

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – محذوفة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE DES PROCEDES

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : INDUSTRIES PETROCHIMIQUES

Spécialité : GENIE PETROCHIMIQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Etude Du Torchage Des Gaz au Niveau de La Raffinerie De  
Hassi Messaoud**

Présenté par : *HADJAMI Hadil*

*KOUACHI Salma Nada*

Encadrant : *DJERAD Souad*

Professeur

Université Badji Mokhtar

## Jury de Soutenance :

CHELGOUM Nadjet	Docteur	UBMA - ANNABA-	Président
DJERAD Souad	Professeur	UBMA -ANNABA-	Encadrant
KERMICHE Messouad	Docteur	UBMA -ANNABA-	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

# Remerciements

*Nous remercions le bon dieu de nous avoir donné du courage afin que ce mémoire vous soit présenté aujourd'hui.*

*Nos remerciements les plus respectueux vont à mon promoteur Pr. DJERAD Souad qui nous a dirigé et qui a été à la hauteur de sa noble tâche.*

*Nous à remercier également ; les membres du jury pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant l'évaluation de notre travail.*

*Nous tenons à remercier infiniment Madame Abba . Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude pour son soutien constant tout au long de notre séjour a Hassi Messaoud .*

*Cette étude a été réalisée à l'unité de traitement de brut sud à HASSI MESSAOUD. Nous exprimons nos reconnaissances à notre encadreur Mr SLEMANI abd el Kader, formateur IAP HMD, Mr BENSARI Kamel directeur IAP HMD, Mr BOUKHLOUF Hamza sous-directeur IAP HMD pour la confiance qu'ils nous ont témoignée en nous accueillons au sein de leur unité.*

*Nos plus sincères remerciements s'adressent à tous les agents de SONATRACH, notamment à l'équipe de la salle de contrôle en particulier le responsable de la salle de contrôle et l'équipe du service de prévention et de formation pour leur accueil.*

*Enfin, tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de notre projet*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ma très chère mère.*

*Mon très cher père.*

*Mon très cher frère Sedik*

*Ma petite sœur Kaouther*

*Mon meilleur ami Baha Eddine*

*Ma chère meilleur amie et binôme Hadil*

*Mes chères tentes*

*Mes chères amies*

*À mes chers parents, sources inépuisables d'amour et de soutien, vous avez cru en moi dès mes premiers pas et m'avez donné les clés pour réaliser mes rêves.*

*Je vous dédie ce mémoire en signe de profonde gratitude pour votre présence inconditionnelle, vos encouragements constants et les sacrifices consentis pour mon avenir.*

*À ma sœur et binôme Selma, Merci pour ton amitié indéfectible, ton rire communicatif et ton soutien indéfectible. Tu as illuminé ce parcours universitaire par ta joie de vivre et ta présence réconfortante. Ce mémoire est aussi le fruit de notre complicité et de nos efforts partagés. J'ai toujours pu compter sur ton épaule réconfortante et ton esprit positif pour me motiver et me surpasser.*

*À Abla âme sœur et pilier indéfectible, En te dédiant ce mémoire, je tenais à exprimer toute ma reconnaissance pour le soutien inestimable que tu m'as apporté tout au long de ce parcours. Tu as transcendé le simple rôle d'amie pour devenir une confidente, une source d'inspiration et un soutien indéfectible. Merci pour tout Abla, Tu occupes une place unique dans mon cœur et je chéris chaque instant passé à tes côtés. Cette dédicace est un témoignage de mon affection indéfectible et de ma gratitude infinie pour ton soutien inestimable.*

*Selma*

*Hadil*



# Sommaire

Liste des figures .....	6
Liste des tableaux .....	7
Liste des Abréviations .....	8
<b>Introduction Générale .....</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre I : Description de l'Unité UTBS</b>	
I. Introduction :.....	10
II. Description de l'unité :.....	10
II.1 Réseau de collecte.....	11
II.2 Train de stabilisation de brut :.....	12
Séparation huile : .....	12
Dessalage : .....	13
Stabilisation :.....	14
II.3 Unité de compression gaz : .....	15
II.4 Unité de traitement des eaux huileuses : .....	16
II.5 Réseau torche : .....	16
II.6 Bacs de stockage : .....	17
III. Description d'un train UTBS :.....	18
III.1 Réception du brut :.....	18
III.2 Traitement du brut:.....	18
III.3 Séparateur: .....	20
Séparateur triphasique:.....	20
Séparateur biphasique: .....	21
III.4 Unité de dessalage :.....	21
III.5 Colonne de stabilisation :.....	23
IV. Conclusion .....	25
<b>Chapitre II : Torchage des Gaz</b>	
I. Introduction :.....	26
II. Définition :.....	26
III. Le torchage dans l'industrie du pétrole et de gaz :.....	26
III.1 Composition des gaz torchés : .....	27
III.2 Les réactions de combustion : .....	27
Combustion complète : .....	27

Combustion incomplète : .....	28
III.3 Types de torchages : .....	29
Torchage continue : .....	29
Torchage opérationnel : .....	29
Torchage d'urgence : .....	29
Torchage d'arrêt et de démarrage : .....	29
III.4 Typologie des torches à gaz: .....	29
III.5 Fonctionnement des torches : .....	30
III.6 Equipements de la torche : .....	31
Collecteur des torches : .....	31
Torche vertical : .....	31
Séparation liquide-vapeur : .....	31
Injection de la vapeur : .....	31
Protection contre le retour de flamme : .....	32
Gaz de purge : .....	32
III.7 Importance du torchage : .....	32
Raison de sécurité : .....	32
Raison économique et technique : .....	32
Raison de régulation : .....	33
IV. Impact des gaz torchés : .....	33
IV.1 Impact environnemental: .....	33
IV.2 Impact sur l'être humain : .....	34
V. Conclusion : .....	34
<b>Chapitre III: Torchage de Gaz au Niveau de l'UTBS</b>	
I. Introduction : .....	35
II. Volume des gaz torchés : .....	35
III. Evaluation économique du torchage des gaz : .....	37
IV. Valorisation des gaz torchés : .....	42
V.1 Réinjection dans le gisement : .....	42
V.2 Production de l'électricité : .....	42
V.3 Récupération de GPL : .....	42
V.4 Procédé GTL (Gas to Liquid): .....	43
VI. Conclusion : .....	44
<b>Conclusion Générale</b>	
References .....	46

**Liste des Figures**

**Chapitre I**

<b>Figure I- 1:</b> Schéma Réseau de Collecte Brut .....	12
<b>Figure I- 2:</b> Séparation Huile .....	13
<b>Figure I- 3:</b> Dessalage .....	13
<b>Figure I- 4:</b> Stabilisation .....	15
<b>Figure I- 5:</b> Compression Gaz .....	15
<b>Figure I- 6:</b> Réseau de Torche .....	17
<b>Figure I- 7:</b> Bacs de Stockage .....	17
<b>Figure I- 8:</b> Schéma d'un Train de Traitement .....	20
<b>Figure I- 9:</b> Séparation Triphasique et Biphase .....	21
<b>Figure I- 10:</b> Schéma des 2 Dessaleur en Série .....	23
<b>Figure I- 11:</b> Dessaleur Electrostatique .....	23
<b>Figure I- 12:</b> Colonne de Stabilisation et Rebouilleur .....	24
<b>Figure I- 13:</b> Aéroréfrigérant .....	24

**Chapitre II**

<b>Figure II- 1:</b> Combustion Complète .....	28
<b>Figure II- 2:</b> Combustion incomplète .....	28
<b>Figure II- 3:</b> Composition d'une Torche .....	30
<b>Figure II- 4:</b> Torche Vertical.....	31

**Chapitre III**

<b>Figure III- 1:</b> Volumes des Gaz torchés dans le monde (2020) .....	36
<b>Figure III- 2:</b> Volumes des Gaz torchés en Algérie (2012/2022) .....	36
<b>Figure III- 3:</b> Mode de Récupération de GPL .....	43

**Liste des tableaux**

**Chapitre I**

**Tableau I- 1:** Caractéristiques du Brut Stabilisé..... 11  
**Tableau I- 2:** Spécification de l'Huile Stabilisé ..... 18

**Chapitre III**

**Tableau III- 1:** Composition des Gaz torché a Hassi Messaoud ..... 37  
**Tableau III- 2:** Estimation des pertes économiques par due au Torchage ..... 39  
**Tableau III- 3:** Quantité de CO<sub>2</sub> émise par le torchage des gaz en 2020 ..... 40

**Liste des Abréviations:**

<b>UTBS</b>	Unité traitement Brut Sud
<b>CIS</b>	Centre Industriel Sud
<b>HEH</b>	Haoued-El Hamra
<b>OMN7</b>	Unité de traitement des eaux huileuses
<b>TVR</b>	Tension Vapeur Reid
<b>BSW</b>	résidu sédiment et eau
<b>MES</b>	Matière en suspension
<b>HC</b>	Hydrocarbures
<b>M01</b>	Manifold
<b>BP</b>	Basse pression
<b>TBP</b>	Très basse pression
<b>HP</b>	Haute pression
<b>GPL</b>	Gas de pétrole liquéfié
<b>GTL</b>	Gas to Liquid
<b>FT</b>	Fischer Tropesch
<b>Syngas</b>	Gas de synthèse
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone

# Introduction générale

La demande mondiale en énergie ne cesse de croître, poussant les sociétés pétrolières à optimiser leur production et à exploiter de nouvelles réserves. En parallèle, les réglementations environnementales se renforcent à travers le monde, les incitant à adopter des pratiques plus durables et à réduire leur impact sur l'environnement.

Depuis la révolution industrielle, l'accent a souvent été mis sur l'augmentation de la production, sans prise en compte des problèmes multiples. L'un des problèmes de l'industrie pétrolière est la combustion du gaz dans les torchères. Cette pratique génère des pertes considérables, estimées à des milliers de mètres cubes de gaz.

Le torchage du gaz représente un gaspillage inacceptable d'une source d'énergie précieuse et non renouvelable. Cette ressource qui pourrait être exploitée pour la production d'énergie ou exportée pour contribuer à la croissance économique des pays producteurs de pétrole, est gaspillée dans des flammes inutiles.

En brûlant le gaz dans les torchères, on prive les populations et les économies d'un potentiel énergétique et économique important. De plus, le torchage du gaz contribue à la pollution atmosphérique, ce qui peut avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et les cultures.

Dans notre travail, on s'est intéressées au torchage des gaz au niveau de l'unité UTBS de Hassi Messaoud. Le stage pratique que nous avons effectué au sein de cette unité nous a permis de prendre conscience de l'importance du secteur des hydrocarbures mais aussi des pertes énormes que subit ce secteur à cause du manque d'investissements dans de nouveaux équipements pour réduire les coûts d'exploitation et améliorer les traitements. Cela a eu pour conséquence des pertes économiques et des problèmes de pollution. Ainsi, ce mémoire sera divisé en trois chapitres :

Le chapitre 1 sera dédié à la présentation du complexe UTBS.

Dans le chapitre 2, on présentera le torchage comme méthode d'élimination des gaz issus des raffineries et ses équipements.

Dans le chapitre 3, on calculera les pertes économiques causées par l'élimination de ces gaz par torchage ainsi que la quantité de CO<sub>2</sub> émise par l'Algérie sur une période de 10 ans afin d'évaluer sa contribution au réchauffement climatique global. On a aussi recherché les solutions existantes qui sont appliquées par certains pays et que l'Algérie pourrait copier afin de préserver la planète.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Description de l'Unité UTBS

### **I. Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons présenter le lieu de notre stage qui est l'unité de traitement du brut sud ou "UTBS" située au niveau du complexe Sontrach de Hassi Messaoud. Cette unité a pour objectif de traiter 80% de la production actuelle du brut du CIS (centre industriel sud) pour le rendre aux normes commerciales de brut stabilisé.

L'UTBS comprend plusieurs unités que nous allons décrire ci-après.

### **II. Description de l'unité :**

L'UTBS (unité traitement brut sud) est destinée à recevoir et à traiter le pétrole non stabilisé et non dessalé issu des six champs satellites existants dans la zone de Hassi-Messaoud Sud et d'expédier le pétrole stabilisé vers le centre de stockage situé à Haoud El Hamra. [1]

La base est située à 7 kilomètres au sud-ouest du centre industriel sud (CIS), elle a été mise en service en septembre 2010 dans le but de :

- Améliorer les spécifications des produits,
- Augmenter la production de pétrole stabilisé,
- Atteindre 80% de la production totale de pétrole stabilisé,
- Délocaliser et améliorer la sécurité des installations,
- Produire en toute sécurité.

