



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

MASTER

GEOLOGIE APPLIQUEE

Option : Mines et Energies

THEME :

CARACTERISATION ANALYTIQUE DU BUTANE LORS D'UN DECHARGEMENT EN CÔTE D'IVOIRE : CAS DU NAVIRE MT PERMIAN LADY

ANNEE ACADEMIQUE :
2018-2019

N° D'ORDRE : 0242/2020

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0413001518

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

ADJIRI BADOU MARIE LAURETTE

JURY

Président : M. KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : KOUASSI Kouakou Lazare, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Encadreur : GBANGBOT Jean-Michel Kouadio, Maître Assistant,
Université Jean Lorougnon Guédé

Examineur : M. BIE Goha René, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guédé

Soutenu publiquement

le : 08/06/2020

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	vi
REMERCIEMENTS	vii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ANNEXES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : GENERALITES	
1.1. GENERALITES SUR LE BUTANE.....	5
1.1.1. Définition	5
1.1.2. Origine du butane	5
1.1.3. Propriétés du butane	6
1.1.4. Caractéristiques	6
1.1.4.1. Dangersité.....	6
1.1.4.2.Odeur et Toxicité.....	7
1.1.4.3.Dilatation et Réactivité.....	7
1.1.5. Usages	7
1.1.6. Risques liés au butane	7
1.2. PROCESSUS DE LIQUEFACTION DU BUTANE.....	8
1.2.1. A partir du gaz naturel	8
1.2.2 A partir du pétrole brut	9
1.3. Transport du butane et stockage.....	9
1.3.1. Transport par bateaux-citernes.....	9
1.3.1.1. Transport par bateaux-citernes entièrement pressurisés.....	10
1.3.1.2. Transport par bateaux-citernes entièrement réfrigérés	10
1.3.2. Transport par pipelines.....	11
1.3.3. Transport par camions citernes	12

1.3.4. Transport par trains	12
1.3.5. Réservoirs cylindriques	13
1.3.6. Réservoirs sphériques.....	13
1.3.7. Réservoirs sous terrains.....	14
1.3.8. Stockage sous talus.....	15

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. MATERIEL.....	17
2.1.1. Matériel de transport	17
2.1.2. Matériel de protection individuelle (EPI).....	17
2.1.3. Matériel d'échantillonnage.....	18
2.1.4. Matériel d'analyses	19
2.1.4.1. Chromatographe	19
2.1.4.1.1. Injecteur.....	20
2.1.4.1.2. Détecteur	21
2.1.4.1.3. Colonne	23
2.1.4.1.4. Four	25
2.1.4.2. Radar à jauge	25
2.1.4.3. Tube à essai et thermomètre.....	26
2.1.4.4. Appareillage de test de corrosion	26
2.2. METHODES	27
2.2.1. Chromatographie en phase gazeuse	27
2.2.1.1. Principe.....	27
2.2.1.2. Mode opératoire de CPG.....	28
2.2.2. Méthode de calcul de la masse volumique et de la pression de vapeur (ISO 8973)	28
2.2.2.1. Principe.....	28
2.2.2.2. Calculs.....	28
2.2.3. Doctor Test.....	30

2.2.3.1. Principe.....	31
2.2.3.2. Mode opératoire.....	32
2.2.4. Volatilité.....	32
2.2.5. Corrosion de bande de cuivre par les gaz de pétrole liquéfié.....	32
2.2.5.1. Principe.....	32
2.2.5.2. Mode opératoire.....	33
2.2.6. Procèdes de jaugeage.....	33
2.2.6.1. Jaugeage manuel.....	33
2.2.6.2. Jaugeage automatique.....	34
2.2.7. Procédures administratives pour le dechargement du butane.....	34
2.2.7.1. Procedure avant l'accostage du navire au quai de PETROCI JETTY.....	34
2.2.7.2. Revue de la nomination.....	34
2.2.7.3 Acceptation et confirmation de la demande.....	34
2.2.7.4. Accostage du navire.....	35
 PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	
3.1. RESULTATS.....	38
3.1.1. Résultat de l'analyse chromatographique en phase gazeuse du GPL.....	38
3.1.2. Résultat de la densité du GPL.....	38
3.1.3. Résultat de la pression de vapeur du GPL.....	39
3.1.4. Résultat du Doctor test sur le GPL.....	40
3.1.5. Etude de la volatilité du GPL vendu en Côte d'Ivoire.....	40
3.1.6. Etude de la corrosion du GPL vendu en Côte d'Ivoire.....	41
3.1.7. Etude comparative des tanks MT Permian Lady (BV) et MT Africa GAS (SGS).....	40
3.1.8. Résultats administratifs pour le déchargement du butane.....	42
3.1.8.1. La nomination.....	42
3.1.8.2. L'acceptation de la nomination	43
3.2. DISCUSSION.....	44

CONCLUSION.....	46
REFERENCES.....	48

DEDICACES

Je dédie ce présent mémoire :

A mon père ADJIRI Amon Philippe pour ses conseils et son soutien financier.

A toute ma famille pour leur soutien moral et spirituel.

REMERCIEMENTS

Ce travail est le résultat d'une fructueuse collaboration entre l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG) et la structure d'inspection et de contrôle qualité du BUREAU VERITAS département Oil and PETROLEUM TRADING en partenariat avec le Laboratoire de PETROCI Côte d'Ivoire.

