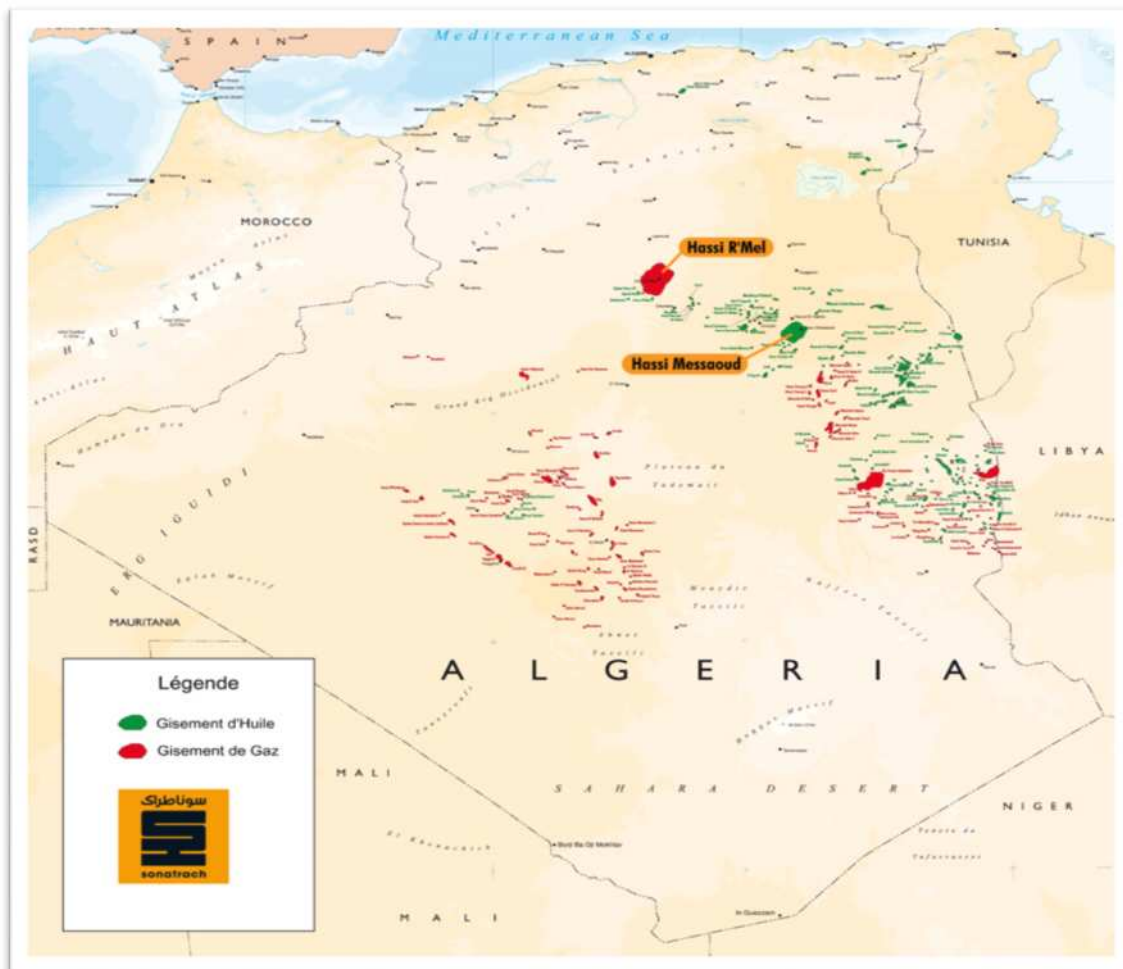
Enfin, nous terminerons par une conclusion.

Chapitre I

Présentation du complexe de traitement de gaz, Z-CINA

I.1 Présentation du champ Hassi Messaoud

Le champ de Hassi Messaoud se situe à 850 km du Sud est d'Alger et à 350 km des frontières tunisiennes par sa superficie qui s'étend sur près de 2200 km² dans le bassin de Oued Mya, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et l'un des champs les plus complexes du monde, le gisement de Hassi Messaoud (HMD) fut découvert par deux compagnies françaises CFFPA (Compagnie française des Pétroles d'Algérie) et SN-REPAL (Société Nationale de Recherche Pétrolière en Algérie).



En 1946, la SN-REPAL avait commencé sa recherche à travers le Sahara, trois années plus tard, elle débutait la prospection géophysique par reconnaissance gravimétrique. le 15 janvier 1956 fut réalisé le premier forage, ce forage a mis en évidence les grès du cambrien producteurs d'huile à 3338 mètres de profondeur. En 16 mai de la même année, un deuxième puits a été foré, de 1959 à 1964, 153 puits ont été forés et mis en exploitation.

La Société nommée SONATRACH chargée de la recherche et l'exploitation des hydrocarbures a été fondée le 31 décembre 1963, aujourd'hui devenue un groupe pétrolier assurant les missions stratégiques axées sur la recherche, la production, le transport, le traitement et la commercialisation des hydrocarbures.

Elle a été constituée pour exploiter les ressources en hydrocarbures du pays. Ses activités diversifiées touchent toute la chaîne de production :

- exploration,
- exploitation,
- transport,
- raffinage.

Sonatrach est la première entreprise d'Afrique, avec un chiffre d'affaire plus de trois fois supérieur à celui de Old Mutual, classée deuxième. Elle est le 11^{er} groupe pétrolier au niveau mondial, 2^{eme} exportateur de GNL et de GPL et 3^{eme} exportateur de gaz naturel. [1]

I.2 Historique

La découverte du GPL (Gaz, pétrole, liquéfié) ou LPG (liquified petroleum gases) est beaucoup plus récente que celle du pétrole. En effet elle remonte au 24 décembre 1910 en Virginie (USA), lorsque l'ingénieur de Riverside Oil Company, H. STUKEMAN, réussit pour la première fois à obtenir les 658 premiers litres de GPL liquide. [4]

La première utilisation fut l'oxycoupage en 1911 ou il s'avéra que le GPL constituait un excellent substitut à l'acétylène. Dès 1912, une installation domestique fut expérimentée. Dans la même année la carburation automobile aux GPL fit ses premiers pas. [4]

Pour l'Algérie, le 16 janvier 1956 la SN.REPAL a amorcé le premier forage du puits appelé MDI, pas loin du puits chamelier de Hassi-Messaoud, en 15 juin de la même année, ce forage a mis en évidence à 3338 m de profondeur des grès d'âge cambrien productifs d'huile.

Le champ du sud II a été exploité à partir du 7 janvier 1958 et en 1959 le champ de nord.

En 1960 La création du Centre Industriel Sud (CIS) et Centre Industriel NAÏLI Abdelhalim (CINA).

Du 1960-1980 le groupe de sonatrach réussit à la réalisation: 05 Unités de séparation ; 02 Unités de réinjection de gaz ; 01 topping et 02 unités de stabilisation, 02 unités GPL ; 07 unités de

séparation Satellites ; 01 raffinerie ; 01 unité d'injection d'eau ; 05 unités Boosting (comprison) et 05 Unités de Réinjection de gaz.

Du 1980-2000 ils sont réalisé : 23 unités boosting et 02 unités de réinjection d'eau et 02 unités d'injection de gaz, 06 unités de réinjection de gaz, 01 unité de séparation satellites, 03 unités de séparation de gaz ; 01 unité de GPL et 02 Unités d'azote.

Du 2000 à ce jour : la réalisation de 02 unités de traitement des eaux huileuse et 01 Unité de valorisation des condensats et 01 Unité de stabilisation d'huile « UTBS »; 01 Unité de production de GPL et de Condensat et Unité de séparation LDHP (Ligne Direct Haute Pression) « Z-CINA ».

I.3 Présentation de complexe Z-CINA

I.3.1 Introduction

Parmi ces usines, nous citons la nouvelle unité d'extraction des liquides de gaz associés sur le champ de Hassi Messaoud nord, dénommé GPL Z-CINA (nouvelle Zone Centre Industriel Naili Abdelhalim).

GPL Z-CINA est une unité d'extraction des liquides de gaz associés destinée à recevoir des gaz associés valorisables provenant de l'unité de traitement de brut CINA sur le champ de Hassi Messaoud nord, et à réexpédier en retour à CINA un gaz appauvri et à expédier le GPL extrait du gaz de charge vers une nouvelle station de pompage situé à 17 km (station hors fourniture). Cette nouvelle unité sera située à environ 5 km au nord de CINA.

I.3.2 Définition

Le GPL (Gaz, pétrole, liquéfié) est un mélange d'hydrocarbures ayant un poids moléculaire peu élevé. Contenant principalement le propane et le butane, ayant une température de vaporisation respectivement de -42°C et 0°C à pression normale permettant de les maintenir liquides à une température ordinaire sous une pression modérée 14 et 5 KPa respectivement, contrairement au méthane et l'éthane qui ne peuvent être liquéfiés qu'à des températures très basses. [3]

I.3.3 Principe général d'extraction de GPL

Le gaz de pétrole liquéfié est un produit gazeux à la température ambiante et pression atmosphérique. Il est liquéfié à faible pression (4 à 5 bar) et une température très basse pour

faciliter son transport, son stockage et sa commercialisation, il se gazéifie au moment de son utilisation.

D'une façon générale, le traitement du gaz consiste soit :

- A retirer spécifiquement certains constituants présents dans les gaz « bruts » en sortie des puits de production pour rendre le gaz compatible avec les spécifications requises pour son transport et/ou pour le rendre compatible avec des spécifications de qualité commerciales (contractuelles) et réglementaires.
- A fractionner le gaz brut saturé par une séparation tri phasique qui permet de dissocier le gaz (composé le plus léger) des liquides, c'est-à-dire du condensat et de l'eau (composés les plus lourds). Suivi par un refroidissement (traitement cryogénique) où le gaz est fractionné en GPL et gaz sec, suivant le mode de refroidissement, le traitement du gaz naturel se compose de trois types de procédés :
 - Procédé Pritchard : Basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et par détente simple isenthalpique (vanne joule Thompson), avec l'utilisation du propane comme fluide réfrigérant permet d'atteindre des températures en fin de cycle voisines de -23°C .
 - Procédé Hudson : Basé sur le refroidissement du gaz par échanges thermiques et complétée par une détente isentropique à travers une machine dynamique appelée "turbo-expander" permet d'atteindre un niveau de température relativement plus bas -55°C . Ce procédé permet une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.
 - Procédés mixtes : Ces procédés sont les plus performants car ils utilisent le turbo-expander, la vanne joule Thompson et la boucle de propane, où on atteint les -66°C . Ils permettent une meilleure récupération des hydrocarbures liquides.

Le stockage de GPL se fait à l'état liquide. C'est l'un des meilleurs combustibles avec le gaz naturel en ce qui concerne le contrôle de l'environnement. Les GPL sont utilisés dans les secteurs tertiaires et industriels en tant que combustibles, dans la pétrochimie en tant que charge dans le secteur de transport en tant que carburant et pour la production d'électricité. [3]

I.4 Description du procédé d'extraction du GPL à partir du gaz de charge

Les installations de l'usine de Z-CINA ont été conçues pour extraire 88,3% molaire de GPL en œuvrant au procédé "HUDSON" . Basé sur le refroidissement du gaz par échanges

thermiques et par une série de détente , complétée par une machine dynamique appelée "turbo-expander" permet d'atteindre un niveau de température relativement plus bas suivi par un fractionnement dans les trois colonnes de rectification respectivement appelées : absorber, dééthaniseur et débutaniseur.

Les installations sont conçues pour récupérer les liquides des gaz associés provenant de l'usine de traitement de brut de CINA et de l'unité de séparation d'huile LDHP.

Le traitement du gaz consiste, après réception du gaz de puis la ligne existante allant aux sections de ré-injections de gaz situées au CIS, à comprimer le gaz à haute pression, puis à le déshydrater, pour ensuite le détendre dans un turbo-expandeur.

Le gaz obtenu est rectifié dans un absorber et le liquide obtenu est strippé dans un dééthaniseur pour extraire les liquides contenus dans le gaz de charge, puis un train d'échange thermique permet d'intégrer l'ensemble de ces opérations.

Le complément de chaleur nécessaire est fourni par un système d'huile chaude. Le gaz résiduel appauvri est re-comprimé dans la ligne existante de gaz allant aux sections de ré-injections de gaz situées au CIS, via le compresseur à couplage direct avec le turbo-expandeur. Les liquides extraits sont finalement séparés dans un débutaniseur pour obtenir les GPL et condensats aux spécifications voulues.

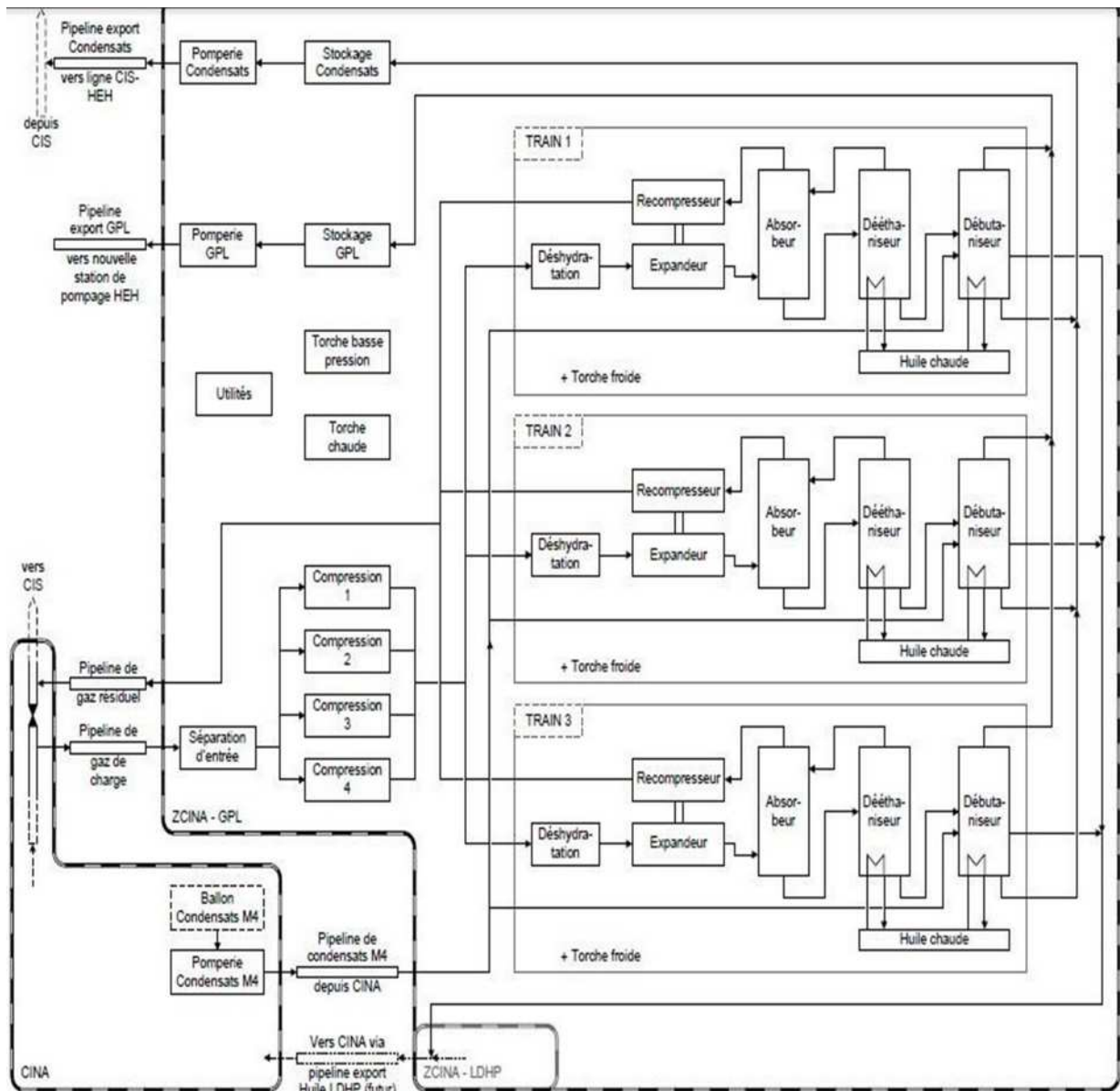


Figure I.2 : Schéma bloc de l'unité

L'installation de la production est composée principalement des sections suivantes :

I.4.1 Systèmes d'alimentation en gaz :

- Canalisation de gaz de charge depuis CINA (Unité 27)
- Séparation d'entrée (Unité 20)
- Compression du gaz de charge (Unité 23)
- Déshydratation du gaz de charge (Unité 24)

I.4.2 Systèmes d'alimentation en liquides :

- Import & distribution de condensats M4 de CINA (Unité 37)

I.4.3 Trains de traitement des liquides :

- Section de refroidissement & Section de dééthanisation (Unité 32)
- Section de débutanisation (Unité 32)
- Stockage et expédition des produits liquides
- Stockage, export et recyclage de GPL (Unité 33)
- Stockage, export et recyclage des condensats (Unité 35)
- Canalisation d'export des condensats (Unité 37)

I.4.4 Système d'expédition des produits gazeux :

- Canalisation d'export de gaz résiduel (Unité 34)

I.4.5 Unités des utilités :

- Système gaz combustible (Unité 45)
- Système d'huile chaude (Unité 41)
- Systèmes de torche (Unité 43)
- Système d'injection de produits chimiques (Unité 42)
- Air instrument / Air service (Unité 63)
- Azote (Unité 64)
- Drains fermés (Unité 57)
- Drains ouverts (Unité 56)
- Traitement des eaux huileuses (Unité 44)
- Diesel (Unité 62)
- Eau brute et eau potable (Unités 50 & 53)
- Traitement des eaux usées (Unité 66)
- Système d'eau incendie (Unité 71)

I.5 Description des Unités de Procédés**I.5.1 Canalisation de gaz de charge depuis CINA**

Le gaz de charge valorisable provenant de l'unité de traitement de brut CINA est transféré vers l'usine GPL Z-CINA par une nouvelle canalisation de 36". Le piquage est réalisé

sur la ligne existante de 40'' vers le CIS. Du fait de la présence possible de bouchons liquide, la canalisation de gaz de charge est équipée aux deux extrémités de gares de racleurs : une gare de racleur de départ à CINA (G01-VM-27-03) et une gare de racleur d'arrivée à ZCINA (G01-VM-27-04).

La composition en % molaire de l'effluent entrant est donnée dans le tableau ci-dessous :

Gaz de charge						
Cas	Gaz pauvre			Gaz riche		
Composés	Sources Gaz		Charge brute de l'unité GPL ZCINA (% mole)	Sources Gaz		Charge brute de l'unité GPL ZCINA (% mole)
	CINA	Gaz Résiduel	-	CINA	Gaz Résiduel	-
C1	69.94	75.23	70.23 %	65.85	70.92	66.41 %
C2	17.21	18.9	17.24 %	17.4	20.22	17.49 %
C3	5.23	1.29	5.11 %	8.28	3.79	7.87 %
iC4	0.56	0.04	0.53 %	2.23	0.2	2.06 %
nC4	1.69	0.07	1.59 %	0.77	0.11	0.71 %
iC5	0.21	0	0.20 %	0.42	0.01	0.38 %
nC5	0.32	0	0.30 %	0.54	0.01	0.50 %
C6	0.04	0	0.04%	0.23	0	0.20%
C7	0.01	0	0.01 %	0.06	0	0.06 %
C8+	0	0	0.00 %	0	0	0.00 %
N2	2.71	2.94	2.70 %	2.45	3.01	2.52 %
CO2	2.09	1.53	2.05 %	1.77	1.73	1.78 %
Total	100	100	100	100	100	100.00 %
Débit std (m3/jour)	28600000	1 700 000	32 000 000	20600000	1 700 000	24 000 000
MW (kg/kmol)	22.112	19.882	22.003	23.608	20.928	23.369

Tableau I.1 : La composition en % molaire de l'effluent entrant

I.5.2 Séparation d'entrée

Le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 reçoit le gaz de charge acheminé par la canalisation de 36" depuis CINA contenir de l'eau générée par la condensation en ligne.

Le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 sépare le gaz, dirigé vers la section de compression, de la phase aqueuse, une injection d'inhibiteur de corrosion est prévue au niveau de la sortie gaz du séparateur puis le ballon de flash des condensats d'entrée G01-VD-20-01 reçoit le liquide du séparateur d'entrée G01-VL-20-01 envoyé via un contrôle de niveau, ce ballon permet de dégazer l'eau saturée en hydrocarbures et d'envoyer les gaz dissous à la torche basse pression. Le liquide de fond du ballon est expédié vers le système de traitement des eaux huileuses sous contrôle de niveau.

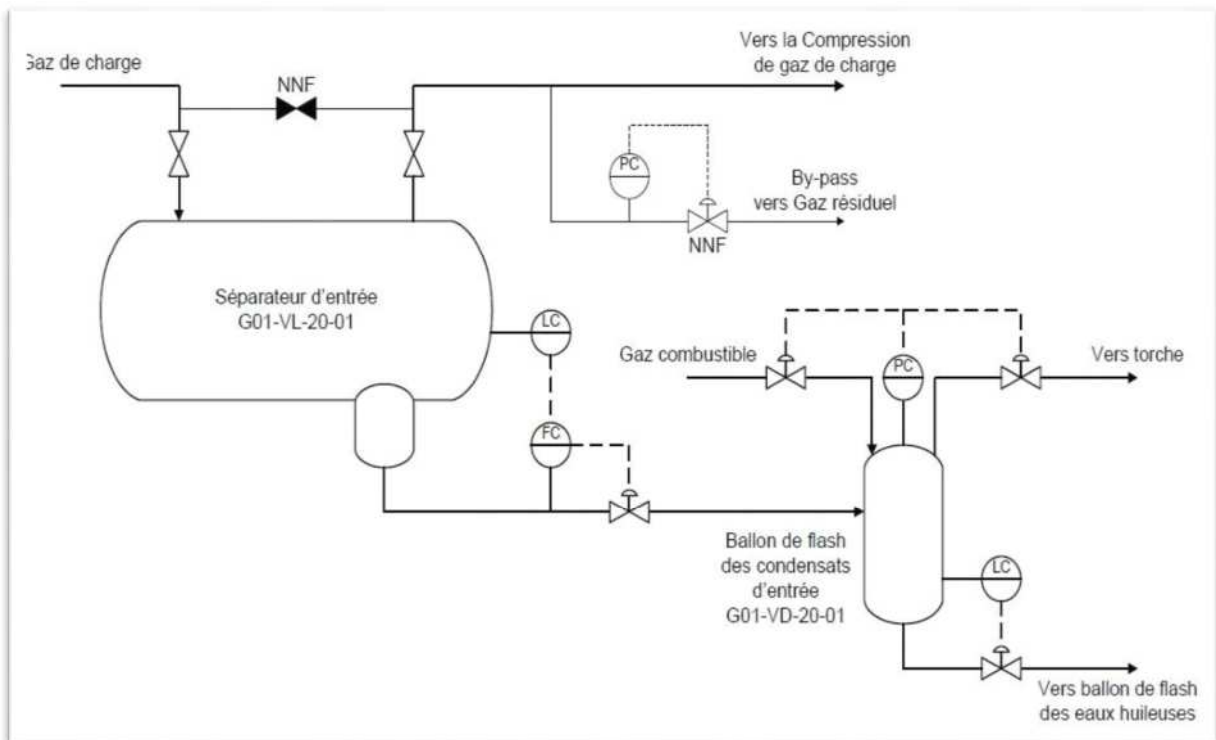


Figure I.3 : Schéma de séparation d'entrée (unité 20)

I.5.3 Compression du gaz de charge (Unité 23)

Le gaz de charge en provenance du séparateur d'entrée G01-VL-20-01 est envoyé sur le collecteur commun d'aspiration des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01.

Le collecteur commun d'aspiration des compresseurs peut aussi recevoir le gaz associé issu de l'unité de séparation d'huile LDHP (également située à Z-CINA), l'ensemble du gaz se rép-artit sur les trois trains de compression en fonctionnement (le 4^{ème} train de compression est utilisé comme secours), puis le gaz de régénération issu de la section de déshydratation de chaque train de traitement est recueilli sur un collecteur commun puis il se répartit également sur les compresseurs au niveau de la dernière roue, constituant ainsi l'inter-étage de ces derniers.

Les quatre trains de compression sont identiques et la description de fonctionnement qui suit s'applique à n'importe lequel des trains de compression.

NB : La valeur de X dans la numérotation des équipements est fonction du numéro du train de compression concerné (X=5 pour le train 1, X=6 pour le train 2, X=7 pour le train 3 et X=8 pour le train 4).

