

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : ÉNERGÉTIQUE

PAR :

AMAOUCHE MAHDI

MALEK NABIL

Thème

Analyse énergétique et exergétique d'un process de traitement de gaz – Sonatrach Zcina Hassi Messaoud

Soutenu le 19 Juin 2017 devant le jury composé de:

Mr. SADAoui

Président

Mr. DJERRADA

Rapporteur

Mr. BENSLIMANE

Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2016-2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier dieu tout puissant de nous avoir donné la force pour réaliser
ce mémoire

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et nos
Sincères remerciements à nos très chers parents, votre courage, vos
sacrifices ont été pour nous le meilleur soutien durant ce long
parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande reconnaissance
pour ce que vous avez entrepris à notre égard, et un fruit de toutes
Vos prières et vos efforts.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. A. DJERRADA, pour
l'intérêt porté à notre travail, sa disponibilité, ses conseils précieux et
Surtout sa grande patience.

Nos vifs remerciements vont aussi à Mr H. AKOUCHE,
Mr. M. DJOUAHAR et Mr A. BOUDJEMAA, qui nous ont guidés dans la réalisation de
ce sujet et pour leurs meilleurs accueils toujours réservé au complexe Zcina.
Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la
réalisation de ce travail.

Merci.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents qui ont toujours été la
Pour moi et qui m'ont donné un magnifique modèle
De labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront
dans ce travail toute ma reconnaissance

Et tout mon amour.

A mes chères sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis (es).

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents qui ont toujours été la
Pour moi et qui m'ont donné un magnifique modèle
De labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront
dans ce travail toute ma reconnaissance

Et tout mon amour.

A mon frère et ma chère sœur

A toute ma famille

A tous mes amis (es).

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de l'installation

I.1 Présentation de l'entreprise.....	3
I.2 Généralités sur le champ de Hassi Messaoud.....	3
I.3 Présentation de l'unité GPL ZCINA.....	5
I.3.1 But de l'usine GPL ZCINA	5
I.3.2 Description générale de l'installation	5
I.3.3 Description des unités de l'usine de Zcina.....	6
I.3.3.1 Séparation d'entrée.....	7
I.3.3.2 Compression du gaz de charge	7
I.3.3.3 Conditionnement du gaz	8
I.3.3.4 Déshydratation du gaz de charge.....	8
I.3.3.5 Unité de refroidissement du gaz	9
I.3.3.6 Unité de dééthanisation	10
I.3.3.7 Unité de débutanisation	11
Conclusion.....	12

Chapitre II : Approche énergétique et approche exergetique

II.1 Introduction.....	13
II.2 Approche énergétique	13
II.2.1 Bilan énergétique	13
II.2.2 Puissance transformation et réseau	14
II.2.3 Efficacité ou rendement thermique	15
II.3 Approche exergetique.....	16
II.3.1 Bilan exergetique	17
II.3.2 Expression générale	20
II.3.3 Rendement exergetique.....	20
Conclusion.....	21

Chapitre III : Analyse énergétique et exergetique de l'installation

III.1 Introduction	22
--------------------------	----

III.2 Description superficielle de l'installation	22
III.3 Analyse exergetique de section de compression.....	24
III.3.1 Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01	24
III.3.2 Réfrigérant du compresseur de gaz de charge G05-GC-23-01	26
III.3.3 Ballon de refoulement du compresseur G05-VD-23-02.....	27
III.3.4 Perte exergetique totale dans l'unité de compression	28
III.5 Analyse exergetique de la section de déshydratation.....	29
III.5.1 Sécheur en phase de déshydratation G11-VK-24-01	29
III.5.2 Sécheur en phase de régénération G11-VK-24-01	30
III.5.3 Ballon de séparation de gaz de régénération G11-VD-24-01.....	31
III.5.4 Aéroréfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01	32
III.5.5 Perte exergetique totale dans l'unité de déshydratation.....	33
III.6 Analyse exergetique de la section de refroidissement	35
III.6.1 Echangeur (gaz de charge/gaz résiduel) G11-GA-32-02(A/B)	35
III.6.2 Echangeur (gaz de charge/charge du dééthaniseur) G11-GA-32-01	37
III.6.3 Ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VI-32-01	39
III.6.4 Expandeur de gaz résiduel G11-KH-32-01	40
III.6.5 Recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01	41
III.6.6 Aéroréfrigérant de gaz résiduel G11-GC-32-01	43
III.6.7 Perte exergetique totale dans l'unité de refroidissement.....	44
III.7 Analyse exergetique de la section de dééthanisation	45
III.7.1 Absorbeur G11-CA-32-01	45
III.7.2 Echangeur de tête de l'absorbeur G11-GA32-04	47
III.7.3 Ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06	49
III.7.4 Pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01.....	50
III.7.5 Condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03.....	51
III.7.6 Ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03	53
III.7.7 Ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02.....	54
III.7.8 Pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02.....	56
III.7.9 Dééthaniseur G11-CE-32-01	57
III.7.10 Perte exergetique totale dans l'unité de dééthanisation.....	59
III.8 Section de débutanisation.....	60

III.8.1 Débutaniseur G11-CB-32-01	60
III.8.2 Aéroréfrigérant de débutaniseur G11-GC-32-02.....	62
III.8.3 Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05.....	63
III.8.4 Pompe de reflux de débutaniseur G11-PA-32-03.....	64
III.8.5 Pompe de reflux d'isopontane G11-PA-32-04	66
III.8.6 Batterie froide du condensat G11-GC-32-04.....	67
III.8.7 Batterie froide d'isopontane G11-GC-32-03	68
III.5.5 Perte exergétique totale dans l'unité de débutanisation.....	69
III.9 Bilan de l'installation	71
III.9.1 Perte exergétique globale	71
III.10 Analyse des résultats	72
<i>Conclusion générale</i>	73

Bibliographie

Annexe

Résumé

Nomenclature

<u>Symbole</u>	<u>définitions</u>	<u>Unités (SI)</u>
\dot{E}_K^+	Puissance – travail reçue de l'élément K	W
\dot{E}_K^-	Puissance – travail fournie par l'élément K	W
\dot{E}_{eK}^+	Puissance – travail effective reçue de l'élément K	W
\dot{E}_{qi}^+	Copuissance-chaleur reçue par la source (i) à T_i	W
\dot{E}_{qi}^-	Copuissance-chaleur cédé par (i) la source a T_i	W
\dot{E}_{wn}^+	Copuissance-transformation reçue au niveau du réseau n	W
\dot{E}_{wn}^-	Copuissance-transformation fournie au niveau du réseau n	W
g	Accélération de la pesanteur	$m.s^{-2}$
h_{cz}	Enthalpie massique totale du fluide	$J.kg^{-1}$
J_{cz}	Coénergie totale	J
k_{cz}	Coenthalpie totale massique	$J.kg^{-1}$
\dot{L}	Perte exergétique globale, en puissance	W
\dot{M}_j^+	Débit massique reçue au niveau de la section j	$kg.s^{-1}$
P_a, P_0	Pression atmosphérique	Pa

\dot{Q}_i^+	Puissance-chaleur reçue de la source (i)	W
\dot{Q}_a^+	Puissance-chaleur reçue de l'atmosphère	W
S	Entropie massique du système	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
\dot{S}_e	Entropie massique due aux opérations externe	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
\dot{S}_i	Entropie due aux irréversibilités des opérations internes	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
S _j	Entropie massique du fluide au droit de la section j	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
t	Temps	s
T	Température	K
T _i	Température de la 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 _{cz}	Energie interne totale massique	J.kg ⁻¹
u _{ecz}	Energie interne effective massique	J
V	Volume massique	m ³ .kg ⁻¹
\dot{W}_e^+	Puissance-transformation reçue	W

\dot{W}_e^-	Puissance-transformation cédée	W
---------------	--------------------------------	---

\dot{W}_e^+	Puissance-transformation effective reçue	W
---------------	--	---

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)

Liste des tableaux

Tableau III.1 : propriétés thermodynamique du gaz dans le compresseur G05-MB-23-01....	24
Tableau III.2 : propriétés thermodynamique du gaz dans le réfrigérant G05-GC-23-01.....	26
Tableau III.3 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G05-VD-23-02	27
Tableau III.4 : propriétés thermodynamique du gaz dans le sécheur (deshy)	
G11-VK-24-01.....	29
Tableau III.5 : propriétés thermodynamique du gaz dans le sécheur (regé)	
G11-VK-24-01.....	30
Tableau III.6 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant G11-GC-24-01..	31
Tableau III.7 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VD-24-01.....	32
Tableau III.8 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-02.....	35
Tableau III.9 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-01.....	37
Tableau III.10 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VI-32-01.....	39
Tableau III.11 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'expandeur G11-KH-32-01.....	40
Tableau III.12 : propriétés thermodynamique du gaz dans le recompresseur	
G11-KA-32-01.....	41
Tableau III.14 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant	
G11-GC-32-01.....	43
Tableau III.15 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'absorbeur G11-CA-32-01.....	45
Tableau III.16 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA32-04.....	47
Tableau III.17 : propriétés thermodynamique du gaz dans ballon G11-VL-32-06.....	49
Tableau III.18 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-01.....	50
Tableau III.19 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-03.....	51
Tableau III.20 : propriétés thermodynamique du gaz dans ballon G11-VL-32-03.....	53
Tableau III.21 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VL-32-02.....	54
Tableau III.22 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-02.....	56
Tableau III.23 : propriétés thermodynamique du gaz dans le dééthaniseur	

G11-CE-32-01.....	57
Tableau III.24 : propriétés thermodynamique du gaz dans le débutaniseur	
G11-CB-32-01.....	60
Tableau III.25 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant	
G11-GC-32-02.....	62
Tableau III.26 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VL-32-05.....	
Tableau III.27 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-03.....	
Tableau III.28 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-04.....	
Tableau III.29 : propriétés thermodynamique du gaz dans la batterie froide	
G11-GC-32-04.....	67
Tableau III.30 : propriétés thermodynamique du gaz dans la batterie froide	
G11-GC-32-03.....	68

Lettre grecs

Symboles	Définition
ξ, η	Efficacité, rendement
θ	Facteur de Carnot

Liste des figures :

Figure I.1 : Situation géographique du champ Hassi Messaoud	4
Figure II.1 : Système thermodynamique quelconque.....	13
Figure II.2 : Système thermodynamique quelconque.....	17
Figure III.1: Répartition de la perte exergétique dans la section de compression.....	28
Figure III.2: Répartition des pertes exergétiques dans la section de déshydratation.....	34
Figure III.3: Répartition des pertes exergétiques dans l'unité refroidissement.....	44
Figure III.4: Répartition des pertes exergétiques dans l'unité de dééthanisation.....	59
Figure III.5: Répartition des pertes exergétiques dans l'unité de débutanisation.....	70
Figure III.6: Perte exergétique global	72

Introduction générale

Introduction générale

Le gaz naturel est une énergie d'utilisation souple, offrant des réserves abondantes et émettant moins de CO₂ par rapport aux autres énergies. Il permet d'aider à répondre à l'accroissement de la demande énergétique mondiale, tout en répondant aux besoins de respect de l'environnement.

Les coûts techniques de production, de traitement et surtout de transport du gaz naturel restent toutefois élevés et représentent un handicap de taille. Cette difficulté est d'autant plus réelle que la plus grande part des réserves de gaz naturel est située en mer ou dans des zones difficiles [2].

Le gaz naturel à sa sortie des puits ne peut être transporté ou commercialisé avant qu'il ne soit traité.

Pour amener le gaz à des spécifications de transport et aux exigences commerciales, le gaz subit différentes opérations pour séparer au moins partiellement certains des constituants présents à la sortie des puits tels que l'eau, les gaz acides et les hydrocarbures lourds.

La répartition de ces traitements entre les lieux de production et de livraison résulte de considérations économiques. Il est généralement préférable de ne réaliser sur le site de production que les traitements qui rendent le gaz transportable.

Le rôle essentiel de l'unité de traitement est de séparer la partie liquide (condensât+GPL+eau) de la partie gazeuse (gaz humide) en première étape, et de le traiter séparément, en deuxième étape, en vue de produire du condensât, du GPL et du gaz sec conformes à certaines spécifications. Celles-ci doivent être respectées dans le but de faciliter le transport et le stockage, d'une part, et la commercialisation de ces produits en tant que produits finis ou semi – finis d'autre part.

La chaîne de traitement du gaz naturel, depuis la tête de puits jusqu'à une utilisation commerciale, comporte plusieurs étapes successives qui vont dépendre de la nature du gaz (composition H₂S, CO₂, COS, mercaptans, hydrocarbures lourds, aromatiques...), des conditions de disponibilité (température, pression, débit), de l'application visée (gaz naturel liquéfié ou non) et des spécifications imposées, du fait de

l'application visée mais aussi variables selon les pays. Le choix des technologies est donc dépendant de critères techniques mais aussi de critères économiques [4].

L'objectif de la chaîne de traitement du gaz est de :

- désacidifier le gaz brut (élimination du CO_2 et de l' H_2S) afin de répondre aux spécifications requises pour une utilisation, mais aussi afin de pouvoir transporter le gaz ou le liquéfier.
- éliminer les composés soufrés tels que les mercaptans, le sulfure de carbone (COS) ou le disulfure de carbone (CS_2) qui sont présents en faibles teneurs mais contribuent à la teneur en soufre total dans le gaz.
- déshydrater le gaz.
- dégaser le gaz traité afin de récupérer les hydrocarbures liquides valorisables.
- traiter le gaz acide issu de l'étape de désacidification par une chaîne de production du soufre permettant de minimiser les rejets de gaz soufrés à l'atmosphère (H_2S , SO_2) [4].

Notre travail consiste à faire une analyse énergétique et exergétique du process cité ci-dessus.

En effet, une analyse exergétique peut être utilisée pour évaluer les pertes exégétiques 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 cout d'investissement réduit.

Notre travail, élaboré à l'issue d'un stage pratique au niveau de l'unité de production du GPL Zcina Hassi Messaoud, consiste en une étude énergétique et exergétique du train 2.

Le travail est subdivisé en trois chapitres :

Le premier est consacré à la description de l'installation Zcina Hassi Messaoud

Le deuxième présente un aperçu général sur les notions d'énergie et au concept d'exergie.

Le troisième présente la partie calcul où on a mis en œuvre les approches énergétiques et exergétique pour évaluer les performances des équipements.

Enfin, nous terminerons par une conclusion.

Chapitre I

Présentation de l'installation

I.1 Présentation de l'entreprise

SONATRACH (Société Nationale pour la recherche, la production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures) est une entreprise publique algérienne créée le 31 décembre 1963, un acteur majeur de l'industrie pétrolière surnommé la major africaine.

La division exploration production (E&P) est l'une des très importantes structures de la SONAGRAPHE. Elle opère sur tous les champs du pétrole et du gaz.