Il nous est agréable au terme de ce travail de témoigner toute notre reconnaissance aux responsables et personnels de ces institutions.

Nous tenons à remercier tout particulièrement l'équipe dirigeante de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa avec à sa tête le Professeur TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE, pour tous les efforts qu'elle n'a cessé de ménager pour notre formation académique.

Nous remercions le Docteur KOUASSI Kouakou Lazare, Maitre de Conférence, Directeur de l'UFR Environnement et Directeur scientifique du présent mémoire, pour toute sa disponibilité et les moyens mis à notre disposition pour notre formation.

Nous voudrions exprimer toute notre reconnaissance au Docteur GBANGBOT Jean-Michel Kouadio, Maitre-Assistant pour son encadrement et ses conseils précieux ;

Nous remercions le Docteur NIANGORAN Kouadio Charles, Maitre-Assistant, chef de département des Sciences de la Terre pour ces sages conseils et sa contribution à notre formation ;

Nous remercions le Docteur BIE Goha René, Maitre-Assistant et le Docteur SOMBO Abe Parfait, Maitre-Assistant, respectivement Responsable de filière Géologie Appliquée et Responsable du parcours Géomatériaux-Géotechnique pour leurs conseils et leur disponibilité

Nous exprimons notre gratitude aux responsables du BUREAU VERITAS qui nous ont accueillis et facilité la réalisation de ce stage. Nous remercions notamment

- Monsieur KAKOU Jean Marc, Chef de Département Oil and Petroleum Trading de Bureau Veritas de nous avoir accepté au sein de sa structure;

- Monsieur SANKADIO Eugene, Directeur des études pour son soutien moral et son apport scientifique ;

- Monsieur DIOMANDE Gbato, Responsable du laboratoire pour sa disponibilité et son ingéniosité qui est un modèle à suivre et un véritable atout pour le laboratoire ;

- Aux responsables du départements, Messieurs YOBOUE Koffi, AKOUMAN Memphis, NDAH Jonas, nous vous adressons nos sincères remerciements. Merci pour vos sages conseils et encouragements, merci également pour tous vos apports scientifiques dans la réalisation de ce mémoire ;

- Aux aînés du laboratoire, en particulier Messieurs SAHUI Louis, KANTE Yssouf, KESSE Mesmin, KABORE Emmanuel, DANHO Abigail, nous vous disons merci pour l'aide que vous nous avez apportée lors des manipulations et la bonne ambiance que vous avez créée au sein du laboratoire ;

Nous remercions le Docteur ADJIRI Oi Adjiri Maitre-Assistant pour son soutien moral et ses sages conseils.

Nous remercions tous les enseignants de notre filière pour les connaissances qu'ils nous ont apportées depuis la première année de tronc commun Agroforesterie et Environnement.

Nos remerciements vont également à l'endroit de la deuxième promotion de Géologie Appliquée de l'UJLoG à laquelle j'appartiens. Merci pour votre solidarité et l'entraide mutuelle. Merci à vous tous !

Pour finir, nous tenons à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

API	: American Petroleum Institute
ASTM	: American society for testing material
BV	: Bureau Veritas
Carborundum	: Poudre abrasive à base de carbure de silicium
CPG	: Chromatographie en Phase Gazeuse
DGH	: Direction Générale des Hydrocarbures
DIF	: Détecteur à Ionisation de Flamme
FID	: Flame Ionization Detector
GPL	: Gaz de Pétrole Liquéfié
GNL	: Gaz Naturel Liquéfié
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
MT	: Metric Tanker
SGS	: Societe Generale de Surveillance