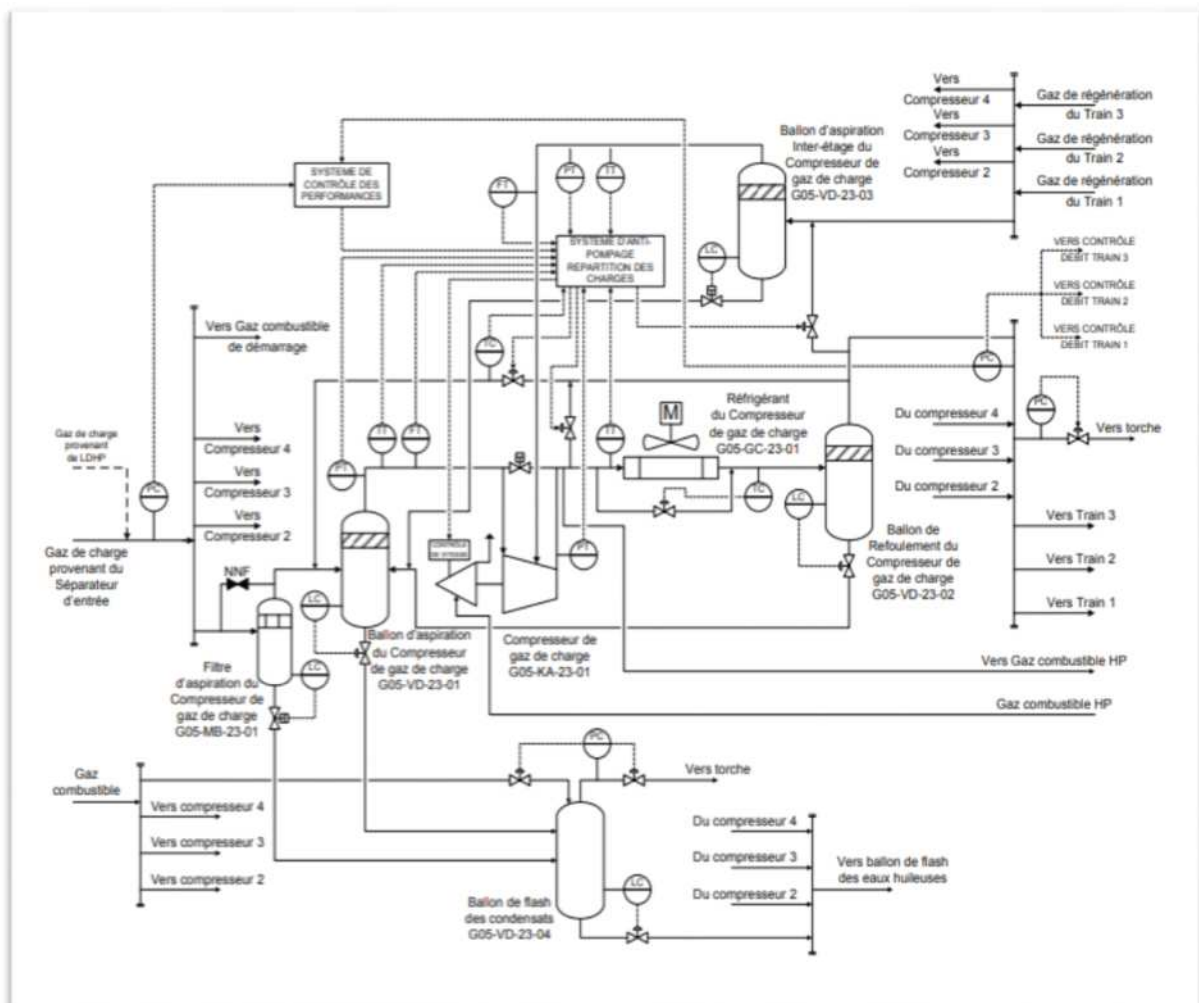


Figure I.4 : schéma compression de gaz de charge

I.5.3.1 Conditionnement du gaz à l'aspiration

Le gaz de charge sortant du séparateur d'entrée G01-VL-20-01 est envoyé dans le filtre coalesceur d'aspiration G0X-MB-23-01. Ce filtre, à deux étages, permet d'éliminer l'eau qui pourrait se condenser en ligne sous l'effet des échanges thermiques avec l'air ambiant et d'éliminer les particules solides entraînées (rétention des gouttelettes de taille supérieure ou égale à 10 μm et des particules solides de taille supérieure à 5 μm). Les liquides qui y sont récupérés sont envoyés vers le ballon de flash des condensats du compresseur G0X-VD-23-04 par un contrôle on/off du niveau dans le filtre. Il est possible de bypasser le filtre coalesceur notamment lors du changement des cartouches coalescentes.

Le gaz filtré rejoint ensuite le ballon d'aspiration du compresseur G0X-VD-23-01 qui recueille l'eau condensée en ligne depuis le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 lors du bypass du filtre G0X-MB-23-01 ainsi que les liquides flashés du ballon de refoulement du compresseur G0X-VD-23-02 et du ballon d'inter-étage du compresseur G0XVD-23-03.

Les condensats du ballon d'aspiration G0X-VD-23-01 sont évacués sous contrôle de niveau vers le ballon de flash de condensats G0X-VD-23-04. Ce ballon de flash (G0X-VD-23-04) permet de dégazer l'eau saturée en hydrocarbures et d'envoyer les gaz dissous à la torche basse pression. Le liquide de fond du ballon est expédié vers le traitement des eaux huileuses sous contrôle de niveau.

I.5.3.2 Compression

Le gaz de charge provenant du ballon d'aspiration G0X-VD-23-01 est comprimé dans le compresseur G0X-23-KA-01 puis le compresseur est entraîné par la turbine à gaz G0X-DMT-23-01, est les turbines à gaz des compresseurs sont alimentées en gaz combustible haute pression.

Le gaz humide provenant du collecteur de gaz de régénération est préalablement envoyé dans le ballon d'aspiration d'inter-étage G0X-VD-23-03 pour protéger le compresseur du liquide condensé en ligne puis le liquide est ensuite envoyé vers le ballon d'aspiration G0X-23-VD-01. De son côté, le gaz de régénération issu du G0X-VD-23-03 est introduit dans le compresseur G0X-23-KA-01 au niveau de l'inter-étage où il rejoint le gaz de charge juste avant la dernière roue du compresseur est les quatre turbo-compresseurs sont gérés par un système de répartition de charge contrôlant la pression d'aspiration au niveau du collecteur d'aspiration.

Un contrôle complémentaire par la pression de refoulement existe et se met en place en cas de pression de refoulement trop élevée, le répartiteur de charge agit sur la vitesse de chaque turbine afin d'ajuster la capacité des compresseurs à la capacité requise et d'assurer une répartition identique du débit sur les quatre machines. Est chaque étage du compresseur dispose d'un système d'anti-pompage et de son système de contrôle dédié permettant de recycler du gaz du refoulement du compresseur à l'aspiration de celui-ci ou à l'inter-étage de celui-ci afin d'opérer chaque étage au-delà de son point de pompage à la vitesse donnée, le système d'anti-pompage du premier étage est de plus couplé à un contrôle anti-hydrate.

En effet, en cas d'ouverture de la vanne d'anti-pompage principale (entre le refoulement et l'aspiration du premier étage), il y a un risque de formation d'hydrates due à la baisse de température dans la vanne d'anti-pompage et en aval de celle-ci. Il est donc nécessaire de contrôler la température en aval de la vanne d'anti-pompage bien au-dessus de la température de formation d'hydrates grâce à l'injection de gaz chaud du refoulement en amont de la vanne d'anti-pompage.

Pour les phases d'arrêt, le compresseur est équipé d'un bypasse de gaz chaud permettant le recyclage entre le refoulement et l'aspiration à travers une vanne tout ou rien.

I.5.3.3 Refoulement et refroidissement du gaz

Au refoulement du compresseur G0X-KA-23-01, le gaz est refroidi à travers l'aéro-réfrigérant G0X-GC-23-01. L'eau condensée lors du refroidissement est séparée du gaz dans le ballon de refoulement G0X-VD-23-02.

Le gaz comprimé est envoyé vers le collecteur commun de refoulement qui alimente le collecteur de distribution du gaz vers les trois trains de traitement en aval.

I.5.4 Déshydratation du gaz de charge

Le gaz de charge comprimé, en provenance des compresseurs de gaz de charge, est transféré vers le collecteur de distribution de gaz de charge qui alimente les trois trains de traitement. La pression au niveau du collecteur de refoulement des compresseurs de gaz de charge (c'est-à-dire à l'entrée de l'unité de déshydratation de chaque train de traitement) est contrôlée par le système de répartition de charge des expandeurs via le débit "aspiré" par chaque expandeur. C'est l'expandeur qui régit le débit de gaz entrant dans chaque train de traitement.

Le système de répartition de charge de l'expandeur permet de contrôler la pression tout en répartissant vers les trains de traitement à disposition le gaz délivré par les unités de

compression de gaz de charge. L'unité de déshydratation de chaque train a pour fonction de diminuer la quantité d'eau dans le gaz d'alimentation (saturé en eau) pour atteindre la valeur spécifiée de 1 ppm vol, en sortie d'unité.

L'eau est ôtée du gaz humide pour éviter la formation d'hydrates dans la section froide de l'installation. Les trois trains de traitement sont identiques. La description de fonctionnement qui suit s'applique à n'importe lequel des trains de traitement.

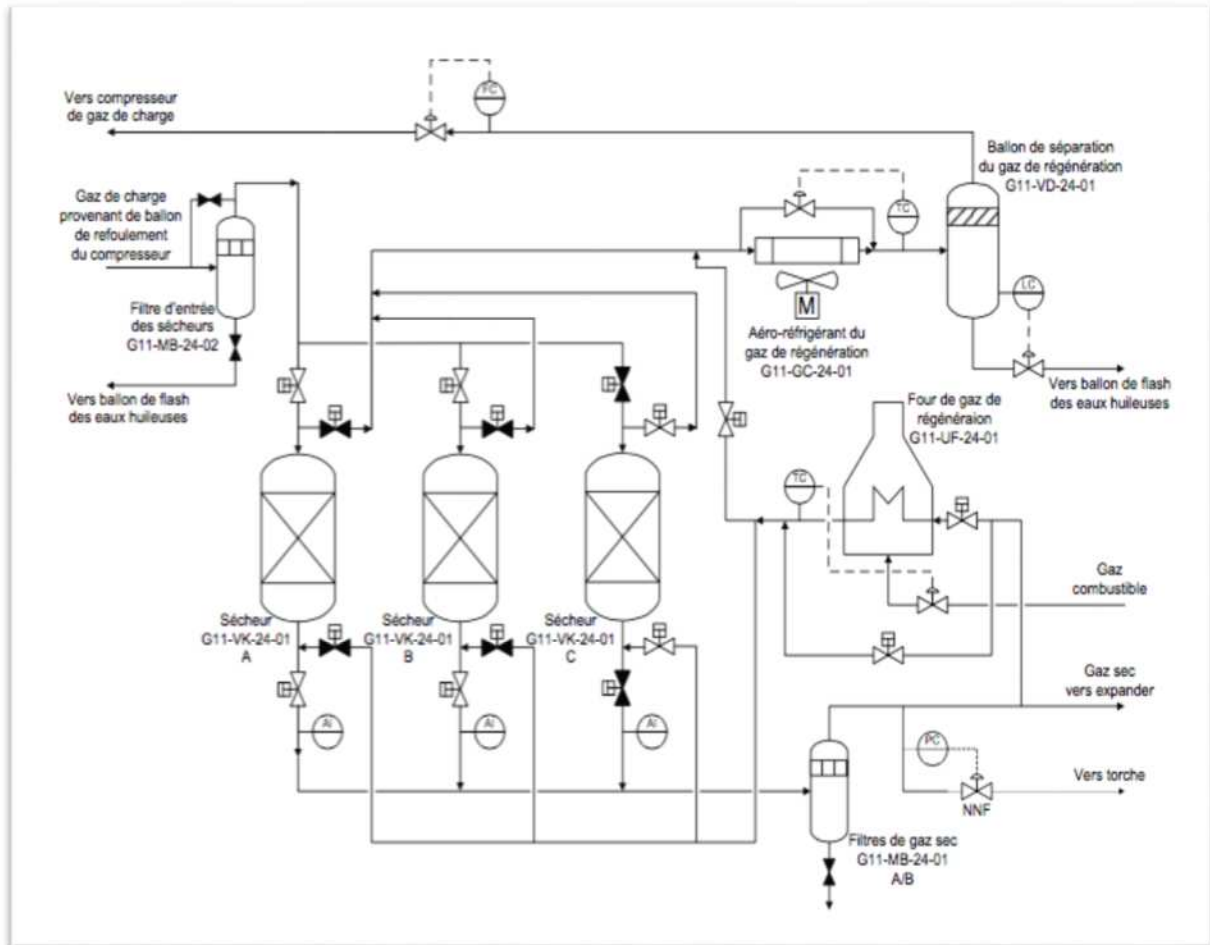


Figure I.5 : Déshydratation du gaz de charge unité 24

I.5.4.1 Sécheurs de gaz – Adsorption

Le gaz humide entrant dans le train de traitement est envoyé au filtre coalesceur G1X-MB-24-02 pour éliminer l'eau libre condensée en ligne depuis la section de compression. L'eau récupérée est envoyée après détente à l'unité de traitement des eaux huileuses. Le gaz issu du filtre coalesceur G1X-MB-24-02 est envoyé sur deux des trois sécheurs de gaz G1X-VK-24-01 A/B/C pour être déshydraté.

En effet, en opération normale, deux sècheurs opèrent en parallèle en mode d'adsorption (adsorption de l'eau par le tamis moléculaire par circulation du gaz humide dans le sens descendant), pendant que le troisième est en régénération (circulation de gaz sec chaud à travers le sécheur dans le sens ascendant).

Chaque sécheur opère selon un cycle d'une durée de 24 heures, divisé entre phase d'adsorption (16 heures) et phase de régénération (8 heures). Après un cycle d'adsorption (où l'eau s'est accumulée dans le sécheur), le sécheur passe à la phase de régénération au cours de laquelle il est régénéré pour extraire l'eau adsorbée. Un autre sécheur, pour lequel les étapes de régénération sont terminées, remplace le sécheur précédemment en mode d'adsorption.

La séquence de déshydratation du gaz est pilotée de façon automatique (cas normal) ou manuelle. Chaque sécheur est équipé d'un analyseur d'humidité pour s'assurer du bon fonctionnement des sècheurs et détecter un éventuel problème sur les tamis moléculaires. La teneur en eau du gaz sec provenant des sècheurs G1X-VK-24-01 A/B/C doit être inférieure à 1 ppm vol. A la sortie des sècheurs, le gaz est filtré à travers les filtres de gaz sec G1X-MB-24-01 A/B afin d'éliminer les particules de taille supérieure à 10 µm (poussières ou débris de tamis moléculaire entraînés par le flux gazeux en adsorption) pouvant endommager la roue de l'expandeur (inclus dans la section de refroidissement du gaz), le gaz sec et filtré alimente ensuite la section de refroidissement du gaz

I.5.4.2 Four de gaz de régénération – Régénération

Une partie du gaz sec est utilisée en tant que gaz de régénération. Ce débit constant, correspondant environ à 17 % du débit nominal de gaz déshydraté, est collecté à la sortie des filtres de gaz sec G1X-MB-24-01 A/B.

La phase de régénération d'un sécheur est divisée en trois étapes : la chauffe (pendant environ 5 heures), le refroidissement (pendant environ 2 heures) et le repos (pendant environ 40 min). Le passage d'une étape à l'autre nécessite l'ouverture et la fermeture des plusieurs vannes (environ 20 minutes au total). Pendant l'étape de chauffe, le gaz sec de régénération est chauffé dans le four G1X-UF-24-01 puis traverse le sécheur en régénération dans le sens ascendant. Une première rampe de montée en température (15 minutes) permet de réchauffer progressivement le tamis moléculaire de la température opératoire du gaz jusqu'à 120 °C, température à laquelle est observé un palier pour assurer une chauffe homogène dans le sécheur pendant 30 minutes. Une seconde rampe de montée en température de 30 minutes est alors réalisée pour porter le gaz à 290 °C. Une étape finale de chauffe à 275 °C minimum

(température du tamis) est alors observée pendant 4 heures pour permettre une régénération complète du tamis moléculaire.

L'effluent gazeux humide et chaud récupéré en sortie des sécheurs est refroidi à 60 °C par l'aéro-réfrigérant de gaz de régénération G1X-GC-24-01. L'eau condensée est ensuite récupérée dans le séparateur de gaz de régénération G1X-VD-24-01, puis envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses (sous contrôle de niveau dans le séparateur). Le gaz de régénération est envoyé sur le collecteur commun de gaz de régénération qui alimente l'inter-étage des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01 (via les ballons d'aspiration inter-étage G05/G06/G07/G8-VD-23-03).

Lors de l'étape de refroidissement, le gaz de régénération bypassse le système de chauffe (le four est arrêté) et le gaz froid et sec est envoyé à travers le sécheur en régénération pendant 2 heures afin de ramener la température du tamis moléculaire à sa valeur opératoire en phase d'adsorption.

A la sortie du sécheur, le gaz de régénération suit le même traitement de refroidissement à 60 °C et séparation que précédemment. Pendant l'étape de repos et de permutation des sécheurs, le système de chauffe et les sécheurs sont bypassés et le gaz de régénération est envoyé à l'entrée de l'aéro-réfrigérant G1X-GC-24-01 pour être recyclé vers l'inter-étage des compresseurs du gaz de charge.

Il y a ainsi un débit permanent et constant qui retourne à l'inter-étage des compresseurs pour éviter les perturbations.

I.5.5 Section de refroidissement du gaz & Section de dééthanisation

Les trois trains de traitement sont identiques. Et la description de fonctionnement qui suit s'applique à n'importe lequel des trains de traitement :

I.5.5.1 Refroidissement du gaz – Expandeur de gaz de charge/ Recompresseur

Le gaz sec filtré provenant de l'unité de déshydratation est acheminé vers la section de refroidissement du gaz. Le débit de gaz est réparti entre l'échangeur gaz de charge/charge dééthaniseur G1X-GA-32-01 (côté tubes) et l'échangeur gaz de charge/gaz résiduel G1X-GA-32-02 A/B (côté calandre) fonctionnant en parallèle.

Une partie du gaz déshydraté est refroidi dans l'échangeur G1X-GA-32-01 par la sortie liquide froide provenant du ballon d'alimentation du dééthaniseur G1X-VL-32-03. Le débit

restant est refroidi dans l'échangeur G1X-GA-32-02 A/B par le gaz résiduel provenant du système de tête de l'absorbeur G1X-CA-32-01. Les deux flux froids sont mélangés et dirigés vers le ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01.

Le gaz provenant du ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01 est envoyé vers l'expandeur du gaz de charge G1X-KH-32-01 où il est détendu à la pression de 21.8 barg. Au démarrage, l'expandeur G1X-KH-32-01 est à l'arrêt et le gaz est envoyé vers la vanne 32-FV-0X036 (vanne JT, mode Joule-Thomson).

Dans les deux cas, la température du gaz est réduite, permettant la condensation d'une partie des GPL. Néanmoins, l'expandeur réalise une détente thermodynamiquement bien plus efficace (chute en température bien plus importante), qui permet de récupérer plus de GPL en aval que dans le cas d'une simple détente à travers une vanne.

Dans le cas d'un fonctionnement normal de l'unité, le gaz en sortie du ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01 alimente l'expandeur G1X-KH-32-01. La position des volets d'entrée de l'expandeur (IGV) est ajustée par le contrôleur de pression du collecteur commun au refoulement des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01 agissant en cascade sur le régulateur de débit du train de traitement localisé à l'entrée de la section de refroidissement de gaz.

En sortie de l'expandeur, le gaz se trouve à une pression de 21.8 barg et une température de -41 °C. Le flux bi-phasique au refoulement de l'expandeur alimente alors l'absorbeur G1X-CA-32-01. L'énergie mécanique récupérée au niveau de l'expandeur par la détente du gaz haute pression est utilisée pour entraîner le compresseur de gaz résiduel G1X-KA-32-01 (les deux machines sont sur le même axe).

Les condensats recueillis au niveau du ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01 sont détendus et combinés avec le flux bi-phasique au refoulement de l'expandeur pour alimenter la colonne d'absorption G1X-CA-32-01.

Note :

En mode de fonctionnement "Joule-Thomson" (c'est-à-dire lorsque l'expandeur est à l'arrêt), l'échangeur G1X-GA-32-01 est bipassé.

Tout le gaz passe à travers l'échangeur G11-GA-32-02 A/B afin d'améliorer la récupération de GPL.

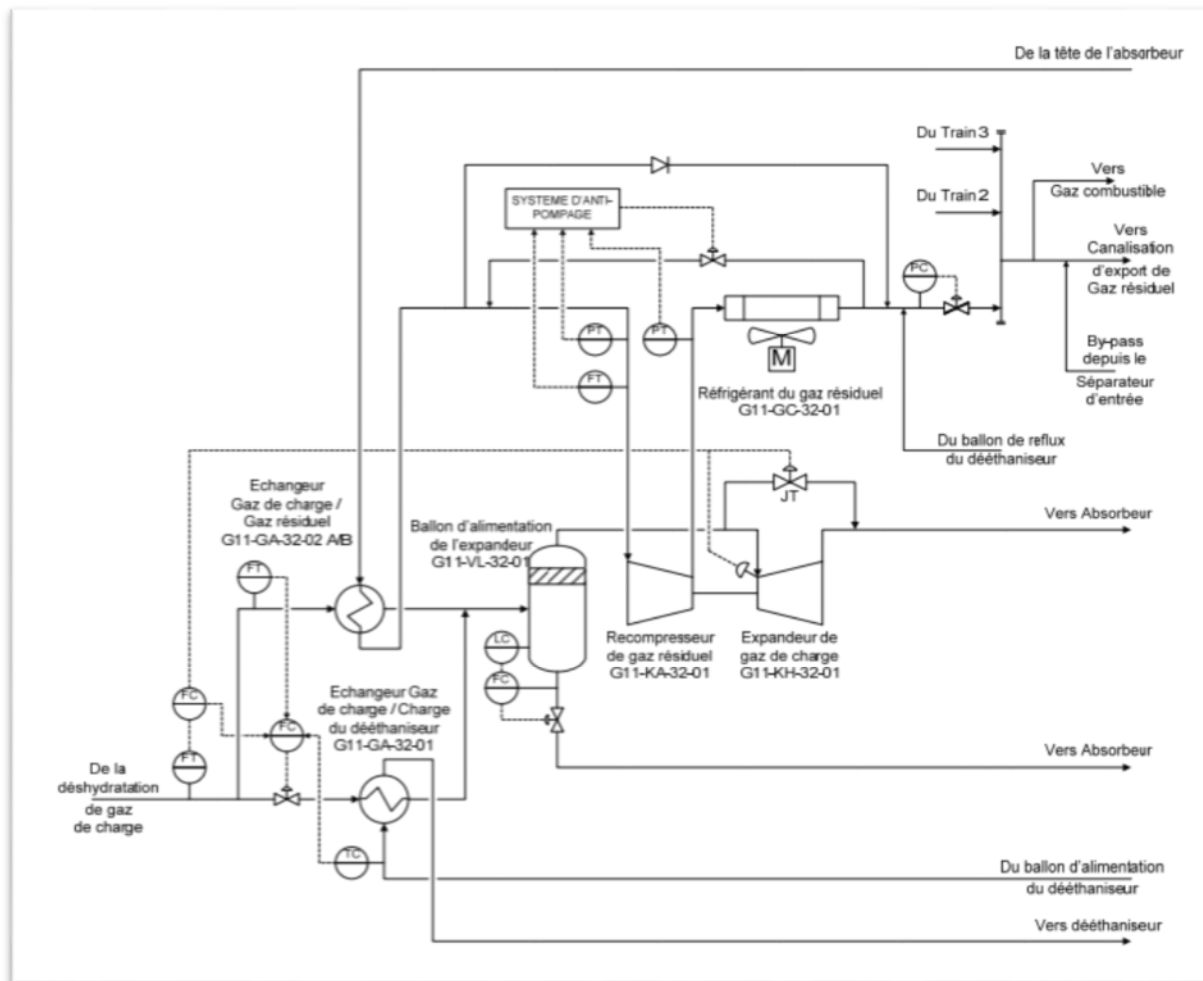


Figure I.6 : Schéma section de refroidissement (turbo expander)

I.5.5.2 Section de dééthanisation

L'absorbeur G1X-CA-32-01 reçoit des flux biphasiques (liquide / vapeur) provenant de la sortie de l'expandeur de gaz de charge G1X-KH-32-01 (ou de la vanne Joule-Thomson) et du fond du ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01. L'absorbeur G1X-CA-32-01 est une colonne à plateaux à reflux sans rebouillage où la majorité de l'éthane et des composants plus légers sont séparés en tête de l'absorbeur.

Le reflux liquide de l'absorbeur provient du gaz de tête du dééthaniseur G1X-CE-32-01, condensé dans l'échangeur de tête de l'absorbeur G1XGA-32-04 par le gaz froid sortant en tête de l'absorbeur.