L'UTBS comprend les unités suivantes [1]:

- Un réseau de collecte de brut (6 pipelines) pour acheminer le pétrole non stabilisé des satellites existants vers la nouvelle installation.
- Trois unités de traitement de pétrole brut pour dessaler et stabiliser le pétrole brut de ces satellites.
- Une unité de compression comportant 4 trains.
- Une unité de traitement de pétrole hors-spec et un bac de stockage d'huile hors-spec.
- Quatre bacs de stockage de pétrole stabilisé.

- Une pompe d'expédition de pétrole stabilisé.
- Un système de comptage de pétrole stabilisé.
- Des pipelines d'expédition (pétrole stabilisé, gaz associé, eau traitée).
- Systèmes utilitaires requis pour les unités de traitement : Gaz combustible, Torches, Drains Fermés, Eau brute, Eau potable, Drains ouverts, Traitement des eaux huileuses, Stockage et expédition de l'eau traitée, Azote, Traitement de l'huile de lubrification, Stockage et distribution de diesel, Injection de produits chimiques, Station d'épuration des eaux usées, Eau incendie, Emulseur.

L'UTBS est conçu pour produire jusqu'à 300 000 barils par jour de pétrole brut stabilisé (47 700 m<sup>3</sup>/jour). Le but de cette unité est le traitement du brut afin d'atteindre les caractéristiques suivantes [1] :

*Tableau I- 1: Caractéristiques du Brut Stabilisé*

<b>Réception moyenne du brut champ sud (m<sup>3</sup>/h)</b>	1610	<b>Densité d'expédition de brut 24°C</b>	0,7930
<b>Réception moyenne du brut UTBS (m<sup>3</sup>/h)</b>	1260	<b>BSW (%)</b>	≤0,05
<b>Expédition moyenne du brut UTBS (m<sup>3</sup>/h)</b>	1250	<b>Salinité (mg/l)</b>	12
<b>Production totale de l'UTBS (m<sup>3</sup>/h)</b>	30240	<b>TVR (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0,660
<b>Gaz expédié vers CIS (m<sup>3</sup>/j)</b>	678200	<b>Eaux traitées vers OMN7 (m<sup>3</sup>/j)</b>	1850
<b>Gaz torché (m<sup>3</sup>/j)</b>	0	<b>Teneur en HC (mg/l)</b>	2
<b>Consommation fuel gaz (m<sup>3</sup>/j)</b>	98000	<b>Matière en suspension MES (mg/l)</b>	5

## II.1 Réseau de collecte

Le nouveau réseau de collecte permet d'acheminer le brut non stabilisé des satellites vers le manifold M01 situé à l'entrée de l'UTBS par des pipelines enterrés de différents diamètres :

- le satellite W1C → pipeline de 20 pouces
- le satellite W1A → pipeline de 12 pouces
- le satellite W2A → pipeline de 12 pouces
- le satellite E1C → pipeline de 14 pouces
- le satellite E2A → pipeline de 10 pouces
- le satellite S1A → pipeline de 10 pouces

Le M01 est composé de deux collecteurs :

- Le collecteur 24 pouces fonctionne à une pression normale en phase liquide de 13,5 bars alimentant les trois unités d'huile et le système hors spec en cas d'excédent.

- Le deuxième collecteur 16 pouces fonctionne à une basse pression en phase mixte de 3 bars, fournissant le système hors spec lorsque les pompes d'expédition d'huile de deux satellites au maximum sont hors service. [1]

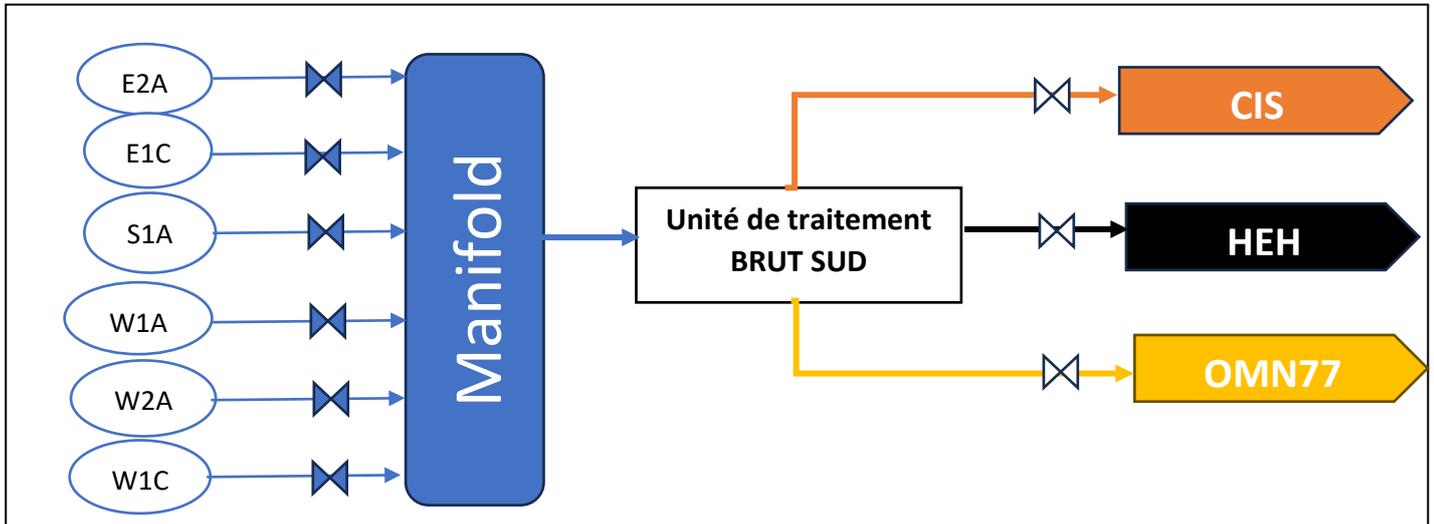


Figure I- 1: Schéma Réseau de Collecte Brut

## II.2 Train de stabilisation de brut :

### Séparation huile [1] :

La séparation pétrole/eau/gaz s'effectue en deux étages, le premier étage de séparation est constitué d'un ballon de séparation triphasique et le second étage d'un ballon biphasique.

Le brut non traité arrivant de M01 est envoyé dans le premier étage de séparation (séparateur triphasique).

Le gaz est séparé puis envoyé vers un système de compression. L'eau est envoyée vers le traitement des eaux huileuses.

L'huile est ensuite réchauffée jusqu'à 70°C dans un échangeur brut non traité/brut stabilisé constitué de deux calandres disposées en série. La température de sortie est contrôlée via un by-pass côté calandre.

L'huile chauffée alimente le deuxième étage de séparation (séparateur biphasique). Le gaz séparé est également envoyé au système de compression. Le brut est ensuite renvoyé par une pompe (2 x 100%) vers le système de dessalage.

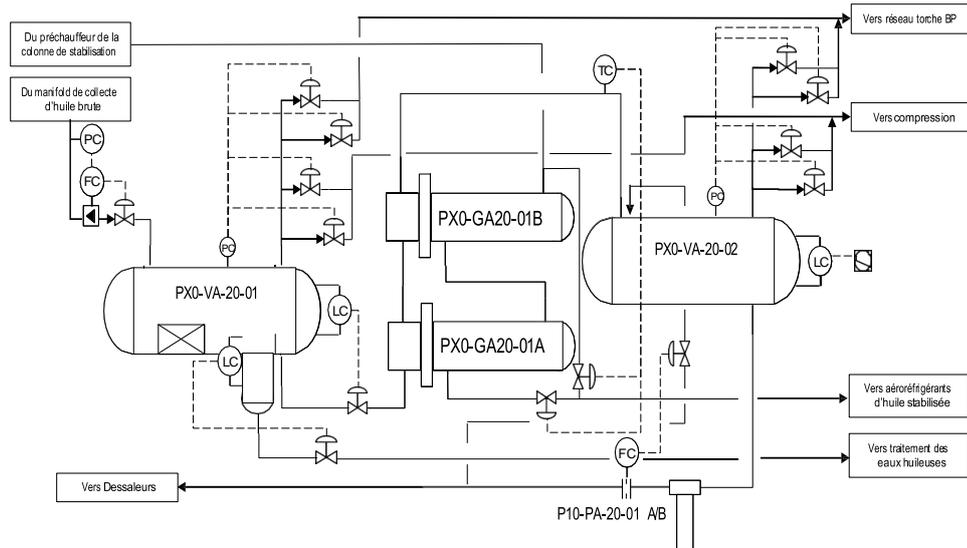


Figure I- 2: Séparation Huile

### Dessalage [1]:

Le système de dessalement se compose de deux dessaleurs électrostatiques connectés en série et l'eau de lavage est injectée dans l'entrée du deuxième dessaleur. Toute l'eau extraite du deuxième étage circule vers l'entrée du premier étage sous contrôle du niveau de liquide d'interface par pompe (2x100%). L'eau extraite du premier étage est envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses sous contrôle du niveau d'interface.

Chaque dessaleur électrostatique est équipé d'une vanne de mélange à son entrée. L'eau de lavage provient d'un puits d'eau foré par le Maître de l'Ouvrage.

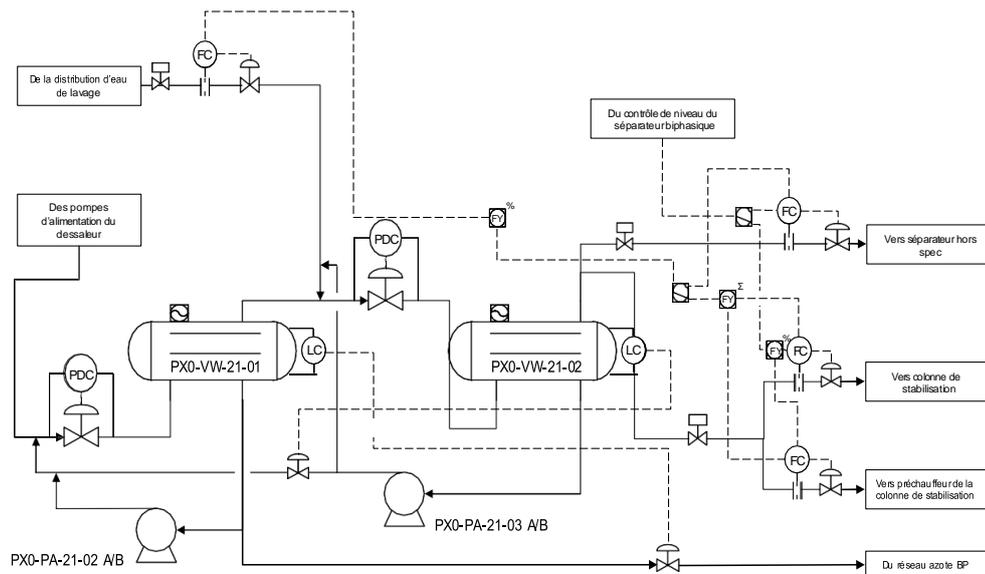


Figure I- 3: Dessalage

### Stabilisation :

L'huile dessalée alimente la colonne de stabilisation P10-CB-21-01. 20% du débit est directement fournie à la tête de la colonne (alimentation froide) ; 80% du débit est fournie au préchauffeur de la colonne de stabilisation P10-GA-21-01 A/B (alimentation chaude de la colonne). [1]

Le préchauffeur de la colonne de stabilisation est constitué de deux calandres en série. Chaque calandre peut être by-passée. La température de l'huile provenant du package de dessalage est d'environ 70°C. Elle passe côté tubes et elle est chauffée par l'huile stabilisée qui passe côté calandre. Pour optimiser la récupération de chaleur, la température de l'huile stabilisée en sortie du préchauffeur, côté calandre est réglée à 120°C.

La colonne de stabilisation permet d'augmenter la température de vaporisation de l'huile stabilisée au-dessus de la température de sortie des aéroréfrigérants d'huile. La chaleur en fond de colonne est fournie par le Rebouilleur P10-FA-21-01. [1]

La colonne de stabilisation comporte 21 plateaux réels :

-8 plateaux à 2 passes sont installés dans la partie supérieure de la colonne,

-13 plateaux à quatre passes dans la partie inférieure.

L'alimentation froide liquide est réalisée en tête de colonne, au-dessus du plateau 21; l'alimentation chaude mixte est réalisée au-dessus du plateau 13.

Afin de limiter la présence de sel dans la colonne, des soutirages d'eau sont installés sur les plateaux 11 et 19. Ils permettent de collecter l'eau qui s'écoule par différence de densité dans des pots de récupération. L'eau accumulée est drainée manuellement vers le package de traitement des eaux huileuses.

Le liquide descendant du plateau 1 est mélangé à l'huile stabilisée en fond de colonne qui ne comporte pas de cloison. Une partie de l'huile en fond de colonne alimente le rebouilleur P10-FA-21-01 par les pompes de recirculation du rebouilleur P10-PA-21-01 A/B/C (3 x 50%).