LISTE DES TABLEAUX

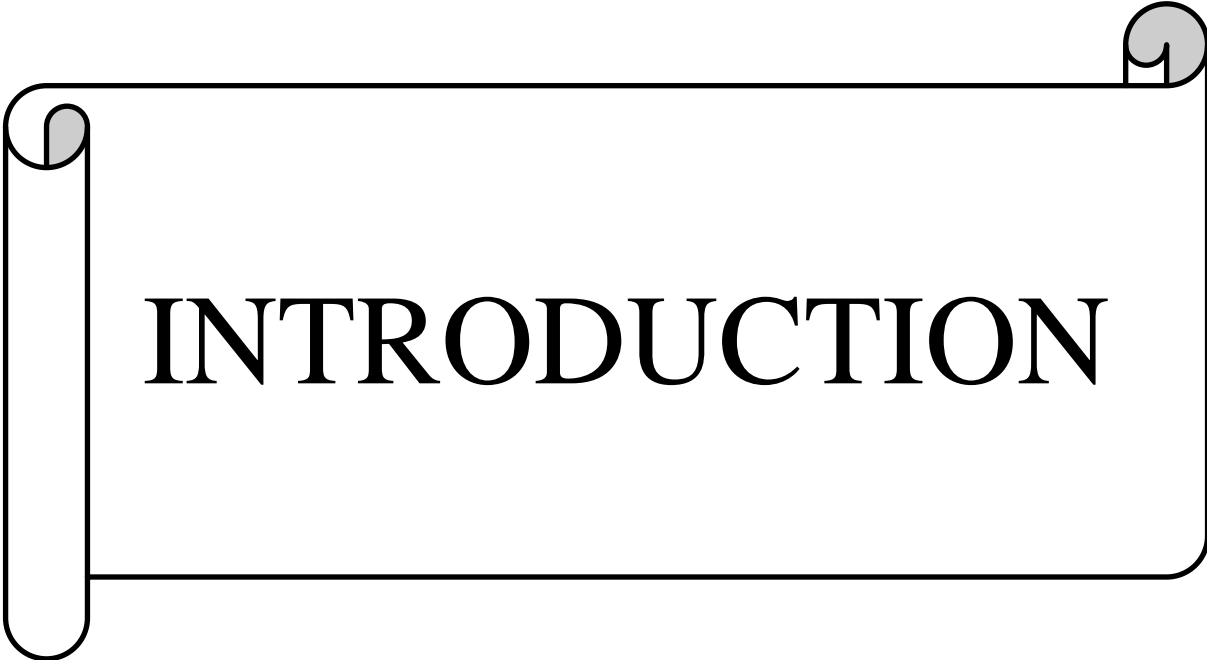
Tableau I	: Facteurs permettant le calcul de la masse volumique du liquide et la pression de vapeur des GPL	29
Tableau II	: Composition gazeuse du GPL des trois tanks.....	37
Tableau III	: Densité du GPL contenu dans les trois tanks.....	38
Tableau IV	: Pression du GPL contenu dans les trois tanks.....	38
Tableau V	: Résultats du Doctor test sur le GPL contenu dans les trois tanks	39
Tableau VI	: Résultats de la volatilité du GPL contenu dans les trois tanks.....	39
Tableau VII	: Résultats de la corrosion du GPL contenu dans trois tanks.....	40
Tableau VIII	: Tableau comparatif des différents paramètres.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Molécule du butane.....	5
Figure 2 : Processus et température de liquéfaction des GPL.....	6
Figure 3 : Bateau-citerne de GPL.....	10
Figure 4 : Coupe d'une citerne prismatique autoportée entièrement réfrigérée (CCNR 2010)	11
Figure 5 : Pipelines.....	11
Figure 6 : Camion citerne.....	12
Figure 7 : Réservoir aérien	12
Figure 8 : Réservoir cylindrique.....	13
Figure 9 : Réservoirs sphériques	14
Figure 10: Réservoir sous terrain	14
Figure 11 : Réservoir sphérique sous talus.....	15
Figure 12 : Butanier MT PERMIAN LADY	17
Figure 13 : Equipement de protection individuelle	18
Figure 14: Matériel d'échantillonnage	19
Figure 15 : Appareil de CPG.....	19
Figure 16 : Dispositif d'injection CPG	20
Figure 17 : Injecteur avec vaporisation directe à chaud.....	21
Figure 18 : Detecteur à conductibilité thermique.....	22
Figure 19 : Detecteur à ionisation de flamme du modèle 8310	23
Figure 20 : Colonne remplie.....	24
Figure 21 : Colonne capillaire.....	24
Figure 22 : Radar à jauge (Emerson, 2019).....	25
Figure 23 : Tube à essai gradué et thermomètre.....	26
Figure 24 : Appareil de test de corrosion (Bain ISL ATPEM, V06001).....	27
Figure 25 : Histogramme comparatif.....	42
Figure 26 : Lettre de nomination.....	43
Figure 27 : Lettre d'approbation.....	44

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Certificat de qualité SGS.....	xiii
Annexe 2 : Certificat de qualité PETROCL.....	xiv
Annexe 3 : Certificat de qualité du tank 1.....	xv
Annexe 4 : Certificat de qualité du tank 2.....	xvi
Annexe 5 : Certificat de qualité du tank 3.....	xvii



INTRODUCTION

Les Gaz de Pétrole Liquéfiés sont des hydrocarbures légers issus du raffinage du pétrole, naturellement gazeux dans les conditions normales de température et de pression mais stocké à l'état liquide.

L'usage des Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL) est aujourd'hui largement répandu en raison de leur facilité de stockage et de transport. Leur distribution a débuté dans les bouteilles dès les années 1930 et s'est étendue avec le développement du stockage en citernes (ou vrac) dans les années 1960. Les GPL sont largement exploités par les industriels, mais aussi par les particuliers dans leurs activités itinérantes, grâce à leur avantage écologique, en n'émettant presque aucun carbone (Bendaas & Oukacha, 2017). L'appellation Gaz de Pétrole Liquéfiés ou GPL (LPG Liquefied Petroleum Gas en anglais) peut qualifier deux gaz à l'état liquide (Pierre, 1996) : le propane C_3H_8 et le butane C_4H_{10} . Ce sont des hydrocarbures saturés qui sont composés de liaisons simples d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils présentent l'avantage de se liquéfier sous une pression moins forte que les autres gaz (notamment le méthane).

Le Butane est destiné à des utilisations comme l'alimentation de la cuisinière, le chauffage, le camping, le bricolage, le barbecue etc.

La combustion du butane est propre car elle ne génère aucune émission de particule et elle contribue au développement des énergies renouvelables. Il est accessible et indispensable à des centaines de millions de personnes dans le monde. Il est facilement transportable, stockable et utilisable quasiment partout dans le monde et ses ressources sont assurées pendant plusieurs décennies.