Le liquide est récupéré dans le ballon de désengagement de l'absorbeur G1X-VL-32-06 avant d'alimenter l'absorbeur G1X-CA-32-01 sur le plateau de tête de la colonne, le liquide récupéré en fond de colonne est envoyé par la pompe d'alimentation du dééthaniseur G1X-PA-

32-01 A/B vers le condenseur du dééthaniseur G1X-GA-32-03, où celui-ci est partiellement vaporisé. Le flux biphasique ainsi formé entre dans le ballon d'alimentation du dééthaniseur G1X-VL-32-03.

Et le liquide récupéré dans ce ballon alimente l'échangeur gaz de charge / charge du dééthaniseur G1X-GA-32-01 du côté calandre ; le liquide y est partiellement vaporisé. Ce fluide constitue l'alimentation principale du dééthaniseur G1X-CE-32-01 au niveau du plateau n°21 du dééthaniseur. Puis le gaz sortant du ballon d'alimentation du dééthaniseur G1X-VL-32-03 est lui envoyé, sous contrôle de pression différentielle, dans la colonne au niveau du plateau n°30, constituant ainsi l'alimentation secondaire du dééthaniseur.

Le gaz de tête du dééthaniseur G1X-CE-32-01 est partiellement condensé dans le condenseur du dééthaniseur G1X-GA-32-03 par le liquide froid provenant du fond de l'absorbeur G1X-CA-32-01, puis envoyé vers le ballon de reflux du dééthaniseur G1X-VL-32-02. Le liquide condensé est renvoyé en tête du dééthaniseur (au niveau du plateau n°41) via la pompe de reflux du dééthaniseur G1X-PA-32-02 A/B. En fonctionnement normal, la pression du dééthaniseur est maintenue à 28 barg par l'action de la vanne située sur la sortie gaz du ballon de désengagement de l'absorbeur G1X-VL-32-06.

Le rebouilleur du dééthaniseur G1X-GA-32-05 est de type "Kettle" : le liquide recueilli au niveau du plateau n°1 est envoyé vers le rebouilleur où il est partiellement vaporisé par l'huile chaude (utilisée comme fluide caloporteur).

Le débit d'huile chaude est ajusté automatiquement afin de maintenir à une température donnée (dépendant de la pression de fonctionnement) le plateau sensible du dééthaniseur G1X-CE-32-01, de manière à éliminer assez d'éthane dans le produit de fond de colonne pour satisfaire la spécification du GPL en fraction C2, la partie non vaporisée dans le rebouilleur G1X-GA-32-05 rejoint le fond du dééthaniseur avant d'être envoyée vers le débutaniseur G1X-CB-32-01 (sous différence de pression).

Le gaz de tête de l'absorbeur est réchauffé successivement à travers l'échangeur de tête de l'absorbeur G1X-GA-32-04 puis à travers les échangeurs gaz de charge / gaz résiduel G1X-GA-32-02 A/B avant d'alimenter le compresseur de gaz résiduel G1X-KA-32-01. En sortie du compresseur, le gaz résiduel est refroidi à 60 °C à travers l'aéro-réfrigérant G1X-GC-32-01 avant d'être collecté avec celui des autres trains au niveau dans collecteur de gaz résiduel.

Note :

En mode Joule Thomson, un bypasse permet l'évacuation de l'excédent de gaz du ballon

de reflux du dééthaneur G1X-VL-32-02 directement vers le collecteur de gaz résiduel.

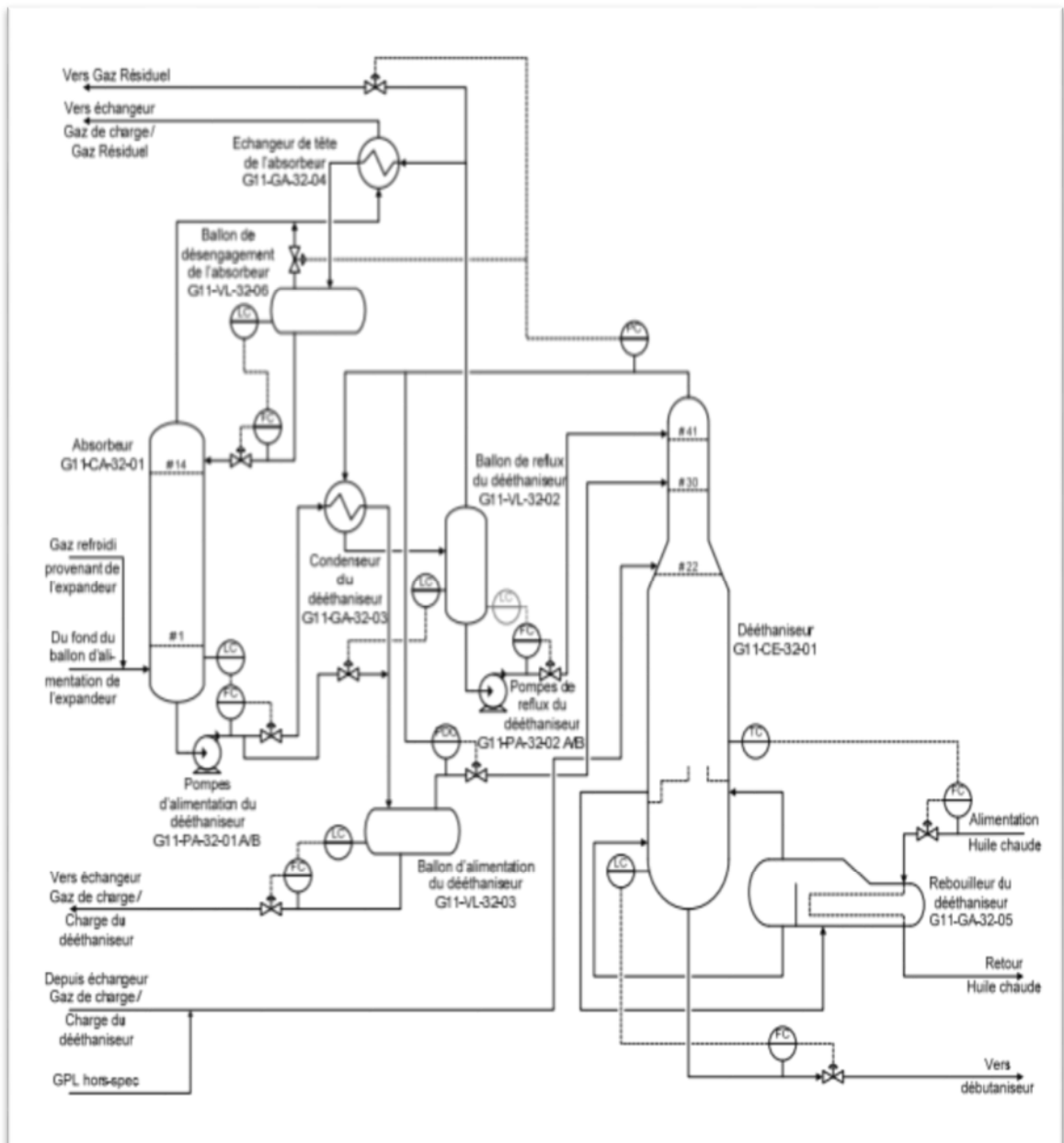


Figure I.7 : schéma section dééthanisation

I.5.6 Export du gaz résiduel - Unité 34 -

Le gaz résiduel issu de chacun des trains de traitement est rassemblé sur le collecteur commun de gaz résiduel. Le gaz résiduel est ensuite transféré vers CINA par une nouvelle canalisation de 40". Le gaz est ré-injecté dans la ligne existante de 40" vers le CIS par un piquage proche de celui du gaz de charge. Une vanne de 40" fermée est installée entre les deux piquages. Un bypasse muni d'une vanne de contrôle et d'un contrôle de pression permet de

bypasser directement l'usine GPL ZCINA au niveau de CINA dans le cas où GPL ZCINA ne peut pas traiter la charge gaz (partiellement ou totalement).

I.5.7 Import & Distribution du condensat M4 de CINA - Unité 37 -

Le condensat produit dans l'unité GPL de CINA est transféré dans le ballon existant M4 de CINA où les condensats sont séparés des eaux huileuses. Les condensats récupérés sont expédiés dans la canalisation de condensat vers l'usine GPL ZCINA via les nouvelles pompes d'export de condensat de CINA 350-PA-35-05 A/B. A l'arrivée à GPL ZCINA, le condensat M4 est réparti sur les trois trains de traitement et est injecté comme charge secondaire au niveau du plateau n°4 du débutaniseur.

I.5.8 Section de débutanisation – Séparation des liquides -Unité 32-

Le débutaniseur G1X-CB-32-01 est une colonne de distillation avec reflux et rebouillage comportant 43 plateaux et deux alimentations. L'alimentation principale entre dans la colonne au niveau du plateau n°28. Le condensat provenant du séparateur M4, situé au CPF CINA constitue la seconde alimentation du débutaniseur de chaque train.

Cette alimentation se fait au niveau du plateau n°4, est la pression du débutaniseur est maintenue à 16 barg par la vanne de contrôle de tête de colonne, le gaz de tête est totalement condensé dans l'aéro-réfrigérant G1X-GC-32-02.

Le GPL condensé est recueilli dans le ballon de reflux du débutaniseur G1X-VL-32-05, une partie du débit liquide formé est pompée vers le plateau de tête du débutaniseur par la pompe de reflux G1X-PA-32-03 A/B : ceci constitue le reflux de la colonne. Le reste du débit de GPL correspond à la production du train de traitement. En condition normale, la production en GPL du train est dirigée sur le collecteur commun de GPL "aux spécifications" puis envoyé vers la section de stockage et d'export du GPL.

Un flux riche en isopentane est soutiré du plateau N°8 sous contrôle de débit afin de satisfaire les spécifications sur le GPL et sur le condensat. L'isopentane produit est pompé par la pompe d'expédition d'isopentane G1X-PA-32-04 A/B puis refroidi à 60 °C à travers le l'aéro-réfrigérant d'isopentane G1X-GC-32-03. La production de chaque train est ensuite rassemblée sur le collecteur commun de retour d'isopentane.

Le rebouilleur du débutaniseur G1X-GA-32-06 est de type "Kettle" : le liquide recueilli au fond de colonne est partiellement vaporisé par de l'huile chaude (utilisée comme fluide caloporteur). Le débit d'huile chaude est ajusté automatiquement afin de maintenir à une

température donnée le plateau sensible du débutaniseur, en fonctionnement normal une température de 186 °C est maintenue en fond de colonne de manière à satisfaire la spécification de tension de vapeur du condensat produit. La partie vapeur retourne vers le plateau de fond de la colonne et la partie non vaporisée dans le rebouilleur G1X-GA-32-06 constitue la production en condensat du débutaniseur. Puis le condensat est envoyé sous pression vers l'aéro-réfrigérant G1X-GC-32-04 où il est refroidi à 60 °C.

En condition normale, la production en condensat du train est dirigée sur le collecteur commun de condensats "aux spécifications" puis envoyé vers la section de stockage et d'export du condensat.

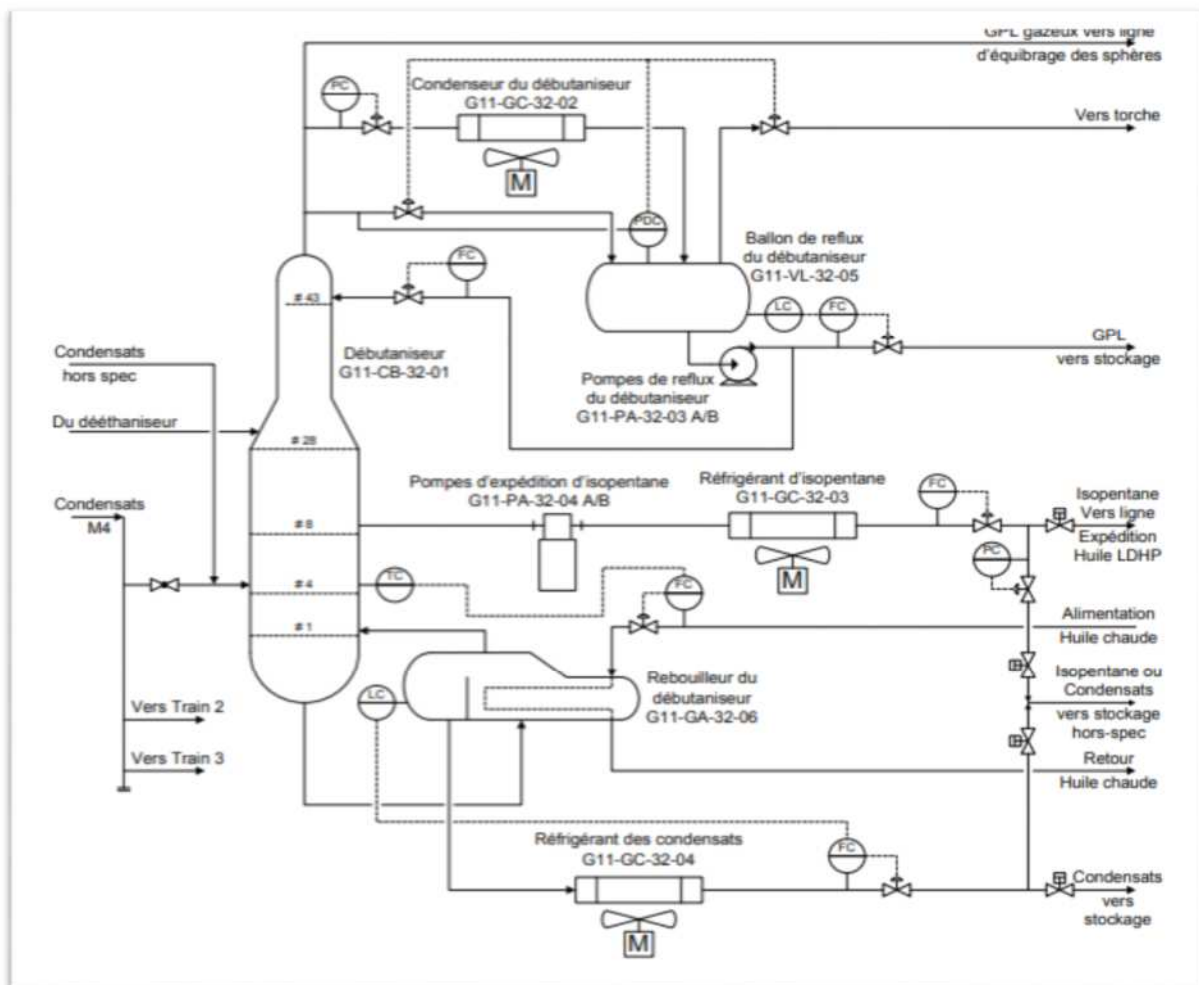


Figure I.8 : schéma section débutanisation

Note :

Au cas où le condensat produit en fond de débutaniseur G1X-CB-32-01 ne répond pas aux spécifications en termes de tension de vapeur, le condensat est dérouté

automatiquement sur le collecteur commun de condensats "hors spécifications" puis envoyé vers la section de stockage des condensats dans un bac dédié après dégazage.

Note :

Au cas où le GPL produit en sortie du ballon de reflux du débutaniseur G1X-VL-32-05 ne répond pas aux spécifications, le GPL est dérouté manuellement sur le collecteur commun de GPL "hors spécifications" puis envoyé vers la section de stockage de GPL dans une sphère dédiée.

I.5.9 Stockage, export & recyclage du GPL - Unité 33 -

I.5.9.1 Stockage du GPL

Le GPL produit au niveau du ballon de reflux du débutaniseur de chaque train G11/G12/G13-VL-32-05 alimente la section de stockage via le collecteur commun de GPL aux spécifications et/ou le collecteur commun de GPL hors spécifications. Le système de stockage de GPL se compose au total de quatre sphères identiques d'un volume total unitaire de 500 m³. Trois de ces sphères (31G-RD-33-01 A/B/C) sont uniquement dédiées à recevoir et stocker du GPL répondant aux spécifications (fractions en C₂- et en C₅+) et ne sont donc alimentées que par le collecteur de GPL on-spec. La sphère de stockage de GPL hors-spec 32G-RD-33-01 est normalement dédiée à recevoir et stocker temporairement du GPL hors-spec lorsque l'on en produit, mais elle peut aussi être utilisée comme une sphère "on-spec" si on le désire.

En effet, elle est à la fois connectée au collecteur de production de GPL hors-spec et au collecteur de production de GPL on-spec. La pression de toutes les sphères est régulée pour être maintenue entre 15 barg et 21 barg. La mise sous pression à 15 barg est assurée par une ligne commune de gaz provenant de la tête des débutaniseurs. En cas d'augmentation de pression, le ciel gazeux des sphères est évacué vers l'une des torches froides (via le collecteur évent GPL) à partir d'une pression de 21 barg. Les sphères peuvent fonctionner selon quatre configurations : service normal / vidange / remplissage / isolée. En plus de cela, un commutateur permet de choisir le mode dans lequel opère la sphère 32G-RD-33-01 : soit "on-spec", soit "hors-spec".

Les sphères sont utilisées comme volume tampon avant l'export du GPL.

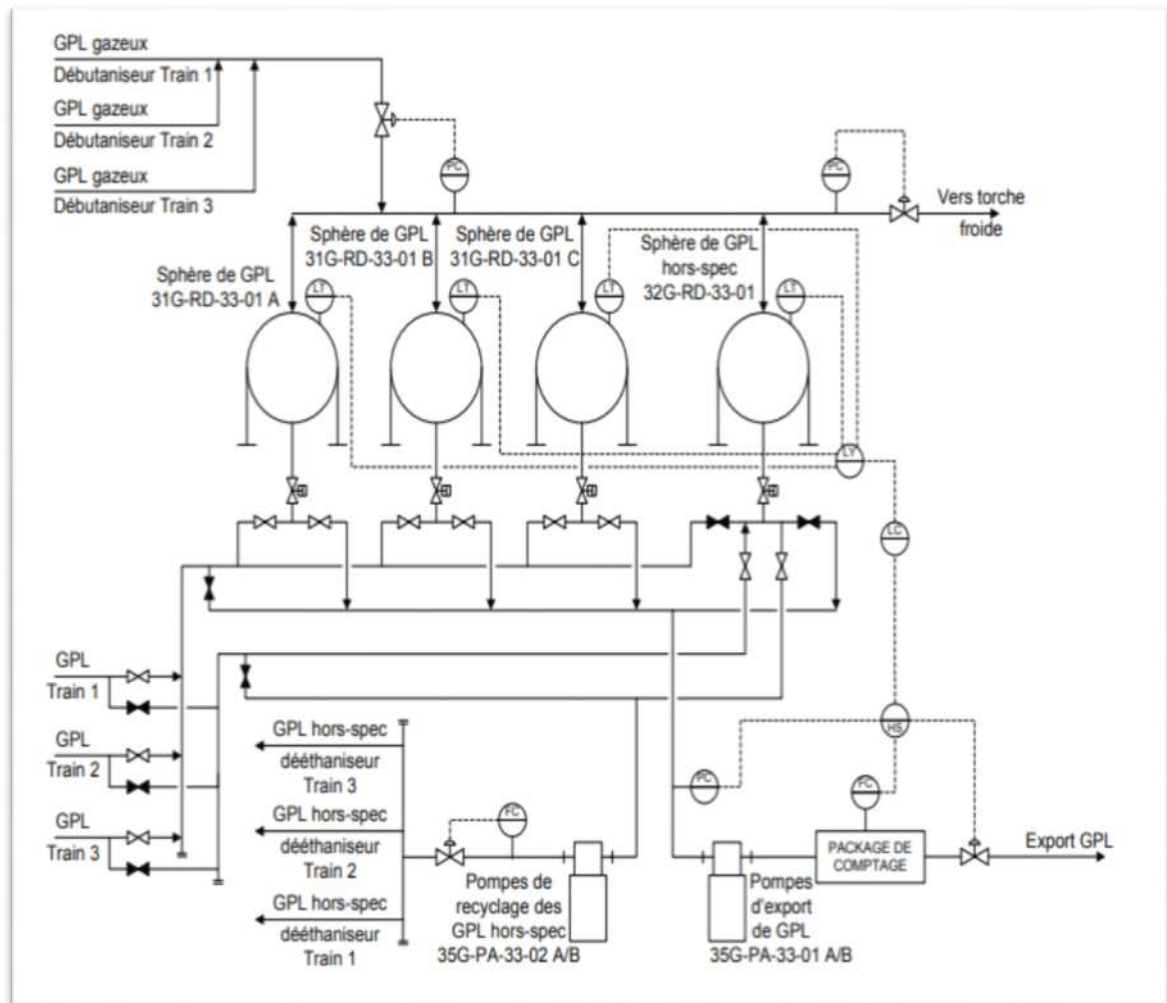


Figure I.9 : Schéma section stockage, export et recyclage du GPL

I.5.9.2 Système d'export du GPL

Les sphères de stockage de GPL alimentent les pompes d'export de GPL 35G-PA-33-01 A/B (2 x 100%). Les pompes 35G-PA-33-01 A/B sont des pompes centrifuges verticales permettant de fournir la pression nécessaire à l'export du GPL.

Les pompes d'export de GPL ont une capacité unitaire égale à la production maximale de quatre trains de traitement. En fonctionnement normal le niveau moyen des sphères est régulé et le débit d'export correspond au débit de production de GPL par les trains de traitement. Il est également possible d'exporter plus, ou moins, que la production elle-même (en contrôlant directement en débit) en fonction de l'accumulation dans les sphères et de la capacité de réception en GPL des installations en aval (hors de l'usine GPL ZCINA).

Il est ainsi possible d'exporter l'équivalent de la production journalière en 16 heures en

utilisant les deux pompes d'export 35G-PA-33-01 A/B en parallèle.

Le débit de GPL expédié est mesuré par le package de comptage transactionnel 360-UJ-33-01, comportant deux lignes de mesure et une ligne d'étalonnage. Le système de comptage mesure avec exactitude le débit de liquide qui coule à travers les lignes de mesure.

Les vannes de contrôle en aval du package de comptage transactionnel permettent de réguler l'export suivant différents paramètres : soit sous contrôle du niveau moyen des sphères (paramètre recommandé en fonctionnement normal), soit sous imposition du débit d'export (recommandé lors des phases d'accumulation ou de vidange partielle des sphères) ou soit sous contrôle de la pression d'aspiration des pompes d'export (à n'utiliser que lorsque les sphères ne sont pas utilisées).

I.5.9.3 Recyclage du GPL

Le GPL hors-spécifications stocké dans la sphère 32G-RD-33-01 peut être recyclé vers le dééthaniseur de chacun des trains de production.

Le recyclage est réalisé par les pompes centrifuges verticales 35G-PA-33-02 A/B (2 x 100 %) quand les opérateurs le souhaitent.

Caractéristiques principales des équipements :

I.5.10 Canalisation d'export du GPL – Unité 36 –

Le GPL, pompé depuis les sphères de stockage, est exporté vers une nouvelle station de pompage à HEH (hors fourniture) située à environ 14.5 km de ZCINA via la nouvelle canalisation d'expédition de GPL de 14".

La canalisation d'expédition du GPL est équipée aux deux extrémités de gares de racleurs : une gare de racleur de départ à ZCINA (161-VM-36-05) et une gare de racleur d'arrivée à la station HEH (161-VM-36-06).

I.5.11 Stockage, export & recyclage du condensat - Unité 35 –

I.5.11.1 Stockage des condensats

Les condensats produits au niveau du rebouilleur du débutaniseur de chaque train

G11/G12/G13-GA-32-06 sont refroidis et alimente la section de stockage via le collecteur commun de condensats stabilisés et/ou le collecteur commun de condensats hors spécifications.

Le système de stockage des condensats se compose au total d'un ballon et de trois bacs. Deux de ces bacs (31C-RA-35-01 A/B) sont des bacs à toit flottant d'une capacité unitaire totale d'environ 1000 m³. Ils sont dédiés à recevoir des condensats stabilisés répondant aux spécifications (TVR inférieure à la valeur limite prévenant le dégazage selon la saison) et provenant des trains de production via le collecteur de condensats stabilisés.

Dans le cas de non-respect des spécifications, les condensats non stabilisés sont acheminés par le collecteur "hors-spec" vers le bac de stockage hors-spec à toit fixe 32C-RL-35-01 d'une capacité totale de 1000 m³ avec passage intermédiaire par le ballon de dégazage 32C-VD-35-01, qui permet l'élimination du gaz flashé vers la torche basse pression.

Le bac de stockage de condensats hors spec 32C-RL-35-01 reçoit aussi d'autres flux d'hydrocarbures :

- Des flux ayant été dégazés et ne passant pas par le ballon de dégazage : les liquides des ballons de torche chaude et basse pression.
- des flux provenant des trains de production et empruntant le collecteur hors spec vers le ballon de dégazage : Les liquides des ballons de drains fermés et l'isopentane produit lorsqu'il n'est pas possible de l'exporter.

En opération normale, un bac de stockage à toit flottant 31C-RA-35-01 A ou B est en remplissage pendant que le second est en phase de vidange vers l'export.