Le four fournit la chaleur nécessaire à la stabilisation et permet une vaporisation partielle de l'huile stabilisée. Le mélange diphasique est renvoyé dans la tour en sortie du rebouilleur s'effectue sous la plaque 1. La vapeur est fournie au plateau 1, tandis que le liquide est mélangé au liquide stabilisé en fond de colonne et en vaporise une partie.

Le rebouilleur est un four à tirage naturel à quatre passes. Le débit vers les passes est équilibré manuellement. Le four a six brûleurs et six pilotes. Le gaz vient du système de gaz combustible. [1]

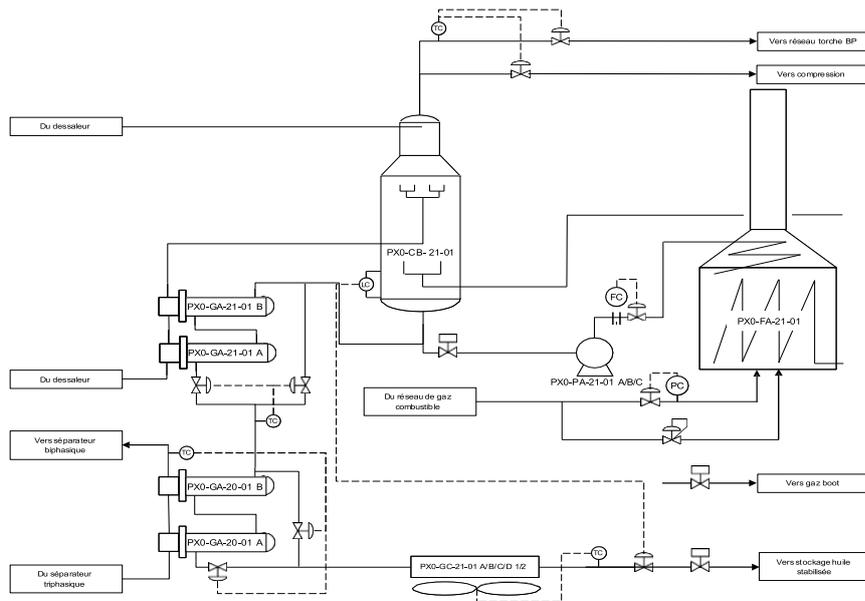


Figure I- 4:Stabilisation

### II.3 Unité de compression gaz :

Le gaz associé, appelé "gaz de flash" provenant : des séparateurs triphasiques, des séparateurs biphasiques et des colonnes de stabilisation des unités de traitement d'huile est collecté dans un collecteur commun opérant à une pression de 4,4 bar.

Une partie de ce gaz de flash est utilisée comme combustible au sein de l'UTBS, tandis que l'excédent est comprimé et expédié vers l'unité de GPL située au CIS. [1]

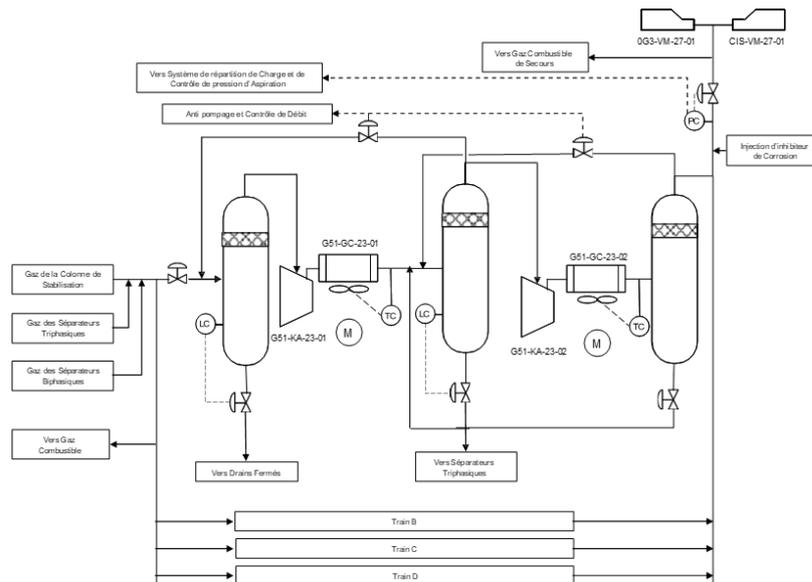


Figure I- 5:Compression Gaz

## **II.4 Unité de traitement des eaux huileuses :**

Les eaux huileuses issues du procédé sont traitées par une unité dédiée avant d'être stockées dans un bac tampon d'eau traitée. Ensuite, ces eaux traitées sont soit réinjectées dans un puits via OMN77, soit envoyées vers un bassin d'évaporation en cas de secours.

Le traitement des eaux huileuses vise à réduire la teneur en hydrocarbures et en matières en suspension dans l'eau traitée. Cette réduction permet de :

- Respecter les normes environnementales en matière de rejet d'eaux usées.
- Protéger les ressources en eau en évitant la contamination par les hydrocarbures.
- Améliorer la qualité de l'eau traitée pour sa réutilisation potentielle, comme la réinjection dans les puits. [1]

## **II.5 Réseau torche :**

Le réseau de torche d'UTBS comprend 5 Systèmes :

- Un (1) Réseau Torche Très Basse Pression (TBP), qui collecte les gaz du :
  - Ballon de gaz boot d'huile « hors-spec ».
  - Réservoir d'huile « hors spec ».
  - Ballon de drains fermés.
  - Système de traitement des eaux huileuses.
- Trois (3) Réseaux Torche Basse Pression (BP), auxquelles sont connectés les :
  - Equipements du train de stabilisation (Unité 10) -> Torche 10.
  - Equipements du train de stabilisation (Unité 20) -> Torche 20.
  - Equipements du train de stabilisation (Unité 30) -> Torche 30.
  - Séparateur d'huile « hors-spec ».
  - Equipements du système de gaz combustible.
- Un réseau de torche du système de compression. [1]

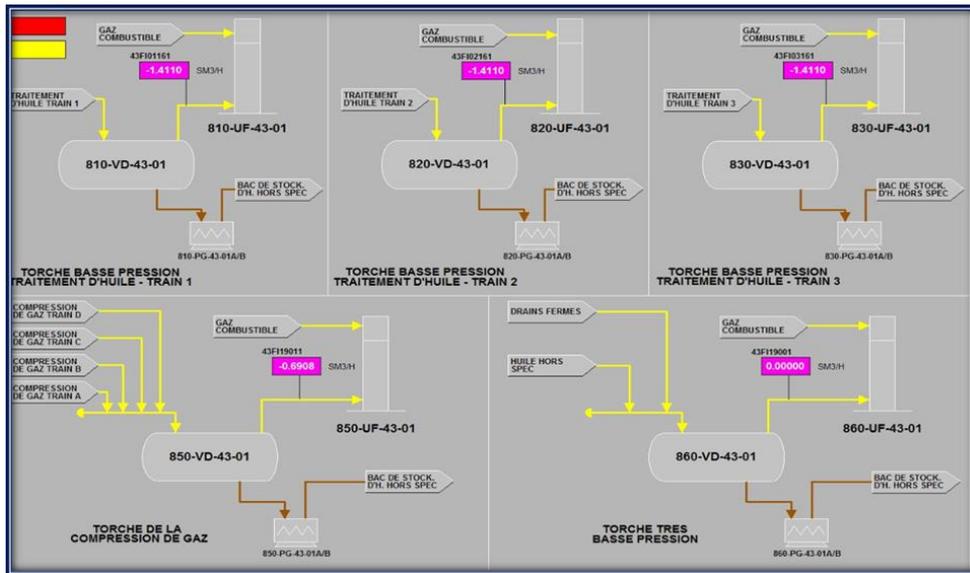


Figure I- 6: Réseau de Torche [1]

## II.6 Bacs de stockage :

Après refroidissement par les aéroréfrigérants, l'huile provenant des différentes unités de traitement est acheminée vers les bacs de stockage à toit flottant via un collecteur commun d'huile stabilisée.

La qualité de l'huile est contrôlée en permanence par un analyseur de détente de vapeur (TVR) en ligne avant son entrée dans les bacs.

Quatre bacs de stockage à toit flottant sont installés sur le site, chacun ayant une capacité de 50 000 m<sup>3</sup>. Cette capacité totale correspond approximativement à la production journalière de l'UTBS. [1]

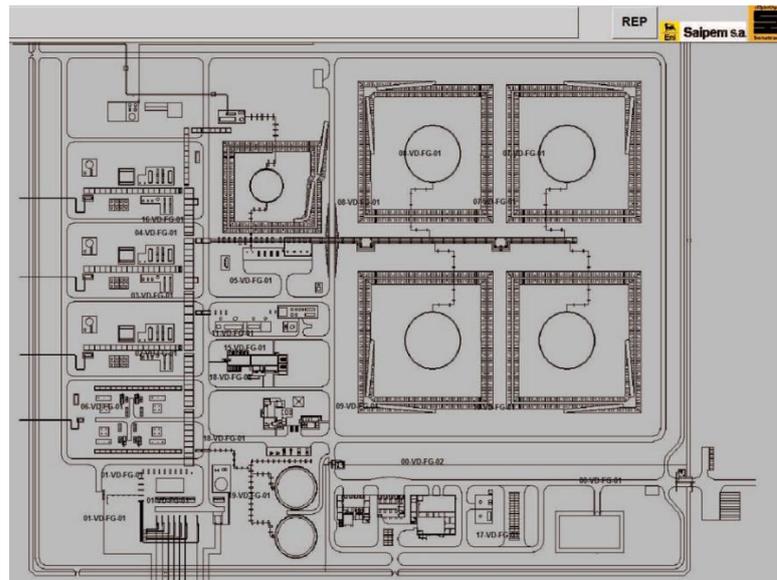


Figure I- 7: Bacs de Stockage [2]

### III. Description d'un train UTBS :

#### III.1 Réception du brut [1] :

Le brut est extrait des puits producteurs et acheminé vers les plateformes satellites existantes. Sur chaque plateforme satellite, une première séparation huile/gaz/eau est réalisée dans un séparateur triphasique.

Le brut non stabilisé est ensuite pompé vers les installations existantes du CIS (Complexe Industriel Sud) ou vers la nouvelle unité UTBS via un nouveau réseau de collecte. Ce nouveau réseau relie les plateformes satellites existantes à l'UTBS.

Le brut non stabilisé des plateformes satellites est acheminé vers le manifold M01 situé à l'entrée de l'UTBS. Le stockage du brut provenant des satellites dans des bacs à toit flottant n'est pas possible car il peut dégazer.

Trois unités de traitement d'huile, d'une capacité de 100 000 bbl/j chacune, permettent de transformer le brut en huile stabilisée répondant aux spécifications d'exportation.

Le processus de traitement du brut comprend plusieurs étapes :

- **Dégazage et réchauffage initial** : Le brut est dégazé et réchauffé dans des séparateurs triphasiques, diphasiques et des réchauffeurs d'huile.
- **Dessalage** : Le dessalage du brut est effectué grâce à deux séparateurs électrostatiques montés en série.
- **Stabilisation** : Le brut est stabilisé dans une colonne de stabilisation. L'huile est préchauffée en amont de la colonne.
- **Refroidissement** : Le brut stabilisé est refroidi avant d'être stocké. Le refroidissement est réalisé à l'aide des préchauffeurs de la colonne de stabilisation, des réchauffeurs d'huile et des réfrigérants d'huile stabilisée.

#### III.2 Traitement du brut:

Avant d'être stocké et expédié, le brut doit répondre aux spécifications montrées sur le tableau ci-dessous :

Tableau I- 2: Spécification de l'Huile Stabilisé [1]

<b>TVR (psi)</b>	7 (à 50°C)
	10 (à 25°C)
<b>Salinité (mg/L)</b>	≥ 40
<b>Teneur en eau(%)</b>	0,1

**Tension de vapeur Reid (TVR)** : La TVR de l'huile doit être compatible avec un stockage à température ambiante. Cela signifie que la pression de vapeur ne

doit pas dépasser 7 psi pour une température extérieure de 50°C (en été) et 10 psi pour une température extérieure de 25°C maximum (en hiver).

**Salinité** : La salinité du brut doit être inférieure ou égale à 40 mg/l.

**Teneur en eau insoluble** : La teneur en eau insoluble dans le brut stabilisé doit être inférieure ou égale à 0,1%.

***Composition des trains de traitement :***

Les trois trains de l'UTBS sont identiques et se composent des éléments suivants :

- **Séparation initiale du brut**

Un séparateur triphasique : permet de séparer le brut du gaz et de l'eau.

Un séparateur diphasique : permet de séparer le brut du gaz.

- **Réchauffage du brut** : Un réchauffeur d'huile (2 calandres) permet d'augmenter la température du brut avant les étapes suivantes du traitement.

- **Dessalage du brut qui comprenant :**

Un premier étage de dessalage : permet d'éliminer une partie de l'eau salée du brut.