La direction régionale de Hassi Messaoud est une structure de E&P, qui réalise les projets de développement, d'exploitation et de traitement de brut du champ. Plusieurs nouveaux projets ont été réalisés et mis en service, parmi ces projets les deux unités de Hassi Messaoud :

1. Unité de traitement du brut stable « UTBS »
2. Unité d'extraction des liquides et gaz associés et séparation d'huile « ZCINA »

I.2 Généralités sur le champ de 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 HMD fut découvert par deux compagnies françaises CFPA (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.

Le 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.



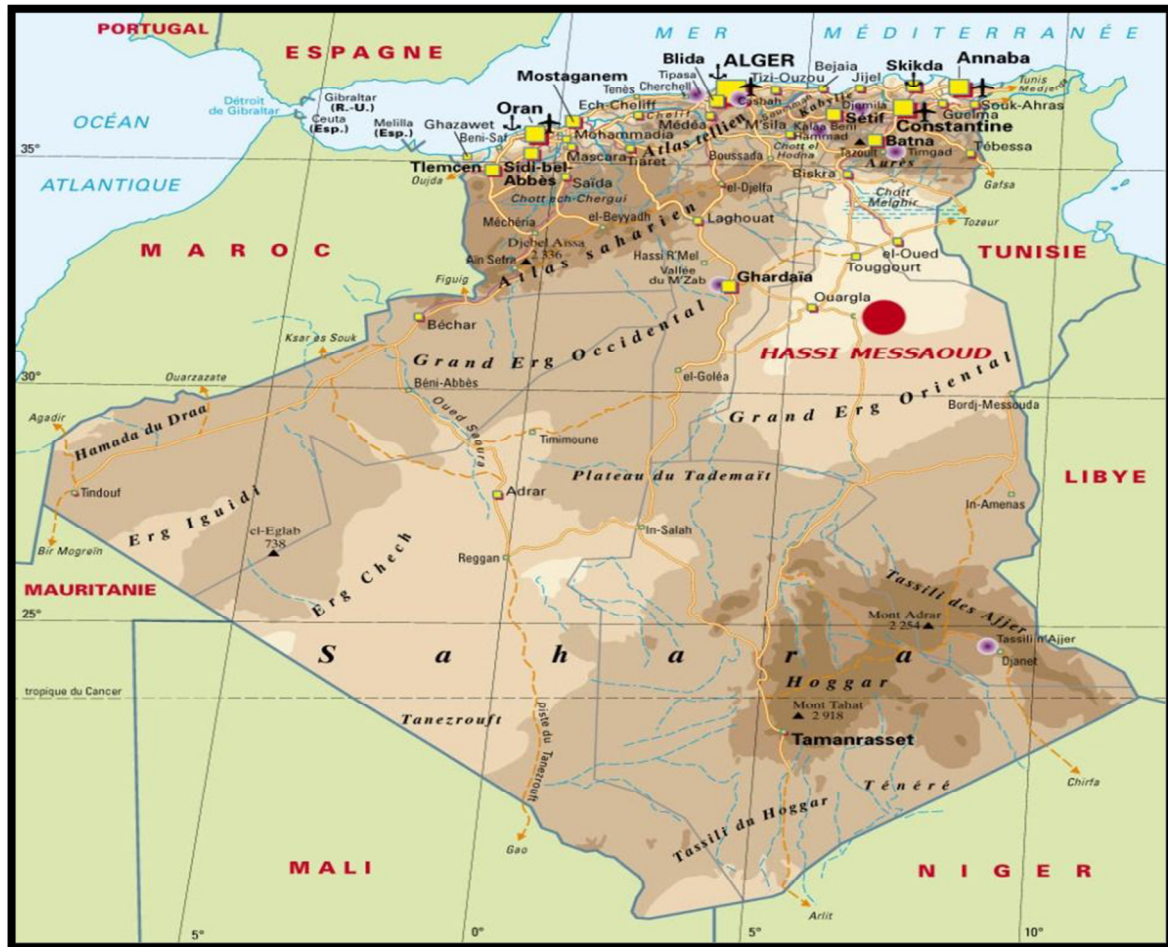


Figure I.1 : situation géographique du champ Hassi Messaoud.

À partir de 1968 le rythme des forages s'est développé avec une moyenne de 32 puits par ans, et la production a atteint le seuil de 32,2 millions de tonnes en 1970. Après la nationalisation des hydrocarbures le 24 février 1971, les forages n'ont pas cessé de se multiplier, pour atteindre en 1977 une moyenne de 34 puits par an.

I.3 Présentation de l'unité GPL ZCINA

I.3.1 but de l'usine GPL ZCINA

Sonatrach a décidé de réaliser une nouvelle unité d'extraction des liquides de gaz associés sur le champ de Hassi Messaoud Nord, dénommé GPL ZCINA (nouvelle Zone Centre Industriel (Naili Abdelhalim)).

GPL ZCINA est une unité d'extraction des liquides de gaz associés destinés 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. Une partie du gaz de charge de l'usine GPL peut aussi provenir de l'unité de séparation d'huile LDHP également située à ZCINA.

I.3.2 Description générale de l'installation

Cette usine comprend notamment :

- Des connexions à la ligne existante de 40'' de gaz associés de CINA,
- Une section de réception du gaz de charge
- Une unité de compression du gaz de charge
- Trois trains de traitement de gaz incluant une section de déshydratation du gaz, une section de récupération des liquides, une section de séparation. Des GPL et des condensats et un système d'huile chaude.
- Des stockages et une pomperie d'expédition d'isopentane.
- Des stockages et une pomperie d'expédition des condensats.
- Des systèmes d'utilités.
- Des systèmes de torche.
- Des lignes d'expédition des produits (GPL, condensats).
- Des infrastructures et des bâtiments.

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 depuis la ligne existante allant aux

sections de réinjections 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 absorbeur et le liquide obtenu est strippé dans un dééthaniseur pour extraire les liquides contenus dans le gaz de charge. 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 recompressé dans la ligne existante de gaz allant aux sections de réinjections 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.

I.3.4 DESCRIPTION DES UNITÉS DE L'USINE GPL ZCINA

Cette section a pour but de rappeler les objectifs de chacune des installations de l'usine GPL ZCINA afin d'extraire les liquides des gaz associés provenant des installations de traitement de brut de CINA.

L'ouvrage comporte :

- Des unités procéder :

- Systèmes d'alimentation en gaz :
 - Canalisation de gaz de charge depuis CINA
 - Séparation d'entrée
- Compression du gaz de charge
- Déshydratation du gaz de charge
- Systèmes d'alimentation en liquides :
 - Import & distribution de condensats M4 de CINA
- Trains de traitement des liquides :
 - Section de refroidissement et Section de dééthanisation
 - Section de débutanisation
- Stockage et expédition des produits liquides :
 - Stockage, export et recyclage de GPL
 - Canalisation d'export de GPL
 - Stockage, export et recyclage des condensats
 - Canalisation d'export des condensats
- Système d'expédition des produits gazeux :

- Canalisation d'export de gaz résiduel
- Des unités utilités :
 - Système gaz combustible
 - Système d'huile chaude
 - Systèmes de torche
 - Système d'injection de produits chimiques
 - Air instrument / Air service
 - Azote
 - Drains fermés
 - Drains ouverts
 - Traitement des eaux huileuses
 - Diesel
 - Eau brute et eau potable

I.3.4.1 Séparation d'entrée

Cette unité est commune à tout le complexe de GPL ZCINA.

Le séparateur d'entrée G01-VL-20-01 reçoit le gaz de charge acheminé par la canalisation de 40" depuis CINA, il sépare le gaz, dirigé vers la section de compression, de la phase aqueuse, et puis le ballon de flash des condensats d'entrée G01-VD-20-01 reçoit le liquide du séparateur d'entrée G01-VL-20-01. 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.

I.3.4.2 Compression du gaz de charge

Après la première séparation, le gaz est envoyé sur le collecteur commun d'aspiration des compresseurs de gaz de charge G05/G06/G07/G08-KA-23-01. L'ensemble du gaz se répartit sur les quatre trains de compression (le 4ème train de compression est utilisé comme secours).

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.

I.3.4.3 Conditionnement du gaz

Compresseur

Le gaz de charge provenant du ballon d'aspiration G0X-VD-23-01 est comprimé dans le compresseur G0X-23-KA- 01, le compresseur est entraîné par la turbine à gaz G0X-DMT 23-01. 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 [8].

Est puis il s'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.

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.

Refoulement et refroidissement du gaz

Au refoulement du compresseur G0X-KA-23-01, le gaz est refroidi à travers l'aéroréfrigérant 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.3.4.4 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.

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. 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 sécheurs 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)[8]. 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 par Une partie du gaz sec qu'est utilisée en tant que gaz de régénération. Ce débit constant, correspondant environ à 17 % du débit nominal de gaz déshydraté. Un autre sécheur, pour lequel les étapes de régénération sont terminées, remplace le sécheur précédemment en mode d'adsorption. Le gaz sec et filtré alimente ensuite la section de refroidissement

I.3.4.5 Unité de refroidissement du gaz

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. En mode de fonctionnement "Joule-Thomson" (c'est-à-dire lorsque l'expandeur est à l'arrêt), l'échangeur G1XGA- 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. 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-01036 (vanne JT, mode Joule-Thomson) [7]. 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 G1XVL- 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 biphasique 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) [8]. Les condensats recueillis au niveau du ballon d'alimentation de l'expandeur G1X-VL-32-01 sont détendus et combinés avec le flux biphasique au refoulement de l'expandeur pour alimenter la colonne d'absorption G1X-CA- 32-01 [7].

I.3.4.6 Unité 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. 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. 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 [7].

I.3.4.7 Unité de débutanisation – Séparation des liquides

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. L'isopentane 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.

La pression du débutaniseur est maintenue à 16.9 bar par la vanne de contrôle de tête de colonne. Le gaz de tête est totalement condensé dans l'aéroréfrigérant 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 [7].

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'aéroréfrigérant d'isopentane G1X-GC-32-03[7]. 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 G1X-CB-32-01.

En fonctionnement normal une température de 194 °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.

La partie non vaporisée dans le rebouilleur G1X-GA-32-06 constitue la production en condensat du débutaniseur.

Le condensat est envoyé sous pression vers l'aéroréfrigérant G1X-GC-32-04 où il est refroidi à 60 °C[7]. En condition normale, la production en condensat du train est dirigée sur le collecteur commun de condensats "aux spécifications" puis envoyée vers la section de stockage et d'export du condensat.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit l'installation et le principe de fonctionnement des différents équipements, nous allons exposer dans le deuxième chapitre un aperçu sur l'approche énergétique et exergetique.

Chapitre II

Approche énergétique et Exergétique

II.1 Introduction

Un système thermodynamique quelconque possède une certaine énergie qui lui permet de fournir un travail à l'extérieur.

L'analyse énergétique classique ne nous permet pas d'évaluer le niveau ou bien la qualité de notre énergie, c'est pour cette raison que nous faisons appel à une grandeur de mesure de ces derniers qu'on appelle exergie.

L'exergie est le maximum de travail qu'on peut extraire d'une quantité d'énergie.

II.2 Approche énergétique

II.2.1 Bilan énergétique

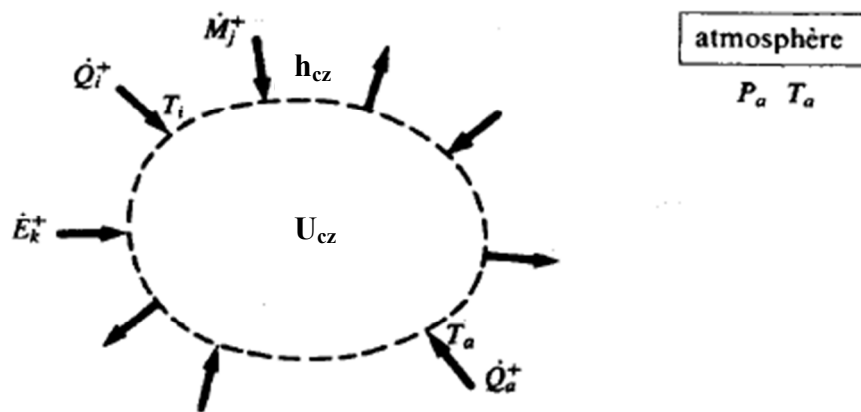


Figure II.1 : Système thermodynamique quelconque [1].

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

En vertu du premier principe de la thermodynamique le bilan énergétique en puissance, s'écrit [1] :

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

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 .

M_j^+ : Débit masse reçue par le système au niveau de l'orifice T_j .

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

Comme notre système se trouve dans un milieu à pression P_a , donc son volume V augmente de dv une puissance travail $P_a (dv/dt)$ est donné par le système à ce milieu, cette puissance nous nous intéresse pas, celle qui nous intéresse est la puissance effective que nous fournie le système qui peut être défini comme suit :

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

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

D'où :

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

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

$$\sum_k [\dot{E}_k^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_i [h_{cz} \dot{M}_j^+] - \frac{d(U_{cz} + P_a V)}{dt} = 0 \quad (II.4)$$

II.2.2 Puissance transformation et réseau

Il convient de remarque que les deux derniers termes du bilan (II.4) doivent être compatibles avec le bilan de masse :

$$\sum_k [\dot{E}_k^+] - \frac{dM}{dt} = 0 \quad (\text{II. 5})$$

En effet le bilan de la somme de transfert de masse \dot{M}_j^+ à travers la frontière se boucle avec l'altération dM/dt de la masse M du système. Si les rentrées excèdent les sorties, il ya accumulation. Dans le cas contraire, il y a amoindrissement. [1]

D'une manière analogue il est intéressant d'associer le bilan de la somme des transferts d'enthalpie totale $h_{cz}\dot{M}_j^+$ à travers la frontière avec l'altération $d(U_{cz} + P_a V)/dt$ du terme de stockage d'énergie du système. Cela nous a donné l'idée d'introduire la nouvelle grandeur appelée puissance transformation, définie par la relation [1]:

$$\dot{W}^+ = \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] - \frac{d(U_{cz} + P_a V)}{dt} = 0 \quad (\text{II.6})$$

Le bilan énergétique en puissance (II.4) peut être mis sous la forme :

$$\sum_k [\dot{E}_k^+] + \sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_n [\dot{W}_n^+] = 0 \quad (\text{II. 7})$$

\dot{W}_n^+ : Puissance transformation reçue au niveau du réseau n

II.2.3 Efficacité ou rendement thermique

Etant donné le bilan (II.7) 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. [1]

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

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 dépensé étant donné qu'elle ne présente pas d'intérêt pour le praticien. Cela revient à dire qu'elle n'a pas de valeur quand on la 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.

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

$$\varepsilon = \frac{\sum[\dot{E}_e^-] + \sum[\dot{Q}_i^-] + \sum[\dot{W}_e^-]}{\sum[\dot{E}_e^+] + \sum[\dot{Q}_i^+] + \sum[\dot{W}_e^+]} \quad (\text{II. 8})$$

II.1 Approche exergetique

Définition

On définit l'exergie comme le travail maximal réversible que l'on peut tirer d'une énergie lorsque celle-ci est portée à l'équilibre avec l'environnement.