Cependant, le butane comme tous les autres gaz reste un produit très dangereux demandant des mesures de sécurité importante. Les risques à considérer pour déterminer les mesures préventives sont principalement les fuites de gaz, les pollutions, les incendies et l'explosion au cours de chargement ou de déchargement (PGRP, 2001). Une portion importante des accidents associés au transport des hydrocarbures se produit lors des chargements et déchargements (Ingrid *et al.*, 2016). Afin de garantir la sécurité des consommateurs et la qualité du butane fourni aux utilisateurs, des traitements spécifiques et des tests de conformité du produit sont effectués depuis la phase de production jusqu'à la livraison du butane aux consommateurs.

Ce mémoire de master a pour objectif principal de caractériser le Gaz de Pétrole Liquéfié livré en Côte d'Ivoire par le navire MT PERMIAN LADY.

De façon spécifique il s'agit de :

- étudier la composition de ce GPL afin de mettre en évidence la présence ou non de corps étrangers ;
- étudier les caractéristiques physiques du GPL livré en Côte d'Ivoire afin de vérifier sa qualité ;
- vérifier le respect des procédures administratives pour le déchargement de butane en Côte d'Ivoire.

Pour rendre compte du travail effectué, ce mémoire est organisé en trois parties :

- la partie 1 met en relief les généralités sur le gaz butane ;
- la partie 2 présente le matériel et les méthodes utilisés ;
- la partie 3 expose les résultats obtenus et la discussion.

Une conclusion et les références bibliographiques termineront ce mémoire.



PARTIE 1 : GENERALITES

1.1. GENERALITES SUR LE BUTANE

1.1.1. Définition

Le butane est un hydrocarbure saturé composés de liaisons simples d'atomes de carbone et d'hydrogène (Figure 1). Le butane est un type de gaz appartenant à la catégorie des gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Le butane, l'isobutane et le propane sont des gaz qui ont des similitudes (gaz inodore et incolore), mais aussi des différences. Très proche du butane, l'isobutane se distingue par une formule différente. La densité du gaz, la pression et le point d'ébullition sont trois autres éléments qui permettent de différencier butane, propane et isobutane. Ainsi, le butane est un gaz qui gèle dès que les températures descendent en dessous de 0°C, alors que le propane résiste à des températures jusqu'à - 44°C.

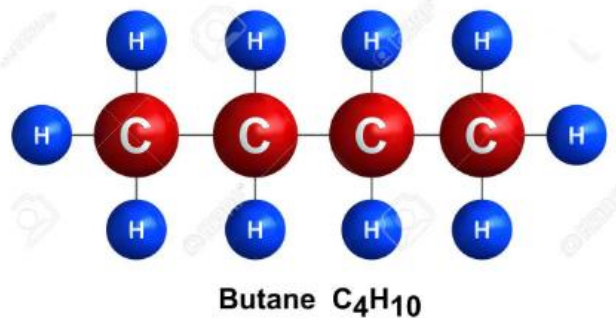


Figure 1 : Molécule du butane

1.1.2. Origine du butane

Le butane provient de deux origines :

- Fractions lourdes de l'extraction de gaz naturel

En moyenne, un champ de gaz naturel fournit près de 90% de méthane (CH₄) mais aussi 5% de propane et 5 % d'autres gaz dont le butane. Schématiquement, le butane liquide s'obtient en refroidissant le gaz naturel extrait. Le butane est également récupéré lors de l'extraction de pétrole, sous forme de gaz associés dissous (d'où l'appellation de gaz de pétrole liquéfiés). Le pourcentage de butane contenu dans le gaz naturel et le pétrole brut est très variable d'un gisement à un autre.

-Fractions légères du raffinage du pétrole

Lors du raffinage du pétrole brut, le butane et le propane constituent entre 2 et 3% de l'ensemble des produits obtenus. Ils constituent les coupes les plus légères issues de distillation du pétrole brut. Le butane est aussi récupéré à l'issue d'opérations de traitement

secondaires, après la phase de distillation. Selon sa provenance, une tonne de pétrole brut traitée produit entre 20 et 30 kg de GPL, dont 2/3 de Butane et 1/3 de Propane.

1.1.3. Propriétés du butane

Le butane est naturellement gazeux à pression atmosphérique (1bar) et à température ambiante (15°C). Il peut toutefois facilement être liquéfié et est alors qualifié de GPL (Figure 2). Cet état liquide permet de le manipuler, de le stocker dans de faibles volumes. En effet, 1 litre de butane liquide libère 239 litres de gaz (à 15°C sous une pression de 1 bar). Le propane et le butane se différencient l'un de l'autre par la température et la pression auxquelles ils passent de l'état gazeux à l'état liquide. A pression atmosphérique (1 bar), le propane devient liquide en dessous de - 42°C tandis que le butane passe à cet état dès que la température descend en dessous de 0°C (Figure 3).