Un deuxième étage de dessalage : permet d'éliminer le reste de l'eau salée du brut.

Deux pompes de recyclage d'eau premier étage : assurent la circulation de l'eau dans le premier étage de dessalage.

Deux pompes de recyclage d'eau deuxième étage : assurent la circulation de l'eau dans le deuxième étage de dessalage.

- **Stabilisation du brut**

Trois pompes de recirculation du rebouilleur : assurent la circulation du brut dans le rebouilleur.

Un rebouilleur : permet de chauffer le brut et d'évaporer les composants les plus légers.

Une colonne de stabilisation : permet de séparer les différents composants du brut en fonction de leur volatilité.

- **Refroidissement du brut stabilisé** : Un réfrigérant d'huile stabilisée (3 baies comprenant 2 faisceaux) : permet de refroidir le brut stabilisé avant son stockage. [1]

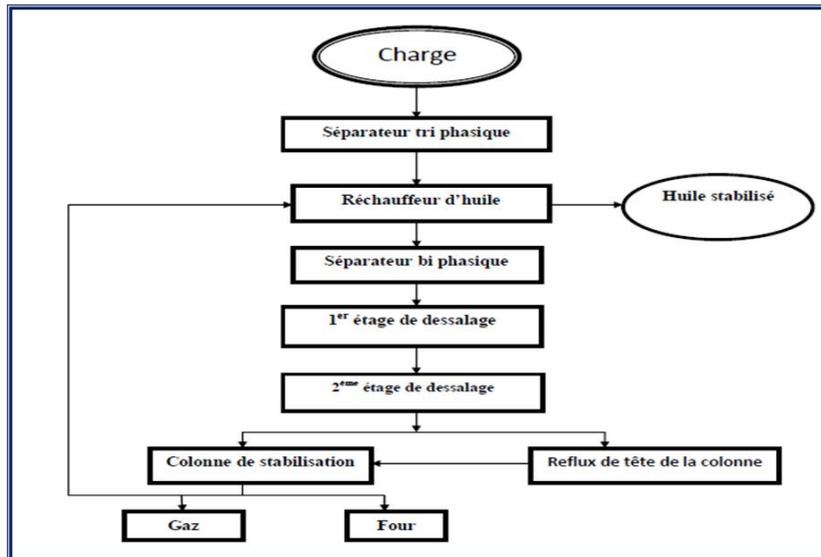


Figure I- 8: Schéma d'un Train de Traitement

### III.3 Séparateur:

#### Séparateur triphasique:

Le séparateur triphasique (PX0-VA-20-01) est le premier élément du processus de séparation du pétrole brut en ses trois composants : eau, huile et gaz. Il reçoit l'huile brute directement des plateformes satellites.

- Le séparateur fonctionne à une pression de 6,5 bars.
- Le temps de rétention est de 3,7 minutes pour l'huile et de 20 minutes pour l'eau.
- Le gaz est envoyé vers l'unité de compression via le collecteur de gaz de séparation. L'excès de gaz est envoyé vers la torche basse pression de l'unité.
- L'huile, contrôlée par un niveau, est envoyée vers le réchauffeur d'huile.
- L'eau provenant du processus, étant donné la faible quantité attendue suite à une première séparation sur les satellites, est collectée dans un appendice (appelé "boot") puis envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses, contrôlée par un niveau également.

L'huile provenant du séparateur triphasique passe par les tubes du réchauffeur d'huile (échangeur) PX0-GA-20-01 A/B, côté calandre, pour être chauffée à 70°C. Cette température est optimale pour le fonctionnement du package de dessalage qui suit.

L'échange thermique nécessaire est fourni par l'huile stabilisée chauffée à 120°C, provenant du fond de la colonne de stabilisation. Cette huile circule côté calandre des échangeurs et procure l'apport calorifique nécessaire au réchauffage de l'huile non stabilisée (70°C).

Les réchauffeurs d'huile PX0-GA-20-01 A/B et les préchauffeurs de la colonne de stabilisation PX0-GA-21-01 A/B font partie du schéma d'intégration thermique de l'unité. Ce schéma permet de récupérer une partie de la chaleur de l'huile chaude stabilisée en fond de colonne pour chauffer l'huile non stabilisée. [1]

### Séparateur biphasique:

L'huile chauffée à 70°C par le réchauffeur d'huile alimente le séparateur diphasique (PX0-VA-20-02). Ce séparateur constitue la deuxième étape du processus de séparation du pétrole brut et permet de séparer l'huile du gaz restant.

- Le séparateur diphasique fonctionne à une pression de 5 bars.
- Le temps de rétention de l'huile dans le séparateur est de 3,2 minutes.

Le gaz de flash, libéré suite au chauffage dans le réchauffeur d'huile et à la détente dans le séparateur diphasique, est envoyé vers l'unité de compression via le collecteur de gaz de flash. L'excès de gaz est envoyé vers la torche basse pression de l'unité.

L'huile est pompée du séparateur diphasique vers le package de dessalage par deux pompes d'alimentation centrifuges verticales (PX0-PA-20-01 A/B), d'une capacité totale de 100%. [1]

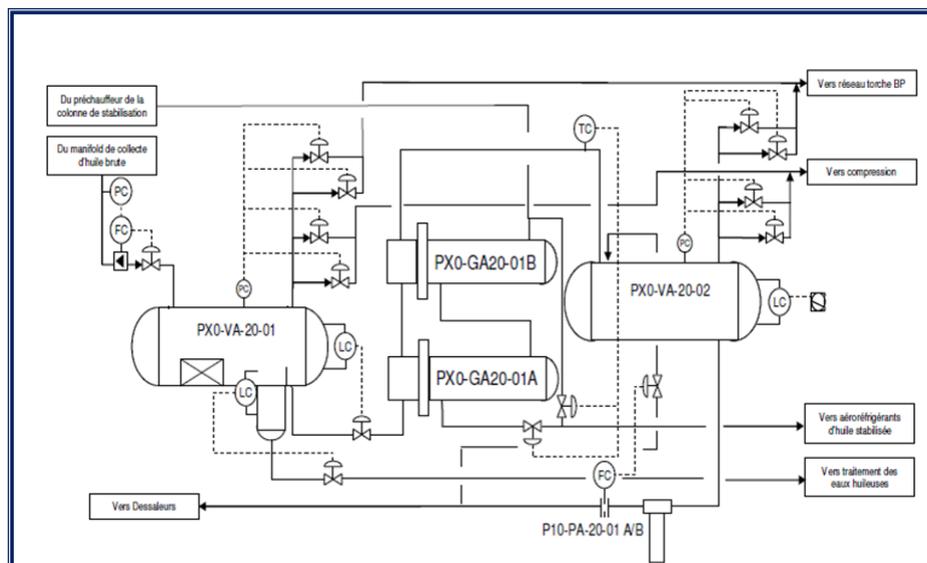


Figure I- 9: Séparation Triphasique et Biphasique [1]

### III.4 Unité de dessalage [3] :

Le package de dessalage (PX0-UZ-21-01) permet de réduire la teneur en sel et en eau de l'huile brute avant son stockage. L'objectif est de respecter les spécifications suivantes :

- Teneur en sel : Moins de 40 mg/l de chlorure de sodium (NaCl) équivalent.
- Teneur en eau: Moins de 0,1% en volume (BS&W).

Ces spécifications garantissent la qualité de l'huile stabilisée et permettent de limiter l'encrassement de la colonne de stabilisation par des dépôts de sel.

Le processus de dessalage se déroule en deux étapes :

**1. Émulsion et séparation dans le premier étage de dessalage :** Le brut est émulsionné avec de l'eau de lavage recyclée provenant des premier et deuxième étages de dessalage.

Cette émulsion est créée à l'aide d'une vanne de mélange (21-PV-0X524) située en amont du premier étage de dessalage (PX0-VW-21-01).

Le mélange est soumis à une pression de 12 bars et chauffé à 70°C. Le temps de rétention est de 5 minutes pour l'huile et de 18 minutes pour l'eau. L'émulsion est ensuite séparée en deux phases liquides dans le dessaleur.

Un champ électrostatique est appliqué pour favoriser la coalescence des microgouttelettes d'eau en gouttes plus importantes. Ces gouttes tombent par gravité dans le fond du séparateur électrostatique. L'eau coalescée est envoyée vers le package de traitement des eaux huileuses.

Une partie de l'eau est recyclée vers l'entrée du premier étage grâce aux pompes de recyclage premier étage PX0-PA-21-02 A/B (2x100%).

Le brut sortant du premier étage de dessalage est ensuite mélangé avec de l'eau de lavage pour le deuxième étage de dessalage.

**2. Émulsion et séparation dans le deuxième étage de dessalage :** Le mélange brut-eau de lavage est émulsionné à l'aide d'une deuxième vanne de mélange (21-PV-0X525).

L'émulsion est soumise à une pression de 10,5 bars et chauffée à 70°C. Le temps de rétention est de 5 minutes pour l'huile et de 30 minutes pour l'eau. La séparation eau-huile se fait à nouveau sous l'action d'un champ électrostatique.

L'eau séparée tombe par gravité en fond de cuve du séparateur. Une partie de l'eau est recyclée vers le premier étage grâce aux pompes de recyclage du deuxième étage PX0-PA-21-03 A/B (2x100%). Le reste de l'eau est renvoyé vers l'entrée du deuxième étage.

Chaque étage de dessalage et chaque vanne de mélange dispose de sa propre ligne de by-pass. Cela permet de dévier le flux en cas de problème.

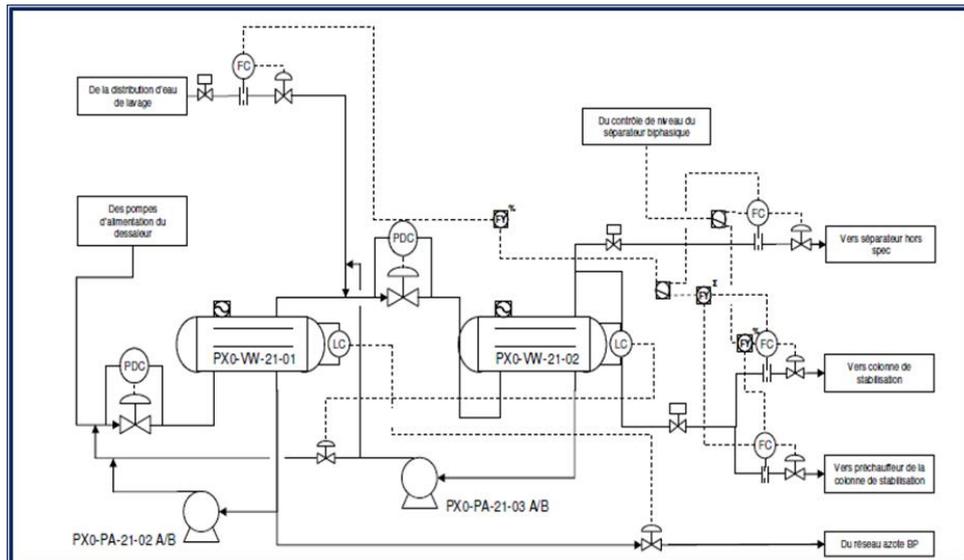


Figure I- 10: Schéma des 2 Dessaleur en Série [1]

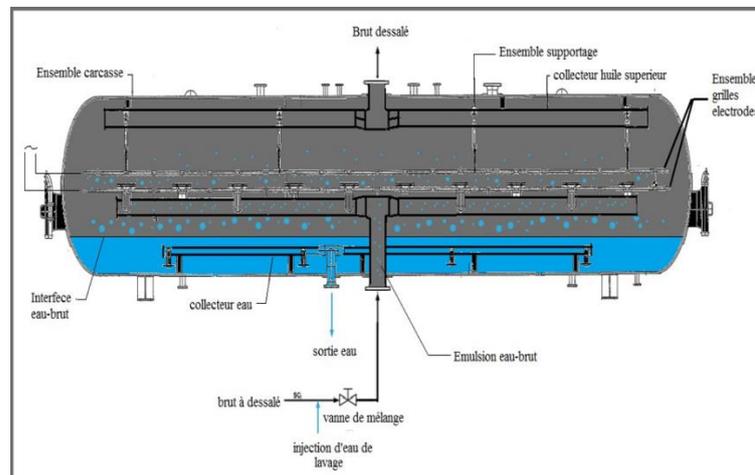


Figure I- 11: Dessaleur Electrostatique [3]

### III.5 Colonne de stabilisation :

L'huile après dessalage alimente la colonne de stabilisation PX0-CB-21-01 selon deux modes : [1]

- 20% du débit est envoyé directement à la tête de la colonne (alimentation froide).
- 80% du débit alimente le préchauffeur de la colonne (alimentation chaude). Ce préchauffeur est constitué de deux calandres en série.