L'exergie est une grandeur permettant de mesurer la qualité d'une énergie. Si selon le premier principe de la thermodynamique la quantité d'énergie se conserve, la qualité de cette énergie, l'exergie, ne peut en revanche que diminuer lors d'une transformation. L'exergie détruite au cours d'une réaction est appelée anergie.

Ce phénomène est lié à l'entropie du système et de son environnement, qui ne peut qu'augmenter, alors que l'exergie diminue au cours d'une transformation réelle, non réversible (deuxième principe de la thermodynamique).

II.3.1 Bilan exergetique

Considérons un système quelconque, représenté par la figure ci-dessous.

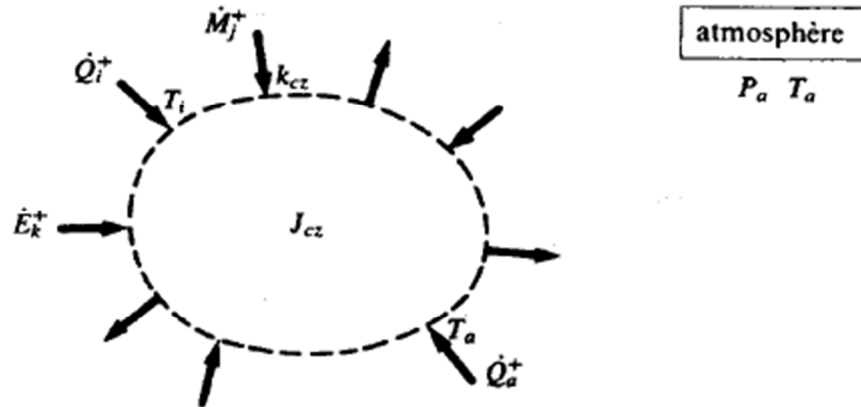


Figure II.2 : Système thermodynamique quelconque [1].

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

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\int \delta \dot{Q}_i^+] + \dot{Q}_a^+ + \sum_n \left\{ \sum_j [h_{cz} \dot{M}_j^+] - \frac{dU_{ecz}}{dt} \right\} = 0 \quad (\text{II. 9})$$

Ou nous avons :

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

Avec :

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

\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.

Pour le bilan exergetique peut-être mis sous forme :

Précisons bien que la température T_i est la température commune a la source i et au système, le long de la frontière indiquée en traits pointilles. Il en est de même pour T_a .

$$\frac{ds}{dt} = \dot{S}_e + \dot{S}_i \quad (\text{II. 11})$$

$$\dot{S}_e = \dot{S}^q + \dot{S}^m \quad (\text{II. 12})$$

Et

$$\dot{S}_i = \dot{S}^r + \dot{S}^t + \dot{S}^j \quad (\text{II. 13})$$

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

$$\frac{ds}{dt} = \sum \int \left[\frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] + \dot{S}^i \quad (\text{II. 14})$$

Dans lequel nous définissons :

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.

Remarquant que :

$$\dot{S}_e = \sum \int \left[\frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] \quad (\text{II. 15})$$

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

$$\frac{dS}{dt} = \sum_n \left[\frac{dS}{dt} \right]_n \quad (\text{II.16}) \quad Et \quad [S_j \dot{M}_j^+] = \sum_n \left\{ \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] \right\}_n \quad (\text{II. 17})$$

D'autre part nous pouvons traiter séparément la source a la température T_a constitué par l'atmosphère et remplacer :

$$\sum_i \left[\int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] \text{ par } \sum_i \left[\int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \frac{\dot{Q}_a^+}{T_a} \quad (\text{II. 18})$$

En tenant compte des trois substitutions, on peut écrire le bilan entropique sous la forme suivante :

$$\sum_i \left[\int \frac{\delta \dot{Q}_i^+}{T_i} \right] + \frac{\dot{Q}_a^+}{T_a} + \sum_n \left\{ \sum_j [S_j \dot{M}_j^+] - \frac{dS}{dt} \right\}_n + \dot{S}^i = 0 \quad (\text{II. 19})$$

En multipliant tout les termes de bilan par la température T_a de l'atmosphère nous obtenons :

$$\sum_i \left[\int \frac{T_a}{T_i} \delta \dot{Q}_i^+ \right] + \dot{Q}_a^+ + \sum_n \left\{ \sum_j [T_a S_j \dot{M}_j^+] - \frac{d}{dt} T_a S \right\} + T_a \dot{S}^i = 0 \quad (\text{II. 20})$$

En soustrayant l'équation (II.19) de (II.9) on arrivera à éliminer la puissance chaleur :

$$\begin{aligned} \sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i \left[\int \left(1 - \frac{T_a}{T_i} \right) \delta \dot{Q}_i^+ \right] \\ + \sum_n \left\{ \sum_j [(h_{cz} - T_a \dot{S}_j) \dot{M}_j^+] - \frac{d}{dt} (U_{ecz} - T_a S) \right\}_n - T_a \dot{S}^i = 0 \end{aligned} \quad (\text{II. 21})$$

Il y apparition de nouvelle grandeurs dans (II.21) qu'on peut définir comme suit :

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

$K_{cz} = h_{cz} - T_a S$: coenthalpie totale massique.

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

\dot{E}_e^+ : Puissance travail effective.

$\dot{E}_{q=}^+ = \int \theta \delta \dot{Q}^+$: Copuissance chaleur reçue.

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

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

II.3.2 Expression générale

Tenant compte de ces définitions, le bilan exergetique en puissance (II.21) peut être mis sous la forme :

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{E}_{qi}^+] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^+] = \dot{L} \geq 0 \quad (\text{II.22})$$

Avec :

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

\dot{L} : perte exergetique globale, en puissance.

II.3.3 Rendement exergetique

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

Le bilan II.21 peut être mis sous la forme :

$$\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{E}_{qi}^-] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^-] = \sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{E}_{qi}^+] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^+] + \dot{L} \quad (\text{II.23})$$

Où toutes les Copuissance utiles données par le système figurent au premier membre et toutes les Copuissance reçue par le système figurant au second membre.

D'où le rendement exergetique d'un système thermodynamique quelconque s'écrit :

$$\eta_{ex} = \frac{\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{E}_{qi}^-] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^-]}{\sum_k [\dot{E}_{ek}^+] + \sum_i [\dot{E}_{qi}^+] + \sum_n [\dot{E}_{wn}^+]} \quad (\text{II.24})$$

Conclusion :

La perte exergetique est souvent supérieur ou égale a zéro, elle est lié directement aux irréversibilités mécaniques et thermiques du système.

Cette perte ne peut être nulle que dans un système qui est thermodynamiquement réversible.

Chapitre III

Analyse énergétique et exergetique

III.1 Introduction

L'analyse exergetique constitue un outil de travail extrêmement pratique, elle permet de prendre en compte à la fois les quantités d'énergie mises en jeu et leur qualité, son intérêt est qu'elle fournit un cadre tout à fait rigoureux pour quantifier la qualité thermodynamique d'un système quelconque, ouvert ou fermé, en régime stationnaire ou non[9].

Nous allons étudier dans ce chapitre toutes les unités de l'usine Zcina Hassi Messaoud.

III.2 Description superficielle des unités du complexe Zcina Hassi Messaoud.

L'usine Zcina est composée de trois gigantesques trains de traitement, chaque train comprend notamment 5 unités :

- Unité de compression du gaz de charge, composée de :
 - Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01
 - Réfrigérant du compresseur de gaz de charge G05-GC-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'isopontane G11-PA-32-04
 - Batterie froide du condensat G11-GC-32-04
 - Batterie froide d'isopontane G11-GC-32-03

III.3 Analyse exergétique de l'unité de compression

III.3.1 Compresseur de gaz de charge G05-MB-23-01

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

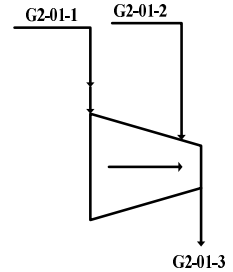


Tableau III.1 : propriétés thermodynamique du gaz dans le compresseur G05-MB-23-01.

La copuissance travail reçue par le compresseur :

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

$$\square^+ E_k = 104,32 \times (-3606) - 87,068 \times (-3706) - 17,25 \times (-3766)$$

$$\square^+ E_k = 11459 \text{ kW}$$

La copuissance transformation fournie par le compresseur :

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

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

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

$$k_{G2-01-1} = -5822,2586$$

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

$$k_{G2-01-2} = -3766 - (302,15 \times 6,551)$$

$$k_{G2-01-2} = -5745,38 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-01-3} = h_{G2-01-3} - (T_a \times S_{G2-01-3})$$

$$k_{G2-01-3} = -3606 - (302,15 \times 7,008)$$

$$k_{G2-01-3} = -5723,46 \text{ kJ/k g}$$

$$\dot{E}_w^- = 104,32 \times (-5723,46) - 87,068 \times (-5822,25) - 17,25 \times (-5745,38)$$

$$\dot{E}_w^- = 8968,12 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

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

$$\dot{L}_{01} = 11459 - 8968,12$$

$$\dot{L}_{01} = 2490,88 \text{ kW}$$

Le rendement exergetique du compresseur est :

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

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{2490,88}{11459} \right)$$

$$\eta_{ex} = 78,26 \%$$

III.3.2 Réfrigérant du compresseur de gaz de charge G05-GC-23-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-02-1	-3606	7,008	104,32	-5723,46	93,5	121
G2-02-2	-3644	7,216	104,32	-6186,89	93,2	50

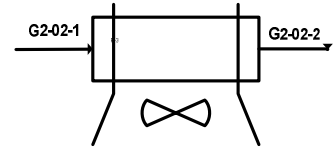


Tableau III.2 : propriétés thermodynamique du gaz dans le réfrigérant G05-GC-23-01.

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

$$\square \quad \square^- \\ L_{02} = E_w$$

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

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

$$k_{G2-02-1} = -3606 - (302,15 \times 7,008)$$

$$k_{G2-02-1} = -5723,46 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-02-2} = -3644 - (302,15 \times 7,216)$$

$$k_{G2-02-2} = -5824,744 \text{ kJ/kg}$$

$$\square^- \\ E_w = 104,32 \times (-5723,46 + 5824,314)$$

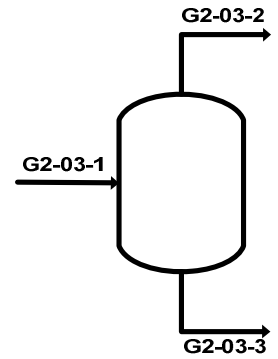
$$\square^- \\ E_w = 10521,089 \text{ kW}$$

La perte exergétique est :

$$\square \\ L_{02} = 10521,089 \text{ kW}$$

III.3.3 Ballon de refoulement du compresseur G05-VD-23-02

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-03-1	-3644	7,216	104,32	-6186,89	93,2	50
G2-03-2	-3752	6,931	104,30	-5725,34	93	49
G2-03-3	-1570	4,387	0,02	-2593,38	92,8	49

**Tableau III.3** : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G05-VD-23-02.

La perte exergétique dans le ballon de refoulement du compresseur est :

$$\square L_{03} = E_w^-$$

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

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

$$k_{G2-03-1} = -3644 - (302,15 \times 7,216)$$

$$k_{G2-03-1} = -5824,744 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-03-2} = -3752 - (302,15 \times 6,931)$$

$$k_{G2-03-2} = -5846,2 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-03-3} = -1570 - (302,15 \times 4,387)$$

$$k_{G2-03-3} = -2895,53 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{L}_{03} = 104,32 \times (-5824,744) - 104,30 \times (-5846,2) - 0,02 \times (-2895,53)$$

$$\dot{L}_{03} = 2179.276 \text{ kW}$$

III.3.4 : Perte exergetique totale dans l'unité de compression

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

$$\dot{L}_{\text{comp}} = 2490.88 + 10521.089 + 2179.276$$

$$\dot{L}_{\text{comp}} = 15191.245 \text{ kW}$$

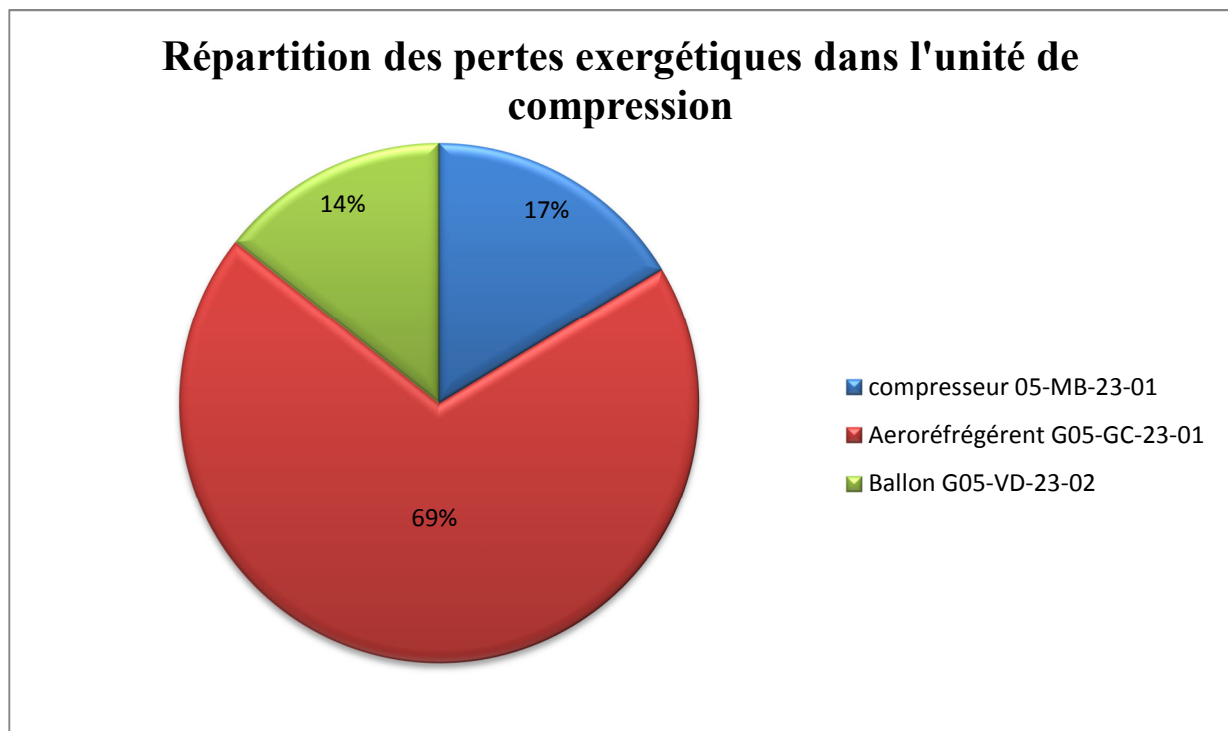


Figure III.1 : répartition des pertes exergetique dans l'unité de compression.