I.5.11.2 Export des condensats

Après disposition manuelle des circuits, un bac de stockage de condensats (31C-RA-35-01 A ou B) alimente les pompes d'export de condensats 35C-PA-35-04 A/B (2 x 100 %). Les pompes 35C-PA-35-04 A/B sont des pompes centrifuges verticales permettant de fournir la pression nécessaire à l'export des condensats stabilisés.

Ces pompes ont une capacité unitaire égale à la production maximale de 4 trains de traitement. Elles permettent dans tous les cas d'exporter un bac de stockage au moins aussi vite l'autre ne se remplit.

L'export se fait directement sous contrôle du débit exporté. Il est aussi possible d'exporter l'équivalent de la production journalière maximale de ZCINA en 16 heures en utilisant les deux pompes 35C-PA-35-04 A/B en parallèle.

I.5.11.3 Recyclage des condensats

Les condensats hors spec stockés temporairement dans le bac à toit fixe 32C-RL-35-01 doivent être retraités. Pour cela, ils sont envoyés vers le débutaniseur de chaque train de traitement au moyen des pompes de recyclage des condensats (centrifuges verticales) 35C-PA-35-03 A/B (2 x 100%) lorsque le souhaite l'opérateur.

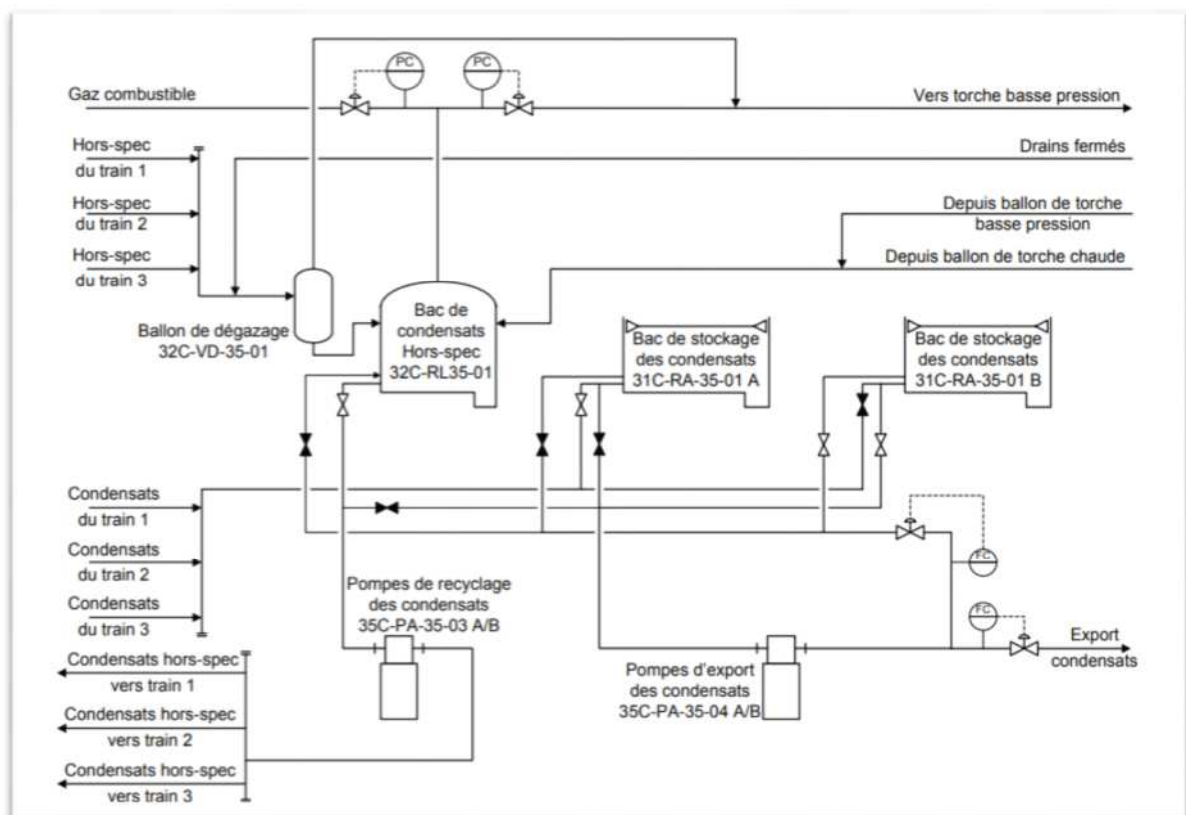


Figure I.10 : Schéma section stockage, export et recyclage du condensat

Notes importantes :

- Préalablement au recyclage de condensats hors-spec vers les débutaniseurs des trains, il est important de vérifier qu'il n'y a pas d'eau accumulée au fond du bac 32C-RL-35-01. En cas de présence d'eau, celle-ci doit être vidangée via le drain au point bas du bac avant le démarrage des pompes de recyclage 35C-PA-35-03 A/B.

- Préalablement au recyclage de condensats hors-spec vers les débutaniseurs des trains, il est important de vérifier que le système d'engazage du bac 32C-RL-35-01 soit opérationnel (35-ESDV-00008 ouverte, 35-PV-00003 en AUTO avec un point de consigne adéquat et gaz combustible disponible) afin de prévenir tout risque de retour de flamme depuis la torche basse pression dans le bac.

I.5.12 Canalisation d'export du condensat

Les condensats, pompé depuis le bac de stockage en vidange, est exporté vers la ligne de condensats existante HMD-HEH de 10".

Le raccordement à cette ligne est situé à environ 5 km de Z-CINA. L'expédition se fait via une nouvelle canalisation de condensats de 4".

I.5.13 Expédition de l'isopentane

L'isopentane, produit par les trains de traitement et rassemblé sur le collecteur commun de retour d'isopentane, est injecté dans la nouvelle ligne d'expédition d'huile de LDHP Z-CINA et est ainsi retourné avec cette huile vers CINA. [5]

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le complexe est nous avons décrit est l'installation et le principe de fonctionnement des différents équipements de complexe Z-CINA. Nous allons exposer dans le deuxième chapitre un aperçu sur l'approche énergétique et exergetique.

Chapitre II

Approche énergétique et exergetique

II.1 Introduction

Un système thermodynamique quelconque possède une certaine énergie qui lui permet de fournir un travail vers le milieu extérieur.

L'exergie d'un système est une fonction thermodynamique qui exprime la capacité de ce système à produire du travail en raison de son déséquilibre avec l'ambiance dans laquelle il se trouve.

II.2 Approche énergétique

II.2.1 Bilan énergétique

Considérons un système quelconque donnant lieu à des transferts-travail, des transferts- chaleur et des transferts de masses, on le présente comme suit :

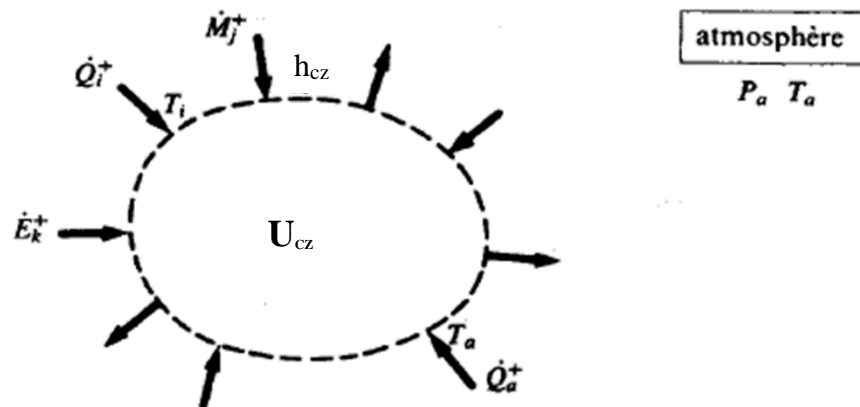


Figure II.2.1 : schéma d'un système thermodynamique quelconque [7]

$$\frac{dU_{cz}}{dt} = \sum_k [\dot{E}_k^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [hczi \dot{M}_j^+] \quad (\text{II.1})$$

Avec :

U_{cz} : Énergie interne total

\dot{E}_k^+ : Puissance-travail reçue par le système au niveau de l'élément mobile k.

\dot{Q}_i^+ : Puissance chaleur reçue de la source a la température T_i .

\dot{M}_j^+ : Débit masse reçue par le système au niveau de l'orifice T_j .

h_{czi} : Enthalpie totale massique du fluide au droit de la section j .

Remarquons que le système baigne dans l'atmosphère à pression P_a . Donc lorsque son volume V augment de dV , une puissance-travail $P_a (dv/dt)$ est donnée par le système à l'atmosphère.

Nous nous intéressons à la puissance-travail effective fournie par le système, elle est défini par la relation

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] = \sum_k \dot{E}_k^- - P_a \frac{dV}{dt} \quad (\text{II.2})$$

Sachant que $[\dot{E}^+] = -[\dot{E}^-]$

D'où :

$$\sum_k [\dot{E}_k^+] + \sum_k [\dot{E}_{ek}^+] - P_a \frac{dv}{dt} \quad (\text{II.3})$$

Remplaçant (II.3) dans (II.1) on aura :

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{d(Ucz + P_a V)}{dt} = 0 \quad (\text{II.4})$$

II.2.2 Energie effective

Nous définissons l'énergie effective par la relation, sous forme absolue :

$$U_e = U + P_a V \quad (\text{II.5})$$

Sous forme massique :

$$U_e = u + P_a V \quad (\text{II.6})$$

La grandeur U_e peut être considérée comme une fonction d'état extrinsèque, c'est-à-dire U_e dépend de la fonction d'état P_a qui est extérieure au corps considéré [6]

L'énergie effective totale est sous forme absolue :

$$U_{ecz} = U_e + M \frac{\bar{c}^2}{2} + Mg\bar{Z} \quad (\text{II.7})$$

Sous forme massique :

$$U_{ecz} = u_e + \frac{\bar{c}^2}{2} + g\bar{Z} \quad (\text{II.8})$$

En vertu de (II.7) et (II.5), le bilan énergétique devient :

$$\sum_k [E_{ek}^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{dU_{ecz}}{dt} = 0 \quad (\text{II.9})$$

II.2.3 Puissance-transformation et puissance transformation effective

Nous définissons une puissance-transformation par la relation :

$$\dot{W}^+ = \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{dU_{cz}}{dt} \quad (\text{II.10})$$

En l'absence de réactions chimiques, cette grandeur présente la propriété remarquable d'être indépendante de la valeur de référence u_0 des substances concernées.

On définit aussi la puissance-transformation effective par la relation :

$$\dot{W}_e^+ = \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{dU_{ecz}}{dt} \quad (\text{II.11})$$

Il est possible de définir la puissance-transformation effective \dot{W}_{en}^+ reçue au niveau de chaque réseau n .

Le bilan énergétique en puissance (II.9) peut être mis sous la forme :

$$\sum_k [E_{ek}^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [\dot{W}_{en}^+] = 0 \quad (\text{II.12})$$

Pour un système ouvert en régime permanent, étant donné que le volume du système est constant, les grandeurs effectives coïncident avec les grandeurs elles-mêmes, de sorte que l'adjectif peut être omis [11].

La puissance-transformation effective (II.11) se réduit à l'expression :

$$\begin{aligned} W_e^+ &= W^+ \\ W_e^+ &= \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

II.2.4 Efficacité ou rendement thermique

Etant donnée le bilan (II.12) exprimant la conservation de l'énergie, il est en principe inadéquat pour mettre en évidence la notion de perte thermodynamique. En effet, la manipulation d'un système quelconque consiste toujours à recevoir de l'énergie sous une ou plusieurs formes possibles et à en donner également sous une ou plusieurs formes. Il en résulte que toute définition correcte du « rendement thermique » doit, en toute rigueur, conduire à l'unité, c'est-à-dire 100% ce qui évidemment n'apporte aucune précision intéressante [7].

Toutefois, dans la pratique, il est opportun de définir des chiffres caractéristiques pouvant être utilisés pour exprimer une propriété intéressante du système considéré.

D'une façon générale, nous appelons efficacité le rapport entre l'énergie utile et l'énergie dépensée [7].

Toutefois, il est généralement admis que l'énergie-chaleur Q_a transférée entre le système et l'atmosphère ne peut être considérée ni comme utile, ni comme dépensée, étant donné qu'elle ne fournit et qu'elle est gratuite quand on la consomme. Il convient de remarquer que ce procédé est une manière très grossière de tenir compte du deuxième principe de la thermodynamique [8]

Dans le cas des installations motrices, des installations de chauffage et des installations combinées, le bilan (II.12) peut être mis sous la forme :

$$\sum [\dot{E}_e^-] + \sum [\dot{Q}_i^-] + \sum [\dot{w}_e^-] = \sum [\dot{E}_e^+] + \sum [\dot{Q}_i^+] + \sum [\dot{w}_e^+] - \dot{Q}_a^- \quad (II.14)$$

Où toutes les puissances données par le système figurent au premier membre et toutes les puissances reçues par le système au second membre.

Précisons que les expressions $\sum[\dot{Q}^-]$, $\sum[\dot{Q}^+]$ concernant toutes les puissances-chaleur transférées entre le système et les différentes sources, à l'exclusion de celles transférées entre le système et l'atmosphère, groupées dans le terme \dot{Q}_a^- [7].

L'efficacité d'un système est exprimée par la relation :

$$\varepsilon = \frac{\Sigma[\dot{E}_e^-] + \Sigma[\dot{Q}_i^-] + \Sigma[\dot{W}_e^-]}{\Sigma[\dot{E}_e^+] + \Sigma[\dot{Q}_i^+] + \Sigma[\dot{W}_e^+]} \quad (\text{II. 15})$$

II.3 Approche exergetique

II.3.1 Historique et définition

On définit l'exergie comme une grandeur permettant d'évaluer le travail maximum que peut fournir un système lorsqu'il se met en équilibre thermodynamique avec son environnement [10]

L'exergie d'un système dans des conditions (T, S, U...) données correspond au travail utile maximal que ce système pourrait fournir en rejetant l'énergie thermique inutilisée dans un réservoir d'énergie thermique (RET) de référence T₀ et P₀ et ceci jusqu'à ce que ce système soit parfaitement relâché et en équilibre avec RET. L'exergie dépend du choix du RET de référence : on dit que c'est une fonction d'état extrinsèque du système.

C'est en 1889 déjà que Georges GOUY a émis l'idée que la POTENTIALITE d'un système à produire du travail pouvait être exprimée par une fonction contenant, non seulement l'énergie interne du système, mais encore la température T_a et la pression P_a de l'atmosphère extérieure au système lui-même.

Les implications et les conséquences de cette idée ont été, plus tard, étudiées et développées par un certain nombre de chercheurs, sous le terme général de théorie de l'exergie.

Le terme exergie a été proposé par Z. RANT pour qualifier la notion d'énergie utilisable, c'est à dire la partie de l'énergie transformable en énergie noble ou mécanique. [11]

Il est maintenant largement reconnu que la théorie de l'exergie est extrêmement féconde, car elle débouche sur une comptabilité dite exergetique qui englobe le premier et le deuxième principe de la thermodynamique. Seule cette comptabilité exergetique permet d'évaluer quantitativement ce que l'on appelle quantitativement la dégradation de l'énergie [7]

II.3.2 Bilan exergetique

Considérons le système quelconque suivant :

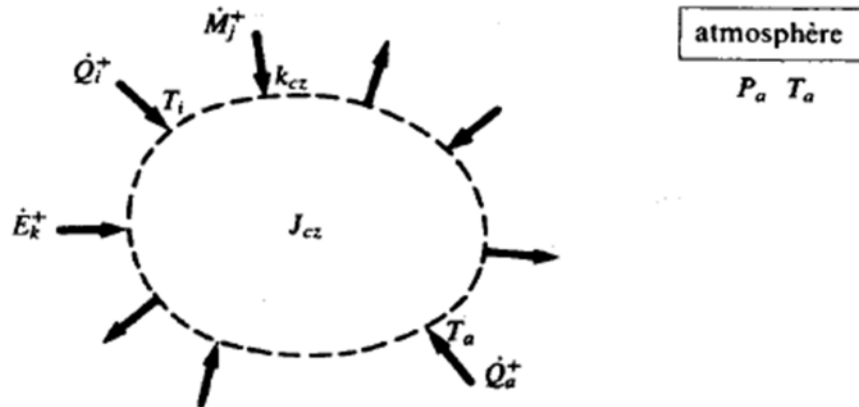


Figure II.3.2 : Schéma d'un système thermodynamique quelconque.

Le premier principe de la thermodynamique est exprimé par le bilan énergétique en puissance suivant :

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i \left[\int \delta \dot{Q}_i^+ \right] + \dot{Q}_a^+ + \sum_n [\dot{W}_{en}^+] = 0 \quad (II. 16)$$

Ou nous avons :

$$\dot{W}_{en}^+ = \left\{ \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{dU_{euz}}{dt} \right\} n \quad (II. 17)$$

Avec :

\dot{E}_{ek}^+ : Puissance-travail effectif reçue par le système au niveau de la machine k.

$\delta \dot{Q}_i^+$: Puissance-chaleur reçue de la source a la température T_i .

\dot{Q}_a^+ : Puissance-chaleur reçue de l'atmosphère a la température T_a .

\dot{W}_{en}^+ : Puissance –transformation effective reçue, au niveau du réseau n.

Le deuxième principe de la thermodynamique est exprimé par le bilan d'entropie :

$$\frac{dS}{dt} = \sum_i \left[\int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] + \dot{S}^i \quad (II.18)$$

Etant donné la propriété d'extensive de l'entropie, nous pouvons effectuer des sommations sur les réseaux n et de remplacer :

$$\frac{dS}{dt} \quad \text{par} \quad \sum_n \left[\frac{ds}{dt} \right] \quad (II.19)$$

$$\sum_j [S_j \dot{M}_j^+] \quad \text{par} \quad \sum_n \left\{ \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] \right\} \quad (II.20)$$

D'autre part, nous pouvons traiter séparément la source à la température T_a constituée par l'atmosphère et remplacer :

$$\sum_i \int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \quad \text{par} \quad \sum_n \left\{ \sum_j \left[\int \frac{\delta \dot{M}_j^+}{T_i} \right] \right\} n \quad (II.21)$$

En tenant compte des trois substitutions indiquées ci-dessus, le bilan deviendra sous la forme suivante :

$$\sum_i \left[\int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \sum_n \left\{ \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] - \frac{ds}{dt} \right\} n + \frac{\dot{Q}_a^+}{T_a} + \dot{S}^i = 0 \quad (II.22)$$

En multipliant tous les termes de ce bilan par la température T_a de l'atmosphère, nous obtenons l'équation suivante :

$$\sum_i \left[\int \frac{T_a}{T_i} \delta \dot{Q}_i^+ \right] + \sum_n \left\{ \sum_j [T_a S_j \dot{M}_j^+] - \frac{ds}{dt} (T_a S) \right\} n + \dot{Q}_a^+ + T_a \dot{S}^i = 0 \quad (II.23)$$

Le bilan exergetique obtenu en éliminant la puissance-chaleur \dot{Q}_a^+ entre les équations (II.16) et (II.23), en soustrayant la seconde de la première :

$$\sum_i [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_n \left\{ \sum_j [(hczj - T_a S_j) \dot{M}_j^+] - \frac{d}{dt} (U_{euz} - T_a S) \right\} n + \sum_i \left[\int \left(1 - \frac{T_a}{T_i}\right) \delta \dot{Q}_i^+ \right] - T_a \dot{S}^i = 0 \quad (II.24)$$

Le bilan exergetique (II.24) fait apparaitre un certain nombre de nouvelles grandeurs, qui sont définies comme suit :

$J_{cz} = U_{ecz} - T_a S$: Coénergie totale.

$K_{cz} = hcz - T_a S$: Coenthalpie totale massique.

$\Theta = \left(1 - \frac{T_a}{T}\right)$: Facteur de Carnot.

$\dot{E}_e^+ = \dot{E}^+ + P_a \frac{dV}{dt}$: Puissance-travail effective reçue.

$\dot{E}_q^+ = \int \Theta \delta \dot{Q}^+$: Copuissance-chaleur reçue.

$\dot{E}_w^+ = \sum_j \left[\int K_{czj} d\dot{M}_j^+ \right] - \frac{dj}{dt}$: Copuissance-transformation reçue.

$\dot{L} = T_a \dot{S}^i$: Perte exergetique en puissance.

Avec :

S : Entropie du système.

S_j : Entropie du fluide au droit de la section j .

\dot{S}^i : Taux de création d'entropie due aux opérations interne irréversible c'est-à-dire aux irréversibilités du système.

II.3.3 Expression générale

Etant donné ces définitions, le bilan exergetique en puissance peut-être mis sous la forme [7] :

$$\sum [\dot{E}_{ek}^+] + \sum [\dot{E}_{qi}^+] + \sum [\dot{E}_{wn}^+] = \dot{L} \geq 0 \quad (II.25)$$

Avec :

\dot{E}_{ek}^+ : Puissance-travail effective, reçue par le système au niveau de l'élément mobile k.

\dot{E}_{qi}^+ : Copuissance-chaleur reçue de la source à la température T_i .

\dot{E}_{wn}^+ : Copuissance-transformation reçue au niveau du réseau d'écoulement.

\dot{L} : Perte exergetique global, en puissance.

II.3.4 Travail effective maximal

Le travail effectif maximal $E_{e^-}^-_{max}$ est celui qui sera fourni par le système idéal défini de la façon suivante :

- Tous les éléments du système idéal subissent exactement les mêmes transformations thermodynamique que le système réel, c'est-à-dire que toute les énergies transformation W_n^+ sont les mêmes, donc aussi les cotravaux-transformation E_{wn}^+ .
- Toutes les énergies-chaleur Q_n^+ sont les mêmes, donc aussi les cotravaux-chaleur E_{qi}^+ .
- Toutes les opérations internes sont réversibles, ce qui donne les relations :

$$S^i = 0, \dot{l} = 0$$

Dans le cas réel, le travail effective E_e^- fourni par le système est en vertu des bilans (II.12) et (II.25) et en comptabilisant l'énergie-chaleur Q_a^- .

$$\dot{E}_e^+ = \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_n [\dot{W}_{en}^+] - \dot{Q}_a^- \quad (II.26)$$

$$\dot{E}_e^+ = \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_n [\dot{W}_{en}^+] - \dot{L} \quad (II.27)$$

Dans le cas réversible, le travail effectif maximal $E_{e^-}^-_{max}$ est :

$$\dot{E}_{e^-}^-_{max} = \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_n [\dot{W}_{en}^+] - \dot{Q}_{a^-}^-_{min} \quad (II.28)$$

$$\dot{E}_{e\max}^- = \sum_i [\dot{E}_{qi}^+] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^+] \quad (II.29)$$

En soustrayant respectivement les relations (II.26) et (II.27) des relations (II.28) et (II.29)

$$E_{e\max}^- - E_e^- = \dot{Q}_a^- - \dot{Q}_{a\min}^- = \dot{L} \geq 0$$

Ce résultat montre clairement que dans le cas réel, les irréversibilités internes ont pour conséquences pratiques, de diminuer le travail E_e^- de la quantité \dot{L} qui ne peut être que positif ou nul. Ce terme constitue ce que nous appelons les pertes exergetique [9].

Les équations (II.23) et (II.25) montrent que :

- La puissance effective maximale qu'il est possible de tirer d'un système est égale à la somme des copuissance-chaleur et des copuissance-transformation reçues par le système.
- La puissance effective fournie par un système est égale à la puissance effective maximale diminuée des pertes exergetique [9].

II.3.5 Rendement exergetique

Contrairement au bilan énergétique exprimant la conservation de l'énergie, le bilan exergetique met bien en évidence la notion de perte thermodynamique. Il permet donc de définir la notion de rendement d'une façon claire et logique.

Le bilan (II.25) peut être mis sous la forme [7] :

$$\sum [\dot{E}_e^-] + \sum [\dot{E}_q^-] + \sum [\dot{E}_w^-] = \sum [\dot{E}_e^+] + \sum [\dot{E}_q^+] + \sum [\dot{E}_w^+] + \dot{L} \quad (II.30)$$

Ou toutes les copuissances utiles données par le système figurent au premier membre et toutes les copuissances reçues par le système figurent au second membre.

Nous concluons la définition générale du rendement exergetique d'un système quelconque [7] :

$$\eta_{ex} = \frac{\sum [\dot{E}_e^-] + \sum [\dot{E}_q^-] + \sum [\dot{E}_w^-]}{\sum [\dot{E}_e^+] + \sum [\dot{E}_q^+] + \sum [\dot{E}_w^+]} \quad (II.31)$$

II.4 Conclusion

En vertu du deuxième principe de la thermodynamique, nous avons toujours $\dot{L} \geq 0$, il est clair que le rendement exergetique d'un système quelconque est toujours compris entre 0 et 1, selon l'inégalité : $0 \leq \eta \leq 1$.

Le rendement exergetique est égal à 1 dans le cas où le système ne fournit aucune prestation exergetique. Il serait égal à 1 dans le cas où le système serait parfaitement réversible [7].