L'huile provenant du dessalage, à une température d'environ 70°C, circule dans les tubes du préchauffeur. Elle est chauffée par l'huile stabilisée circulant dans l'enveloppe des calandres. La température de l'huile stabilisée en sortie du

préchauffeur, côté calandre, est régulée à 120°C pour optimiser la récupération de chaleur [1].



**Figure I- 12:** Colonne de Stabilisation et Rebouilleur [3]

La colonne de stabilisation, opérant à une pression de 5 bars, permet de séparer les composés légers du brut et d'obtenir en fond de colonne la (TVR) requise pour le stockage dans les bacs à toit flottant. En d'autres termes, elle augmente la température de vaporisation de l'huile stabilisée au-dessus de la température de sortie des aéroréfrigérants.

La colonne de stabilisation permet d'atteindre une TVR d'environ 7 psi (en été), soit un point de bulle de 61°C à pression atmosphérique, et d'environ 10 psi (en hiver), soit un point de bulle de 42°C à pression atmosphérique [1].



**Figure I- 13:** Aéroréfrigérant [3]

#### **IV. Conclusion**

Au cours de notre stage, nous avons visité les différentes installations de l'unité UTBS. Cela nous a permis de se rendre compte de la complexité des traitements nécessaires pour l'obtention d'un brut aux normes mais aussi des différents problèmes rencontrés par le personnel technique pour faire fonctionner l'unité dans de bonnes conditions.

# Chapitre II

## Torchage Des Gaz

### **I. Introduction :**

L'image de la flamme jaillissant d'une torchère est emblématique de l'industrie pétrolière et gazière.

Cette pratique, appelée torchage ou flaring en anglais, consiste à brûler le gaz naturel qui remonte à la surface en même temps que le pétrole. Le torchage est souvent la solution de facilité pour se débarrasser du gaz naturel lorsqu'il n'y a pas d'infrastructures adéquates, comme des gazoducs ou des unités de liquéfaction, pour le transporter ou le traiter.

De plus, le gaz naturel extrait peut parfois être de mauvaise qualité ou présent en quantité insuffisante pour être commercialisé. Loin d'être une solution inoffensive, le torchage du gaz naturel a des impacts dévastateurs sur l'environnement et l'économie.

### **II. Définition :**

Le torchage du gaz est une pratique nuisible et archaïque, qui consiste à brûler le gaz naturel associé à l'extraction du pétrole, perdue depuis l'aube de l'industrie pétrolière, il y a plus de 160 ans. Cette pratique néfaste, loin d'être anodine, résulte d'une conjonction de facteurs, allant des contraintes économiques et des défaillances du marché à l'absence de réglementations adéquates et de volonté politique.

Loin d'être une simple nuisance, le torchage du gaz constitue un gaspillage flagrant d'une ressource naturelle précieuse. Ce gaz, qui pourrait être utilisé à des fins productives, telles que la génération d'électricité, ou préservé. [4]

### **III. Le torchage dans l'industrie du pétrole et de gaz :**

Dans les raffineries et les industries, notamment dans les secteurs du pétrole, de la chimie et de la pétrochimie, la torche, aussi appelée torchère est un élément essentiel de la sécurité, c'est un dispositif conçu pour brûler en toute sécurité les gaz excédentaires ou non désirés provenant des processus industriels. Ces gaz, s'ils n'étaient pas évacués de cette manière, pourraient s'enflammer accidentellement, créant des risques importants pour l'environnement et la sécurité des sites.

L'installation et l'utilisation des torches sont strictement réglementées par des normes et des lois spécifiques. Ces réglementations visent à garantir que les torches fonctionnent de manière efficace et sûre.

La torche est souvent visible à grande distance, surtout lorsqu'elle produit une flamme vive ou un panache de fumée. [5]

### **III.1 Composition des gaz torchés :**

La composition exacte des gaz torchés peut varier en fonction de nombreux facteurs, notamment la composition chimique du brut traité, les conditions de traitement et les spécifications réglementaires. Les raffineries et les installations de traitement de brut utilisent des systèmes de surveillance et de contrôle pour mesurer et ajuster la composition des gaz torchés afin de se conformer aux normes environnementales et de sécurité.

Les gaz torchés dans une unité de traitement de brut sont généralement composés de divers hydrocarbures, notamment :

Le méthane (CH<sub>4</sub>), de l'éthane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), du propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), du butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), ainsi que des composés plus lourds tels que le pentane (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>) et d'autres fractions d'hydrocarbures. En plus des hydrocarbures, les gaz torchés peuvent également contenir divers contaminants tels que du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), de l'eau (H<sub>2</sub>O) et d'autres composés indésirables. [1]

### **III.2 Les réactions de combustion :**

Les hydrocarbures peuvent subir une combustion complète ou incomplète, selon la quantité d'oxygène disponible :

#### **Combustion complète :**

Pour obtenir une combustion complète d'un carburant hydrocarboné, il faut un bon apport d'air. Lors de cette réaction chimique exothermique, les atomes de carbone et d'hydrogène du carburant réagissent avec l'oxygène de l'air pour produire :

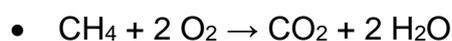
- Du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- De l'eau (H<sub>2</sub>O)

Cette réaction libère également la quantité maximale d'énergie possible contenue dans le carburant.

En générale :

- Hydrocarbure + Oxygène → Dioxyde de carbone + Eau

Équation du combustion complète :



- $C_2H_6 + 7/2 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O$
- $C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$  [6]



Figure II- 1: Combustion Complété

### Combustion incomplète :

La combustion incomplète se produit lorsque l'apport d'air ou d'oxygène est insuffisant. Dans ce cas, de l'eau est toujours produite, mais on observe également la formation de :

- Monoxyde de carbone (CO) : gaz toxique et polluant
- Carbone (C) : sous forme de suie ou de résidus solides

La combustion incomplète libère moins d'énergie que la combustion complète.

Équation de la combustion incomplète du méthane:

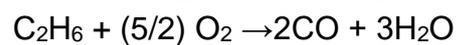
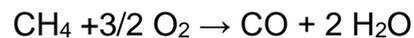


Figure II- 2: Combustion incomplète

### **III.3 Types de torchages :**

Il en existe quatre principaux types :

#### **Torchage continue :**

C'est un processus permanent où le gaz associé à la production de pétrole est brûlé en continu. Il sert à éliminer le gaz indésirable qui ne peut pas être capté ou utilisé de manière rentable. Ce type de torchage est courant dans les raffineries et les usines pétrochimiques. [7]

#### **Torchage opérationnel :**

Il s'agit d'un torchage planifié et contrôlé qui se produit lors du démarrage, de la maintenance ou de l'arrêt d'une unité de production. Ainsi, lors du démarrage d'une unité, le gaz est torché pour des raisons de sécurité et de contrôle du procédé. Il est également utilisé pendant les opérations de maintenance pour éviter l'accumulation de gaz dangereux. [7]

#### **Torchage d'urgence :**

Il se produit en cas de situation critique, comme une panne d'équipement ou une fuite de gaz. Dans ces situations, le gaz est immédiatement brûlé pour éviter les risques d'explosion ou de pollution atmosphérique. [8]

#### **Torchage d'arrêt et de démarrage :**

-Le torchage d'arrêt se produit lors de la mise hors service programmée d'une unité de production. Pendant cette période, le gaz associé à la production (gaz résiduels) est brûlé pour purger les conduites et les équipements.

L'objectif est d'empêcher l'accumulation de gaz dangereux et de préparer l'unité pour la maintenance ou l'arrêt complet.

-Le torchage de démarrage intervient lors du redémarrage d'une unité après une période d'arrêt. Lorsque l'unité est remise en service, le gaz résiduel accumulé pendant l'arrêt est brûlé pour assurer un fonctionnement sûr et efficace.

Le torchage de démarrage permet de purger les conduites et de stabiliser les processus avant la reprise de la production normale. [9]

### **III.4 Typologie des torches à gaz:**

Les torches à gaz se déclinent en plusieurs types, chacun répondant à des besoins spécifiques :

- Torche à fût conventionnel
- Torche sonique
- Torche basse avec chambre de combustion

- Torche froide ou événements

Le choix du type de torche dépend d'une analyse minutieuse des facteurs susmentionnés, en tenant compte des exigences spécifiques du procédé, des propriétés des gaz à évacuer et des contraintes de sécurité. [9]

### III.5 Fonctionnement des torches :

Les systèmes de torche jouent un rôle essentiel dans la gestion sécurisée des gaz et des liquides inflammables libérés dans les installations industrielles. Ces systèmes comprennent de grands collecteurs de torche, des torchères verticales surélevées et des dispositifs de séparation vapeur-liquide.

Afin d'éviter la formation de fumée noire, la plupart des torchères intègrent un système d'injection de vapeur d'eau. Cette solution est efficace pour réduire les émissions de particules.

Dans ces cas, l'alternative consiste à brûler le gaz dans un excès d'air. Cette technique, bien que moins performante en termes de réduction des émissions de fumée, permet de pallier les contraintes liées à l'utilisation de la vapeur d'eau. [9]

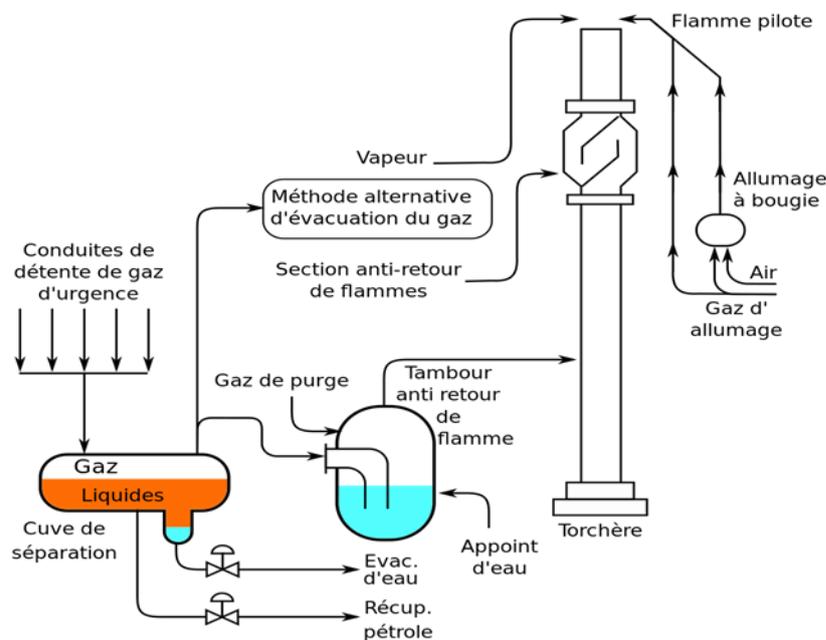


Figure II- 3: Composition d'une Torche [10]

### III.6 Equipements de la torche :

#### Collecteur des torches :

Les gaz et les liquides inflammables sont acheminés vers la torche par l'intermédiaire de vastes réseaux de tuyauterie appelés collecteurs de torche. Ces collecteurs assurent une collecte efficace des effluents et les dirigent vers la torche pour une élimination contrôlée. [8]

#### Torche vertical :

Une fois collectés, les gaz sont dirigés vers une torche verticale surélevée. À la sortie de la torche, les gaz sont brûlés, produisant une flamme dont la taille et la luminosité sont proportionnelles au débit du matériau inflammable en joules par heure (ou en btu par heure). [11]

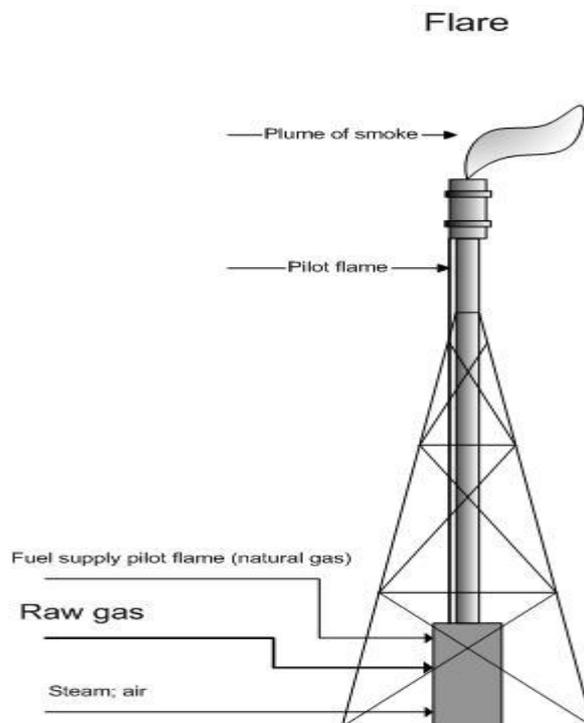


Figure II- 4: Torche Vertical

#### Séparation liquide-vapeur :

La plupart des torchères d'installations industrielles sont équipées d'un séparateur vapeur-liquide, également connu sous le nom de tambour défonçable. Ce dispositif permet d'éliminer les grandes quantités de liquide qui peuvent accompagner les gaz soulagés, avant leur arrivée à la torche. [11]

#### Injection de la vapeur :

De la vapeur est souvent injectée dans la flamme de la torche pour réduire la formation de fumée noire. Cependant, une quantité excessive de vapeur peut

entraîner une "sur-vaporisation", réduisant l'efficacité de la combustion et augmentant les émissions polluantes. [11]

#### **Protection contre le retour de flamme :**

Un retour de flamme, phénomène redouté dans les systèmes d'élimination des gaz, survient lorsque la flamme se propage en amont dans le système. Cette situation peut entraîner une accumulation dangereuse de pression dans les tuyauteries et les cuves situées en amont de la flamme.