Interprétation des résultats

La perte exergétique dans cette section représente seulement 15% de la perte globale du train 2, et la plus grande perte se trouve au niveau de l'aéroréfrigérant 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'aéroréfrigérant.

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

III.4 Analyse exergétique de la section de déshydratation

III.4.1 Sécheur en phase de déshydratation G11-VK-24-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-04-1	-3753	6,481	98,947	-5595,11	90	50
G2-04-2	-3749	6,490	98,712	-5709,95	89,8	49

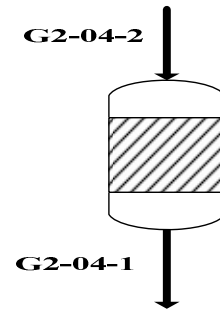


Tableau III.5 : propriétés thermodynamique du gaz dans le sécheur (deshy) G11-VK-24-01.

La perte exergétique dans le sécheur en phase de déshydratation est :

$$\dot{L}_{04} = \dot{E}_W$$

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

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

$$k_{G2-04-1} = -3753 - (302,15 \times 6,481)$$

$$k_{G2-04-1} = -5595,11 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-04-2} = -3749 - (302,15 \times 6,490)$$

$$k_{G2-04-2} = -5709,95 \text{ kJ/kg}$$

$$\square L_{04} = 98,947 \times (-5595,11 + 5709,95)$$

$$\square L_{04} = 11363,073 \text{ kW}$$

III.4.2 Sécheur en phase de régénération G11-VK-24-01

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

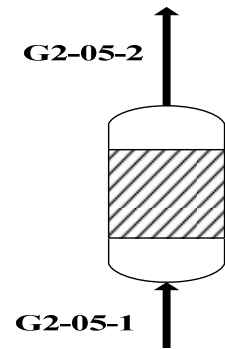


Tableau III.5 : propriétés thermodynamique du gaz dans le sécheur (regé) G11-VK-24-01.

La perte exergétique dans le sécheur en phase de régénération est :

$$\square L_{05} = \square E_w$$

$$\square E_w = \dot{m}_{G2-05-1} \times (k_{G2-05-2} - k_{G2-05-1})$$

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

$$k_{G2-05-1} = -3190 - (302,15 \times 7,954)$$

$$k_{G2-05-1} = -5593,30 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-05-2} = -3095 - (302,15 \times 8,009)$$

$$k_{G2-05-2} = -5514,92 \text{ kJ/kg}$$

$$\square$$

$$L_{05} = 16,926 \times (-5514,92 + 5593,30)$$

$$\square$$

$$L_{05} = 1326,66 \text{ kW}$$

III.4.3 Aéroréfrigérant de gaz de régénération G11-GC-24-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-06-1	-3190	7,960	17,041	-5595,114	89,1	273
G2-06-2	-3798	6,534	17,041	-5772,248	89	53

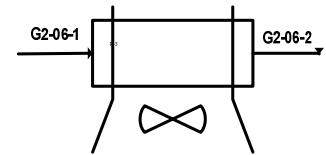


Tableau III.6 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant G11-GC-24-01.

La perte exergétique dans l'aéroréfrigérant de gaz de régénération est :

$$\square$$

$$L_{06} = E_w$$

$$\square$$

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

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

$$k_{G2-06-1} = -3190 - (302,15 \times 7,960)$$

$$k_{G2-06-1} = -5595,114 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-06-2} = -3798 - (302,15 \times 6,534)$$

$$k_{G2-06-2} = -5514,92 \text{ kJ/kg}$$

$$\square L_{06} = 17,041 \times (-5595,114 + 5772,248)$$

$$\square L_{06} = 3018,54 \text{ kW}$$

III.4.4 Ballon de séparation de gaz de régénération G11-VD-24-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-07-1	-3798	6,534	17,041	-5772,248	89	53
G2-07-2	-3890	7,013	14,036	-6008,977	88,5	52
G2-07-3	-3403	2,978	3,005	-4889,880	88	52

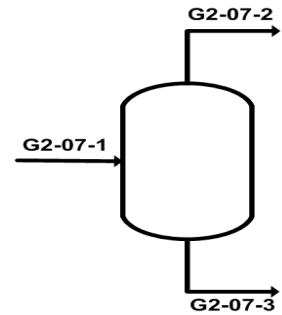


Tableau III.7 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VD-24-01.

La perte exergétique dans le ballon de séparation de gaz de régénération est :

$$\square L_{07} = E_w$$

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

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

$$k_{G2-07-1} = -3798 - (302,15 \times 6,534)$$

$$k_{G2-07-1} = -5772,248 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-07-2} = -3890 - (302,15 \times 7,013)$$

$$k_{G2-07-2} = -6008,977 \text{ kJ / kg}$$

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

$$k_{G2-07-3} = -3403 - (302,15 \times 2,978)$$

$$k_{G2-07-3} = -4889,880 \text{ kJ/kg}$$

$$\square L_{07} = 17,041 \times (-5772,248) - 14,036 \times (-6008,977) - 3,005 \times (-4889,880)$$

$$\square L_{07} = 671,212 \text{ kW}$$

II.4.5 : perte exergetique totale dans l'unité de déshydratation

$$\square L_{\text{déshy}} = \sum_{i=4}^7 \square L_i$$

$$\square L_{\text{déshy}} = 11363,073 + 1326,66 + 3018,54 + 671,212$$

$$\square L_{\text{déshy}} = 16379,485 \text{ kW}$$

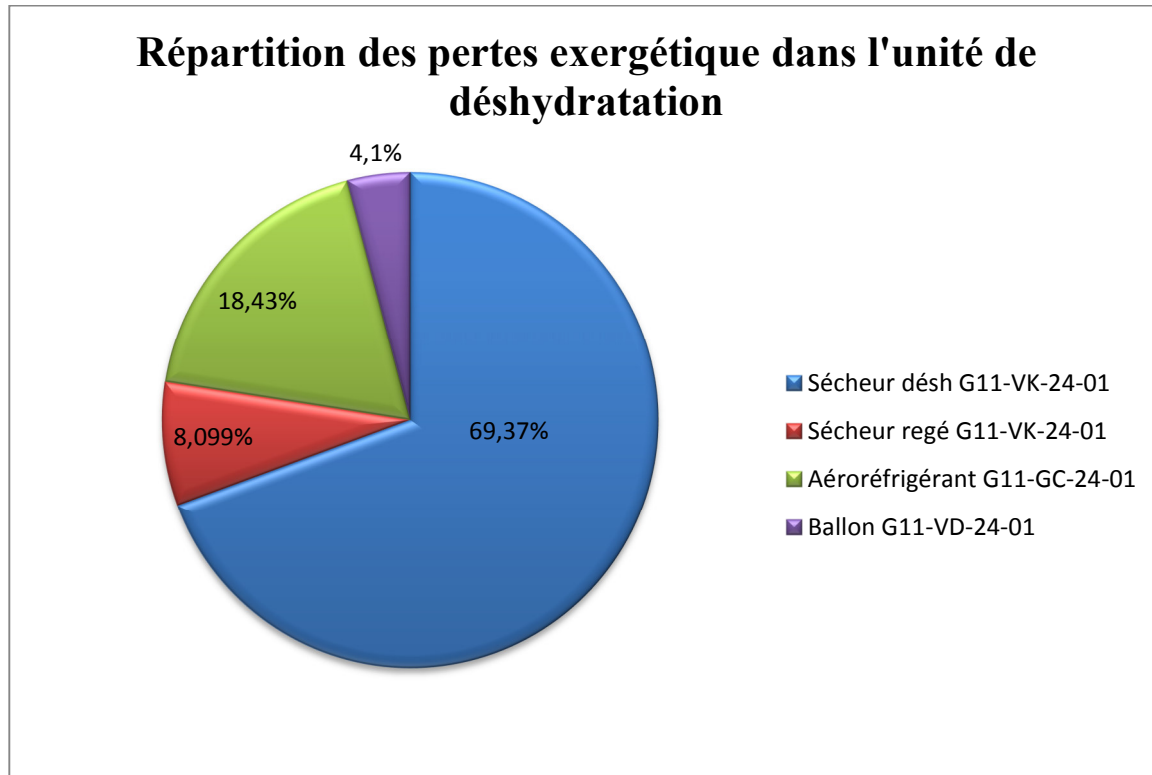


Figure III.2: répartition des pertes exergetique dans l'unité de déshydratation.

Interprétation des résultats

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

Le sécheur en phase de déshydratation est l'équipement le plus remarquable il génère 70% 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'aéroréfrigérant est due à une dévalorisation d'exergie.

Dans le ballon la perte est négligeable.

III.5 Analyse exergetique dans l'unité refroidissant

III.5.1 Echangeur (gaz de charge/gaz résiduel) G11-GA-32-02(A/B)

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-08-1	-4194	7,9	39,61	-6580,98	21	-15,33
G2-08-2	-4068	8,314	39,61	-6580,67	20,7	43,93
G2-08-3	-3748	6,471	34,61	-5703,21	91	50
G2-08-4	-3892	6,21	34,61	-5768,35	90,3	8,92

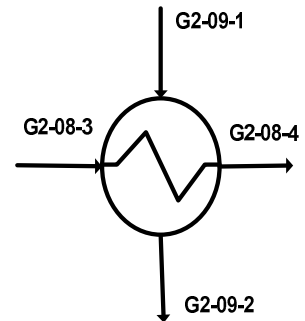


Tableau III.8 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-02.

La copuissance transformation fournie par le circuit gaz de charge :

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

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

$$k_{G2-08-1} = -4194 - (302,15 \times 7,9)$$

$$k_{G2-08-1} = -6580,98 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-08-2} = -4068 - (302,15 \times 8,314)$$

$$k_{G2-08-2} = -6580,67 \text{ kJ/kg}$$

$$\square^- E_w = 39,61 \times (-6580,67 + 6580,97)$$

$$\square^- E_w = 12,279 \text{ kW}$$

La copuissance transformation reçue par le circuit gaz résiduel :

$$\dot{E}_w^+ = \dot{m}_{G2-08-3} \times (k_{G2-08-3} - k_{G2-08-4})$$

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

$$k_{G2-08-3} = -3748 - (302,15 \times 6,471)$$

$$k_{G2-08-3} = -5703,21 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-08-4} = -3892 - (302,15 \times 6,21)$$

$$k_{G2-08-4} = -5768,35 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 34,61 \times (-5703,21 + 5768,35)$$

$$\dot{E}_w^+ = 2254,49 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

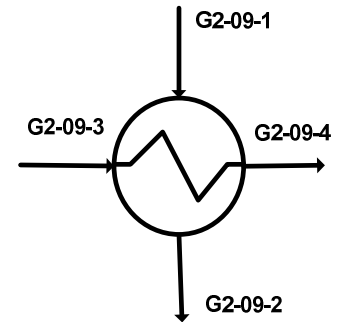
$$\dot{L}_{08} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{08} = 2254,49 - 12,279$$

$$\dot{L}_{08} = 2242,21 \text{ kW}$$

III.5.2 Echangeur (gaz de charge/charge du dééthaniseur) G11-GA-32-01

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

**Tableau III.9 :** propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-01.

La copuissance transformation fournie par le circuit gaz de charge

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

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

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

$$k_{G2-09-1} = -3903,91 \text{ kJ/kg}$$

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

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

$$k_{G2-09-2} = -3902,89 \text{ kJ/kg}$$

$$\square^- E_w = 35,66 \times (-3902,89 + 3903,91)$$

$$\square^- E_w = 36.123 \text{ kW}$$

La copuissance transformation reçu par le circuit charge du dééthaniseur

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

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

$$k_{G2-09-3} = -3748 - (302,15 \times 6,471)$$

$$k_{G2-09-3} = -5703,21 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-09-4} = -3846 - (302,15 \times 6,30)$$

$$k_{G2-09-4} = -5749.54 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 34,61 \times (-5703,21 + 5768,35)$$

$$\dot{E}_w^+ = 1374,14 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

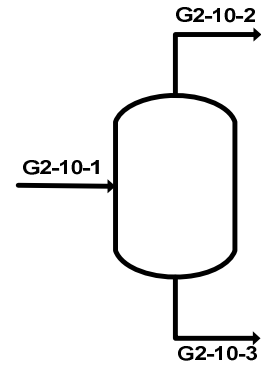
$$\dot{L}_{09} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{09} = 1374,14 - 36,123$$

$$\dot{L}_{09} = 1338.017 \text{ kW}$$

III.5.3 Ballon d'alimentation de l'expandeur G11-VI-32-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-10-1	-3805	6,052	99,448	-5709,61	90	12,82
G2-10-2	-3882	6,050	86,483	-5709,70	89,8	11,95
G2-10-3	-3617	5,21	12,965	-4634,66	89,8	11,2

**Tableau III.10** : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VI-32-01.

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

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

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

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

$$k_{G2-10-1} = -3805 - (302,15 \times 6,052)$$

$$k_{G2-10-1} = -5709,61 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-10-2} = -3882 - (302,15 \times 6,050)$$

$$k_{G2-10-2} = -5709,70 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-10-3} = -3617 - (302,15 \times 5,21)$$

$$k_{G2-10-3} = -4634,66 \text{ kJ/kg}$$

$$\square L_{10} = 99,448 \times (-5709,61) - 86,483 \times (-5709,70) - 12,965 \times (-4634,66)$$

$$\square L_{10} = 898,35 \text{ kW}$$

III.5.4 Expandeur de gaz résiduel G11-KH-32-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-11-1	-3919	6,224	86,48	-5805,62	90	11,95
G2-11-2	-3999	6,244	86,48	-5885,62	22	-40,58

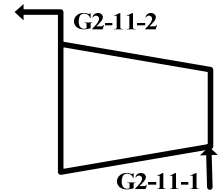


Tableau III.11 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'expandeur G11-KH-32-01.

La copuissance transformation reçue par l'expandeur :

$$\square^+ E_w = \dot{m}_{G2-11-1} (k_{(G2-11-1)} - k_{(G2-11-2)})$$

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

$$k_{G2-11-1} = -3919 - (302,15 \times 6,224)$$

$$k_{G2-11-1} = -5805,62 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-11-2} = -3999 - (302,15 \times 6,244)$$

$$k_{G2-11-2} = -5885,62 \text{ kJ/kg}$$

$$\square^+ E_w = 86,48 \times (-5805,62 + 5885,62)$$

$$\square^+ E_w = 6918,4 \text{ kW}$$

La copuissance travail fournie par l'expandeur

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

$$\dot{E}_k = 86.48 \times (-3919 + 3999)$$

$$\dot{E}_k = 6053,6 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

$$\dot{L}_{11} = \dot{E}_w - \dot{E}_k$$

$$\dot{L}_{11} = 6918,4 - 6053,6$$

$$\dot{L}_{11} = 864,8 \text{ kW}$$

Le rendement exergetique de l'expandeur est :

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

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{864,8}{6918,4} \right)$$

$$\eta_{ex} = 87,5 \%$$

III.5.5 Recompresseur de gaz résiduel G11-KA-32-01

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

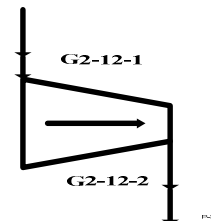


Tableau III.12 : propriétés thermodynamique du gaz dans le recompresseur G11-KA-32-01.