Chapitre III

Analyse énergétique et exergétique de l'installation

III.1 Introduction

L'intérêt de l'analyse exergetique est de permettre un raisonnement sur la destruction de quantités ayant la grandeur de l'énergie plutôt que sur la création d'entropie : pour des systèmes techniques le sens de cette analyse est plus simple à appréhender. [1]

Dans cette partie, nous allons étudier tout l'unité de l'usine de production GPL.

III.2 Description superficielle de la nouvelle usine Z-CINA d'extraction des liquides du gaz GPL

La nouvelle unité d'extraction des liquides de gaz GPL Z-CINA schématisé par la figure (I.4) est composée de trois gigantesques trains de traitement. Chaque train comprend 5 unités avec une capacité de production de 364 m³/h.

La nouvelle usine Z-CINA composé de :

- Unité de compression du gaz de charge, composée de :
 - Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01.
 - Ballon de refoulement du compresseur G05-VD-23-02.

- Unité de déshydratation, composée de :
 - Sécheur en phase de déshydratation G11-VK-24-01.
 - Sécheur en phase de régénération G11-VK-24-01.
 - Aéroréfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01.
 - Ballon de séparation de gaz de régénération G11-VD-24-01.

- Unité de refroidissement, composée de :
 - Ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VI-32-01.
 - Echangeur (gaz de charge/charge du dééthaniseur) G11-GA-32-01.
 - Echangeur (gaz de charge/gaz résiduel) G11-GA-32-02(A/B).
 - Expandeur de gaz résiduel G11-KH-32-01.
 - Recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01.
 - Aéroréfrigérant de gaz résiduel G11-GC-32-01.

- Unité de dééthanisation, composée de :
 - Absorbeur G11-CA-32-01.
 - Echangeur de tête de l'absorbeur G11-GA32-04.
 - Ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06.

- Pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01.
 - Condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03.
 - Ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03.
 - Ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02.
 - Pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02.
 - Dééthaniseur G11-CE-32-01.
- Unité de débutanisation, composée de :
 - Débutaniseur G11-CB-32-01.
 - Aéroréfrigérant de débutaniseur G11-GC-32-02.
 - Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05.
 - Pompe de reflux de débutaniseur G11-PA-32-03.
 - Pompe de reflux d'iso-pentane G11-PA-32-04.
 - Batterie froide du condensat G11-GC-32-04.
 - Batterie froide d'iso-pentane G11-GC-32-03.

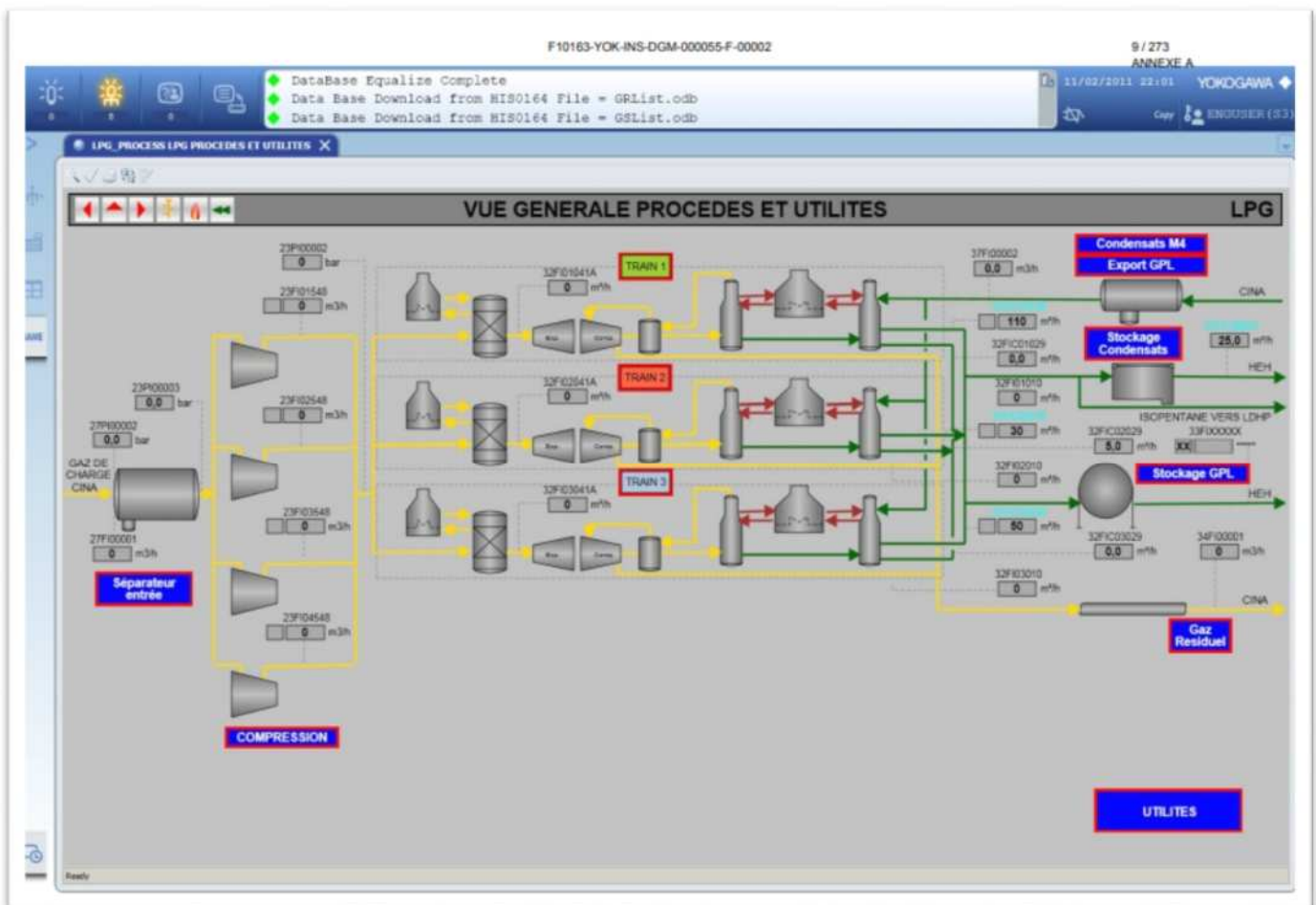


Figure III.3 : Vue générale de process sur logiciel HUDSON [5]

III.3. Propriétés thermodynamiques du fluide dans les différents points de l'installation

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg,K)	m (kg/s)
G2-01-1	30,2	40	-3706	7,004	87,068
G2-01-2	76,3	45	-3766	6,551	17,25
G2-01-3	93,5	121	-3606	7,008	104,32
G2-02-1	93,5	121	-3606	7,008	104,32
G2-02-2	93,2	50	-3644	7,216	104,32
G2-03-1	93,2	50	-3644	7,216	104,32
G2-03-2	93	49	-3752	6,931	104,30
G2-03-3	92,8	49	-1570	4,387	0,02
G2-04-1	90	50	-3753	6,481	98,947
G2-04-2	89,8	49	-3749	6,490	98,712
G2-05-1	89	286	-3095	8,009	16,926
G2-05-2	89,3	273	-3190	7,954	17,041
G2-06-1	89,1	273	-3190	7,960	17,041
G2-06-2	89	53	-3798	6,534	17,041
G2-07-1	89	53	-3798	6,534	17,041
G2-07-2	88,5	52	-3890	7,013	14,036
G2-07-3	88	52	-3403	2,978	3,005
G2-08-1	21	-15,33	-4194	7,899	31,61
G2-08-2	20,7	43,93	-4068	8,314	39,61
G2-08-3	91	50	-3748	6,471	34,61
G2-08-4	90,3	8,92	-3892	6,210	34,61
G2-09-1	21	6,64	-3002	2,985	35,66
G2-09-2	20,5	22,09	-2920	3,253	35,66
G2-09-3	91	50	-3748	6,471	29,66
G2-09-4	90,2	19,79	-3846	6,301	29,66
G2-10-1	90	12,82	-3805	6,052	99,448
G2-10-2	89,8	11,95	-3882	6,050	86,483
G2-10-3	89,8	11,2	-3617	5,211	12,965
G2-11-1	90	11,95	-3919	6,224	86,48
G2-11-2	22	-40,58	-3999	6,244	86,48
G2-12-1	21	43,93	-4060	8,358	69,48
G2-12-2	32	87,24	-3976	8,411	69,48
G2-13-1	32	87,24	-3982	8,411	79,22
G2-13-2	32	40	-4089	8,092	79,22
G2-14-1	22	-39,34	-3999	6,24	98,44
G2-14-2	21,8	-50,56	-4286	7,86	72,53
G2-14-3	22	-42,31	-3766	4,050	15,20
G2-14-4	21,8	-40,08	-3252	3,21	42,11
G2-15-1	21	-50	-4272	7,615	79,22
G2-15-2	20,4	-15,11	-4194	7,871	79,22
G2-15-3	24	-6,2	-3543	5,81	19,60
G2-15-4	23,6	-39,51	-3856	5,042	19,60
G2-16-1	23,6	-39,51	-3856	4,798	19,608

G2-16-2	23,3	-39,25	-4258	7,191	5,03
G2-16-3	23,3	-39,12	-3717	3,971	14,575
G2-17-1	22	-40,8	-3247	2,609	39,30
G2-17-2	34	-39,07	-3244	2,613	39,30
G2-18-1	31	-43	-3253	2,574	39,30
G2-18-2	30,7	5,082	-3105	2,98	39,30
G2-18-3	28	14,12	-3219	5,26	31,22
G2-18-4	27,7	-3,003	-3405	4,9	31,22
G2-19-1	30,6	5,082	-3105	3,121	39,30
G2-19-2	30,4	6,1	-3740	6,397	3,652
G2-19-3	30,4	5,91	-3040	2,811	35,666
G2-20-1	27	-3,003	-3405	4,758	31,22
G2-20-2	24	-6,2	-3543	6,06	15,483
G2-20-3	24	-6,2	-3268	3,61	15,730
G2-21-1	24	-6,2	-3268	3,579	15,730
G2-21-2	34	-4,95	-3265	3,582	15,730
G2-22-1	28	3	-3231	3,714	15,730
G2-22-2	27,8	14,06	-3219	5,454	31,277
G2-22-3	30	4	-3740	6,408	3,652
G2-22-4	29	92,81	-2436	2,435	23,772
G2-22-5	21	22,09	-2920	3,253	35,666
G2-23-1	17	71,6	-2346	2,704	23,591
G2-23-2	16,8	68,66	-2281	3,068	38,138
G2-23-3	17	60,70	-2570	2,156	17,980
G2-23-4	18	158,8	-2049	1,966	2,977
G2-23-5	18	40	-2338	1,098	0,964
G2-23-6	17,8	194,2	-1853	2,218	1,429
G2-24-1	16,8	68,66	-2281	3,068	38,138
G2-24-2	16,8	60	-2532	2,323	38,138
G2-25-1	16,8	60	-2532	2,252	38,138
G2-25-2	16,4	61	-2328	3,218	6,138
G2-25-3	16,3	60,5	-2572	2,151	32
G2-26-1	16,3	60,5	-2572	2,151	32
G2-26-2	22	60,98	-2570	2,153	32
G2-27-1	18	160,6	-2043	1,98	2,977
G2-27-2	33	164,1	-2039	1,982	2,977
G2-28-1	18	194,2	-1853	2,218	1,429
G2-28-2	18	40	-2286	1,113	1,429
G2-29-1	33	164,1	-2039	1,982	2,977
G2-29-2	33	40	-2382	1,068	2,977

Tableau III.1 Propriétés thermodynamiques du fluide dans chaque point de l'installation

III.4 Analyse exergetique de l'unité de compression

III.4.1 Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01

Le compresseur G05-MB-23-01 est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-01-1	30,2	40	-3706	7,004	87,068	-5822,26
G2-01-2	76,3	45	-3766	6,551	17,25	-5745,38
G2-01-3	93,5	121	-3606	7,008	104,32	-5723,46

Tableau III.2 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le compresseur.

La perte exergetique dans le compresseur de gaz de charge :

$$\dot{L}_{01} = \dot{E}_c^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance travail reçue par le compresseur :

$$\dot{E}_k^+ = (\dot{m}_{G2-01-3} \times h_{G2-01-3}) - (\dot{m}_{G2-01-1} \times h_{G2-01-1}) - (\dot{m}_{G2-01-2} \times h_{G2-01-2})$$

$$\dot{E}_k^+ = (104,32 \times (-3606)) - (-87,068 \times (-3706)) - (17,25 \times (-3766))$$

$$\dot{E}_c^+ = 11,46 \text{ MW}$$

La copuissance transformation fournie par le compresseur :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-01-3} \times k_{G2-01-3}) - (\dot{m}_{G2-01-1} \times k_{G2-01-1}) - (\dot{m}_{G2-01-2} \times k_{G2-01-2})$$

$$k_{G2-01-1} = h_{G2-01-1} - (T_a \times S_{G2-01-1})$$

$$k_{G2-01-1} = (-3706 - (302,15 \times 7,004))$$

$$k_{G2-01-1} = -5822,2586 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-01-2} = h_{G2-01-2} - (T_a \times S_{G2-01-2})$$

$$k_{G2-01-2} = (-3706 - (302,15 \times 6,551))$$

$$k_{G2-01-2} = -5745,38465 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G3-01-3} = h_{G3-01-3} - (T_a \times S_{G3-01-3})$$

$$k_{G2-01-3} = (-3606 - (302.15 \times 7.008))$$

$$k_{G2-01-3} = -5723.4672 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (104,32 \times (-5723,4672)) - (87,068 \times (-5822,258)) - (17,25 \times (-5745,39))$$

$$\dot{E}_w^- = 8,97 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{01} = 11459.588 - 8968.198952$$

$$\dot{L}_{01} = 2,49 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique de compresseur :

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{01}}{\dot{E}_c^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{2491.389048}{11459.588} \right)$$

$$\eta_{ex} = 78.27\%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_c^+} = \frac{8,97}{11,46} = 0,7827 = 78,27\%$$

III.4.2 Réfrigérant du compresseur de gaz de charge G05-GC-23-01

Le Réfrigérant du compresseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-02-1	93,5	121	-3606	7,008	104,32	-5822,25
G2-02-2	93,2	50	-3644	7,216	104,32	-5824,31

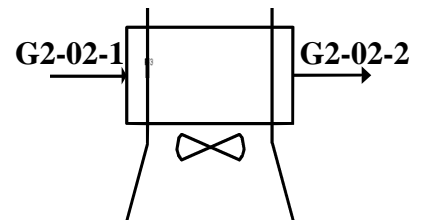


Tableau III.3 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le réfrigérant G05-GC-23-01.

La perte exergetique dans le réfrigérant du compresseur de gaz de charge :

$$\dot{L}_{02} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-02-1}(k_{G2-02-1} - k_{G2-02-2})$$

$$k_{G2-02-1} = h_{G2-02-1} - (T_a \times S_{G2-02-1})$$

$$k_{G2-02-1} = (-3606 - (302.15 \times 7.008))$$

$$k_{G2-02-1} = -5723.4672 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-02-2} = h_{G2-02-2} - (T_a \times S_{G2-02-2})$$

$$k_{G2-02-2} = (-3644 - (302.15 \times 7.216))$$

$$k_{G2-02-2} = -5824.3144 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 104.32(-5723.4672 + 5824.3144)$$

$$\dot{E}_w^- = 10,52 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{02} = 10,52 \text{ MW}$$

III.4.3 Ballon de refoulement du compresseur G05-VD-23-02

Le ballon de refoulement du compresseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-03-1	93,2	50	-3644	7,216	104,32	-5824.31
G2-03-2	93	49	-3752	6,931	104,30	-5846.20
G2-03-3	92,8	49	-1570	4,387	0,02	-2895.53

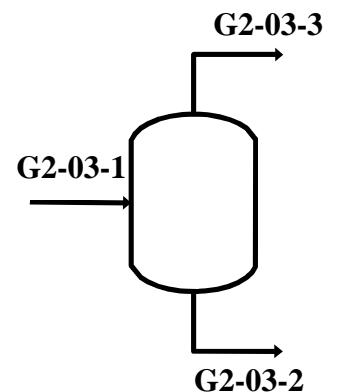


Tableau III.4 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G05-VD-23-02.

La perte exergetique dans le ballon de refoulement du compresseur :

$$\dot{L}_{03} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-03-1} \times k_{G2-03-1}) - (\dot{m}_{G2-03-2} \times k_{G2-03-2}) - (\dot{m}_{G2-03-3} \times k_{G2-03-3})$$

$$k_{G2-03-1} = h_{G2-03-1} - (T_a \times S_{G2-03-1})$$

$$k_{G2-03-1} = -3644 - (302.15 \times 7.216)$$

$$k_{G2-03-1} = -5824.3144 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-03-2} = h_{G2-03-2} - (T_a \times S_{G2-03-2})$$

$$k_{G2-03-2} = -3752 - (302.15 \times 6,931)$$

$$k_{G2-03-2} = -5846.20165 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-03-3} = h_{G2-03-3} - (T_a \times S_{G2-03-3})$$

$$k_{G2-03-3} = -1570 - (302.15 \times 4,387)$$

$$k_{G2-03-3} = -2895.53205 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (104,32 \times (-5824.31)) - (104,30 \times (-5846.20)) - (0.02 \times (-2895,532))$$

$$\dot{L}_{03} = \dot{E}_w^- = 2,224 \text{ MW}$$

III.4.4 Pert exergetique totale dans l'unité de compression

$$\dot{L}_{comp} = \sum_{i=1}^3 \dot{L}_i$$

$$\dot{L}_{comp} = \dot{L}_{01} + \dot{L}_{02} + \dot{L}_{03}$$

$$\dot{L}_{comp} = 2,49 + 10,52 + 2,22$$

$$\dot{L}_{comp} = 15,23 \text{ MW}$$

III.4.5 Résultats et discussions section de compression

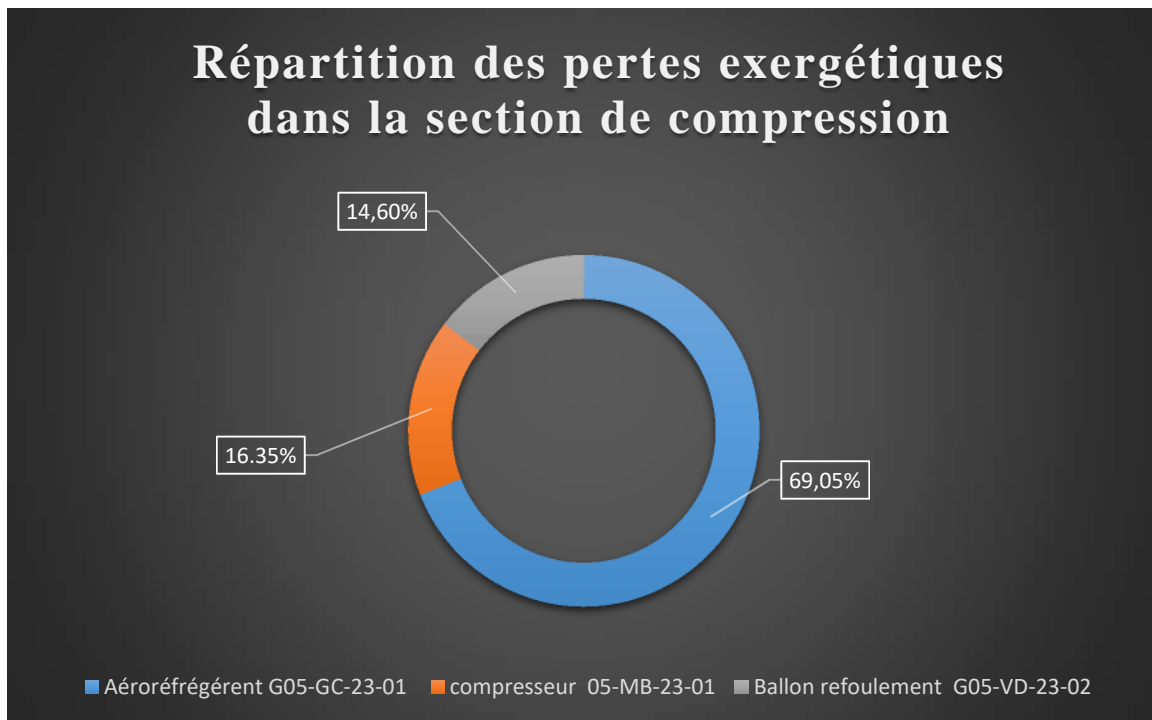


Figure III.2 : Répartition des pertes exergetiques dans la section de compression.

Interprétation des résultats

La perte exergetique dans cette section représente seulement 16,35% de la perte globale du train 2, et la plus grande perte se trouve au niveau de l'aéro-réfrigérant qui est le siège d'une irréversibilité thermique.

Dans le compresseur la perte est due à une irréversibilité mécanique. Elle est négligeable par rapport à celle dans l'aéro-réfrigérant.

Pour le ballon la perte causé par une irréversibilité liée au phénomène de séparation.

III.5 Analyse exergetique de la section de déshydratation

III.5.1 Sécheur en phase de déshydratation G11-VK-24-01

Le Sécheur en phase de déshydratation est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-04-1	90	50	-3753	6,481	98,947	-5711.23
G2-04-2	89,8	49	-3749	6,490	98,712	-5709,95

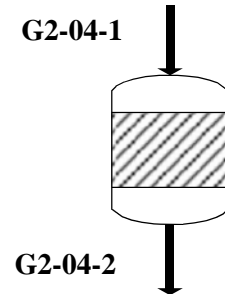


Tableau III.5 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le sécheur (désy) G11-VK-24-01

La perte exergetique dans le sécheur en phase de déshydratation :

$$\dot{L}_{04} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-04-1} k_{G2-04-1}) - (\dot{m}_{G2-04-2} k_{G2-04-2})$$

$$k_{G2-04-1} = h_{G2-04-1} - (T_a \times S_{G2-04-1})$$

$$k_{G2-04-1} = (-3753 - (302.15 \times 6,481))$$

$$k_{G2-04-1} = -5711.23415 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-04-2} = h_{G2-04-2} - (T_a \times S_{G2-04-2})$$

$$k_{G2-04-2} = (-3749 - (302.15 \times 6,490))$$

$$k_{G2-04-2} = -5709.9535 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (98,947 \times (-5711.23415)) - (98,712 \times (-5709.9535))$$

$$\dot{E}_w^- = 1,47 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{04} = 1,47 \text{ MW}$$

II.5.2. Sécheur en phase de régénération G11-VK-24-01

Le Sécheur en phase de régénération est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-05-1	89	286	-3190	7,954	16,926	-5593,30
G2-05-2	89,3	273	-3095	8,009	17,041	-5514,92

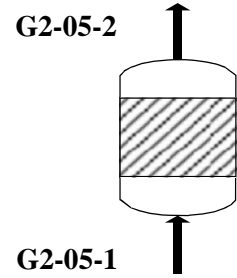


Tableau III.6 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le sécheur (régé) G11-VK-24-01.

La perte exergetique dans le sécheur en phase de régénération :

$$\dot{L}_{05} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-05-1} \times k_{G2-05-1}) - (\dot{m}_{G2-05-2} \times k_{G2-05-2})$$

$$k_{G2-05-1} = h_{G2-05-1} - (T_a \times S_{G2-05-1})$$

$$k_{G2-05-1} = (-3190 - (302.15 \times 7,954))$$

$$k_{G2-05-1} = -5593.3011 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-05-2} = h_{G2-05-2} - (T_a \times S_{G2-05-2})$$

$$k_{G2-05-2} = (-3095 - (302.15 \times 8.009))$$

$$k_{G2-05-2} = -5514.91935 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (16,926 \times (-5593.3011)) - (17,041 \times (-5514.91935))$$

$$\dot{E}_w^- = 0.692 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{05} = 0,692 \text{ MW}$$

III.5.3 Aéro-réfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01

Le aéro-réfrigérant de gaz de régénération caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-06-1	89,1	273	-3190	7,960	17,041	-5595,11
G2-06-2	89	53	-3798	6,534	17,041	-5772,25

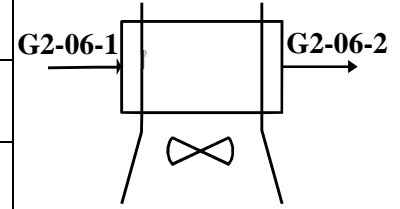


Tableau III.7 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'aéro-réfrigérant G11-GC-24-01

La perte exergetique dans l'aéro-réfrigérant du gaz de régénération :

$$\dot{L}_{06} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-06-1} \times k_{G2-06-1}) - (\dot{m}_{G2-06-2} \times k_{G2-06-2})$$

$$k_{G2-06-1} = h_{G2-06-1} - (T_a \times S_{G2-06-1})$$

$$k_{G2-06-1} = (-3190 - (302.15 \times 7,960))$$

$$k_{G2-06-1} = -5595.114 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-06-2} = h_{G2-06-2} - (T_a \times S_{G2-06-2})$$

$$k_{G2-06-2} = (-3798 - (302.15 \times 6,534))$$

$$k_{G2-06-2} = -5772.2481 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (17,041 \times (-5595.114)) - (17,041 \times (-5772.2481))$$

$$\dot{E}_w^- = 3,02 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{06} = \dot{E}_w^- = 3,02 \text{ MW}$$

III.5.4 Ballon de séparation de gaz de régénération G11-VD-24-01

Le ballon de séparation de gaz de régénération caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-07-1	89	53	-3798	6,534	17,041	-5772,25
G2-07-2	88,5	52	-3890	7,013	14,036	-6008,977
G2-07-3	88	52	-3403	2,978	3,005	-4302,8027

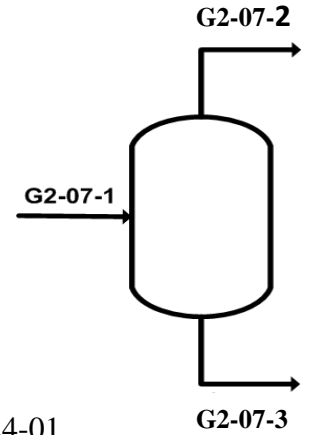


Tableau III.8 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VD-24-01.