La protection contre les retours de flamme est un élément essentiel de la sécurité des systèmes d'élimination des gaz. [11]

#### **Gaz de purge :**

Le gaz de purge constitue un élément essentiel de la sécurité des systèmes de décharge de gaz. En contrôlant les vitesses d'écoulement, il contribue à prévenir les risques d'inflammation et d'explosion, garantissant ainsi la protection des personnes et des installations. [11]

### **III.7 Importance du torchage :**

#### **Raison de sécurité :**

Le torchage du gaz nécessaire dans certaines situations pour des raisons de sécurité.

Lors de l'extraction du pétrole brut, une augmentation soudaine ou spectaculaire de la pression peut déclencher une explosion dévastatrice. Les accidents industriels peuvent donner lieu à des incendies destructeurs, dangereux et persistants, particulièrement difficiles à maîtriser et à contrôler.

Face à ces risques potentiels, le torchage du gaz offre aux opérateurs un moyen de dépressuriser leurs équipements et de gérer les variations de pression imprévisibles et importantes en brûlant l'excédent de gaz. En agissant comme une soupape de sécurité, le torchage permet d'éviter des accidents majeurs qui pourraient avoir des conséquences désastreuses pour l'environnement, la santé des travailleurs et les populations environnantes. [4]

#### **Raison économique et technique :**

L'exploitation de gaz naturel qui accompagne l'extraction du pétrole, se heurte souvent à des obstacles majeurs, notamment lorsqu'il s'agit de champs pétrolifères situés dans des zones reculées et difficiles d'accès. Ces sites éloignés, caractérisés par une production de gaz fluctuante et parfois limitée, compliquent considérablement le transport rentable de cette ressource vers des installations de traitement et d'utilisation.

De plus, la capture et la valorisation du gaz deviennent particulièrement onéreuses lorsque les sites de production pétrolière sont dispersés sur de vastes étendues géographiques.

Dans ces situations, le torchage du gaz associé, bien que néfaste pour l'environnement, s'impose souvent comme la solution la plus pragmatique, faute de moyens économiques et logistiques viables. [4]

#### **Raison de régulation :**

Même lorsque le captage et la valorisation du gaz s'avèrent économiquement et techniquement réalisables, des obstacles réglementaires peuvent compliquer, voire interdire, sa commercialisation par les entreprises. Cette situation paradoxale se présente dans des cas où une entreprise détient les droits d'extraction du pétrole mais ne dispose pas de l'autorisation d'exploiter le gaz produit simultanément. Dans d'autres situations, la réglementation peut manquer de précision quant au traitement commercial du gaz, créant ainsi une ambiguïté juridique sur son utilisation.

De plus, les réglementations imposant des pénalités aux entreprises pratiquant le torchage du gaz ne s'avèrent pas toujours efficaces pour réduire cette pratique néfaste. En effet, le torchage, même assorti d'une amende, peut s'avérer plus économique pour les entreprises que la capture et la vente du gaz associé. [4]

#### **IV. Impact des gaz torchés :**

Le torchage libère dans l'air des volumes considérables de gaz à effet de serre puissants, tels que le méthane, la suie noire et le protoxyde d'azote. Ces émissions contribuent de manière significative au réchauffement climatique et à la pollution atmosphérique, avec des effets néfastes sur la santé humaine et les écosystèmes.

Le torchage du gaz, loin d'être une pratique anodine, constitue une menace majeure pour l'environnement et la biodiversité. [12]

##### **IV.1 Impact environnemental:**

Si le torchage du gaz naturel peut sembler être une solution pour éliminer un sous-produit indésirable de l'extraction pétrolière, il n'en est pas moins une pratique néfaste pour l'environnement. En effet, le gaz non brûlé par la torche s'échappe dans l'atmosphère sous forme de méthane, un gaz à effet de serre redoutable dont le potentiel de réchauffement climatique est 28 à 36 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> sur une période d'un siècle, et de 84 à 87 fois supérieur sur deux décennies.

Le torchage du gaz affecte également la faune en attirant les oiseaux et les insectes vers la flamme. En 2013, environ 7 500 oiseaux chanteurs migrateurs

ont été attirés et tués par la torche du terminal de gaz naturel liquéfié de Saint John au Nouveau-Brunswick, au Canada. Des incidents similaires se sont produits sur des installations pétrolières et gazières extracôtières.

Les papillons de nuit, particulièrement attirés par les lumières, sont également victimes du torchage. Sur plusieurs années, une raffinerie peut ainsi contribuer à la disparition d'une grande quantité de papillons, perturbant la pollinisation des plantes. [12]

#### **IV.2 Impact sur l'être humain :**

Loin de se limiter à l'émission de gaz à effet de serre, le torchage du gaz libère un cocktail de produits chimiques toxiques pour la santé humaine comme le Benzène, particules, oxydes d'azote, métaux lourds, carbone noir et monoxyde de carbone.

Des études ont établi un lien direct entre l'exposition à ces polluants et des problèmes de santé graves, notamment les naissances prématurées et le faible poids à la naissance.

Les gaz envoyés dans l'air comme les composés organiques volatils, le dioxyde de soufre et d'autres composés soufrés, tous connus pour provoquer l'asthme et d'autres maladies respiratoires. [12]

#### **V. Conclusion :**

L'augmentation croissante de la demande mondiale en pétrole et en gaz a entraîné une intensification du torchage. De plus, toutes les raffineries sont équipées de réseaux de torchères pour des raisons de sécurité et de décharge de pression en cas de conditions anormales.

Le torchage, bien qu'habituellement considéré comme une méthode sûre et efficace d'élimination des gaz inutilisables, présente des limites en termes d'impact environnemental et de valorisation énergétique. En effet, cette pratique implique la combustion des gaz, ce qui génère des émissions de gaz à effet de serre et une perte de ressources précieuses.

La lutte contre le torchage du gaz est un défi majeur, mais il est possible de le relever. En adoptant des solutions durables et en mettant en place des politiques plus strictes, nous pouvons protéger notre planète des effets néfastes de cette pratique et assurer un avenir plus durable.

# Chapitre III

## Torchage De Gaz au Niveau de l'UTBS

### **I. Introduction :**

L'augmentation croissante de la demande mondiale en pétrole et en gaz a entraîné une intensification du torchage. De plus, toutes les raffineries sont équipées de réseaux de torchères pour des raisons de sécurité et de décharge de pression en cas de conditions anormales.

Le torchage, bien qu'habituellement considéré comme une méthode sûre et efficace d'élimination des gaz inutilisables, présente des limites en termes d'impact environnemental et de valorisation énergétique. En effet, cette pratique implique la combustion des gaz, ce qui génère des émissions de gaz à effet de serre et une perte de ressources précieuses.

La lutte contre le torchage du gaz est un défi majeur, mais il est possible de le relever. En adoptant des solutions durables et en mettant en place des politiques plus strictes, il est possible de protéger la planète des effets néfastes de cette pratique et assurer un avenir plus durable.

### **II. Volume des gaz torchés :**

Des milliers d'unités de traitement de pétrole et de gaz dans le monde ont brûlé 141 milliards de mètres cubes de gaz en 2020 par torchage durant le traitement ou sur sites. Les prix du gaz naturel atteignent des sommets de plus en plus élevés chaque année, ce qui rend le torchage du gaz est un gaspillage d'argent extraordinaire.

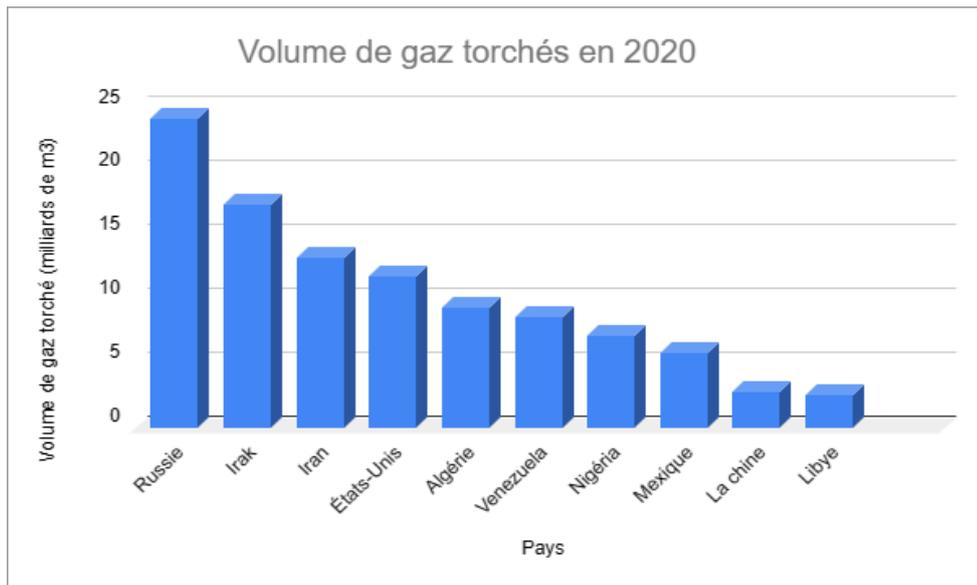


Figure III- 1: Volumes des Gaz torché dans le monde (2020) [13]

Parmi les pays qui torchent le plus, on retrouve la Russie avec 24,1 milliard m<sup>3</sup> ; suivie par l'Irak, l'Iran et les états unis torchant respectivement : 17,4 milliard m<sup>3</sup> ; 13,3 milliard m<sup>3</sup> et 11,8 milliard m<sup>3</sup>.

L'Algérie est placé au cinquième rang mondial avec un volume torché de 9,3 milliard m<sup>3</sup>, suivi par le Venezuela avec 8,6 milliard m<sup>3</sup>, le Nigeria avec 7,2 milliard m<sup>3</sup>, le Mexique avec 5,8 milliard m<sup>3</sup> et la Libye avec 2,5 milliard m<sup>3</sup> [13].

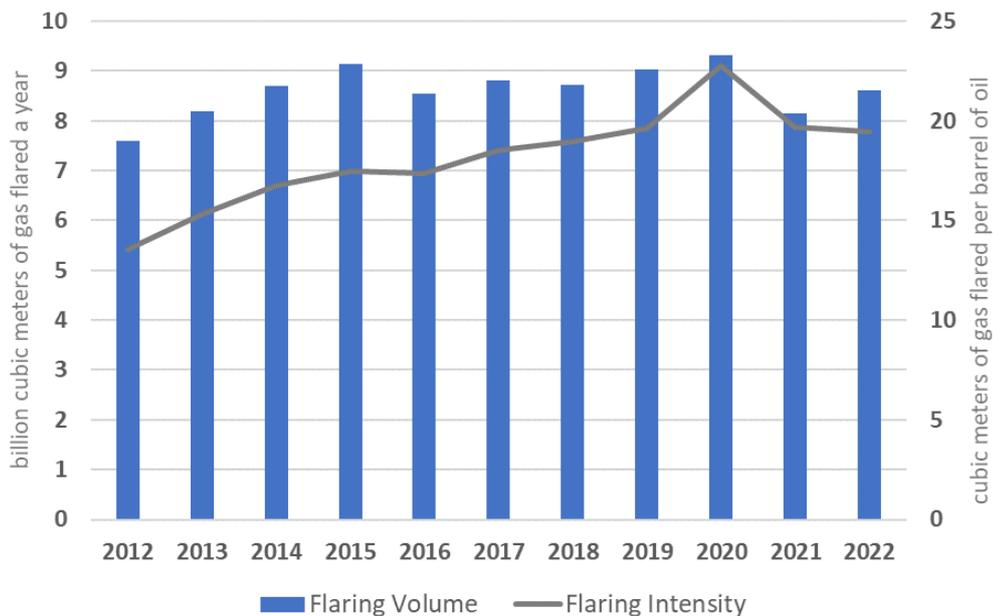


Figure III- 2: Volumes des Gaz torchés en Algérie (2012/2022) [13]

L'année 2020 a été marquée par une augmentation alarmante du torchage de gaz (9,3 milliards de mètres cubes), avec une intensité qui a atteint son troisième plus haut niveau jamais enregistré (L'intensité du torchage, mesurée en mètres cubes de gaz brûlés par baril de pétrole extrait).