La copuissance travail reçue par le compresseur :

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

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

$$\dot{E}_k^+ = 5830,44 \text{ kW}$$

La copuissance transformation fournie par le compresseur :

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

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

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

$$k_{G2-12-1} = -6585,36 \text{ kW}$$

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

$$k_{G2-12-2} = -4060 - (302,15 \times 8,358)$$

$$k_{G2-12-2} = -6517,38 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_w^- = 69,48 \times (-6517,38 + 6585,36)$$

$$\dot{E}_w^- = 4723 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

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

$$\dot{L}_{12} = 5830,44 - 4723$$

$$\dot{L}_{12} = 1107,44 \text{ kW}$$

Le rendement exergétique du compresseur

$$\eta_{\text{ex}} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{12}}{\dot{E}_k} \right)$$

$$\eta_{\text{ex}} = 1 - \left(\frac{1107,44}{5830,44} \right)$$

$$\eta_{\text{ex}} = 81 \%$$

III.5.6 Aéroréfrigérant de gaz résiduel G11-GC-32-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-13-1	-3982	8,411	79,22	-6523,38	31	87,2 4
G2-13-2	-4089	8,092	79,22	-6533,99	30,8	40

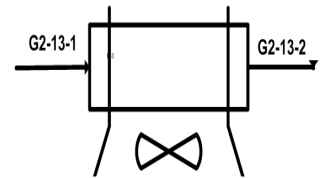


Tableau III.13 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant G11-GC-32-01.

La perte exergétique dans l'aéroréfrigérant de gaz résiduel

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

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

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

$$k_{G2-13-1} = -3982 - (302,15 \times 8,411)$$

$$k_{G2-13-1} = -6523,38 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-13-2} = -4089 - (302,15 \times 8,092)$$

$$k_{G2-13-2} = -6533,99 \text{ kJ/kg}$$

$$E_w = 79,22 \times (-6523,38 + 6533,99)$$

$$L_{13} = 1374,14 - 36,123$$

$$L_{13} = 840,524 \text{ kW}$$

III.5.7 : Perte exergetique totale dans l'unité de refroidissement

$$L_{ref} = \sum_{i=8}^{13} L_i$$

$$L_{ref} = 2242,21 + 1338,017 + 898,35 + 864,8 + 1107,44 + 840,524$$

$$L_{ref} = 7291,341 \text{ kW}$$

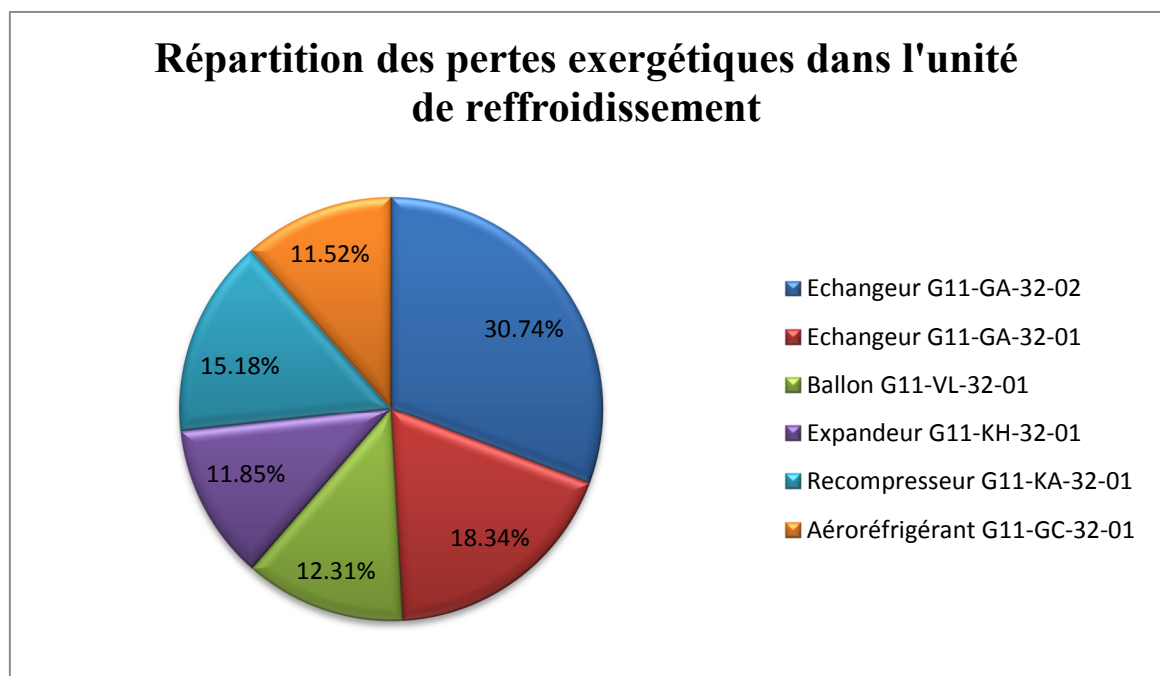


Figure III.3 : répartition des pertes exergetique dans l'unité de refroidissement.

Interprétation des résultats

La plus grande perte dans cette unité est répartie sur les deux échangeurs, elle est presque de 50% 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 beaucoup 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 du mélange.

La perte exergétique dans l'aéroréfrigérant 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 qui est aussi liée à l'irréversibilité thermique et on peut expliquer cela par le faible débit qui traverse l'aéroréfrigérant.

III.6 Analyse exergétique de l'unité de dééthanisation

III.6.1 Absorbeur G11-CA-32-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-14-1	-3999	6.24	98.44	-5879.58	21	-42.31
G2-14-2	-4286	7.86	72.53	-6660.89	20.7	-53
G2-14-3	-3766	4.050	15.20	-4989.7	23	-39.34
G2-14-4	-3252	3.21	42.11	-4221.90	22.8	-40.08

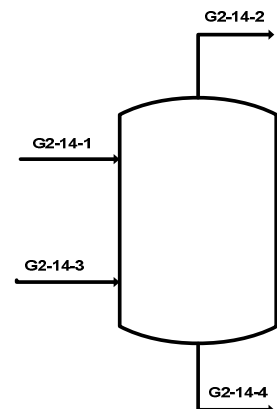


Tableau III.14 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'absorbeur G11-CA-32-01.

La perte exergétique dans l'absorbeur est :

$$\dot{L}_{14} = \dot{E}_W$$

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

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

$$k_{G2-14-1} = -3999 - (302,15 \times 6,24)$$

$$k_{G2-14-1} = -5879,58 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-14-2} = -4286 - (302,15 \times 7,86)$$

$$k_{G2-14-2} = -6660,89 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-14-3} = -3766 - (302,15 \times 4,05)$$

$$k_{G2-14-3} = -4989,7 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-14-4} = -3252 - (302,15 \times 3,21)$$

$$k_{G2-14-4} = -4221,90 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_W = 98,44 \times (-5879,58) + 15,20 \times (-4989,70) - 72,53 \times (-6660,89) - 42,11 \times (-4221,90)$$

$$\dot{L}_{14} = 624,86 \text{ kW}$$

III.6.2 Echangeur de tête de l'absorbeur G11-GA-32-04

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

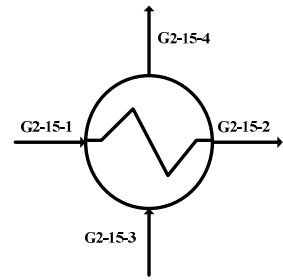


Tableau III.15 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA32-04.

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

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

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

$$k_{G2-15-1} = -4272 - (302,15 \times 7,615)$$

$$k_{G2-15-1} = -6572,87 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-15-2} = -4194 - (302,15 \times 7,871)$$

$$k_{G2-15-2} = -6572,22 \text{ kJ/kg}$$

$$\square^- E_w = 79,22 \times (-6572,22 + 6572,87)$$

$$\square^- E_w = 51,67 \text{ kW}$$

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

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

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

$$k_{G2-15-3} = -3543 - (302,15 \times 5,81)$$

$$k_{G2-15-3} = -5298,49 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-15-4} = -3856 - (302,15 \times 5,042)$$

$$k_{G2-15-4} = -5379,44 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^+ = 19,60 \times (-5298,49 + 5379,44)$$

$$\dot{E}_w^+ = 1586.62 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

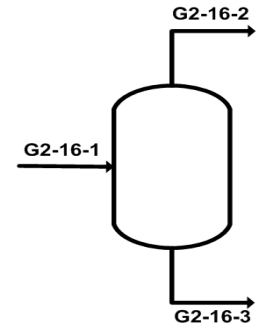
$$\dot{L}_{15} = \dot{E}_w^+ - \dot{E}_w^-$$

$$\dot{L}_{15} = 1586.62 - 51.67$$

$$\dot{L}_{15} = 1534.95 \text{ kW}$$

III.6.3 Ballon de désengagement de l'absorbeur G11-VL-32-06

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-16-1	-3856	4,732	19,608	-5285,77	23,6	-39,51
G2-16-2	-4258	7,231	5,03	-6442,54	23,3	-39,25
G2-16-3	-3717	4,016	14,575	-4928,62	23,3	-39,12

**Tableau III.16** : propriétés thermodynamique du gaz dans ballon G11-VL-32-06.

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

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

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

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

$$k_{G2-16-1} = -3856 - (302,15 \times 4,732)$$

$$k_{G2-16-1} = -5285,77 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-16-2} = -4258 - (302,15 \times 7,231)$$

$$k_{G2-16-2} = -6442,54 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-16-3} = -3717 - (302,15 \times 4,016)$$

$$k_{G2-16-3} = 597,16 \text{ kW}$$

$$\square L_{16} = 19,608 \times (-5285,77) - 5,03 \times (-6442,54) - 4,016 \times (-4928,62)$$

$$\square L_{16} = 597,16 \text{ kW}$$

III.6.4 Pompe d'alimentation du dééthaniseur G11-PA-32-01

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

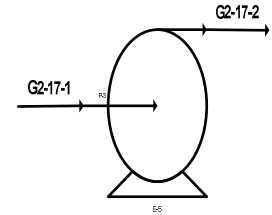


Tableau III.17 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-01.

La copuissance travail reçue par la pompe d'alimentation du dééthaniseur est :

$$\square^+ E_k = \dot{m}_{G2-17-1} \times (h_{G2-17-2} - h_{G2-17-1})$$

$$\square^+ E_k = 39,30 \times (-3244 + 3247)$$

$$\square^+ E_k = 117,9 \text{ kW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe d'alimentation du dééthaniseur est :

$$\square^- E_w = \dot{m}_{G2-17-1} (k_{G2-17-2} - k_{G2-17-1})$$

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

$$k_{G2-17-1} = -3247 - (302,15 \times 2,609)$$

$$k_{G2-17-1} = -4035,30 \text{ kW}$$

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

$$k_{G2-17-2} = -3244 - (302,15 \times 2,613)$$

$$k_{G2-17-2} = -4033,51 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_W = 39,30 \times (-4033,51 + 4035,30)$$

$$\dot{E}_W = 70,347 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

$$\dot{L}_{17} = \dot{E}_K - \dot{E}_W$$

$$\dot{L}_{17} = 117,9 - 70,347$$

$$\dot{L}_{17} = 47,553 \text{ kW}$$

Le rendement exergetique de la pompe est :

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

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{47,553}{117,9} \right)$$

$$\eta_{ex} = 59.66 \%$$

II.6.5 Condenseur du dééthaniseur G11-GA-32-03

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-18-1	-3253	2,574	39,3	-4030,73	31	-43
G2-18-2	-3105	2,098	39,30	-4005,40	30,8	5,08
G2-18-3	-3219	5,261	31,22	-4808,11	28	14,12
G2-18-4	-3405	4,90	31,22	-4885,53	27,8	-3,003

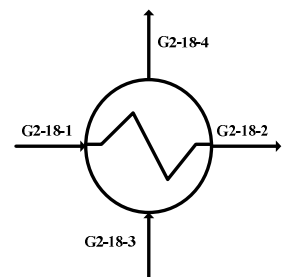


Tableau III.18 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'échangeur G11-GA-32-03.

La copuissance transformation fournie par le condenseur du dééthaniseur :

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

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

$$k_{G2-18-1} = -3253 - (302,15 \times 2,574)$$

$$k_{G2-18-1} = -4030,73 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-18-2} = -3105 - (302,15 \times 2,098)$$

$$k_{G2-18-2} = -4005,40 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_w^- = 39,3 \times (-4005,40 + 4030,73)$$

$$\dot{E}_w^- = 995,469 \text{ kW}$$

La copuissance transformation reçue par le condenseur du dééthaniseur :

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

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

$$k_{G2-18-3} = -3219 - (302,15 \times 5,261)$$

$$k_{G2-18-3} = -4808,11 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-18-4} = -3405 - (302,15 \times 4,90)$$

$$k_{G2-18-4} = -4885,53 \text{ kJ/kg}$$

$$E_w^+ = 31,22 \times (-4808,11 + 4885,53)$$

$$E_w^+ = 2410,83 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

$$L_{18} = E_w^+ - E_w^-$$

$$L_{18} = 2410,83 - 995,468$$

$$L_{18} = 1415.37 \text{ kW}$$

III.6.6 Ballon d'alimentation du dééthaniseur G11-VL-32-03

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-19-1	-3105	3,121	39,30	-4047,7	30,6	5,08 2
G2-19-2	-3740	6,397	3,652	-5672,85	30,4	6,1
G2-19-3	-3040	2,811	35,666	-3889,34	30,4	5,91

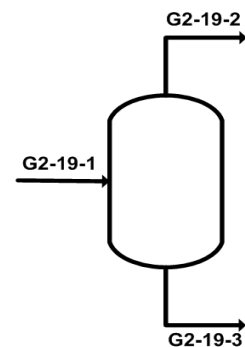


Tableau III.19 : propriétés thermodynamique du gaz dans ballon G11-VL-32-03.