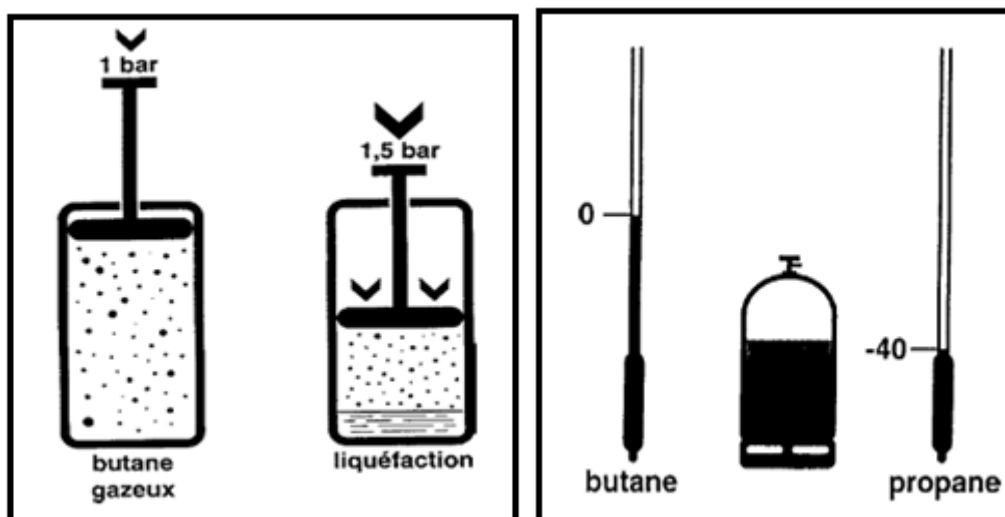


Figure 2 : Processus et température de liquéfaction du butane

1.1.4. Caractéristiques du butane

1.1.4.1. Dangerosité

Le butane est extrêmement inflammable. Lorsqu'il se reprend sous sa forme liquide, hors d'un container sous pression, il s'évapore en produisant du froid. Au contact de la peau, il provoque des brûlures caractéristiques appelées brûlures froides. S'il y'a risque de contact

l'utilisateur devra faire usage de lunette, gants ou tout autre revêtement de protection (Bendaas & Oukacha, 2017).

1.1.4.2. Odeur et Toxicité

Le butane est inodore à l'état naturel, mais on doit ajouter un odorant, ce sont des composés sulfurés tels que l'éthylmercaptan ou le diméthylsulfure pour des raisons de sécurité. Le butane n'est pas vraiment toxique. Il présente tout au plus un léger pouvoir anesthésiant, s'il est inhalé longuement il peut provoquer des migraines et des maux d'estomac, ne présentant aucun danger d'empoisonnement.

1.1.4.3. Dilatation et Réactivité

A l'état liquide, le butane a un haut coefficient de dilatation, il se dilate de 0,25% par degré de température dont il faut tenir compte lors de leur stockage dans les récipients que le remplissage ne doit jamais être dépassé au maximum 85% de sa capacité. Le butane est chimiquement réactif et il peut détériorer certains caoutchoucs naturels ou certaines matières plastiques Il est insoluble dans l'eau, et il n'a pas de propriétés lubrificatrices, chose qui doit être prise en considération, lors du dimensionnement des compresseurs et des pompes.

1.1.5. Usages

Le gaz butane représente une source d'énergie exceptionnelle en raison de son origine, de sa caractéristique et de son application. En tant qu'énergie moins polluante, faiblement émettrice de CO₂ performante et novatrice, le butane offre de nombreux avantages pour les consommateurs et les secteurs professionnels comme pour l'environnement. Il a une disponibilité immédiate en tous points du globe, des atouts environnementaux du fait qu'il produit moins de gaz à effet de serre que l'essence et le gasoil. Le butane est facile à transporter et présente une variété d'usages ce qui le rend indispensable pour des centaines de millions de personnes dans le monde.

1.1.6. Risques liés au butane

La propriété clé qui fait des hydrocarbures, la principale source d'énergie mondiale est la combustibilité qui les rend aussi intrinsèquement dangereux. Ces gaz sont manutentionnés en grandes quantités. De ce fait il est impératif que toutes les mesures préventives et sécuritaire soient prises :

- installation de détecteur automatique de gaz sur site de stockage et de remplissage de bouteilles ;
- installation des valves motorisées (fermeture automatique au cas de haute température) ;
- installations de système d'arrosage ou de refroidissement automatique ;
- port de gaz détecteur sur site ;
- formation au système de sécurité dans le domaine du Gaz.

Ces mesures ont pour but de limiter autant que possible les fuites et éviter toute source d'ignition. Lorsqu'un gaz est stocké sous forme liquide, sous pression ou réfrigéré, il se vaporise lorsqu'il est libéré dans l'atmosphère en prélevant de la chaleur de l'environnement. La pression élevée à la libération chute rapidement jusqu'à la pression ambiante, entraînant une vaporisation très rapide. Ce phénomène est appelé évaporation éclair, faisant chuter la température de l'entourage, ce qui provoque des brûlures sévères par contact avec les tissus vivants. Le risque inhérent au dégagement de vapeurs dans l'atmosphère est qu'elles deviennent inflammables lorsqu'elles se mélangent avec l'air. Le nuage blanc de vapeur ainsi formé peut indiquer l'existence d'une situation dangereuse (CCNR, 2010).

1.2 PROCESSUS DE LIQUEFACTION DU BUTANE

La liquéfaction du butane permet de réduire considérablement son volume, c'est un processus qui consiste à transformer le gaz butane en butane liquide. Selon l'origine du butane, on observe deux processus majeurs pour l'obtenir.