Ce constat s'accompagne d'une augmentation du nombre de sites de torchage recensés qui s'élevait à 209.

En Algérie la région de Hassi Messaoud est responsable sur plus de 3 milliards m<sup>3</sup> du volume de gaz torché totale avec 44 sites actifs qui torchent quotidiennement.

Sur la région de Hassi Messaoud, on trouve en première place le CIS (centre industriel sud) qui brûle 363,49 millions m<sup>3</sup>.

L'unité UTBS est en 11<sup>ème</sup> place sur la région de Hassi Messaoud avec un total de gaz torché en 2020 de 75,27 millions m<sup>3</sup> [13].

### **III. Evaluation économique du torchage des gaz :**

Sur le tableau ci-dessous est représentée la composition des gaz torchés au niveau de Hassi Messaoud.

**Tableau III- 1:** Composition des Gaz torché a Hassi Messaoud [14]

<b>Constituants</b>	<b>Composition (%)</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	65,78
<b>C<sub>2</sub></b>	22,43
<b>C<sub>3</sub></b>	4,32
<b>C<sub>4</sub></b>	1,67
<b>Iso-C<sub>4</sub></b>	0,26
<b>Iso-C<sub>5</sub></b>	0,21
<b>C<sub>5</sub></b>	0,06
<b>C<sub>6</sub></b>	0,57
<b>CO<sub>2</sub></b>	2,4
<b>N<sub>2</sub></b>	2,3
<b>Total (100%)</b>	100 %

Dans ce qui suit nous allons effectuer 2 types de calculs :

Le premier calcul concernera l'estimation des pertes économiques dues au torchage en calculant la quantité torchée de chaque composant du gaz. Ensuite, on va évaluer la perte économique de chaque composant brûlé.

Le deuxième calcul concernera la quantité de CO<sub>2</sub> émise par le torchage des gaz afin d'estimer l'impact de l'Algérie sur les changements climatiques et l'effet de serre comparé aux autres pays.

Pour effectuer le premier calcul, nous avons pris les données de l'année 2020 dans laquelle l'Algérie a torché 9,32 milliards de m<sup>3</sup>. Le volume de chaque gaz torché a été calculé en se basant sur sa composition indiquée sur le tableau III.1.

$$\text{Volume de } C1 = \frac{65,73 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 6\,126\,036\,000\text{m}^3$$

$$\text{Volume de } C2 = \frac{22,43 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 2\,090\,476\,000\text{m}^3$$

$$\text{Volume de } C3 = \frac{4,32 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 402\,624\,000\text{m}^3$$

$$\text{Volume de } i - C4 = \frac{0,26 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 24\,232\,000\text{m}^3$$

$$\text{Volume de } i - C5 = \frac{0,21 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 19\,572\,000\text{m}^3$$

$$\text{Volume de } C6 = \frac{0,57 \times 9,32 \times 10^9}{100} = 53\,124\,000\text{m}^3$$

Pour estimer les pertes économiques, nous allons évaluer la valeur de chaque composant en se basant sur son prix de vente. Le seul prix existant est celui du méthane C1 qui est de 1,08 €/m<sup>3</sup>. Le prix du reste des composants peut varier en fonction de plusieurs facteurs notamment : la région géographique, la disponibilité, la demande et les coûts de production.

En l'absence du prix des autres composants (C2, C3, C4, C5 et C6), nous les avons estimé à la moitié du prix du méthane soit 0,54€/m<sup>3</sup>. Le calcul du prix de chaque composant est montré ci-dessous :

Pour le méthane :

$$6\,126\,036\,000 \text{ m}^3/\text{an} \times 1,08 \text{ €/m}^3 = 6\,616\,118\,880 \text{ €/an}$$

Pour les autres gaz, le calcul se fait de la même manière en estimant leur valeur à 0,54 € :

- Pour C<sub>2</sub> : 2 090 476 000 × 0,54 = 1 128 857 040 €/an
- Pour C<sub>3</sub> : 402 624 000 × 0,54 = 217 416 960 €/an
- Pour i-C<sub>4</sub> : 24 232 000 × 0,54 = 13 085 280 €/an
- Pour i-C<sub>5</sub> : 19 572 000 × 0,54 = 10 568 880 €/an
- Pour C<sub>6</sub> : 53 124 000 × 0,54 = 28 686 960 €/an

**Tableau III- 2:** Estimation des pertes économiques par due au Torchage

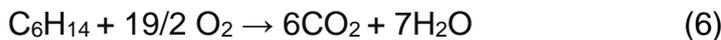
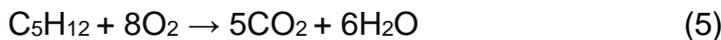
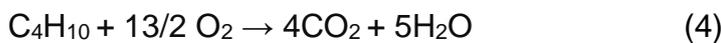
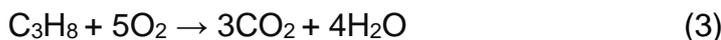
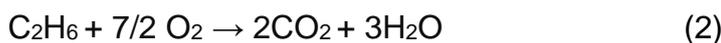
Composants	Volume torché (m <sup>3</sup> /an)		Prix du m <sup>3</sup> (€/m <sup>3</sup> )	Prix de volume (€/an)	
<b>C1</b>	6 126 036 000		1,08	6 616 118 880	
<b>C2</b>	2 090 476 000		0,54	1 128 857 040	
<b>C3</b>	402 624 000		0,54	217 416 960	
<b>i-C4</b>	24 232 000		0,54	13 085 280	
<b>i-C5</b>	19 572 000		0,54	10 568 880	
<b>C6</b>	53 124 000		0,54	28 686 960	
	<b>V<sub>totale</sub></b>	8 716 064 000		<b>Perte totale</b>	8 014 734 000€

D'après les résultats, le torchage du gaz en Algérie est responsable de la perte de 8 716 064 000 milliards de m<sup>3</sup> de gaz par an, représentant une perte financière colossale de 8 014 734 000 euros. Ce gaspillage insensé prive le pays d'une ressource économique vitale et dilapide de l'argent, de l'énergie et des opportunités de développement.

Au-delà de la perte directe de revenus, le torchage du gaz entraîne des impacts économiques indirects dévastateurs. Des emplois sont perdus dans l'industrie du gaz, car le gaz n'est pas capturé et traité pour être utilisé.

Il est donc indispensable de stopper ou du moins de réduire cette pratique nuisible et de transformer le torchage du gaz en une opportunité pour l'Algérie.

Nous avons par la suite calculé la quantité de CO<sub>2</sub> émise par le torchage de ces gaz. Le calcul a été réalisé en supposant que la combustion de chaque gaz est totale et qu'elle génère du CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O selon les réactions suivantes :



Le calcul de la quantité de CO<sub>2</sub> produite a été fait comme suit :

On détermine d'abord la quantité de CO<sub>2</sub> selon chaque réaction en (g), ensuite on transforme la masse produite en volume (m<sup>3</sup>) en utilisant la masse volumique.

La masse volumique de chaque gaz torché et celle de CO<sub>2</sub> sont données ci-dessus [15].

$$\rho_{\text{CH}_4} = 0,6709 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{C}_2\text{H}_6} = 1,2822 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{C_3H_8}=2,0098 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{C_4H_{10}}=2,5436 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{C_5H_{12}}=2,975 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{C_6H_{14}}=3,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{CO_2}=1,87 \text{ kg/m}^3$$

Le calcul dans le cas de CH<sub>4</sub> s'effectuera comme suit :

$$\rho_{CH_4}= 0,6709 \text{ kg/m}^3 \text{ et } V_{CH_4}=6\ 126\ 036\ 000 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$m=\rho \times V= 0,6709 \times 6\ 126\ 036\ 000 \rightarrow m_{CH_4}= 4\ 109\ 957\ 552,4 \text{ kg/an (masse torchée)}$$

De la réaction (1) on calcul la masse de CO<sub>2</sub> formée :

$$m_{CH_4} = n \times M = 1 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol} \rightarrow m_{CH_4} = 16 \text{ g}$$

$$m_{CO_2} = n \times M = 1 \text{ mol} \times 44 \text{ g/mol} \rightarrow m_{CO_2} = 44 \text{ g}$$

$$m_{CO_2} = \frac{4\ 109\ 957\ 552,4 \times 10^3 \times 44}{16} = 11\ 302\ 383\ 269 \text{ g/an}$$

$$m = \rho \times V \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{11\ 302\ 383\ 269 \times 10^{-3}}{1,87} \rightarrow V_{CO_2} = 6\ 044\ 055,224 \text{ m}^3$$

De la même manière on calcul la quantité de CO<sub>2</sub> formée par la combustion des autres gaz. Le résultat est montré sur le tableau III.2 :

**Tableau III- 3:** Quantité de CO<sub>2</sub> émise par le torchage des gaz en 2020

<b>Composant</b>	<b>Volume torché (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume torché de CO<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>/an)</b>
<b>C1</b>	6 126 036 000	0,6709	6 044 055,224
<b>C2</b>	2 090 476 000	1,2822	4 204 562,082
<b>C3</b>	402 624 000	2,0098	1 298 171,74
<b>i-C4</b>	24 232 000	2,5436	100 018,69
<b>i-C5</b>	19 572 000	2,975	95 141,67
<b>C6</b>	53 124 000	3,23	281 680,74
<b>Total</b>	<b>8 716 064 000</b>		<b>12 023 630,15</b>

Un total de plus de 12 millions de m<sup>3</sup> ont été produits par le torchage de 9,32 milliards de gaz en 2020. Si on multiplie ce volume par dix en supposant qu'il reste sensiblement le même, on peut avoir une idée sur l'énorme quantité de CO<sub>2</sub> émise pendant une décennie et ceci uniquement par l'Algérie qui est classée 5<sup>ème</sup> dans le monde. Si on lui ajoute les quantités de CO<sub>2</sub> produites par les autres pays (Russie, Irak, Iran et Etats Unis), cela donnera des quantités phénoménales de CO<sub>2</sub> libéré dans l'atmosphère qui contribuera de manière significative au

changement climatique, aggravant ses effets néfastes sur l'environnement et les populations.

Le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre. Il entraîne le réchauffement climatique qui va accélérer les événements météorologiques extrêmes et la perte de biodiversité.

Les dégâts environnementaux causés vont entraîner des coûts supplémentaires pour la restauration des écosystèmes. Ceci révèle une réalité alarmante et soulignent l'urgence de s'attaquer à cette pratique nuisible.

En plus du CO<sub>2</sub>, le torchage du gaz libère des particules fines, des oxydes d'azote et du monoxyde de carbone. Ces polluants atmosphériques dégradent la qualité de l'air, provoquant des problèmes respiratoires, des maladies cardiaques et d'autres problèmes de santé.

### **la quantité global du CO<sub>2</sub> émis dans l'air :**

Les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie augmentent constamment depuis 1970. Elles sont passées de 14 284 Mt en 1971 à 21 003 Mt en 1990, 23 749 Mt en 2000, 31 157 Mt en 2010, 34 191 Mt en 2019 et 32 252 Mt (million de tonnes) en 2020. [16]

Le volume de CO<sub>2</sub> total émis par les sources anthropiques en 2020 était de 32 252 Mt en 2020. Donc  $32.252 \times 10^{13}$  KG soit  $1.724 \times 10^{13}$  m<sup>3</sup>.

$$\rho_{CO_2} = 1,87 \text{ kg/m}^3$$

Le volume total de CO<sub>2</sub> produit en 2020 par le torchage des gaz en Algérie était de 12 023 630 138,4 m<sup>3</sup>.

Ce qui constitue 0.0000007% du total des émissions de CO<sub>2</sub> à travers le monde.

$$m = \rho \times V \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{32\,252\,000\,000\,000}{1,87} = 17\,247\,058\,820\,000 \text{ m}^3$$

Un total de plus de 17 billions ( $1.7 \times 10^{13}$ ) de m<sup>3</sup> ont été produits en 2020. Ce qui présente une immense source de pollution à un gaz effet de serre.