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

$$L_{19} = E_w^-$$

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

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

$$k_{G2-19-1} = -3105 - (302,15 \times 3,121)$$

$$k_{G2-19-1} = -4047,70 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-19-2} = -3740 - (302,15 \times 6,397)$$

$$k_{G2-19-2} = -5672,85 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-19-3} = -3040 - (302,15 \times 2,811)$$

$$k_{G2-19-3} = -3889,34 \text{ kJ/kg}$$

$$\square \quad L_{19} = 39,30 \times (-3105) - 3,652 \times (-3740) - 35,666 \times (-3040)$$

$$\square \quad L_{19} = 336,19 \text{ kW}$$

III.6.7 Ballon de reflux du dééthaniseur G11-VL-32-02

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

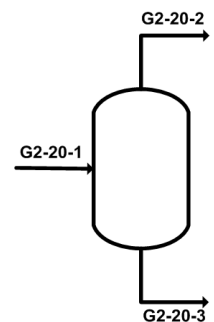


Tableau II.20 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VL-32-02.

La perte exergetique dans le ballon de reflux du dééthaniseur :

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

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

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

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

$$k_{G2-20-1} = -4842,62 \text{ kJ/kg}$$

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

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

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

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

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

$$k_{G2-20-3} = -4358,76 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{L}_{20} = 31,22 \times (-4842,62) - 15,48 \times (-5374,029) - 15,73 \times (-3268)$$

$$\dot{L}_{20} = 632,396 \text{ kW}$$

II.6.8 Pompe de reflux du dééthaniseur G11-PA-32-02

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

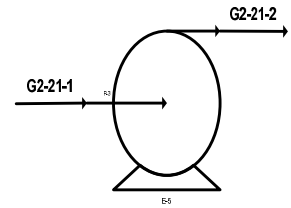


Tableau II.21 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-02.

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

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

$$\square^+ E_k = 15,730 \times (-3265 + 3268)$$

$$\square^+ E_k = 47,19 \text{ kW}$$

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

$$\square^- E_w = \dot{m}_{G2-21-1} (k_{G2-21-2} - k_{G2-21-1})$$

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

$$k_{G2-21-1} = -3265 - (302,15 \times 3,579)$$

$$k_{G2-21-1} = -4349,394 \text{ kW}$$

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

$$k_{G2-21-2} = -3268 - (302,15 \times 3,582)$$

$$k_{G2-21-2} = -4347,301 \text{ kW}$$

$$E_w^- = 15,730 \times (-4347,301 + 4349,394)$$

$$E_w^- = 32,164 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

$$L_{21} = E_K^+ - E_w^-$$

$$L_{21} = 47,19 - 32,164$$

$$L_{21} = 15.026 \text{ kW}$$

Le rendement exergetique de la pompe est :

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{L_{21}}{E_K^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{15.026}{47.19} \right)$$

$$\eta_{ex} = 68.15 \%$$

II.6.9 Dééthaniseur G11-CE-32-01

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-22-1	-3231	3,714	15,730	-4353,185	28	3
G2-22-2	-3326	5,954	31,277	-5125,001	27,8	14,06
G2-22-3	-3431	6,018	3,652	-5249,33	30	4
G2-22-4	-2890	3,201	23,772	-3857,182	29	92,81
G2-22-5	-2816	3,209	35,666	-3785,599	21	22,09

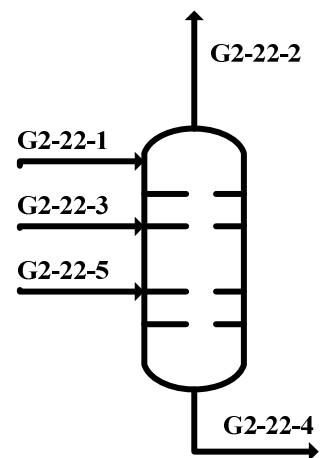


Tableau II.22 : propriétés thermodynamique du gaz dans le dééthaniseur G11-CE-32-01.

La perte exergetique dans le dééthaniseur est :

$$\dot{L}_{22} = \dot{E}_W$$

$$\dot{E}_W = (\dot{m} \times k_{G2-22-1}) + (\dot{m}_{G2-22-3} \times k_{G2-14-3}) + (\dot{m}_{G2-22-5} \times k_{G2-22-5}) - (\dot{m}_{G2-22-2} \times k_{G2-22-2}) - (\dot{m}_{G2-22-4} \times k_{G2-22-4})$$

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

$$k_{G2-22-1} = -3231 - (302,15 \times 3,714)$$

$$k_{G2-22-1} = -4353.185 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-22-2} = -3326 - (302,15 \times 5,954)$$

$$k_{G2-22-2} = -5125.001 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-22-3} = -3431 - (302,15 \times 6,018)$$

$$k_{G2-22-3} = -5249,33 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-22-4} = -2890 - (302,15 \times 3,201)$$

$$k_{G2-22-4} = -3857,182 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-22-5} = -2816 - (302,15 \times 3,209)$$

$$k_{G2-22-5} = -3785,599 \text{ kJ/kg}$$

$$E_w = 15,730 \times (-4353,185) + 3,652 \times (-5249,330) + 35,660 \times (-3785,599) \\ -31,277 \times (-5125,001) - 23,770 \times (-3857,182)$$

$$L_{22} = 29324,259 \text{ kW}$$

III.6.10 : Perte exergetique totale dans l'unité de dééthanisation

$$L_{debt} = L_{23} + L_{24} + L_{25} + L_{26} + L_{27} + L_{28} + L_{29}$$

$$L_{det} = 624.86 + 1534.95 + 597.16 + 47.553 + 1415.35 + 336.19 + 632.396 + 15.026 + 29324.259$$

$$L_{det} = 34527.743 \text{ kW}$$

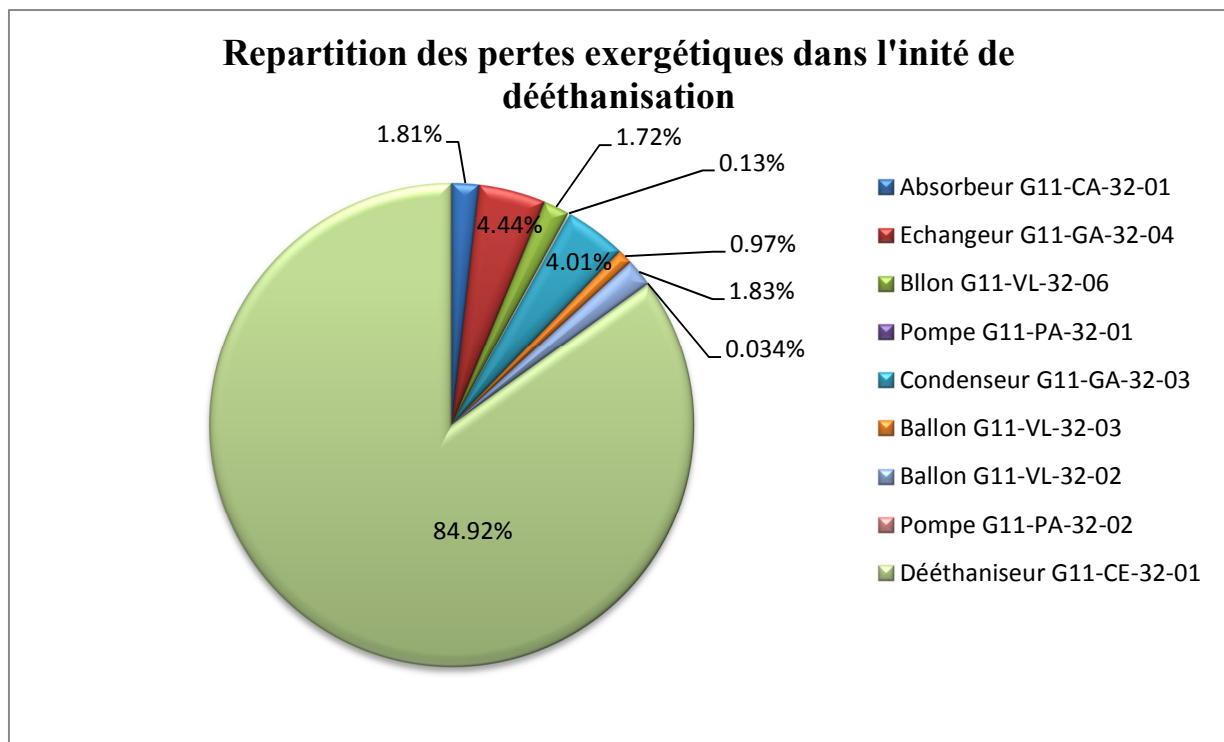


Figure III.4 : répartition des pertes exergetique dans l'unité de dééthanisation.

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 84.92% 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 a une très haute température et le gaz.

III.7 Section de débutanisation

III.7.1 Débutaniseur G11-CB-32-01

point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-23-1	-2346	2.704	23.591	-3163.013	17	71.6
G2-23-2	-2281	3.068	38.138	-3221.435	16.8	68.66
G2-23-3	-2570	2.156	17.98	-2669.760	17	60.70
G2-23-4	-2049	1.966	2.977	-3207.996	18	158.8
G2-23-5	-2338	1.098	0.964	-2643.026	18	40
G2-23-6	-1853	2.218	1.429	-2523.168	17.8	194.2

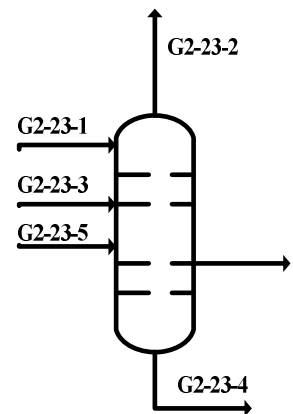


Tableau III.23 : propriétés thermodynamique du gaz dans le débutaniseur G11-CB-32-01.

La perte exergetique dans le débutaniseur est :

$$\square \quad \square^-$$

$$L_{23} = E_w$$

$$\square^-$$

$$E_w = (\dot{m} \times k_{G2-23-1}) + (\dot{m}_{G2-23-3} \times k_{G2-14-3}) + (\dot{m}_{G2-23-5} \times k_{G2-23-5}) - (\dot{m}_{G2-23-2} \times k_{G2-23-2})$$

$$- (\dot{m}_{G2-23-4} \times k_{G2-23-4}) - (\dot{m}_{G2-23-6} \times k_{G2-23-6})$$

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

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

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

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

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

$$k_{G2-23-2} = -3221,435 \text{ kJ/kg}$$

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

$$k_{G2-23-3} = -2570 - (302,15 \times 2,156)$$

$$k_{G2-23-3} = -2669,760 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-4} = h_{G2-23-4} - (T_a \times S_{G2-23-4})$$

$$k_{G2-23-4} = -2049 - (302,15 \times 1,966)$$

$$k_{G2-23-4} = -3207,996 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-5} = h_{G2-23-5} - (T_a \times S_{G2-23-5})$$

$$k_{G2-23-5} = -2338 - (302,15 \times 1,098)$$

$$k_{G2-23-5} = -2643,026 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-23-6} = h_{G2-23-6} - (T_a \times S_{G2-23-6})$$

$$k_{G2-23-6} = -1853 - (302,15 \times 2,218)$$

$$k_{G2-23-6} = -2523,168 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} E_w^- &= 15,730 \times (-3163,013) + 3,652 \times (-2669,760) + 35,660 \times (-2643,026) - 31,277 \times (-3221,435) \\ &\quad - 23,770 \times (-3207,996) - 1,429 \times (-2523,168) \end{aligned}$$

$$L_{23} = 26862,029 \text{ kW}$$

III.7.2 Aéroréfrigérant de débutaniseur G11-GC-32-02

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	-3207,99	16,8	68,66
G2-24-2	-2532	2,323	38,138	-3233,894	16,8	60

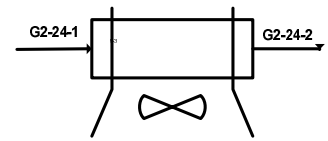


Tableau III.25 : propriétés thermodynamique du gaz dans l'aéroréfrigérant G11-GC-32-02.

La perte exergétique dans l'aéroréfrigérant de débutaniseur :

$$L_{24} = E_w^-$$

$$E_w^- = \dot{m}_{G2-24-1} \times (k_{G2-24-1} - k_{G2-24-2})$$

$$k_{G2-24-1} = h_{G2-24-1} - (T_a \times S_{G2-24-1})$$

$$k_{G2-24-1} = -2281 - (302,15 \times 3,068)$$

$$k_{G2-24-1} = -3207,99 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-24-2} = h_{G2-24-2} - (T_a \times S_{G2-24-2})$$

$$k_{G2-24-2} = -2532 - (302,15 \times 2,323)$$

$$k_{G2-24-2} = -3233,894 \text{ kJ/kg}$$

$$\square L_{24} = 38,138 \times (-3207,99 + 3233,894)$$

$$\square L_{24} = 987,92 \text{ kW}$$

III.7.3 Ballon de reflux du débutaniseur G11-VL-32-05

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-25-1	-2532	2,251	38,138	-3212,44	16,8	60
G2-25-2	-2328	3,218	6,138	-3300,318	16,4	61
G2-25-3	-2572	2,151	32	-3221,924	16,3	60,5

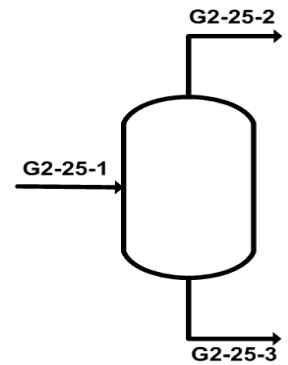


Tableau III.25 : propriétés thermodynamique du gaz dans le ballon G11-VL-32-05.

La perte exergetique dans le ballon de reflux du débutaniseur

$$\square L_{25} = E_w$$

$$\square E_w = (\dot{m}_{G2-25-1} \times k_{G2-25-1}) - (\dot{m}_{G2-25-2} \times k_{G2-25-2}) - (\dot{m}_{G2-25-3} \times k_{G2-25-3})$$

$$k_{G2-25-1} = h_{G2-25-1} - (T_a \times S_{G2-25-1})$$

$$k_{G2-25-1} = -2532 - (302,15 \times 2,252)$$

$$k_{G2-25-1} = -3212,44 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-25-2} = h_{G2-25-2} - (T_a \times S_{G2-25-2})$$

$$k_{G2-25-2} = -2328 - (302,15 \times 6,138)$$

$$k_{G2-25-2} = -3300,31 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-25-3} = h_{G2-25-3} - (T_a \times S_{G2-25-3})$$

$$k_{G2-25-3} = -2572 - (302,15 \times 2,151)$$

$$k_{G2-25-3} = -3221,92 \text{ kJ/kg}$$

$$\square \quad L_{25} = 38,13 \times (-3212,44) - 6,138 \times (-3300,31) - 32 \times (-3221,92)$$

$$\square \quad L_{25} = 868,330 \text{ kW}$$

III.7.4 Pompe de reflux de débutaniseur G11-PA-32-03

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-26-1	-2572	2,151	32	-3221,92	16,3	60,5
G2-26-2	-2570	2,153	32	-3220,52	22	60,9 8

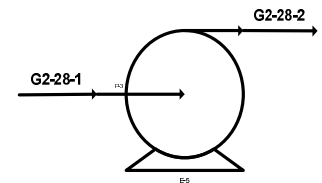


Tableau III.26 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-03.