1.2.1 A partir du gaz naturel

L'on ne peut parler de liquéfaction du butane sans parler de liquéfaction du gaz naturel.

La liquéfaction du gaz naturel se fait en plusieurs étapes

Traitements : Il permettra la purification du gaz (désulfuration, déshydratation, décarbonations) ;

- **Pré-refroidissement** : Il permettra au gaz de se transformer en liquide de façon graduel. On obtiendra le butane à 0 degrés puis le propane et enfin il restera le méthane.
- **Chauffage** : Il permettra de séparer le butane et le propane liquéfiés.
- **Refroidissement** : Une fois séparé l'on pourra enfin liquéfier le butane recherché en le refroidissant.

1.2.2 A partir du pétrole brut

Elle se fait lors de la distillation atmosphérique du pétrole brut ; Cette distillation consiste à séparer les différents composants du mélange liquide en fonction de leur température d'évaporation. Le pétrole brut est injecté dans une grande tour de distillation, haute de 60 mètres et large de 8 mètres environ, où il est chauffé à environ 400°C. Les différents hydrocarbures contenus dans le pétrole brut sont vaporisés : d'abord les légers (gaz et essence légère, puis les moyens, et enfin une partie des lourds. La température décroît au fur et à mesure que l'on monte dans la tour, permettant à chaque type d'hydrocarbure de se liquéfier afin d'être récupéré. Les plus légers sont récupérés tout en haut, et les plus lourds restent au fond de la tour. Les premières fractions obtenues sont les gaz. Ils sont extraits et ensuite entament le même cycle que celui du gaz naturel mentionné plus haut (chauffage et refroidissement).

1.3. TRANSPORT DU BUTANE ET STOCKAGE

Du puits de production jusqu'au consommateur final, les hydrocarbures sont transportés par un ou plusieurs modes de transport nécessitant des étapes de chargement et déchargement successives entre chaque changement de mode (stockage temporaire). Aucun mode de transport n'est sans risque. Le potentiel d'accidents est plus élevé lorsqu'il y a plus d'éléments en mouvement et plus d'interactions possibles comme avec les trains et les camions (Ingrid *et al.*, 2016). Sur les mers et océans, le transport des gaz est essentiellement assuré par les pipelines ou oléoduc et les bateaux-citernes.

1.3.1. Transport par bateaux-citernes

La gamme des bateaux-citernes transportant du gaz s'étend des petits bateaux-citernes pressurisés d'une capacité comprise entre 500 et 6.000 m³ pour le transport du propane, de butane et de gaz chimiques à température ambiante jusqu'aux navires de mer entièrement isolés ou réfrigérés bateaux-citernes en mer d'une capacité supérieure à 100.000 m³ pour le transport de GNL et de GPL (Figure 4). Entre ces deux types distincts de bateaux-citernes, il existe un troisième type, à savoir les bateaux-citernes semi-pressurisés transportant du gaz. Ces bateaux-citernes très flexibles sont capables de transporter de nombreuses cargaisons

entièrement réfrigérées à la pression atmosphérique ou à des températures correspondant à une pression de transport comprise entre 5 et 9 bars.

Il existe des différences considérables dans la conception, la construction et l'exploitation des bateaux-citernes transportant du gaz, en raison de la variété des cargaisons transportées et des nombreux systèmes de stockage. Les systèmes de confinement de la cargaison peuvent se composer de citernes indépendantes (pressurisés, semi-pressurisés ou entièrement réfrigérés) ou de citernes à membrane.



Figure 3 : Bateau-citerne de GPL

1.3.1.1 Transport par bateaux-citernes entièrement pressurisés

La plupart des transporteurs de GPL entièrement pressurisés sont équipés d'un certain nombre de citernes à cargaison horizontales, cylindriques ou sphériques, avec une capacité allant jusqu'à 6.000 m³. De nombreux bateaux-citernes entièrement pressurisés sont toujours construits actuellement et ces bâtiments constituent un moyen de transport simple et rentable pour le GPL en provenance ou à destination de terminaux de gaz plus modestes.

1.3.1.2 Transport par bateaux citernes entièrement réfrigérés

Les bateaux-citernes entièrement réfrigérés sont construits pour transporter des gaz liquéfiés à basse température et à la pression atmosphérique entre des terminaux équipés de citernes de stockage entièrement réfrigérées (Figure 5). Les bateaux-citernes sont équipés de citernes à cargaison prismatiques réalisées en acier avec 3,5 % de nickel, ce qui permet le transport de cargaisons à des températures pouvant atteindre - 48 °C, soit une température légèrement

inférieure au point d'ébullition du propane pur. Les citernes prismatiques permettent d'optimiser la capacité de transport du bâtiment, ce qui rend les bateaux citernes entièrement réfrigérés très performants pour le transport sur de longues distances de gros volumes de cargaisons telles que le GPL, l'ammoniac et le chlorure de vinyle.