La perte exergetique dans le ballon de séparation de gaz de régénération :

$$\dot{L}_{07} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-07-1} \times k_{G2-07-1}) - (\dot{m}_{G2-07-2} \times k_{G2-07-2}) - (\dot{m}_{G2-07-3} \times k_{G2-07-3})$$

$$k_{G2-07-1} = h_{G2-07-1} - (T_a \times S_{G2-07-1})$$

$$k_{G2-07-1} = -3798 - (302.15 \times 6,534)$$

$$k_{G2-07-1} = -5772.2481 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-07-2} = h_{G2-07-2} - (T_a \times S_{G2-07-2})$$

$$k_{G2-07-2} = -3890 - (302.15 \times 7,013)$$

$$k_{G2-07-2} = -6008.97795 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-07-3} = h_{G2-07-3} - (T_a \times S_{G2-07-3})$$

$$k_{G2-07-3} = -3403 - (302.15 \times 2,978)$$

$$k_{G2-07-3} = -4302.8027 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (17,041 \times (-5772.25)) - (14,036 \times (-6008.97795)) - (3,005 \times (-4302.8027))$$

$$\dot{L}_{07} = 1,09 \text{ MW}$$

III.5.5 Perte exergetique totale dans l'unité de déshydratation

$$\dot{L}_{\text{déschy}} = \sum_{i=4}^7 \dot{L}_i$$

$$\dot{L}_{\text{déschy}} = \dot{L}_{04} + \dot{L}_{05} + \dot{L}_{06} + \dot{L}_{07}$$

$$\dot{L}_{\text{déschy}} = 1468.555548 + 692.4737753 + 3018.542198 + 1092.943252$$

$$\dot{L}_{\text{déschy}} = 6,27 \text{ MW}$$

III.5.6 Résultats et discussions section déshydratation

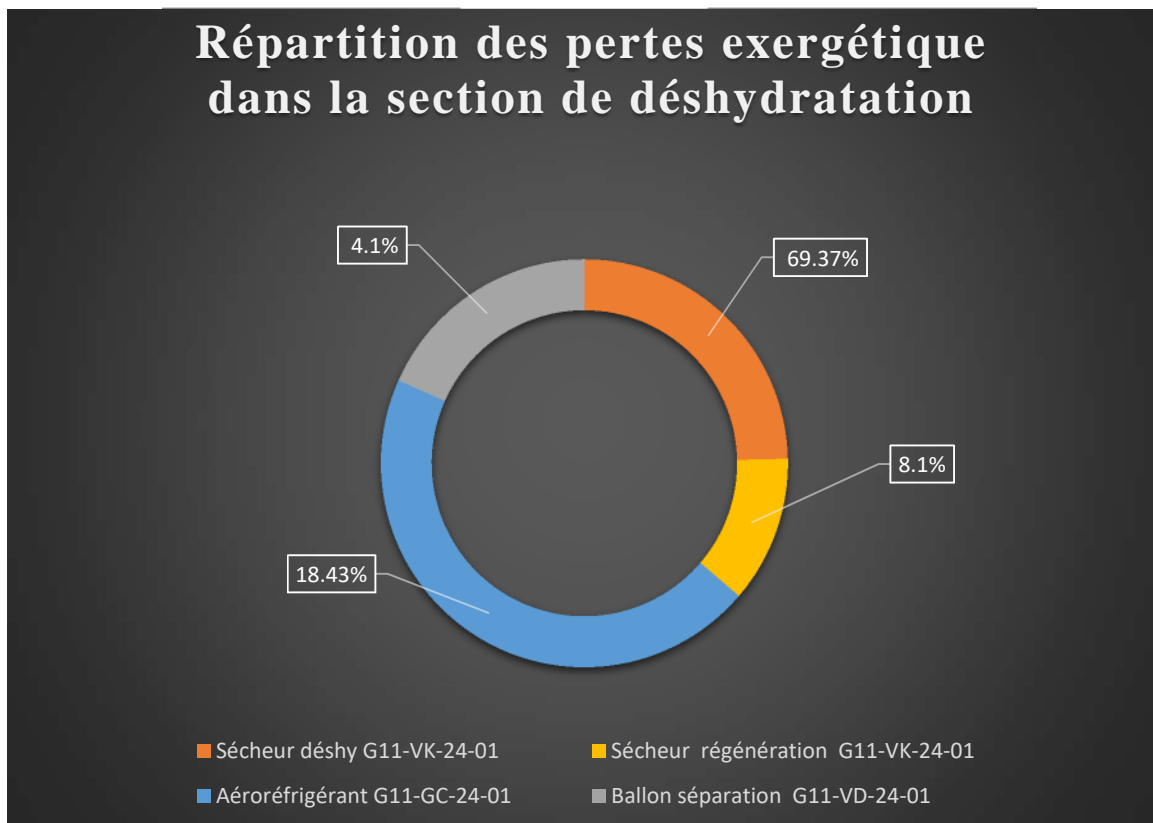


Figure III.3 : Répartition des pertes exergetiques dans la section de déshydratation.

Interprétation des résultats

Dans cette unité la perte exergetique n'est pas vraiment importante elle est réparti de la manière suivante :

Le sécheur en phase de déshydratation est l'équipement le plus remarquable il génère 69.37% de la perte totale dans cette unité, cette perte est due au transfert de masse qui se déroule lors de passage du gaz dans les tamis moléculaire qui se trouve à l'intérieur, et aussi au frottement lié à la viscosité du fluide. Mais par contre le sécheur en phase de régénération a une perte exergetique négligeable par ce qu'il récupère l'eau perdu par le sécheur en phase de déshydratation donc son exergie augmente, mais il détruit une certaine quantité à cause des frottements.

La perte dans le l'aéro-réfrigérant est due à une dévalorisation d'exergie dans le ballon la perte est négligeable.

III.6 Analyse exergetique dans l'unité refroidissent

III.6.1 Echangeur (gaz de charge/gaz résiduel) G11-GA-32-02(A/B)

L'échangeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-08-1	21	-15,33	-4194	7,9	39,61	-6580,98
G2-08-2	20,7	43,93	-4068	8,314	39,61	-6580,075
G2-08-3	91	50	-3748	6,471	34,61	-5703,21
G2-08-4	90,3	8,92	-3892	6,21	34,61	-5768,35

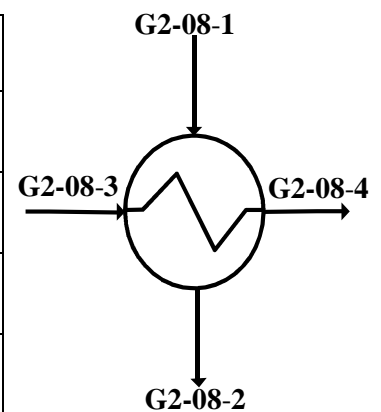


Tableau III.9 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-02.

La perte exergetique dans l'échangeur G11-GA-32-02(A/B) :

$$\dot{L}_{08} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance transformation fournie par le circuit gaz de charge :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-08-1} \times k_{G2-08-1}) - (\dot{m}_{G2-08-2} \times k_{G2-08-2})$$

$$k_{G2-08-1} = h_{G2-08-1} - (T_a \times S_{G2-08-1})$$

$$k_{G2-08-1} = -4194 - (302.15 \times 7.9)$$

$$k_{G2-08-1} = -6580.985 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-08-2} = h_{G2-08-2} - (T_a \times S_{G2-08-2})$$

$$k_{G2-08-2} = -4068 - (302.15 \times 8,314)$$

$$k_{G2-08-2} = -6580.0751 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 39.61((-6580.0751) + 6580.985)$$

$$\dot{E}_w^- = 0,036 \text{ MW}$$

La copuissance transformation reçue par le circuit gaz résiduel :

$$\dot{E}_w^+ = (\dot{m}_{G2-08-2} \times k_{G2-08-2}) - (\dot{m}_{G2-08-1} \times k_{G2-08-1})$$

$$k_{G2-08-3} = h_{G2-08-3} - (T_a \times S_{G2-08-3})$$

$$k_{G2-08-3} = -3748 - (302.15 \times 6,471)$$

$$k_{G2-08-3} = -5703.21265 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-08-4} = h_{G2-08-4} - (T_a \times S_{G2-08-4})$$

$$k_{G2-08-4} = -3892 - (302.15 \times 6,21)$$

$$k_{G2-08-4} = -5768.3515 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = (34,61 \times (-5703.21265 + 5768.3515))$$

$$\dot{E}_w^+ = 2,25 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{08} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{08} = 2,518 \text{ MW}$$

III.6.2 Echangeur (gaz de charge/charge du dééthaniseur) G11-GA-32-01

L'échangeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-09-1	21	6,64	-3002	2,985	35,66	-3903,91
G2-09-2	20,5	22,09	-2920	3,253	35,66	-3902,89
G2-09-3	91	50	-3748	6,471	29,66	-5703,21
G2-09-4	90,2	19,79	-3846	6,30	29,66	-5749,54

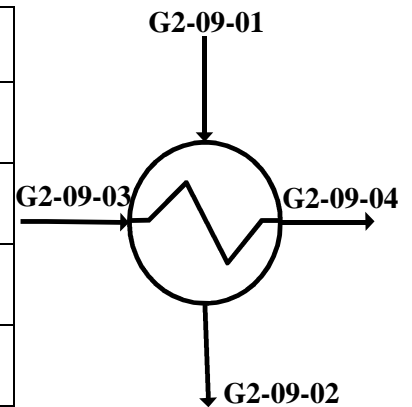


Tableau III.10 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-01

La perte exergetique dans l'échangeur :

$$\dot{L}_{09} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance transformation fournie par le circuit gaz de charge :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-09-1} \times k_{G2-09-1}) - (\dot{m}_{G2-09-2} \times k_{G2-09-2})$$

$$k_{G2-09-1} = h_{G2-09-1} - (T_a \times S_{G2-09-1})$$

$$k_{G2-09-1} = -3002 - (302,15 \times 2,985)$$

$$k_{G2-09-1} = -3903,91775 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-09-2} = h_{G2-09-2} - (T_a \times S_{G2-09-2})$$

$$k_{G2-09-2} = -2920 - (302,15 \times 3,253)$$

$$k_{G2-09-2} = -3902,89395 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 35,66 \times ((-3902,89395 + 3903,91775))$$

$$\dot{E}_w^- = 0,036 \text{ MW}$$

La copuissance transformation reçue par le circuit gaz résiduel :

$$\dot{E}_w^+ = (\dot{m}_{G2-09-1} \times k_{G2-09-3}) - (\dot{m}_{G2-09-2} \times k_{G2-09-4})$$

$$k_{G2-09-3} = h_{G2-09-3} - (T_a \times S_{G2-09-3})$$

$$k_{G2-09-3} = -3748 - (302.15 \times 6,471)$$

$$k_{G2-09-3} = -5703.21265 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-09-4} = h_{G2-09-4} - (T_a \times S_{G2-09-4})$$

$$k_{G2-09-4} = -3846 - (302.15 \times 6,30)$$

$$k_{G2-09-4} = -5749.545 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 29.66((-5703.21265) + 5749.545)$$

$$\dot{E}_w^+ = 1,37 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{09} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{09} = 1,410 \text{ MW}$$

III.6.3 Ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VI-32-01

Le ballon d'alimentation de l'expandeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-10-1	90	12,82	-3805	6,052	99,448	-5633,61
G2-10-2	89,8	11,95	-3882	6,050	86,483	-5710,01
G2-10-3	89,8	11,2	-3617	5,21	12,965	-5191,20

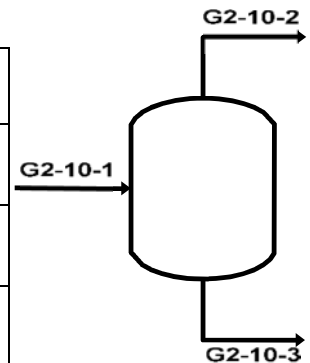


Tableau III.11 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VI-32-01.

La perte exergetique dans le ballon de séparation de gaz de régénération :

$$\dot{L}_{10} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-10-1} \times k_{G2-10-1}) - (\dot{m}_{G2-10-2} \times k_{G2-10-2}) - (\dot{m}_{G2-10-3} \times k_{G2-10-3})$$

$$k_{G2-10-1} = h_{G2-10-1} - (T_a \times S_{G2-10-1})$$

$$k_{G2-10-1} = -3805 - (302.15 \times 6,052)$$

$$k_{G2-10-1} = -5633.6118 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-10-2} = h_{G2-10-2} - (T_a \times S_{G2-10-2})$$

$$k_{G2-10-2} = -3882 - (302.15 \times 6,050)$$

$$k_{G2-10-2} = -5710.0075 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-10-3} = h_{G2-10-3} - (T_a \times S_{G2-10-3})$$

$$k_{G2-10-3} = -3617 - (302.15 \times 5,21)$$

$$k_{G2-10-3} = -5191.2015 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (99,448 \times (-5633.612)) - (86,483 \times (-5710.008)) - (12,97 \times (-5191,202))$$

$$\dot{L}_{10} = \dot{E}_w^- = 0.871 \text{ MW}$$

III.6.4 Expandeur de gaz résiduel G11-KH-32-01

L'expandeur de gaz résiduel est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-11-1	90	11,95	-3919	6,224	86,48	-5799,58
G2-11-2	22	-40,58	-3999	6,244	86,48	-5879,58

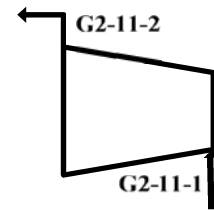


Tableau III.12 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'expandeur G11-KH-32-01.

La perte exergetique dans l'expandeur de gaz résiduel :

$$\dot{L}_{11} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_e^-$$

La puissance transformation reçue par l'expandeur :

$$\dot{E}_w^+ = (\dot{m}_{G2-11-1} \times k_{G2-11-1}) - (\dot{m}_{G2-11-2} \times k_{G2-11-2})$$

$$k_{G2-11-1} = h_{G2-11-1} - (T_a \times S_{G2-11-1})$$

$$k_{G2-11-1} = (-3919 - (302.15 \times 6,224))$$

$$k_{G2-11-1} = -5799.5816 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-11-2} = h_{G2-11-2} - (T_a \times S_{G2-11-2})$$

$$k_{G2-11-2} = (-3999 - (302.15 \times 6,224))$$

$$k_{G2-11-2} = -5879.5816 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = (86,48 \times ((-5799.5816) + 5879.5816))$$

$$\dot{E}_w^+ = 6,92 \text{ MW}$$

La copuissance travail fournie par l'expandeur

$$\dot{E}_e^- = (\dot{m}_{G2-11-1} \times h_{G2-11-1}) - (\dot{m}_{G2-11-2} \times h_{G2-11-2})$$

$$\dot{E}_e^- = (86,48 \times ((-3919) + 3999))$$

$$\dot{E}_e^- = 6,05 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{11} = 0.86 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique de l'expandeur

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{11}}{\dot{E}_w^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{0,86}{6,92} \right)$$

$$\eta_{ex} = 87.57\%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_e^-}{\dot{E}_w^+} = \frac{6,05}{6,92} = 87,43\%$$

III.6.5 Compresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01

Le compresseur de gaz résiduel est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-12-1	21	43,93	-4060	8,358	69,48	-6585,36
G2-12-2	32	87,24	-3976	8,411	69,48	-6517,38

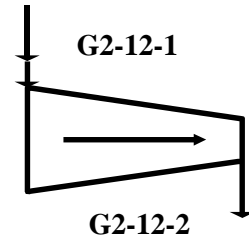


Tableau III.13 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le compresseur G11-KA-32-01.

La perte exergetique dans le compresseur de gaz résiduel :

$$\dot{L}_{12} = \dot{E}_c^+ - \dot{E}_w^-$$

La puissance travail reçue par le compresseur :

$$\dot{E}_c^+ = (\dot{m}_{G2-12-1} \times h_{G2-12-1}) - (\dot{m}_{G2-12-2} \times h_{G2-12-2})$$

$$\dot{E}_c^+ = (69,48 \times ((-3976) + 4060))$$

$$\dot{E}_c^+ = 5,84 \text{ MW}$$

La puissance transformation fournie par le compresseur :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-12-1} \times k_{G2-12-1}) - (\dot{m}_{G2-12-2} \times k_{G2-12-2})$$

$$k_{G2-12-1} = h_{G2-12-1} - (T_a \times S_{G2-12-1})$$

$$k_{G2-12-1} = (-4060 - (302,15 \times 8,358))$$

$$k_{G2-12-1} = -6585,3697 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-12-2} = h_{G2-12-2} - (T_a \times S_{G2-12-2})$$

$$k_{G2-12-2} = (-3976 - (302,15 \times 8,411))$$

$$k_{G2-12-2} = -6517,38365 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (64,48 \times ((-6585.3697) + 6517.38365))$$

$$\dot{E}_w^- = 4,38 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{12} = 1,452 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique du compresseur

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{11}}{\dot{E}_k^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{1452.579496}{5836.32} \right)$$

$$\eta_{ex} = 75.11\%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_c^+} = \frac{4,38}{5,84} = 75\%$$

III.6.6 Aéroréfrigérant de gaz résiduel G11-GC-32-01

L'aéro-réfrigérant de gaz résiduel est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-13-1	31	87,24	-3982	8,411	79,22	-6523,38
G2-13-2	30,8	40	-4089	8,092	79,22	-6533,99

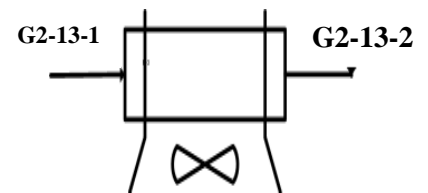


Tableau III.14 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'aéro-réfrigérant G11-GC-32-01

La perte exergetique dans l'aéro-réfrigérant du gaz résiduel :

$$\dot{L}_{13} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-13-1} \times k_{G2-13-1}) - (\dot{m}_{G2-13-2} \times k_{G2-13-2})$$

$$k_{G2-13-1} = h_{G2-13-1} - (T_a \times S_{G2-13-1})$$

$$k_{G2-13-1} = (-3982 - (302.15 \times 8,411))$$

$$k_{G2-13-1} = -6523.38365 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-13-2} = h_{G2-13-2} - (T_a \times S_{G2-13-2})$$

$$k_{G2-13-2} = (-4089 - (302.15 \times 8,092))$$

$$k_{G2-13-2} = -6533.9978 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (79,22 \times ((-6523.38365) + 6533.9978))$$

$$\dot{E}_w^- = 0.84 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{13} = 0,84 \text{ MW}$$

III.6.7 Perte exergetique totale dans l'unité de refroidissement

$$\dot{L}_{\text{refo}} = \sum_{i=8}^{13} \dot{L}_i$$

$$\dot{L}_{\text{refo}} = \dot{L}_{08} + \dot{L}_{09} + \dot{L}_{10} + \dot{L}_{11} + \dot{L}_{12} + \dot{L}_{13}$$

$$\dot{L}_{\text{refo}} = 2,52 + 1,41 + 0,87 + 0,86 + 1,45 + 0,84$$

$$\dot{L}_{\text{refo}} = 7,96 \text{ MW}$$

III.6.8 Résultats et discussions section de refroidissement

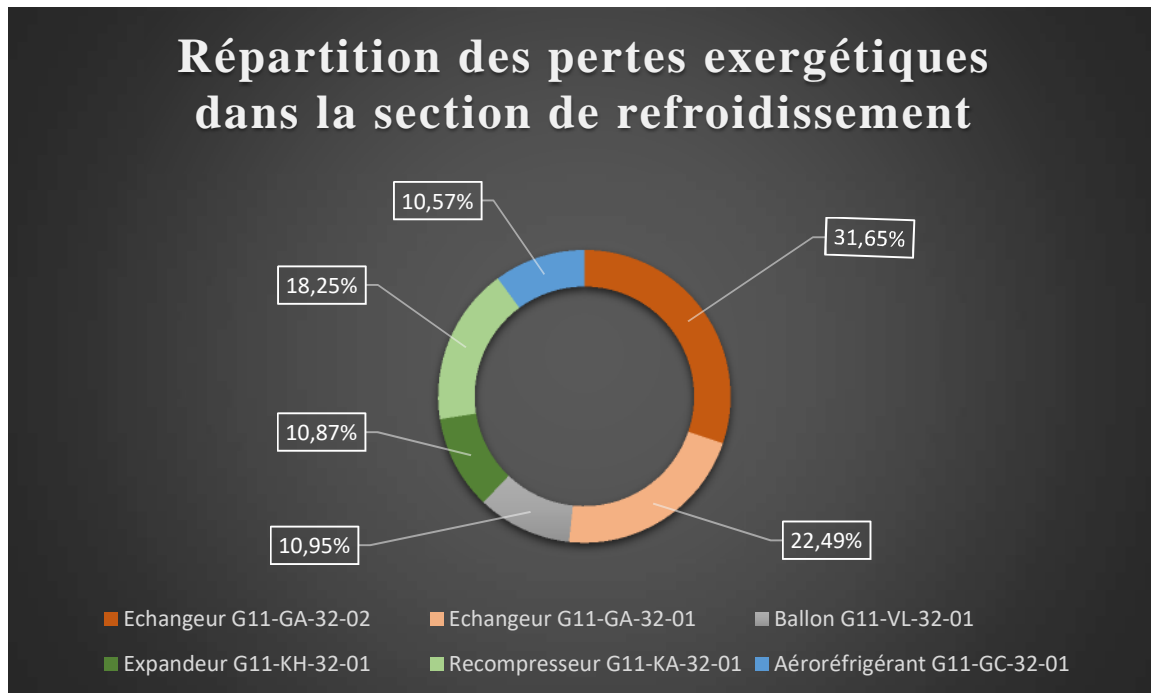


Figure III.4 : Répartition des pertes exergetiques dans la section de refroidissement.

Interprétation des résultats

La plus grande perte dans cette unité est répartie sur les deux échangeurs, elle est de 54.14% de la perte totale, elle est due aux irréversibilités thermique liées au chute de température lors du transfert de chaleur.

Pour les autres équipements on remarque que la perte est plus faible par rapport aux deux échangeurs.

L'expandeur, le compresseur ce sont le siège d'une irréversibilité mécanique liée au frottement.

Dans le ballon la perte est due à l'irréversibilité liée à la séparation des deux phases du mélange.

La perte exergetique dans l'aéro-réfrigérant est causée par le rejet de chaleur vers le milieu extérieur et le phénomène de changement de phase.

Cette perte est faible par rapport à celle des deux échangeurs et on peut expliquer cela par le faible débit qui traverse l'aéro-réfrigérant.

III.7 Analyse exergetique section de déethanisation

III.7.1 Absorbeur G11-CA-32-01

L'absorbeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-14-1	21	-42.31	-3999	6.24	98.44	-5884.41
G2-14-2	20.7	-53	-4286	7.86	72.53	-6660.89
G2-14-3	23	-39.34	-3766	4.050	15.20	-4989.70
G2-14-4	22.8	-40.08	-3252	3.21	42.11	-4221.90

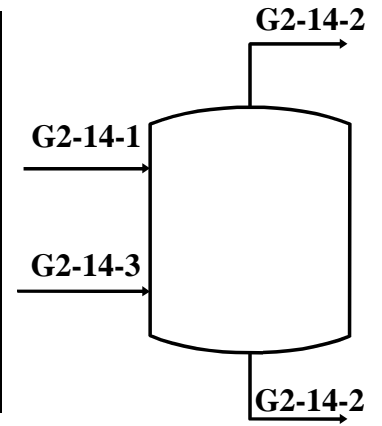


Tableau III.15 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'absorbeur G11-CA-32-01.