D'après ce volume total de CO<sub>2</sub> émis en 2020 distingue que l'impact de l'Algérie par le torchage en 2020 sur est quasiment nulle par rapport au monde. C'est-à-dire que l'Algérie n'est pas classée polluante face aux autres pays comme : la Chine qui manifeste avec plus de 30 % de volume global ; suivie par les États-Unis d'une part de 14%. [16]

$$\frac{\text{la quantité de torchage en algérie } CO_2}{\text{quantité globale du } CO_2} = \frac{12\,023\,630,15}{17\,247\,058\,820\,000} = 0.00000069714\%$$

## **Solutions au problème de torchage**

La recherche n'a cessé de développer des solutions afin de minimiser les pertes économiques et l'impact environnemental de cette pratique. Des techniques ont été développées dans certains pays comme : les Etats unis ; la chine. Voici quelques exemples :

### **IV. Valorisation des gaz torches :**

#### **V.1 Réinjection dans le gisement :**

En Algérie, la réinjection du gaz dans les gisements constitue la technique la plus répandue. Cette méthode consiste à réintroduire le gaz dans le gisement, ce qui permet d'atteindre plusieurs objectifs majeurs :

- Maintenir la pression au sein du gisement.
- Améliorer le taux de récupération des hydrocarbures bruts, augmentant ainsi la production.
- Récupérer le gaz injecté via des puits dédiés, pour un traitement ultérieur dans des installations spécialisées.

Pour que le gaz puisse être réinjecté dans le gisement, il est nécessaire d'augmenter sa pression à un niveau suffisant pour surpasser la pression naturelle du gisement. Cette opération implique l'apport d'énergie au gaz réinjecté, ce qui est rendu possible grâce à l'utilisation de compresseurs à gaz. [8]

#### **V.2 Production de l'électricité :**

L'exploitation du gaz torche comme combustible pour alimenter un générateur électrique, dans le but de produire de l'électricité pour la distribution ou la consommation interne, repose généralement sur l'utilisation d'une turbine. Cette turbine, élément central du système, est composée de plusieurs parties jouant chacune un rôle crucial dans la conversion de l'énergie chimique du gaz en énergie électrique.

#### **V.3 Récupération de GPL :**

Le gaz est souvent brûlé à la torche dans les champs pétrolifères et gaziers, représente une source d'énergie précieuse qui peut être valorisée grâce à la récupération du Gaz Pétrole Liquéfié (GPL).

La composition du GPL varie selon les normes et les utilisations dans différents pays. Il peut contenir du propylène, du butène, une faible quantité de méthane,

d'éthylène, de pentane, et exceptionnellement des hydrocarbures tels que le butadiène, l'acétylène et le méthylacrylique.

Le processus de récupération du GPL à partir du gaz comprend plusieurs étapes:

1. Compression du gaz après élimination des liquides.
2. Refroidissement du gaz par échangeurs thermiques et par détente.
3. Récupération des liquides et fractionnement pour séparer le GPL du condensat produit.

#### Avantages de la valorisation du gaz torche en GPL :

- Réduction du torchage : Le torchage du gaz, une pratique courante dans les champs pétrolifères et gaziers, est une source de pollution atmosphérique. La valorisation du gaz en GPL permet de réduire cette pratique.
- Valorisation d'une ressource énergétique : Le GPL est une source d'énergie utile qui peut être utilisée dans divers domaines.
- Réduction de la dépendance aux combustibles fossiles : Le GPL peut se substituer à d'autres combustibles fossiles tels que le charbon et le fioul.

La valorisation du gaz en GPL est une pratique bénéfique à la fois pour l'environnement et pour l'économie. [17]

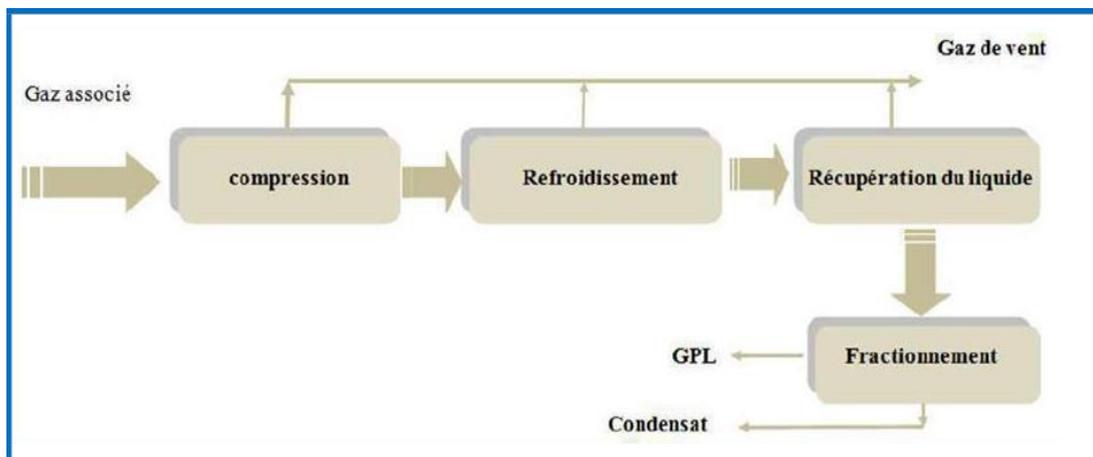


Figure III- 3: Mode de Récupération de GPL [17]

#### V.4 Procédé GTL (Gas to Liquid):

Le nouveau procédé "gas to liquids" (GTL) capable de transformer le gaz naturel en carburants et dérivés pétroliers utilisables par la pétrochimie.

Cette méthode vise à remédier au problème du torchage du gaz [18]. Il existe plusieurs étapes pour la production du GTL :

**1<sup>ère</sup> étape : Production de gaz de synthèse (Syngas) :** Cette étape consiste à transformer le gaz naturel en un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, connu sous le nom de gaz de synthèse ou Syngas grâce à la

méthode de steam reforming '(reformage à la vapeur) qui va produire du CO et H<sub>2</sub>.

**2<sup>ème</sup> étape : Synthèse de Fischer-Tropsch (FT) :** Le CO et H<sub>2</sub> produits lors de la première étape vont réagir ensemble et converti en hydrocarbures liquides tels que les huiles lourdes, les huiles moyennes ou les distillats moyens (naphta, kérosène, gazole) via la synthèse de Fischer-Tropsch (FT). Cette réaction se déroule en présence d'un catalyseur spécifique et permet d'obtenir des produits liquides à base de carbone.

**3<sup>ème</sup> étape : Raffinage :** L'étape finale consiste à raffiner les produits obtenus lors de la synthèse FT en divers produits liquides directement utilisables. Ce processus, similaire au raffinage du pétrole brut, permet d'obtenir des carburants pour véhicules ou des produits destinés à la pétrochimie, en fonction des besoins ou de la demande. Le raffinage des produits synthétiques est généralement plus facile en raison de l'absence de soufre et d'autres contaminants présents dans le pétrole brut [19].

## **VI. Conclusion :**

En conclusion, le torchage du gaz est un problème complexe aux conséquences économiques et environnementales graves. En adoptant des solutions innovantes et en investissant dans des technologies durables, nous pouvons mettre fin à cette pratique néfaste et créer un avenir plus prospère et durables pour l'homme et la planète.

# Conclusion générale

Notre séjour à l'unité de traitement de brut sud (UTBS) de Hassi-Messaoud, nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques acquises durant notre cursus universitaire. En effet, nous avons visité toute l'unité allant de la séparation jusqu'au torchage des gaz.

Grace à ce stage, nous avons appris à reconnaître les différents équipements utilisés sur place, nous avons pris conscience de la complexité du procédé et de l'importance de chaque étape du traitement qui influe sur la qualité finale du brut stabilisé.

Certains problèmes rencontrés par les responsables de l'unité sont parfois difficiles à résoudre à cause de la vétusté des équipements et le manque d'investissement.

Notre étude a porté sur le torchage des gaz qui est un thème sensible car l'Algérie a signé des accords en 2017 pour la réduction de l'opération de torchage à cause des émissions des gaz à effet de serre que cela induit ajouter au fait que cette pratique engendre des pertes économiques considérables. [20]

A cause du manque de données concernant cette opération, nous nous sommes limitées à calculer les quantités de CO<sub>2</sub> produit au cours de l'année 2020 par l'opération de torchage et estimer les pertes financières que cela a engendrées.

Nous avons aussi fait des recommandations concernant les alternatives possibles pour limiter les impacts négatifs de cette opération. L'idée était qu'au lieu de brûler des gaz combustibles qui ont de la valeur ajoutée, car ils contiennent des gaz de C1 à C6, ils peuvent être utilisés dans de nouveaux procédés. Ces alternatives sont déjà pratiquées par certains pays soucieux de la question environnementale. Ces recommandations sont les suivantes :

- La production d'électricité locale à l'aide de turbines à gaz,
- La conversion des gaz en liquide en créant un pôle « pétrochimie » dans la région par la construction d'une unité de GTL qui récupère le gaz des 44 sites.
- La récupération des condensats (C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>) pour récupérer les naphthas léger et lourds, les traiter par reformage, alkylation et isomérisation pour les transformer en essences de haute qualité et des monomères pour l'industrie de polymère

## References

- [1] Manuel Opérateur UTBS; Sonatrach, HASSI MESSOUAD, 2010.
- [2] B. J.M, «Dessalage du pétrole brut sur champs de production,» Revue IFP, 2011.
- [3] C. S. L, T. J et S. B, «MANUEL OPERATOIRE ; Réalisation d'une Unité de Traitement de Brut,» Saipem, Hassi Messouad , Sonatrach DP/UTBS/HMD, 21-Sep-2009.
- [4] «Gas flaring explained,»World Bank ; Gas flaring reduction [En ligne]: <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction/gas-flaring-explained>.
- [5] «Tout savoir sur les torches,» (ENVIRONNEMENT – INDUSTRIE, Association Interprofessionnelle des Industriels de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Agréée pour la protection de l'environnement [En ligne]: <https://www.dispositif-reponses.org/cles-pour-comprendre/reduire-les-emissions-de-pollution/tout-savoir-sur-les-torches>.
- [6] «DifferenceBetween complete & incomplete combustion,»PEDIAA, 1 august 2017. [En ligne]: [https://pediaa.com/difference-between-complete-combustion-and-incomplete-combustion/#google\\_vignette](https://pediaa.com/difference-between-complete-combustion-and-incomplete-combustion/#google_vignette).
- [7] «Torchage gaz naturel une dilapidation qui perdure» L'economiste Maghebin[En ligne]: <https://www.leconomistemaghrebin.com/2014/04/21/tunisie-torchage-gaz-naturel-dilapidation-perdure/>.
- [8] «Manuel de formation-les drains et les torches,» TOTAL.
- [9] F. Z. SELINI, «L'Impact du projet RGA sur le trochage et la production,» Mémoire de Master2018.
- [10] «Flare stack,» Wikimedia;1 June 2012. [En ligne]: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FlareStack\\_System.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FlareStack_System.png).
- [11] «Flare and vent disposal systems,» PetroWiki [En ligne]: [https://petrowiki.spe.org/Flare\\_and\\_vent\\_disposal\\_systems#cite\\_ref-r2\\_2-12](https://petrowiki.spe.org/Flare_and_vent_disposal_systems#cite_ref-r2_2-12).
- [12] «Gas Flare,» Wikipedia [En ligne]: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_flare](https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_flare).
- [13] «Global flaring data,»Gas Flaring Reduction; WorldBank [En ligne]: <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction/global-flaring-data>.
- [14] Z. Fares , M. Abedlouahed et M. Abedlbasset, «Récupération des gaz torchés par l'unité de GPL-2 au niveau de CIS,» Hassi Messaoud , Mémoire Master 2019 .
- [15] «Masse volumiques,» wékipidia , [En ligne]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thane>.

- [16] «Emission de dioxyde de carbone,» WikiPedia [En ligne].:  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mission\\_de\\_dioxyde\\_de\\_carbone](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mission_de_dioxyde_de_carbone).
- [17] H. Sarra, « Etude d'installation des ballons de torche HP, MP et BP par HYSYS au niveau de GUELALA,» Mémoire de Master 2018.
- [18] «Procédé GTL pour éviter le torchage,» Recherche énergie procédé;Usine Nouvelle [En ligne]: <https://www.usinenouvelle.com/article/recherche-energie-procedure-gtl-pour-eviter-le-torchage-de-gaz-naturel.N107219>.
- [19] A. Saïd, «Les GTL, une autre forme de valorisation du gaz naturel, Application en Algérie,» Mémoire master 31 janvier 2002.
- [20] «Hassi Messaoud va produire du gaz pour la première fois,» [En ligne]:  
<https://afrique.latribune.fr/entreprises/industrie/energie-environnement/2017-09-09/algerie-hassi-messaoud-va-produire-du-gaz-pour-la-premiere-fois-749679.html>.
- [21] «UTBS Manuelle opératoire,» Hassi Messouad , 2010.
- [22] A. Meddour et A. Rehaïem, «« Récupération des gaz torchés au niveau de champ ROM (RHOURDE OULED MESSAOUD) »,» Mémoire master Ouregla, 2013.
- [23] «torchage du gaz naturel,»WikiPedia [En ligne]. Available:  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Torchage\\_du\\_gaz\\_naturel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Torchage_du_gaz_naturel).