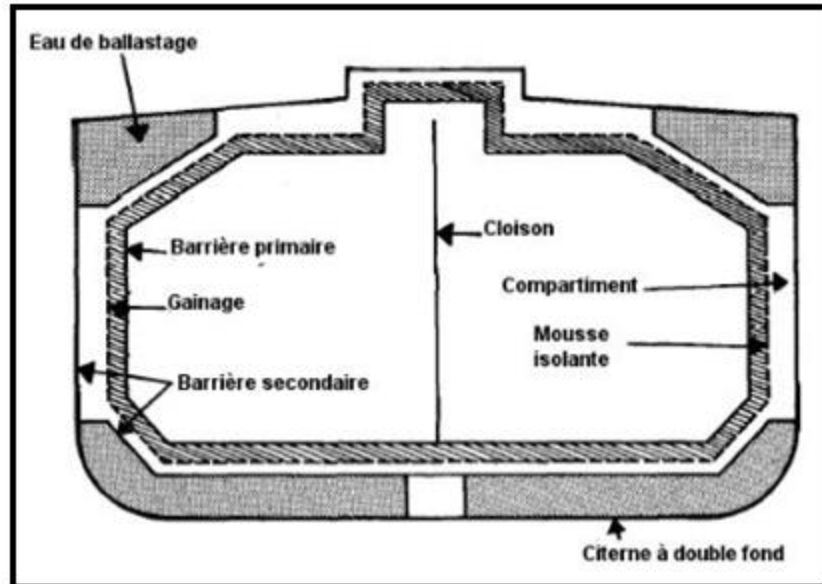


Figure 4 : Coupe d'une citerne prismatique autoportée entièrement réfrigérée (CCNR 2010)

1.3.2. Transport par pipelines

Les pipelines sont des canalisations installées généralement sous terre pour permettre le transport des produits pétroliers (Figure 6). On parle de gazoduc ou d'oléoduc selon qu'ils s'agissent de gaz ou de liquides. Les pipelines comportent des vannes qui permettent l'ouverture et la fermeture des lignes concernés par une activité (chargement et déchargement).



Figure 5 : Pipelines

1.3.3. Transport par camions citernes

Les camions citernes sont des camions utilisés pour le transport de liquide ou de gaz (Figure 7). Utile pour le transport du butane, ils possèdent une longue cuve à l'arrière de la cabine identique aux wagons citernes avec une capacité allant de 4000 à 45000 L environ. Après le déchargement du butane, les pipelines et les véhicules citernes permettent le déplacement jusqu'aux différents dépôts et lieux de stockages.



Figure 6 : Camion-citerne

1.3.4. Transport par trains

Tout comme les camions citernes, certains trains possèdent des wagons citernes permettant de transporter les produits pétroliers dont le butane. A l'opposé des camions citernes les trains

peuvent posséder plusieurs wagons citernes donc permet le déplacement d'une très grande quantité de butane.



Figure 7 : Train-citerne

1.3.5. Réservoirs cylindriques (cigares)

Ils peuvent être installés verticalement ou horizontalement (Figure 9). Ils ont une capacité limitée (jusqu'à 500 m³) et sont sensibles à la mise sous vide, très peu résistants au vide (0,1 bar maxi). Les équipements rencontrés sur ces capacités sont identiques à ceux équipant les sphères.



Figure 8: Réservoir cylindrique

1.3.6. Réservoirs sphériques

La forme sphérique permet de mieux utiliser la résistance de la tôle et d'obtenir un moindre coût d'investissement (Figure 10). La gamme de capacités réalisables va de 200 m³ (7 m de diamètre) à 7000 m³. Certains résistent peu au vide, d'autres sont calculés pour résister à un vide de -0,6 bar et parfois jusqu'au vide « total ».



Figure 9 : Réservoir sphérique

1.3.7. Réservoirs sous terrains

Les gaz liquéfiés sont stockés dans des cavités creusées dans la roche (calcaire, craie...) à partir d'un puits central ou à partir d'une rampe d'accès (Figure 11). Ces réservoirs permettent le stockage d'une grande quantité du gaz liquéfié en toute sécurité.



Figure 10: Réservoir sous terrain

1.3.8. Stockage sous talus

Ce sont des réservoirs dont les parois sont recouvertes d'une couche protectrice à l'égard des effets thermiques et mécaniques. Cette couche protectrice a une épaisseur minimale d'un mètre (1 m) de matériau dense et inerte (terre, sable, matériau composite). Le principal avantage est la sécurité accrue par rapport à l'environnement. La couche de sable ou de terre offre une protection contre le rayonnement thermique, les ondes de choc et la projection d'éclats consécutifs à un incident sur une installation proche. La pression de service et donc les pressions de calcul sont moindres en raison de l'effet d'écran thermique du talus. Pour les réservoirs sous talus (Figure 12), la pression de calcul actuellement retenue correspond à la pression d'équilibre de la phase gaz du liquide à 30°C.