La copuissance travail reçue par la pompe de reflux de débutaniseur :

$$\square^+ \quad E_k = \dot{m}_{G2-26-1} \times (h_{G2-26-2} - h_{G2-26-1})$$

$$\square^+ \quad E_k = 32 \times (-2570 + 2572)$$

$$\square^+ \quad E_k = 64 \text{ kW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe de reflux de débutaniseur :

$$\dot{E}_w = \dot{m}_{G2-26-1} (k_{G2-26-2} - k_{G2-26-1})$$

$$k_{G2-26-1} = h_{G2-26-1} - (T_a \times S_{G2-26-1})$$

$$k_{G2-26-1} = -2572 - (302,15 \times 2,151)$$

$$k_{G2-26-1} = -3221,92 \text{ kW}$$

$$k_{G2-26-2} = h_{G2-26-2} - (T_a \times S_{G2-26-2})$$

$$k_{G2-26-2} = -2570 - (302,15 \times 2,153)$$

$$k_{G2-26-2} = -3220,52 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_w = 32 \times (-3220,52 + 3221,92)$$

$$\dot{E}_w = 44,64 \text{ kW}$$

La perte exergetique est :

$$\dot{L}_{26} = \dot{E}_K - \dot{E}_w$$

$$\dot{L}_{26} = 47,19 - 32,164$$

$$\dot{L}_{26} = 19,36 \text{ kW}$$

Le rendement exergetique de la pompe est :

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{\dot{L}_{26}}{\dot{E}_K} \right)$$

$$\eta_{\text{ex}} = 1 - \left(\frac{19.36}{47.19} \right)$$

$$\eta_{\text{ex}} = 58.97 \%$$

III.7.5 Pompe de reflux d'isopontane G11-PA-32-04

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg.k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-27-1	-2043	1,98	2,977	-2641,27	18	160,6
G2-27-2	-2039	1,982	2,977	-2637,86	33	164,1

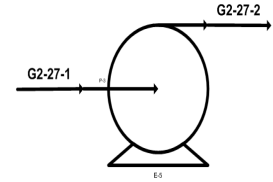


Tableau III.27 : propriétés thermodynamique du gaz dans la pompe G11-PA-32-04.

La copuissance travail reçu par la pompe d'isopontane

$$\square^+ E_k = \dot{m}_{G2-27-1} \times (h_{G2-27-2} - h_{G2-27-1})$$

$$\square^+ E_k = 2,977 \times (-2039 + 2043)$$

$$\square^+ E_k = 11,908 \text{ kW}$$

La copuissance transformation fournie par la pompe d'isopontane :

$$\square^- E_w = \dot{m}_{G2-27-1} (k_{G2-27-2} - k_{G2-27-1})$$

$$k_{G2-27-1} = h_{G2-27-1} - (T_a \times S_{G2-27-1})$$

$$k_{G2-27-1} = -2043 - (302,15 \times 2,151)$$

$$k_{G2-27-1} = -2641,27 \text{ kW}$$

$$k_{G2-27-2} = h_{G2-27-2} - (T_a \times S_{G2-27-2})$$

$$k_{G2-27-2} = -2039 - (302,15 \times 1,982)$$

$$k_{G2-27-2} = -2637,86 \text{ kW}$$

$$E_w^- = 2,977 \times (-2637,86 + 2641,27)$$

$$E_w^- = 10,112 \text{ kW}$$

La perte exergétique est :

$$L_{27} = E_k^+ - E_w^-$$

$$L_{27} = 11,908 - 10,112$$

$$L_{27} = 1,996 \text{ kW}$$

Le rendement exergétique de la pompe est :

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{L_{27}}{E_k^+} \right)$$

$$\eta_{ex} = 1 - \left(\frac{1,996}{11,908} \right)$$

$$\eta_{ex} = 83,23 \%$$

III.7.6 Batterie froide du condensat G11-GC-32-04

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg,k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-28-1	-1853	2,218	1,429	-2284,77	19,31	194,2
G2-28-2	-2286	1,113	1,429	-2622,29	19,31	40

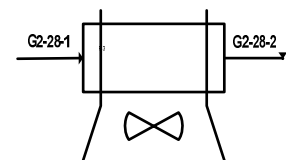


Tableau III.28 : propriétés thermodynamique du gaz dans la batterie froide G11-GC-32-04.

La perte exergétique dans la batterie du condensat :

$$\square \quad \square^-$$

$$L_{28} = E_W$$

$$\square^-$$

$$E_W = \dot{m}_{G2-28-1} \times (k_{G2-28-1} - k_{G2-28-2})$$

$$k_{G2-28-1} = h_{G2-28-1} - (T_a \times S_{G2-28-1})$$

$$k_{G2-28-1} = -1853 - (302,15 \times 2,218)$$

$$k_{G2-28-1} = -2284,77 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-28-2} = h_{G2-28-2} - (T_a \times S_{G2-28-2})$$

$$k_{G2-28-2} = -2286 - (302,15 \times 1,113)$$

$$k_{G2-28-2} = -2622,29 \text{ kJ/kg}$$

$$\square$$

$$L_{28} = 1,429 \times (-2284,77 + 2622,29)$$

$$\square$$

$$L_{28} = 482,316 \text{ kW}$$

III.7.7 Batterie froide d'isopontane G11-GC-32-03

Point	h (kJ/kg)	S (kJ/kg,k)	\dot{m} (kg/s)	k (kJ/kg)	P (bar)	T (°C)
G2-29-1	-2039	1,982	2,977	-2637,860	34	164
G2-29-2	-2382	1,068	2,977	-2704,69	34	40

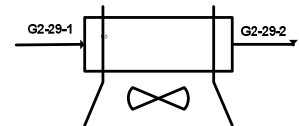


Tableau III.29 : propriétés thermodynamique du gaz dans la batterie froide G11-GC-32-03.

La perte exergetique dans la batterie froide d'isopontane :

$$\dot{L}_{29} = \dot{E}_W$$

$$\dot{E}_W = \dot{m}_{G2-29-1} \times (k_{G2-29-1} - k_{G2-29-2})$$

$$k_{G2-29-1} = h_{G2-29-1} - (T_a \times S_{G2-29-1})$$

$$k_{G2-29-1} = -2039 - (302,15 \times 1,982)$$

$$k_{G2-29-1} = -2637,860 \text{ kJ/kg}$$

$$k_{G2-29-2} = h_{G2-29-2} - (T_a \times S_{G2-29-2})$$

$$k_{G2-29-2} = -2382 - (302,15 \times 1,068)$$

$$k_{G2-29-2} = -2704,69 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{L}_{29} = 2,977 \times (-2637,86 + 2704,69)$$

$$\dot{L}_{29} = 198,956 \text{ kW}$$

III.7.8 : Perte exergetique dans l'unité de débutanisation

$$\dot{L}_{debt} = 29420,907 \text{ kW}$$

$$\dot{L}_{debt} = 26862,029 + 987,92 + 868,303 + 19,36 + 1,996 + 482,316 + 198,95$$

$$\dot{L}_{debt} = \dot{L}_{23} + \dot{L}_{24} + \dot{L}_{25} + \dot{L}_{26} + \dot{L}_{27} + \dot{L}_{28} + \dot{L}_{29}$$

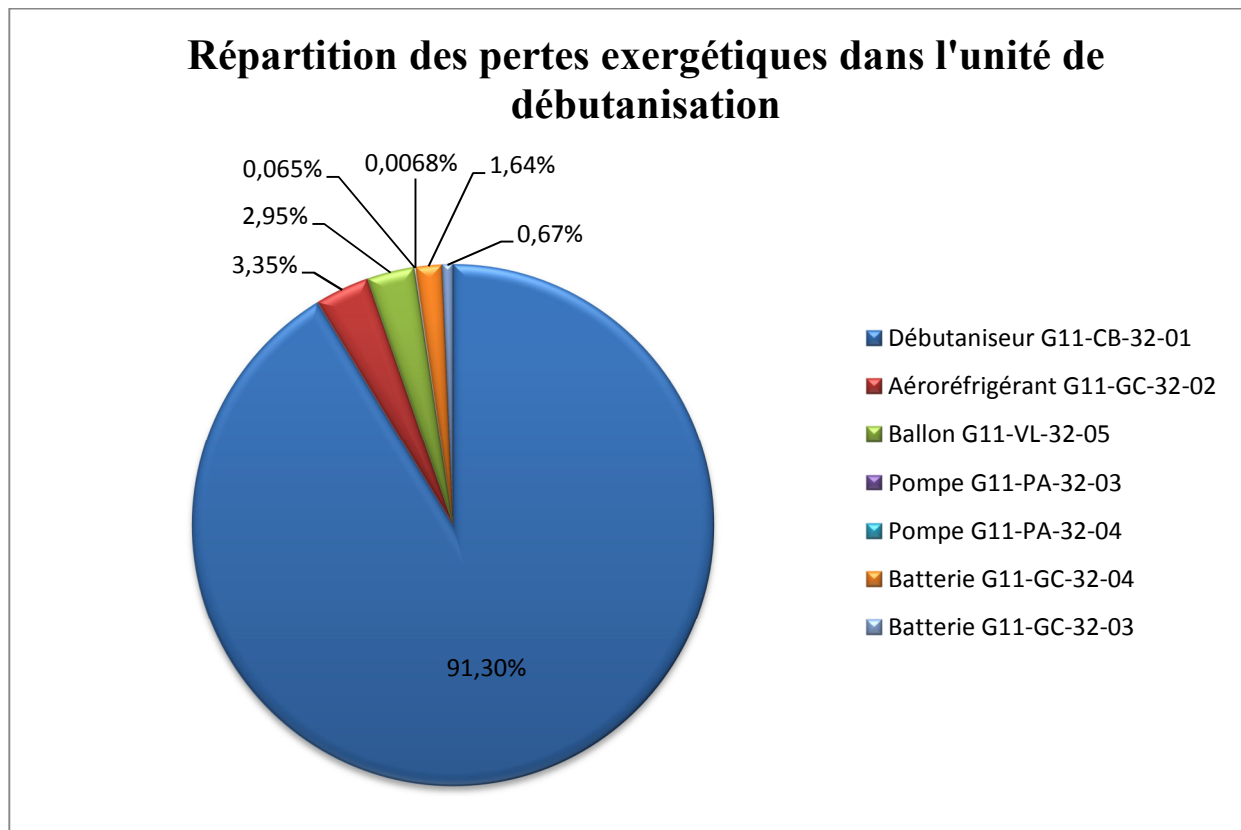


Figure III.5 : répartition des pertes exergetiques dans l'unité de débutanisation.

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, et cette perte est causé par les même phénomène qu'on a cité dans le dééthaniseur.

Et pour 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.8 : Bilan de l'installation

III.8.1 : Perte exergetique globale

La perte exergetique globale de l'installation est :

$$L_g = \sum_{i=1}^{29} L_i$$

$$L_g = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{15} + L_{16} + L_{17} + L_{18} + L_{19} \\ + L_{20} + L_{21} + L_{22} + L_{23} + L_{24} + L_{25} + L_{26} + L_{27} + L_{28} + L_{29}$$

$$\dot{L}_g = 2490,88 + 10521,089 + 2179,276 + 11363,073 + 1326,66 + 3018,54 + 671,212 \\ + 2242,21 + 1338,017 + 898,35 + 864,8 + 1107,44 + 840,524 + 624,86 \\ + 1534,95 + 597,16 + 47,553 + 1415,37 + 336,19 + 632,396 + 15,026 \\ + 29324,259 + 26862,029 + 987,92 + 868,303 + 19,36 + 1,996 + 482,316 \\ + 198,95$$

$$L_g = 102810,709 \text{ kW}$$

La perte exergetique dans toute l'installation est la somme de la perte globale de chaque train
alors :

$$L_g = 102810,709 \times 3$$

$$L_g = 308432,127 \text{ kW}$$

III.9 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 frottement 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.

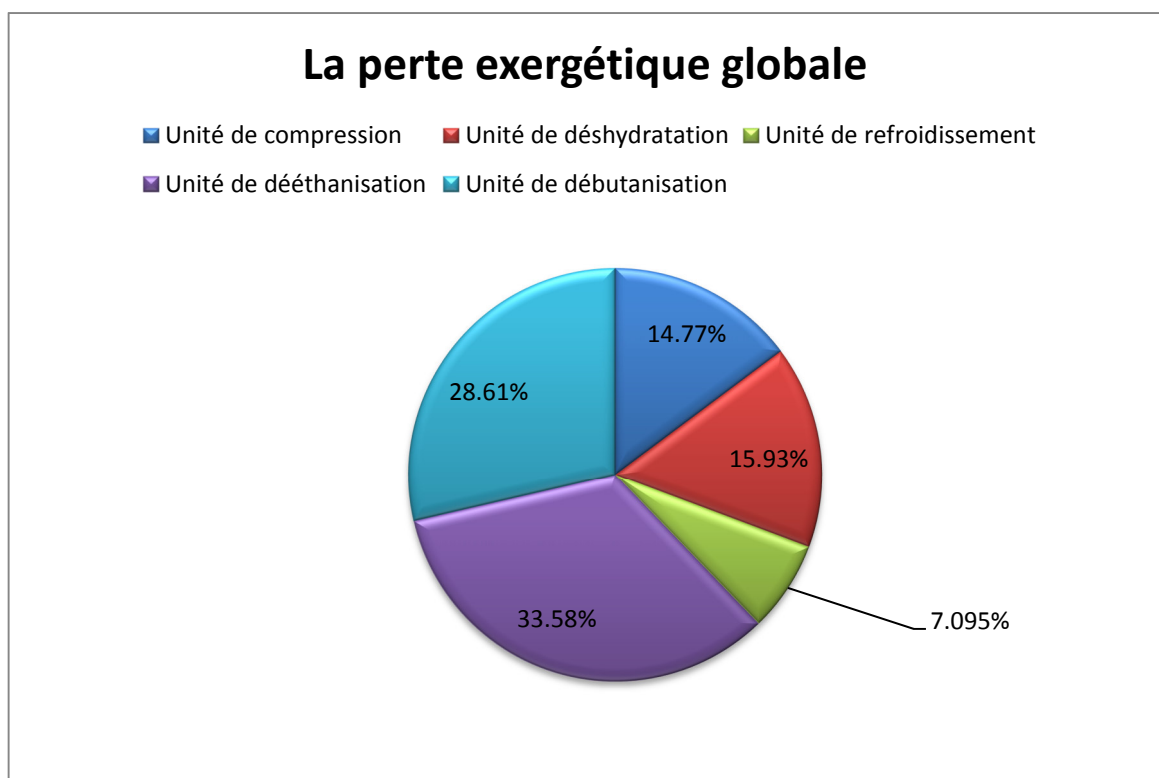


Figure III.6 : La perte exergétique globale.