La perte exergetique dans l'absorbeur :

$$\dot{L}_{14} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-14-1} \times k_{G2-14-1}) + (\dot{m}_{G2-14-2} \times k_{G2-14-2}) - (\dot{m}_{G2-14-3} \times k_{G2-14-3}) - (\dot{m}_{G2-14-4} \times k_{G2-14-4})$$

$$k_{G2-14-1} = h_{G2-14-1} - (T_a \times S_{G2-14-1})$$

$$k_{G2-14-1} = -3999 - (302.15 \times 6.24)$$

$$k_{G2-14-1} = -5884.416 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-14-2} = h_{G2-14-2} - (T_a \times S_{G2-14-2})$$

$$k_{G2-14-2} = -4286 - (302.15 \times 7.86)$$

$$k_{G2-14-2} = -6660.899 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-14-3} = h_{G2-14-3} - (T_a \times S_{G2-14-3})$$

$$k_{G2-14-3} = -3766 - (302.15 \times 4.050)$$

$$k_{G2-14-3} = -4989.7075 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-14-4} = h_{G2-14-4} - (T_a \times S_{G2-14-4})$$

$$k_{G2-14-4} = -3252 - (302.15 \times 3.21)$$

$$k_{G2-14-4} = -4221.9015 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_w^- &= (98.44 \times (-5884.42)) + (15.20 \times (-4989.71)) - (72.53 \times (-6660.90)) \\ &\quad - (42.11 \times (-4221.902)) \end{aligned}$$

$$\dot{L}_{14} = 5,79 \text{ MW}$$

III.7.2 Echangeur de tête de l'absorbeur G11-GA-32-04

L'échangeur de tête de l'absorbeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-15-1	21	-50	-4272	7,615	79,22	-6572,87
G2-15-2	20,4	-15,11	-4194	7,871	79,22	-6572,22
G2-15-3	24	-6,2	-3543	5,81	19,60	-5298,49
G2-15-4	23,6	-39,51	-3856	5,042	19,60	-5379,44

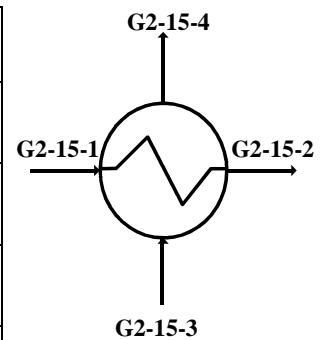


Tableau III.16 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-04.

La perte exergetique d'un échangeur de tête de l'absorbeur :

$$\dot{L}_{15} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance transformation fournie par l'échangeur de tête de l'absorbeur :

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-15-1} (k_{G2-15-1} \times k_{G2-15-2})$$

$$k_{G2-15-1} = h_{G2-15-1} - (T_a \times S_{G2-15-1})$$

$$k_{G2-15-1} = -4272 - (302.15 \times 7,615)$$

$$k_{G2-15-1} = -6572.87225 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-15-2} = h_{G2-15-2} - (T_a \times S_{G2-15-2})$$

$$k_{G2-15-2} = -4194 - (302.15 \times 7,871)$$

$$k_{G2-15-2} = -6572.22265 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 79,22(-6572.22265 + 6572.87225)$$

$$\dot{E}_w^- = 0,051 \text{ MW}$$

La copuissance transformation reçue par l'échangeur de tête de l'absorbeur :

$$\dot{E}_w^+ = \dot{m}_{G2-15-3} (k_{G2-15-3} - k_{G2-15-4})$$

$$k_{G2-15-3} = h_{G2-15-3} - (T_a \times S_{G2-15-3})$$

$$k_{G2-15-3} = -3543 - (302.15 \times 5,81)$$

$$k_{G2-15-3} = -5298.4915 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-15-4} = h_{G2-15-4} - (T_a \times S_{G2-15-4})$$

$$k_{G2-15-4} = -3856 - (302.15 \times 5,042)$$

$$k_{G2-15-4} = -5379.4403 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 19,60(-5298.4915 + 5379.4403)$$

$$\dot{E}_w^+ = 1,59 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{15} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{15} = 1,54 \text{ MW}$$

III.7.3 Ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06

Le ballon de désengagement de l'absorbeur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-16-1	23,6	-39,51	-3856	4,732	19,608	-5285,77
G2-16-2	23,3	-39,25	-4258	7,231	5,03	-6442,84
G2-16-3	23,3	-39,12	-3717	4,016	14,575	-4930,43

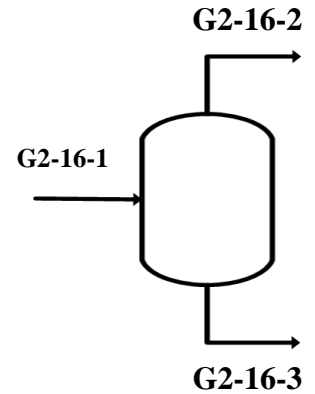


Tableau III.17 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans ballon G11-VL-32-06

La perte exergetique dans le ballon de désengagement de l'absorbeur :

$$\dot{L}_{16} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-16-1} \times k_{G2-16-1}) - (\dot{m}_{G2-16-2} \times k_{G2-16-2}) - (\dot{m}_{G2-16-3} \times k_{G2-16-3})$$

$$k_{G2-16-1} = h_{G2-16-1} - (T_a \times S_{G2-16-1})$$

$$k_{G2-16-1} = -3856 - (302.15 \times 4.732)$$

$$k_{G2-16-1} = -5285.7738 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-16-2} = h_{G2-16-2} - (T_a \times S_{G2-16-2})$$

$$k_{G2-16-2} = -4258 - (302.15 \times 7.231)$$

$$k_{G2-16-2} = -6442.84665 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-16-3} = h_{G2-16-3} - (T_a \times S_{G2-16-3})$$

$$k_{G2-16-3} = -3717 - (302.15 \times 4.016)$$

$$k_{G2-16-3} = -4930.4344 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (19,608 \times (-5285.774)) - (5,03 \times (-6442.847)) - (14,575 \times (-4930.434))$$

$$\dot{E}_w^- = 0,63 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{16} = 0,63 \text{ MW}$$

III.7.4 Pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01

La Pompe d'alimentation du dééthaniseur est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-17-1	22	-40,08	-3247	2,609	39,30	-4035,31
G2-17-2	34	-39,07	-3244	2,613	39,30	-4033,51

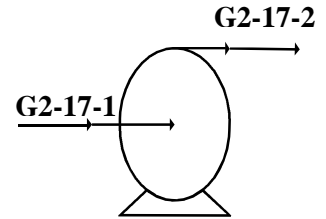


Tableau III.18 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-01.

La perte exeregetique dans la pompe :

$$\dot{L}_{17} = \dot{E}_{ppe}^- - \dot{E}_w^+$$

La copuissance travail reçue par le recompresseur :

$$\dot{E}_{ppe}^+ = \dot{m}_{G2-17-1} (h_{G2-17-2} - h_{G2-17-1})$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = (39.30 \times ((-3244) + 3247))$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 0,1179 \text{ MW}$$

La copuissance transformation fournie par le recompresseur :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-17-1} \times k_{G2-17-1}) - (\dot{m}_{G2-17-2} \times k_{G2-17-2})$$

$$k_{G2-17-1} = h_{G2-17-1} - (T_a \times S_{G2-17-1})$$

$$k_{G2-17-1} = (-3247 - (302.15 \times 2,609))$$

$$k_{G2-17-1} = -4035.30935 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-17-2} = h_{G2-17-2} - (T_a \times S_{G2-17-2})$$

$$k_{G2-17-2} = (-3244 - (302.15 \times 2.613))$$

$$k_{G2-17-2} = -4033.51795 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (39.30 \times ((-4033.51795) + 4035.30935))$$

$$\dot{E}_w^- = 0,0704 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{17} = \dot{E}_{ppe}^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{17} = 0,0475 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique du compresseur

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{17}}{\dot{E}_{ppe}^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{0,0475}{0,1179} \right)$$

$$\eta_{ex} = 59.71\%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_{ppe}^+} = \frac{0,0704}{0,1179} = 59,71\%$$

III.7.5 Condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03

Le condenseur du dééthaniseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-18-1	31	-43	-3253	2,574	39,30	-4030,73
G2-18-2	30,8	5,08	-3105	2,098	39,30	-3738,91
G2-18-3	28	14,12	-3219	5,261	31,22	-4808,61
G2-18-4	27,8	-3,003	-3405	4,90	31,22	-4885,53

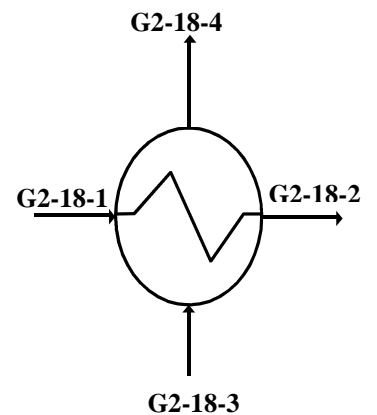


Tableau III.19 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le condenseur G11-GA-32-03.

La perte exergetique dans le condenseur :

$$\dot{L}_{18} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance transformation fournie par le condenseur du dééthaniseur :

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-18-1} \times k_{G2-18-1}) - (\dot{m}_{G2-18-2} \times k_{G2-18-2})$$

$$k_{G2-18-1} = h_{G2-18-1} - (T_a \times S_{G2-18-1})$$

$$k_{G2-18-1} = -3253 - (302.15 \times 2,574)$$

$$k_{G2-18-1} = -4030.7341 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-18-2} = h_{G2-18-2} - (T_a \times S_{G2-18-2})$$

$$k_{G2-18-2} = -3105 - (302.15 \times 2,098)$$

$$k_{G2-18-2} = -3738.9107 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 39.30(-3738.9107 + 4030.7341)$$

$$\dot{E}_w^- = 11,47 \text{ MW}$$

La copuissance transformation reçue par l'échangeur de tête de l'absorbeur :

$$\dot{E}_w^+ = (\dot{m}_{G2-18-4} \times k_{G2-18-4}) - (\dot{m}_{G2-18-3} \times k_{G2-18-3})$$

$$k_{G2-18-3} = h_{G2-18-3} - (T_a \times S_{G2-18-3})$$

$$k_{G2-18-3} = -3219 - (302.15 \times 5,261)$$

$$k_{G2-18-3} = -4808.61115 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-18-4} = h_{G2-18-4} - (T_a \times S_{G2-18-4})$$

$$k_{G2-18-4} = -3405 - (302.15 \times 4,90)$$

$$k_{G2-18-4} = -4885.535 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 31,22(-4808.61115 + 4885.535)$$

$$\dot{E}_w^+ = 2,402 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{18} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{18} = 9.068 \text{ MW}$$

III.7.6 Ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03

Le ballon d'alimentation est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-19-1	30,6	5,082	-3105	3,121	39,30	-4048,01
G2-19-2	30,4	6,1	-3740	6,397	3,652	-5672,85
G2-19-3	30,4	5,91	-3040	2,811	35,666	-3889,34

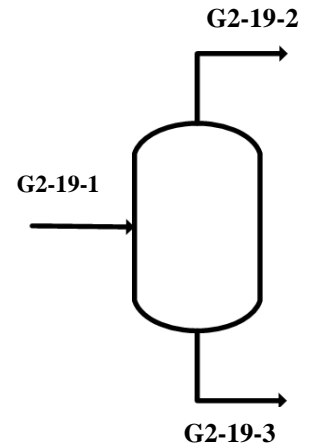


Tableau III.20 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans ballon G11-VL-32-03.

La perte exergetique dans le ballon d'alimentation du dééthaniseur :

$$\dot{L}_{19} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-19-1} \times k_{G2-19-1}) - (\dot{m}_{G2-19-2} \times k_{G2-19-2}) - (\dot{m}_{G2-19-3} \times k_{G2-19-3})$$

$$k_{G2-19-1} = h_{G2-19-1} - (T_a \times S_{G2-19-1})$$

$$k_{G2-19-1} = -3105 - (302.15 \times 3.121)$$

$$k_{G2-19-1} = -4048.01015 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-19-2} = h_{G2-19-2} - (T_a \times S_{G2-19-2})$$

$$k_{G2-19-2} = -3740 - (302.15 \times 6.397)$$

$$k_{G2-19-2} = -5672.85355 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-19-3} = h_{G2-19-3} - (T_a \times S_{G2-19-3})$$

$$k_{G2-19-3} = -3040 - (302.15 \times 2.811)$$

$$k_{G2-19-3} = -3889.34365 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (39,30 \times (-4048,01)) - (3,652 \times (-5672,85355)) - (35,666 \times (-3889,343))$$

$$\dot{E}_w^- = 0,348 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{19} = 0,348 \text{ MW}$$

III.7.7 Ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02

Le ballon de reflux du dééthaniseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-20-1	27	-3,003	-3405	4,758	31,22	-4842,62
G2-20-2	24	-6,2	-3543	6,06	15,48	-5374,029
G2-20-3	24	-6,2	-3268	3,61	15,73	-4358,76

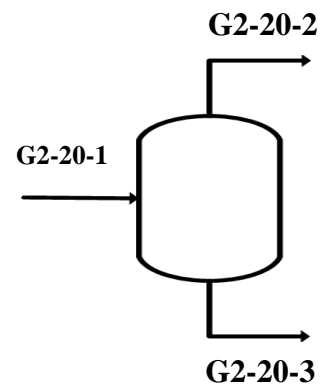


Tableau III.21 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-02.

La perte exergetique dans le ballon de reflux du dééthaniseur :

$$\dot{L}_{20} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = (\dot{m}_{G2-20-1} \times k_{G2-20-1}) - (\dot{m}_{G2-20-2} \times k_{G2-20-2}) - (\dot{m}_{G2-20-3} \times k_{G2-20-3})$$

$$k_{G2-20-1} = h_{G2-20-1} - (T_a \times S_{G2-20-1})$$

$$k_{G2-20-1} = -3405 - (302,15 \times 4,758)$$

$$k_{G2-20-1} = -4842,6297 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-20-2} = h_{G2-20-2} - (T_a \times S_{G2-20-2})$$

$$k_{G2-20-2} = -3543 - (302,15 \times 6,06)$$

$$k_{G2-20-2} = -5374,029 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-20-3} = h_{G2-20-3} - (T_a \times S_{G2-20-3})$$

$$k_{G2-20-3} = -3268 - (302,15 \times 3,61)$$

$$k_{G2-20-3} = -4358.7615 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = (31,22 \times (-4842.63)) - (15,48 \times (-5374,029)) - (15,73 \times (-4358.7615))$$

$$\dot{L}_{20} = 0,57 \text{ MW}$$

III.7.8 Pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02

La pompe de reflux est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	m (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-21-1	24	-6,2	-3268	3,579	15,730	-4349,39
G2-21-2	34	-4,95	-3265	3,582	15,730	-4347,30

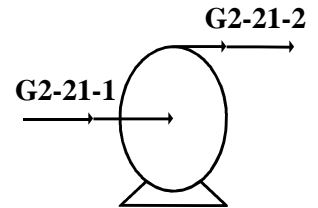


Tableau II.22 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-02.

La perte exergetique de pompe de reflux :

$$\dot{L}_{21} = \dot{E}_{ppe}^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance travail reçue par la pompe de reflux du dééthaniseur :

$$\dot{E}_{ppe}^+ = \dot{m}_{G2-21-1} \times (h_{G2-21-2} - h_{G2-21-1})$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 15.730 \times (-3265 + 3268)$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 0,04719 \text{ MW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe de reflux du dééthaniseur :

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-21-1} \times (k_{G2-21-2} - k_{G2-21-1})$$

$$k_{G2-21-1} = h_{G2-21-1} - (T_a \times S_{G2-21-1})$$

$$k_{G2-21-1} = -3268 - (302.15 \times 3.579)$$

$$k_{G2-21-1} = -4349.39485 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-21-2} = h_{G2-21-2} - (T_a \times S_{G2-21-2})$$

$$k_{G2-21-2} = -3265 - (302.15 \times 3.582)$$

$$k_{G2-21-2} = -4347,3013 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 15.730 \times (-4347,3013 + 4349.39485)$$

$$\dot{E}_w^- = 0.0329 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{21} = 0,01426 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique de la pompe :

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{21}}{\dot{E}_{ppe}^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{0,01426}{0,04719} \right)$$

$$\eta_{ex} = 69.79\%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_{ppe}^+} = \frac{0.0329}{0,04719} = 69,71\%$$

III.7.9 Dééthaniseur G11-CE-32-01

Le dééthaniseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-22-1	28	3	-3231	3,714	15,730	-4353,18
G2-22-2	27,8	14,06	-3326	5,954	31,277	-5125,001
G2-22-3	30	4	-3431	6,018	3,652	-5249,33
G2-22-4	29	92,81	-2890	3,201	23,772	-3857,18
G2-22-5	21	22,09	-2816	3,209	35,666	-3785,60

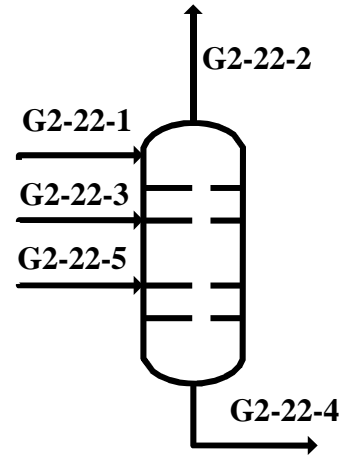


Tableau III.23 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le dééthaniseur G11-CE-32-01

La perte exergetique dans le dééthaniseur :

$$\dot{L}_{22} = \dot{E}_w^-$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_w^- = & (\dot{m}_{G2-22-1} \times k_{G2-22-1}) + (\dot{m}_{G2-22-3} \times k_{G2-22-3}) + (\dot{m}_{G2-22-5} \times k_{G2-22-5}) \\ & - (\dot{m}_{G2-22-2} \times k_{G2-22-2}) - (\dot{m}_{G2-22-4} \times k_{G2-22-4}) \end{aligned}$$

$$k_{G2-22-1} = h_{G2-22-1} - (T_a \times S_{G2-22-1})$$

$$k_{G2-22-1} = -3231 - (302.15 \times 3,714)$$

$$k_{G2-22-1} = -4353.1851 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-22-2} = h_{G2-22-2} - (T_a \times S_{G2-22-2})$$

$$k_{G2-22-2} = -3326 - (302.15 \times 5,954)$$

$$k_{G2-22-2} = -5125.0011 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-22-3} = h_{G2-22-3} - (T_a \times S_{G2-22-3})$$

$$k_{G2-22-3} = -3431 - (302.15 \times 6,018)$$

$$k_{G2-22-3} = -5249.3387 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-22-4} = h_{G2-22-4} - (T_a \times S_{G2-22-4})$$

$$k_{G2-22-4} = -2890 - (302.15 \times 3,201)$$

$$k_{G2-22-4} = -3857.18215 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-22-5} = h_{G2-22-5} - (T_a \times S_{G2-22-5})$$

$$k_{G2-22-5} = -2816 - (302.15 \times 3,209)$$

$$k_{G2-22-5} = -3785.59935 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_w^- &= (15.,730 \times (-4353.1851)) + (3.652 \times (-5249,3387)) + (35,7 \times (-3785,60)) \\ &\quad - (31.277 \times (-5125.0011)) - (23,772 \times (-3857.18215)) \end{aligned}$$

$$\dot{L}_{22} = \dot{E}_w^- = 29,324 \text{ MW}$$

III.7.10 Perte exergetique totale dans l'unité de dééthanisation

$$\dot{L}_{\text{déth}} = \sum_{i=14}^{22} \dot{L}_i$$

$$\dot{L}_{\text{déth}} = \dot{L}_{14} + \dot{L}_{15} + \dot{L}_{16} + \dot{L}_{17} + \dot{L}_{18} + \dot{L}_{19} + \dot{L}_{20} + \dot{L}_{21} + \dot{L}_{22}$$

$$\begin{aligned} \dot{L}_{\text{déth}} &= 5793.811595 + 1535.135168 + 625.1473591 + 47.497998 + 9067.097023 \\ &\quad + 347.7928905 + 566.388081 + 14.2584585 + 29324.2205 \end{aligned}$$

$$\dot{L}_{\text{refo}} = 47,32 \text{ MW}$$

III.7.11 Résultats et discussions section de dééthanisation

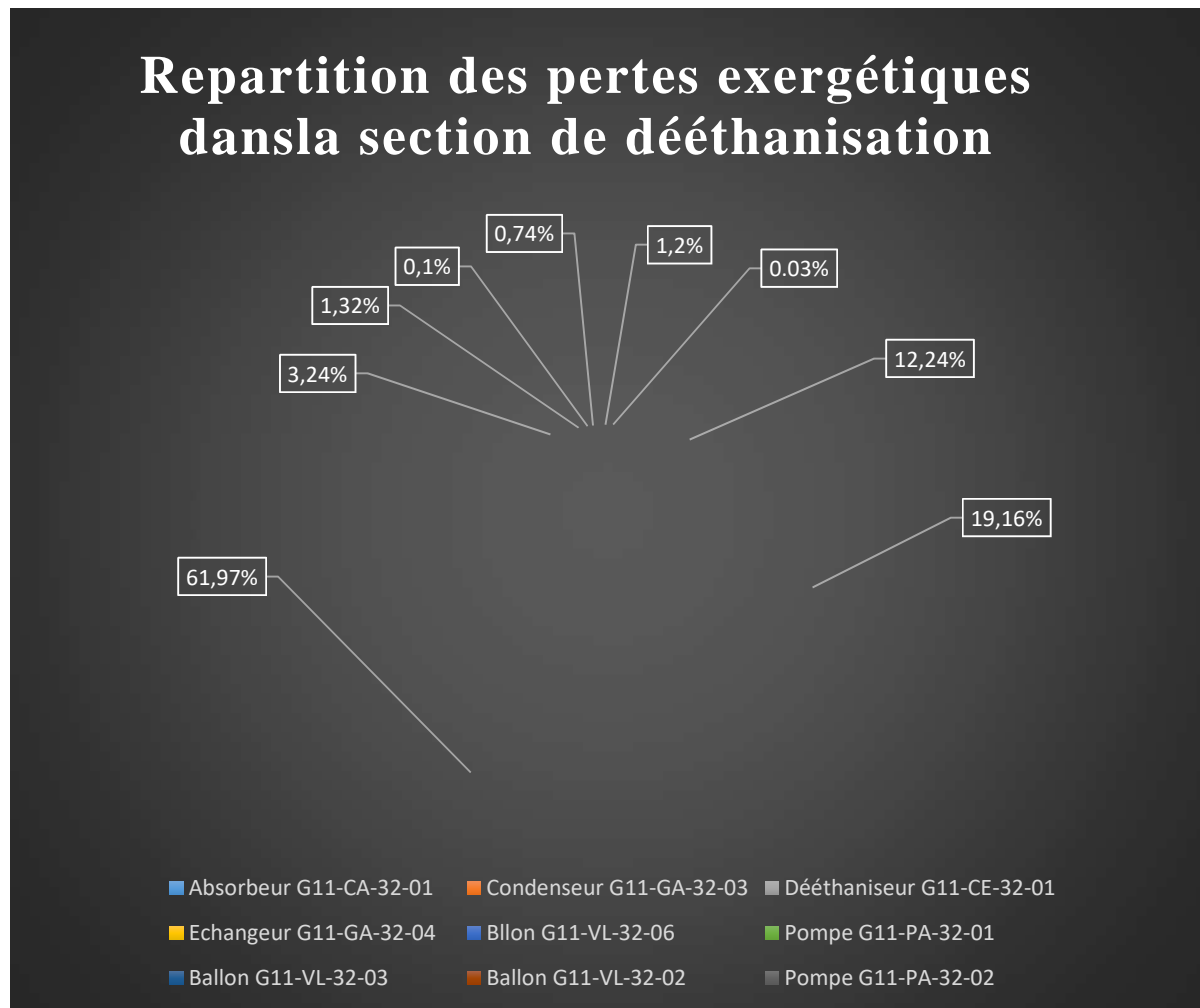


Figure III.6 : Répartition des pertes exergetiques dans la section de dééthanisation.

Interprétation des résultats

Cette partie représente le gouffre exergetique du train 2, elle est le siège de plus de 33% de la perte globale.

On comparant entre les pertes exergetique de chaque équipements qu'on a représenté ci-dessus, on constate que les équipements qui sont le siège d'irréversibilité mécanique (pompe) représente une perte exergetique relativement trop faible par rapport aux ceux qui représente une irréversibilité thermique.

Le dééthaniseur lui seul représente 61,97% de la perte totale dans cette unité et près de 30% de la perte globale, cela s'explique par le phénomène de dévalorisation d'énergie lors de transfert de chaleur entre l'huile chaude du rebouilleur qui est à une très haute température et le gaz.

III.8 Section de débutanisation

III.8.1 Débutaniseur G11-CB-32-01

point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-23-1	17	71.6	-2346	2.704	23.591	-3163.013
G2-23-2	16.8	68.66	-2281	3.068	38.138	-3207.99
G2-23-3	17	60.70	-2570	2.156	17.98	-3221.43
G2-23-4	18	158.8	-2049	1.966	2.977	-2643.026
G2-23-5	18	40	-2338	1.098	0.964	-2669.76
G2-23-6	17.8	194.2	-1853	2.218	1.429	-2523.16

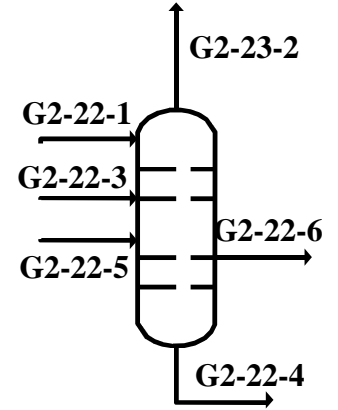


Tableau III.24 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le débutaniseur G11-CB-32-01.