La perte exergétique 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 est d'autant plus précieuse que le niveau de température auquel elle existe est élevé.

Par contre la perte exergétique due à l'irréversibilité mécanique est faible et on peut dire même négligeable devant celle causée par l'irréversibilité thermique.

Conclusion

Conclusion générale

L'exergie permet d'évaluer quantitativement les dégâts d'une dissipation d'énergie dû au frottement conduisant à la diminution de la qualité. Ainsi que ceux du phénomène de dévalorisation d'énergie dû aux chutes de températures. Qui accompagnes un transfert de chaleur conduisant à la diminution du niveau, qui sont tout les deux des phénomènes de dégradation de l'énergie.

L'analyse des systèmes énergétiques est très souvent réalisée uniquement à l'aide du premier principe de la thermodynamique dit principe de l'équivalence, qui met en évidence les pertes dues aux interactions avec l'environnement à travers la frontière du système. Cette méthode s'avère insuffisante puisqu'elle ne s'intéresse pas à la dégradation de l'énergie due aux transformations internes. Le deuxième principe apporte de sérieuses restrictions au premier principe. Il exprime le fait que toutes les formes d'énergie ne sont pas équivalentes, il permet de qualifier les transformations subies par le système en évaluant leurs irréversibilités.

Dés lors, il semble intéressant de généraliser l'application de ce second principe à l'étude pratique des systèmes.

Dans le cadre du présent travail, Nous avons mené une analyse exergétique d'une installation de traitement de gaz. Dans le but principale est de localiser les irréversibilités qui apparaissent lors du fonctionnement des appareils, chiffrer ces pertes d'exergie de façon à pouvoir améliorer le fonctionnement et les réduire éventuellement.

En localisant les éléments les plus défectueux thermodynamiquement parlant, elle permet d'orienter et de canaliser les efforts d'optimisation, déjà lors de la conception. 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.

Bibliographie

Références bibliographique

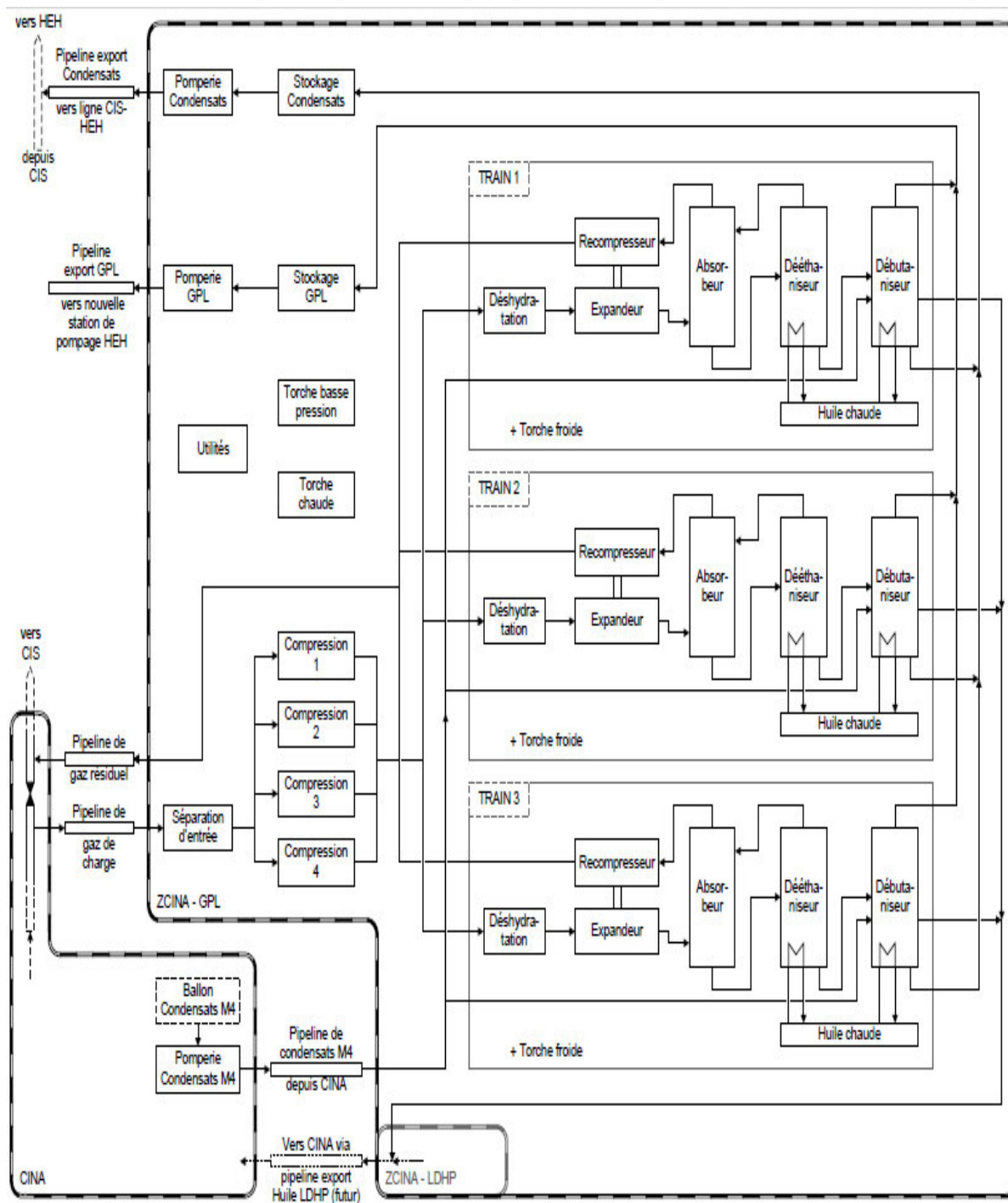
- [1]: Borel L, Nguyen D .L batato M-thermodynamique et énergétique, Vol2. press polytechnique romandes, Lausanne, 1987.
- [2] : Alexandre Rojey «le gaz naturel : production traitement et transport», publié par technip, 1994.
- [3] : A. Gouri simulation d'un train de traitement des gaz a l'aide des outils HYSYS et PRO II thèse doctorat l'école nationale supérieure polytechnique – ingénieur en génie chimique 2009.
- [4] : Julia MAGNE, Drish, Sébastien GONNARD «Traitement du gaz naturel » [article J5482 V1] publié en novembre 2015.
- [5]: BENLAGHA Ahmed, SETTI Amine « Mémoire fin d'étude : optimisation des paramètres relatifs a la section de stabilisation en vue de récupérer le maximum de produit finis (GPL, CONDENSAT) » Université Mohamed khider génie chimique 2012.
- [6] : Vichnievski R-thermodynamique appliqué aux machines. Masson et Cie, Paris, 1967.
- [7] : Manuel opératoire N° 1 du complexe Zcina Sonatrach Hassi Messaoud.
- [8] : Manuel opératoire N° 2 du complexe Zcina Sonatrach Hassi Messaoud.
- [9] : GUELLACHE Abdelmadjid « Mémoire fin d'étude : modélisation des propriétés thermodynamiques des fluides frigorigènes-Application à l'analyse exergétique des installations frigorifiques » Université A.Mira Bejaia, Energétique 2008

Annexes

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	-5822,251
G2-01-2	76,3	45	-3766	6,551	17,25	-5745,379
G2-01-3	93,5	121	-3606	7,008	104,32	-5723,460
G2-02-1	93,5	121	-3606	7,008	104,32	-5723,460
G2-02-2	93,2	50	-3644	7,216	104,32	-6186,891
G2-03-1	93,2	50	-3644	7,216	104,32	-6186,891
G2-03-2	93	49	-3752	6,931	104,30	-5725,339
G2-03-3	92,8	49	-1570	4,387	0,02	-2593,382
G2-04-1	90	50	-3753	6,481	98,947	-5595,114
G2-04-2	89,8	49	-3749	6,490	98,712	-5709,951
G2-05-1	89	286	-3095	8,009	16,926	-5593,30
G2-05-2	89,3	273	-3190	7,954	17,041	-5514,92
G2-06-1	89,1	273	-3190	7,960	17,041	-5595,114
G2-06-2	89	53	-3798	6,534	17,041	-5772,248
G2-07-1	89	53	-3798	6,534	17,041	-5772,248
G2-07-2	88,5	52	-3890	7,013	14,036	-6008,977
G2-07-3	88	52	-3403	2,978	3,005	-4889,880
G2-08-1	21	-15,33	-4194	7,899	31,61	-6580,980
G2-08-2	20,7	43,93	-4068	8,314	39,61	-6580,670
G2-08-3	91	50	-3748	6,471	34,61	-5703,210
G2-08-4	90,3	8,92	-3892	6,210	34,61	-5768,350
G2-09-1	21	6,64	-3002	2,985	35,66	-5703,210
G2-09-2	20,5	22,09	-2920	3,253	35,66	-5749,540
G2-09-3	91	50	-3748	6,471	29,66	-3903,910
G2-09-4	90,2	19,79	-3846	6,301	29,66	-3902,890
G2-10-1	90	12,82	-3805	6,052	99,448	-5709,610
G2-10-2	89,8	11,95	-3882	6,050	86,483	-5709,700
G2-10-3	89,8	11,2	-3617	5,211	12,965	-4634,660
G2-11-1	90	11,95	-3919	6,224	86,48	-5805,620
G2-11-2	22	-40,58	-3999	6,244	86,48	-5885,620
G2-12-1	21	43,93	-4060	8,358	69,48	-6585,360
G2-12-2	32	87,24	-3976	8,411	69,48	-6517,380
G2-13-1	32	87,24	-3982	8,411	79,22	-6523,380
G2-13-2	32	40	-4089	8,092	79,22	-6533,990
G2-14-1	22	-39,34	-3999	6,24	98,44	-5879,580
G2-14-2	21,8	-50,56	-4286	7,86	72,53	-6660,890
G2-14-3	22	-42,31	-3766	4,050	15,20	-4989,700
G2-14-4	21,8	-40,08	-3252	3,21	42,11	-4221,900
G2-15-1	21	-50	-4272	7,615	79,22	-6572,870
G2-15-2	20,4	-15,11	-4194	7,871	79,22	-6572,220
G2-15-3	24	-6,2	-3543	5,81	19,60	-5298,490
G2-15-4	23,6	-39,51	-3856	5,042	19,60	-5379,440
G2-16-1	23,6	-39,51	-3856	4,798	19,608	-5305,710
G2-16-2	23,3	-39,25	-4258	7,191	5,03	-6442,310

G2-16-3	23,3	-39,12	-3717	3,971	14,575	-4928,620
G2-17-1	22	-40,8	-3247	2,609	39,30	-4035,300
G2-17-2	34	-39,07	-3244	2,613	39,30	-4033,510
G2-18-1	31	-43	-3253	2,574	39,30	-4030,730
G2-18-2	30,7	5,082	-3105	2,98	39,30	-4005,400
G2-18-3	28	14,12	-3219	5,26	31,22	-4808,300
G2-18-4	27,7	-3,003	-3405	4,9	31,22	-4885,530
G2-19-1	30,6	5,082	-3105	3,121	39,30	-4047,700
G2-19-2	30,4	6,1	-3740	6,397	3,652	-5672,850
G2-19-3	30,4	5,91	-3040	2,811	35,666	-3889,340
G2-20-1	27	-3,003	-3405	4,758	31,22	-4842,620
G2-20-2	24	-6,2	-3543	6,06	15,483	-5374,029
G2-20-3	24	-6,2	-3268	3,61	15,730	-4358,760
G2-21-1	24	-6,2	-3268	3,579	15,730	-4349,394
G2-21-2	34	-4,95	-3265	3,582	15,730	-4347,301
G2-22-1	28	3	-3231	3,714	15,730	-4353,185
G2-22-2	27,8	14,06	-3219	5,454	31,277	-5676,177
G2-22-3	30	4	-3740	6,408	3,652	-985,813
G2-22-4	29	92,81	-2436	2,435	23,772	-4866,926
G2-22-5	21	22,09	-2920	3,253	35,666	-738,171
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	-3221,435
G2-23-3	17	60,70	-2570	2,156	17,980	-2669,760
G2-23-4	18	158,8	-2049	1,966	2,977	-3207,996
G2-23-5	18	40	-2338	1,098	0,964	-2643,026
G2-23-6	17,8	194,2	-1853	2,218	1,429	-2523,168
G2-24-1	16,8	68,66	-2281	3,068	38,138	-3207,990
G2-24-2	16,8	60	-2532	2,323	38,138	-3233,894
G2-25-1	16,8	60	-2532	2,252	38,138	-3212,310
G2-25-2	16,4	61	-2328	3,218	6,138	-3300,318
G2-25-3	16,3	60,5	-2572	2,151	32	-3221,924
G2-26-1	16,3	60,5	-2572	2,151	32	-3221,920
G2-26-2	22	60,98	-2570	2,153	32	-3220,520
G2-27-1	18	160,6	-2043	1,98	2,977	-2641,277
G2-27-2	33	164,1	-2039	1,982	2,977	-2637,860
G2-28-1	18	194,2	-1853	2,218	1,429	-2284,770
G2-28-2	18	40	-2286	1,113	1,429	-2622,290
G2-29-1	33	164,1	-2039	1,982	2,977	-2637,860
G2-29-2	33	40	-2382	1,068	2,977	-2704,69

propriétés thermodynamique du fluide dans les différents points de l'installation.



Plan général de l'unité Zcina.

Résumé

Notre travail a été réalisé suite à un stage pratique effectué au sein de l'installation de traitement de gaz Zcina sonatrach Hassi Messaoud. Le but principal de notre étude est de comptabiliser la perte exergétique globale dans cette installation, et de déterminer les différentes pertes qui existent dans cette installation ainsi que leurs natures.

Pour mettre en œuvre cette étude et d'atteindre l'objectif prédéterminé, on a opté pour un aperçu général sur le champ pétrolier de Hassi Messaoud, et une description détaillée de l'installation Zcina ainsi que ces différents équipements. Par la suite une généralité sur les notions d'énergie (rendement et bilan) et aussi au concept d'exergie.

À la fin de notre travail on a calculé la perte exergétique dans chaque équipement du train 2 de l'installation et la perte totale de chaque section, puis la perte globale de l'installation.

Summary

Our work was carried out following a practical internship at the gas processing plant Zcina sonatrach Hassi Messaoud. The main purpose of our study is to account for the overall exergy loss in this facility, and to determine the different losses that exist in this facility as well as their nature.

In order to implement this study and to achieve the predetermined objective, a general overview of the Hassi Messaoud oil field and a detailed description of the Zcina plant as well as the various equipment were chosen. Subsequently a generality on the notions of energy (yield and balance) and also to the concept of exergy.

At the end of our work, we calculated the exergy loss in each equipment of train 2 of the installation and the total loss of each section, then the overall exergy loss of the installation.