La perte exergetique dans le débutaniseur :

$$\dot{L}_{23} = \dot{E}_W^-$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_W^+ = & (\dot{m}_{G2-23-1} \times k_{G2-23-1}) + (\dot{m}_{G2-23-3} \times k_{G2-23-3}) + (\dot{m}_{G2-23-5} \times k_{G2-23-5}) - \\ & (\dot{m}_{G2-23-2} \times k_{G2-23-2}) - (\dot{m}_{G2-23-4} \times k_{G2-23-4}) - (\dot{m}_{G2-23-6} \times k_{G2-23-6}) \end{aligned}$$

$$k_{G2-23-1} = h_{G2-23-1} - (T_a \times S_{G2-23-1})$$

$$k_{G2-23-1} = -2346 - (302,15 \times 2,704)$$

$$k_{G2-23-1} = -3163,013 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-2} = h_{G2-23-2} - (T_a \times S_{G2-23-2})$$

$$k_{G2-23-2} = -2281 - (302,15 \times 3,068)$$

$$k_{G2-23-2} = -3207,996 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-3} = h_{G2-23-3} - (T_a \times S_{G2-23-3})$$

$$k_{G2-23-3} = -2570 - (302,15 \times 2,156)$$

$$k_{G2-23-3} = -3221,4354 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-4} = h_{G2-23-4} - (T_a \times S_{G2-23-4})$$

$$k_{G2-23-4} = -2049 - (302,15 \times 1,966)$$

$$k_{G2-23-4} = -2643,026 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-5} = h_{G2-23-5} - (T_a \times S_{G2-23-5})$$

$$k_{G2-23-5} = -2338 - (302,15 \times 1,098)$$

$$k_{G2-23-5} = -2669,760 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-6} = h_{G2-23-6} - (T_a \times S_{G2-23-6})$$

$$k_{G2-23-6} = -1853 - (302,15 \times 2,218)$$

$$k_{G2-23-6} = -2523,168 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 15,730 \times (-3163,013) + 3,652 \times (-3207,996) + 35,660(-3221,4354) - \\ 31,277 \times (-2669,760) - 23,770 \times (-2643,026) - 1,429 \times (-2523,168)$$

$$\dot{L}_{23} = 26,4 \text{ MW}$$

III.8.2 Aéro-réfrigérant de débutaniseur G11-GC-32-02

L'aéro-réfrigérant de débutaniseur est caractérisé par :

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-24-1	-2281	3,068	38,138	-3392,91	16,8	68,66
G2-24-2	-2532	2,323	38,138	-3233,89	16,8	60

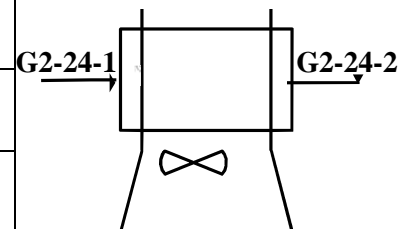


Tableau III.25 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans l'aéro-réfrigérant G11-GC-32-02.

La perte exergetique dans l'aéro-réfrigérant de débutaniseur :

$$\dot{L}_{24} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-24-1} \times (k_{G2-24-1} - k_{G2-24-2})$$

$$k_{G2-24-1} = h_{G2-24-1} - (T_a \times S_{G2-24-1})$$

$$k_{G2-24-1} = -2281 - (302,15 \times 3,068)$$

$$k_{G2-24-1} = -3392,91 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-24-2} = h_{G2-24-2} - (T_a \times S_{G2-24-2})$$

$$k_{G2-24-2} = -2532 - (302,15 \times 2,323)$$

$$k_{G2-24-2} = -3233,894 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{L}_{24} = 38,138 \times (-3207,99 + 3233,894)$$

$$\dot{L}_{24} = 0,9879 \text{ MW}$$

III.8.3 Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05

Le ballon de reflux du débutaniseur est caractérisé par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-25-1	16,8	60	-2532	2,251	38,138	-3212,44
G2-25-2	16,4	61	-2328	3,218	6,138	-4182,59
G2-25-3	16,3	60,5	-2572	2,151	32	-3221,924

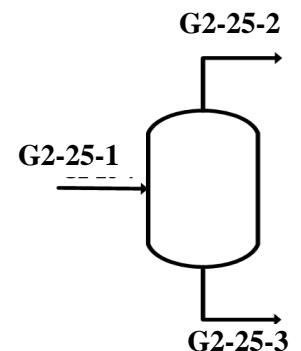


Tableau III.26 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans le ballon G11-VL-32-05.

La perte exergetique dans le ballon de reflux du débutaniseur :

$$\dot{L}_{25} = \dot{E}_k^-$$

$$\dot{E}_k^- = (\dot{m}_{G2-25-1} \times k_{G2-25-1}) - (\dot{m}_{G2-25-2} \times k_{G2-25-2}) - (\dot{m}_{G2-25-3} \times k_{G2-25-3})$$

$$k_{G2-25-1} = h_{G2-25-1} - (T_a \times S_{G2-25-1})$$

$$k_{G2-25-1} = -2532 - (302,15 \times 2,252)$$

$$k_{G2-25-1} = -3212,44 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-25-2} = h_{G2-25-2} - (T_a \times S_{G2-25-2})$$

$$k_{G2-25-2} = -2328 - (302,15 \times 6,138)$$

$$k_{G2-25-2} = -4182,596 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-25-3} = h_{G2-25-3} - (T_a \times S_{G2-25-3})$$

$$k_{G2-25-3} = -2572 - (302,15 \times 2,151)$$

$$k_{G2-25-3} = -3221,92 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_k^- = 38,13 \times (-3212,44) - 6,138 \times (-3300,31) - 32 \times (-3221,92)$$

$$\dot{L}_{25} = 6,284 \text{ MW}$$

III.8.4 Pompe de reflux de débutaniseur G11-PA-32-03

La pompe de reflux de débutaniseur est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-26-1	16,3	60,5	-2572	2,151	32	-3221,92
G2-26-2	22	60,98	-2570	2,153	32	-3220,52

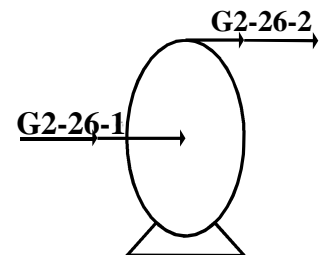


Tableau III.27 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-03.

La perte exergetique de la pompe :

$$\dot{L}_{26} = \dot{E}_{ppe}^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance travail reçue par la pompe de reflux de débutaniseur :

$$\dot{E}_{ppe}^+ = \dot{m}_{G2-26-1} \times (h_{G2-26-1} - h_{G2-26-1})$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 32 \times (-2570 + 2572)$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 0.064 \text{ MW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe de reflux de débutaniseur :

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-26-1} \times (k_{G2-26-2} - k_{G2-26-1})$$

$$k_{G2-26-1} = h_{G2-26-1} - (T_a \times S_{G2-26-1})$$

$$k_{G2-26-1} = -2572 - (302,15 \times 2,151)$$

$$k_{G2-26-1} = -3221,92 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-26-2} = h_{G2-26-2} - (T_a \times S_{G2-26-2})$$

$$k_{G2-26-2} = -2570 - (302,15 \times 2,153)$$

$$k_{G2-26-2} = -3220,52 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 32 \times (-3220,52 + 3221,92)$$

$$\dot{E}_w^- = 0,0448 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{26} = 0,0192 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique de la pompe :

$$\eta = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{26}}{\dot{E}_{ppe}^+} \right)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{0,0192}{0,064} \right)$$

$$\eta = 70 \%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_{ppe}^+} = \frac{0,0448}{0,064} = 70\%$$

III.8.5 Pompe de reflux d'iso-pentane G11-PA-32-04

La pompe de reflux d'iso-pentane est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-27-1	18	160,6	-2043	1,98	2,977	-2692,92
G2-27-2	33	164,1	-2039	1,982	2,977	-2637,86

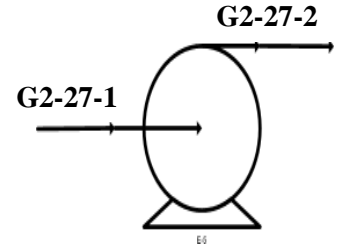


Tableau III.28 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la pompe G11-PA-32-04.

La perte exergetique de la pompe de reflux d'iso-pentane :

$$\dot{L}_{27} = \dot{E}_{ppe}^+ - \dot{E}_w^-$$

La copuissance travail reçu par la pompe d'iso-pentane :

$$\dot{E}_{ppe}^+ = \dot{m}_{G2-27-1} \times (h_{G2-27-2} - h_{G2-27-1})$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 2,977 \times (-2039 + 2043)$$

$$\dot{E}_{ppe}^+ = 0,0119 \text{ MW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe d'iso-pentane :

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-27-1} \times (K_{G2-27-2} - K_{G2-27-1})$$

$$k_{G2-27-1} = h_{G2-27-1} - (T_a \times S_{G2-27-1})$$

$$k_{G2-26-1} = -2043 - (302,15 \times 1,98)$$

$$k_{G2-26-1} = -2641,27 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-27-2} = h_{G2-27-2} - (T_a \times S_{G2-27-2})$$

$$k_{G2-26-2} = -2039 - (302,15 \times 1,982)$$

$$k_{G2-26-2} = -2637,86 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 2,977 \times (-2637,86 + 2641,25)$$

$$\dot{E}_w^- = 0,010092 \text{ MW}$$

$$\dot{L}_{27} = \dot{E}_{ppe}^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{27} = 0,00181 \text{ MW}$$

Le rendement exergetique de la pompe est :

$$\eta = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{27}}{\dot{E}_{ppe}^+} \right)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{0,001815}{0,011908} \right)$$

$$\eta = 84,75 \%$$

Vérification :

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_w^-}{\dot{E}_{ppe}^+} = \frac{0,010092}{0,011908} = 84,75\%$$

III.8.6 Batterie froide du condensat G11-GC-32-04

La batterie froide du condensat est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	S (kJ/kg,k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-28-1	19,31	194,2	-1853	2,218	1,429	-2523,16
G2-28-2	19,31	40	-2286	1,113	1,429	-2622,29

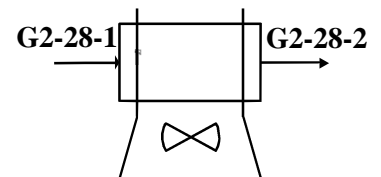


Tableau III.29 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la batterie froide G11-GC-32-04

La perte exergetique de la batterie froide :

$$\dot{L}_{28} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_w^- = \dot{m}_{G2-28-1} \times (k_{G2-28-1} - k_{G2-28-2})$$

$$k_{G2-28-1} = h_{G2-28-1} - (T_a \times S_{G2-28-1})$$

$$k_{G2-28-1} = -1853 - (302,15 \times 2,218)$$

$$k_{G2-28-1} = -2523,16 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-28-2} = h_{G2-28-2} - (T_a \times S_{G2-28-2})$$

$$k_{G2-28-2} = -2286 - (302,15 \times 1,113)$$

$$k_{G2-28-2} = -2622,29 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 1,429 \times (-2284,77 + 2622,29)$$

$$\dot{L}_{28} = \dot{E}_w^- = 0,1417 \text{ MW}$$

III.8.7 Batterie froide d'iso-pentane G11-GC-32-03

La batterie froide d'iso-pentane est caractérisée par :

Point	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg,K)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)
G2-29-1	34	164	-2039	1,982	2,977	-2637,860
G2-29-2	34	40	-2382	1,068	2,977	-2704,69

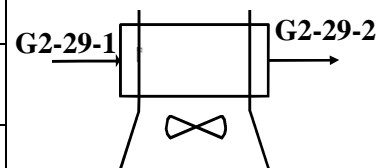


Tableau III.30 : Propriétés thermodynamiques du gaz dans la batterie froide G11-GC-32-03

La perte exergetique dans la batterie froide d'iso-pentane :

$$\dot{L}_{29} = \dot{E}_w^-$$

$$\dot{E}_W^- = \dot{m}_{G2-29-1} \times (k_{G2-29-1} - k_{G2-29-2})$$

$$k_{G2-29-1} = h_{G2-29-1} - (T_a \times S_{G2-29-1})$$

$$k_{G2-29-1} = -2039 - (302,15 \times 1,982)$$

$$k_{G2-29-1} = -2637,860 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-29-2} = h_{G2-29-2} - (T_a \times S_{G2-29-2})$$

$$k_{G2-29-2} = -2382 - (302,15 \times 1,068)$$

$$k_{G2-29-2} = -2704,69 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_W^- = 2,977 \times (-2637,86 + 2704,69)$$

$$\dot{L}_{29} = \dot{E}_W^- = 0,1989 \text{ MW}$$

III.8.8 Perte exergetique dans l'unité de débutanisation

$$\dot{L}_{debt} = \dot{L}_{23} + \dot{L}_{24} + \dot{L}_{25} + \dot{L}_{26} + \dot{L}_{27} + \dot{L}_{28} + \dot{L}_{29}$$

$$\dot{L}_{debt} = 26413,763 + 987,92 + 6283,8770 + 19,20 + 1,815 + 141,656 + 198,95$$

$$\dot{L}_{debt} = 34047,341 \text{ kW}$$

$$\dot{L}_{debt} = 34,0473 \text{ MW}$$

III.8.9 Résultats et discussions de l'unité débutanisation

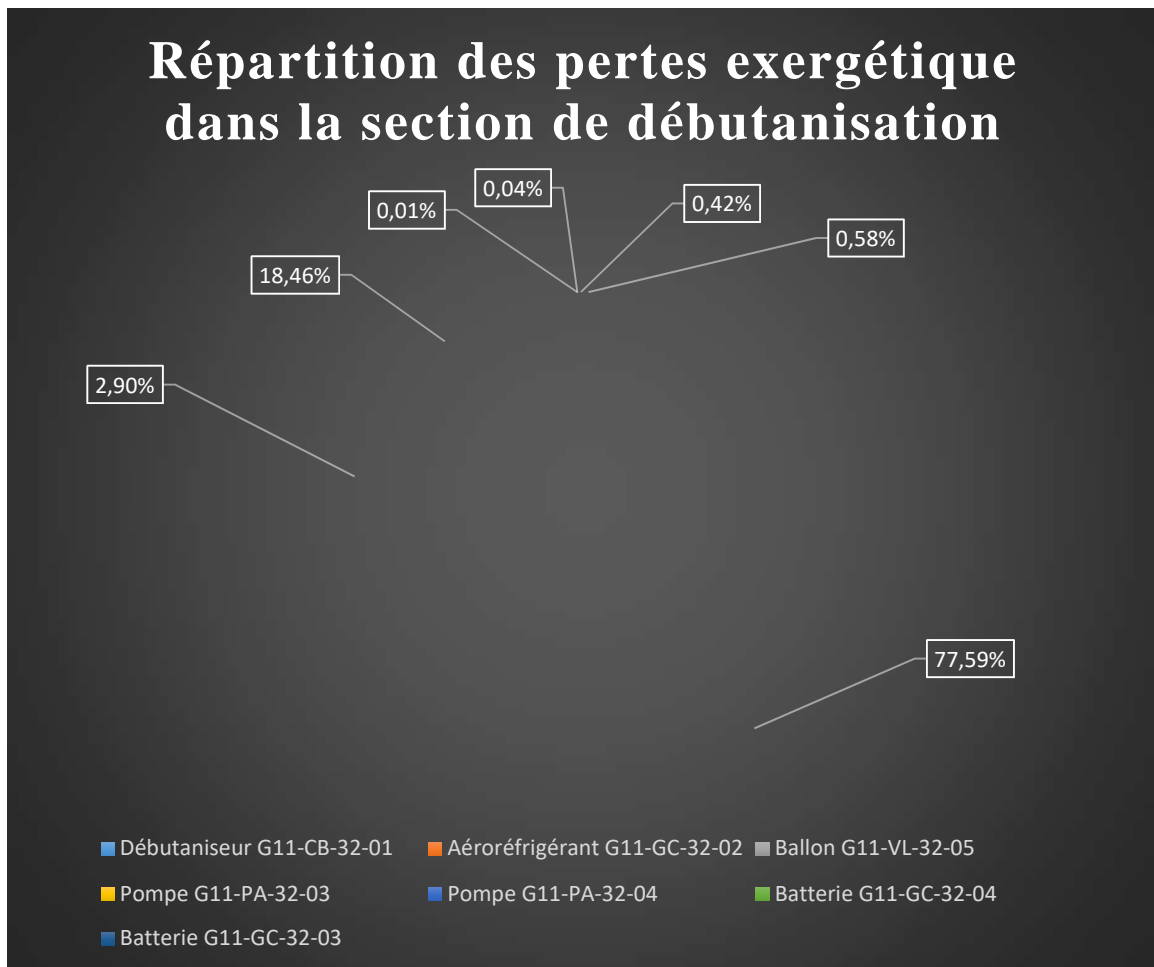


Figure III.6 : Répartition des pertes exergetiques dans la section de débutanisation.

Interprétation des résultats

Dans cette unité on peut dire aussi que la perte est importante elle représente presque 28% de la perte globale.

Le débutaniseur est l'équipement qui détruit la plus grande part d'exergie dans cette unité, cette perte est causée par le même phénomène qu'on a cité dans le dééthaniseur.

Les deux pompe on peut dire que leurs perte est quasiment nulle. C'est une perte causé par une irréversibilité mécanique.

Les deux batteries froides ce sont le siège d'une irréversibilité liée au transfert de chaleur et au phénomène de changement de phase.

III.9 Bilan de l'installation

III.9.1 : Perte exergetique globale

La perte exergetique globale de l'installation est :

$$\dot{L}_{glob} = \sum_{i=1}^{29} \dot{L}_i$$

$$\begin{aligned} \dot{L}_{glob} = & \dot{L}_1 + \dot{L}_2 + \dot{L}_3 + \dot{L}_4 + \dot{L}_5 + \dot{L}_6 + \dot{L}_7 + \dot{L}_8 + \dot{L}_9 + \dot{L}_{10} + \dot{L}_{11} + \dot{L}_{12} + \dot{L}_{13} + \dot{L}_{14} + \dot{L}_{15} + \dot{L}_{16} \\ & + \dot{L}_{17} + \dot{L}_{18} + \dot{L}_{19} + \dot{L}_{20} + \dot{L}_{21} + \dot{L}_{22} + \dot{L}_{23} + \dot{L}_{24} + \dot{L}_{25} + \dot{L}_{26} + \dot{L}_{26} + \dot{L}_{27} \\ & + \dot{L}_{28} + \dot{L}_{29} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{L}_{glob} = & 2491,389 + 10520,38 + 2224,27 + 1468,56 + 692,47 + 3018,542 + 1092,94 \\ & + 2518,42 + 1410,73 + 871,08 + 864,8 + 1452,58 + 840,85 + 5793,81 \\ & + 1535,94 + 625,15 + 47,50 + 9067,1 + 345,79 + 566,39 + 14,26 \\ & + 29324,22 + 26413,763 + 987,92 + 6283,8770 + 19,20 + 1,815 \\ & + 141,656 + 198,95 \end{aligned}$$

$$\dot{L}_{glob} = 110834,512 \text{ kW}$$

$$\dot{L}_{glob} = 110,835 \text{ MW}$$

La perte exergetique dans toute l'installation est la somme de la perte globale de chaque trainalors :

$$\dot{L}_{glob} = 110834,512 \times 3$$

$$\dot{L}_{glob} = 332503,536 \text{ kW}$$

$$\dot{L}_{glob} = 332,504 \text{ MW}$$

III.10 Analyse des résultats

Dans notre étude on a traité deux types d'irréversibilités :

- **Les irréversibilités mécaniques** : c'est le phénomène de dissipation d'énergie dû aux frottements conduisant à la diminution de la qualité caractéristique d'un transfert de travail ou de masse.
- **Les irréversibilités thermiques** : c'est le phénomène de dévalorisation d'énergie dû aux chutes de température qui accompagne un transfert de chaleur

Ces deux irréversibilités mécaniques et thermiques s'accompagnent d'une production d'entropie.

La perte exergetique dans le train est énorme dans l'unité de dééthanisation et de débutanisation, et plus exactement dans le dééthaniseur et le débutaniseur, elle représente presque 65% de la perte globale.

On justifie cette perte dans les deux colonnes de distillation (dééthaniseur et débutaniseur) par l'irréversibilité thermique opérant dans les transferts de chaleur entre l'huile chaude du rebouilleur et le gaz.

En effet l'irréversibilité thermique est le concept qui conduit à la notion du niveau d'une énergie puisque le phénomène naturel opère spontanément le passage de la chaleur d'une haute température vers une température plus basse, on conclut qu'une énergie chaleur et d'autant plus précieuse que le niveau de température auquel elle existe est élevé.

Par contre la perte exergetique due à l'irréversibilité mécanique est faible et on peut dire même négligeable devant celle causée par l'irréversibilité thermique.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'Algérie par le biais de la société nationale SONATRACH a mis en place un important plan développement actuellement en cours de réalisation pour la valorisation des produits liquides, et ce par la construction des centres de traitement du gaz et fractionnement des produits finis.

Actuellement, la crise du pétrole (diminution des réserves et augmentations de prix de revient) a donné une importance croissante au gaz naturel comme source d'énergie alternative. C'est la moins polluante et la plus performante des énergies fossiles. Une énergie d'avenir en plein développement.

Le GPL est devenu de plus en plus demandé par secteurs utilisant ce dernier comme source d'énergie. Les deux tiers environ de GPL dans le monde sont produits à partir des usines de gaz naturel, et un tiers est issu des raffineries de pétrole brut.

Dans le cadre du présent travail, nous avons effectué une étude énergétique et exergetique d'une installation de traitement de GPL. Dans le but de localiser les irréversibilités qui apparaissent lors du fonctionnement des équipements et les réduire éventuellement.

La théorie de l'exergie permet de démystifier certaines démarches techniques qui paraissent rentables du point de vue financier, mais qui sont en réalité très défavorables au point de vue de l'économie de l'énergie. De ce fait, elle contribue donc à lutter contre le gaspillage de l'énergie en incitant les praticiens à réaliser des opérations aussi peu irréversible que possible.

Enfin, en localisant les éléments défaillants au sens thermodynamique, elle permet d'orienter et de canaliser les efforts les efforts d'optimisation de chaque équipement de l'installation. Alors l'exergie apparait donc d'une importance majeure au point de vue économique. Il est largement reconnu que la théorie de l'exergie est extrêmement féconde et que ses implications et ses conséquences sont étudiées et développées dans divers pays.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : Exergie et Efficacité Energétique – exemple de Cogénération.
- [2] : Alexander. R «Le Gaz Naturel : Production, Traitement et Transport », publié par Technip, 1994.
- [3] : Benyoucef.B, Bendahou.A « Optimisation des Paramètres de Fonctionnement de Débutaniseur GPL » Mémoire de fin de cycle, juin 2019.
- [4] : Wuithier.P « Le pétrole, raffinage et génie chimie » Edition Technip, Paris 1972.
- [5] : Manuel Operatoire « Extraction des liquides des gaz associés Hassi Messaud et separation d’huile LDHP, Z-CINA » ENC 08 1046Z Sonatrach
- [6] : T.J.Kotas,-The exergy Method of Thermal plant Analysis - Krieger, Malaber (Florida), (1995)
- [7] : Borel L, Nguyen D. L, Batato.M « Thermodynamique et Energétique, Vol2. Presses polytechniques romandes, Lausanne 1987.
- [8] : Gilbert Riollet « Thermodynamique appliqué Energie, Entropie, Exergie- Techniques de l’ingénieur, traité Génie Energétique B1211 » .Ecole Centrale des Arts et Manufactures.
- [9] : Djerrada.A « cours installation énergétique II exergie. » DGM/FT/UAMB
- [10] : Pierre petit, Liquéfaction du gaz naturel : Techniques de l’ingénieur [article J-3601,2005].
- [11] : Feridt, M-Thermodynamique et optimisation énergétique des systèmes et procédés. Technique & documentation, Paris, 1996.
- [12] : « Facts & figures l’exergie concept, enjeux et usages pour l’industrie » avril 2013.
- [13] : Melle OURZIFI.A « Etude du fonctionnement de la turbine à gaz PGT25+DLE avec le gaz résiduel comme gaz combustible.» Ecole de Boumerdes.

Résumé

Notre travail a été élaboré suite à un stage pratique effectué à l'unité de l'exportation et production, une unité d'extraction des liquides de gaz associés destinée à recevoir des gaz associés valorisables Z-CINA Sonatrach à Hassi Massoud. L'objectif principal de notre étude consiste à disposer un diagnostic énergétique pour l'installation, afin de déterminer les pertes exergétique globale dans cette installation ainsi leurs nature.