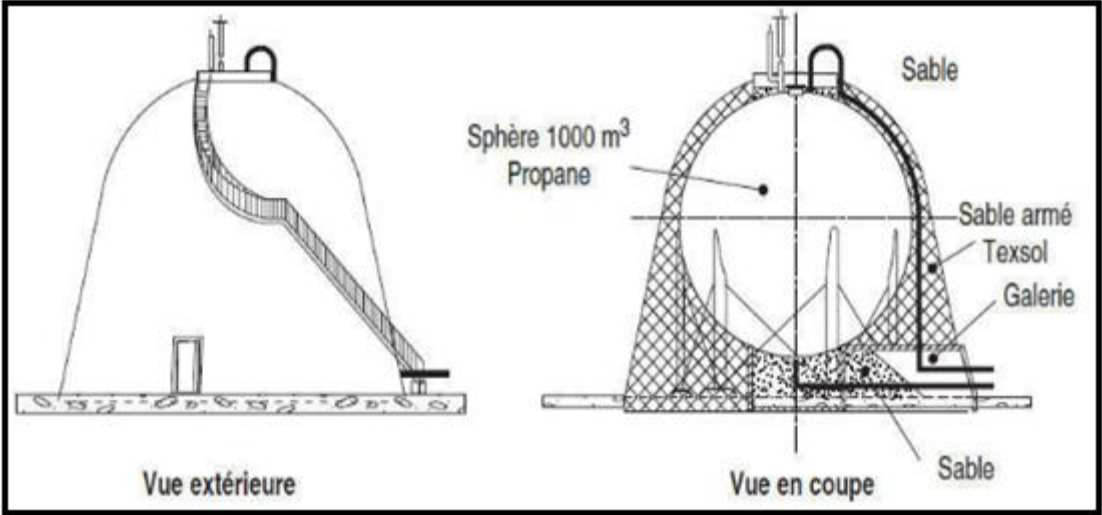


Figure 11: Réservoir sphérique sous talus



**PARTIE 2 : MATERIEL ET
METHODES**

2.1. MATERIEL

2.1.1. Matériel de transport

Le matériel de transport du GPL est un navire butanier de type MT PERMIAN LADY (Figure 13), c'est un transporteur de GPL dont le tonnage est de 25144 tonnes. C'est un butanier actif, c'est-à-dire un butanier qui accoste dans plusieurs pays du monde. En Afrique de l'Ouest, il livre le butane en Côte d'Ivoire, au Togo et au Sénégal.



Figure 12 : Butanier MT PERMIAN LADY

2.1.2. Matériel de protection individuelle (EPI)

La sécurité et la santé sont deux points très importants pour des opérations sur des sites stockant des hydrocarbures. Ainsi, des dispositions sont-elles prises pour limiter les risques et éviter au maximum des accidents de terrain. C'est dans ce cadre que le port d'équipements de protection individuelle (EPI) (Figure 14) est obligatoire sur les sites de stockage d'hydrocarbures (navire comme zone de stockage à terre).

Le casque sert à protéger la tête de tout choc possible, soit lors d'une glissade ou lors de la montée sur les bacs ou la tête peut cogner l'échelle ou autre objet présent.

Les lunettes de sécurité servent à protéger les yeux de produits pouvant gicler.

Les gants servent à éviter tout contact direct avec les produits dangereux et nocifs pour l'homme.

Les chaussures de sécurité servent à éviter tout contact avec les produits, aussi à se protéger d'objet lourd que l'on pourrait recevoir sur les pieds.



Figure 13 : Equipements de protection individuelle

2.1.3. Matériel d'échantillonnage

Le matériel d'échantillonnage se compose de bonbonne et serpentín à gaz.

La bonbonne (Figure 15a) et le serpentín à gaz (Figure15b) permettent de prélever et de transporter une petite quantité de gaz des tankers afin d'effectuer des analyses plus approfondies au laboratoire.



Figure 14 : Matériel d'échantillonnage

2.1.4. Matériel d'analyse

2.1.4.1. Chromatographe

Un chromatographe est un appareil qui permet d'effectuer une chromatographie (Figure 16), on parle généralement de chromatographie en phase gazeuse. Elle consiste à séparer les molécules d'un mélange de nature diverse.



Figure 15 : Appareil de CPG (Chromatographie en phase gazeuse)

Un chromatographe est constitué en première approximation de quatre organes essentiels : l'injecteur, le détecteur, la colonne et le four (Figure 17).

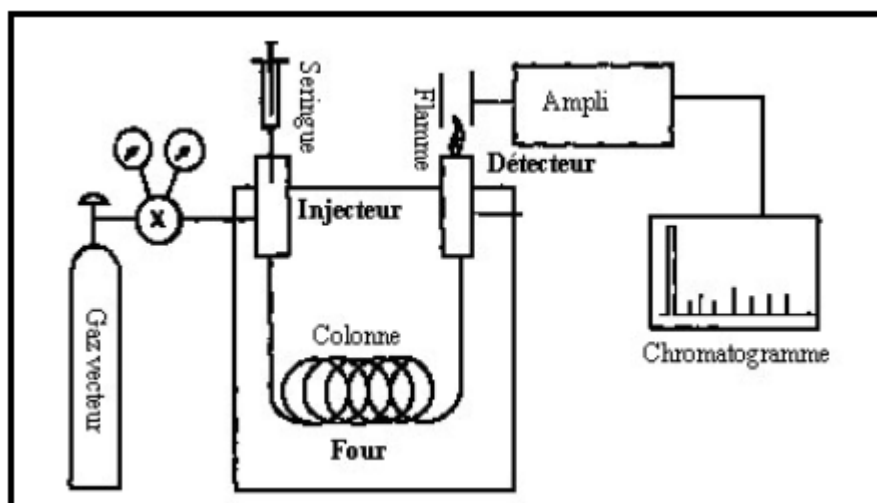


Figure 16 : Dispositif d'injection CPG

2.1.4.1.1. Injecteur

L'injecteur permet d'introduire un liquide qui doit être vaporisé instantanément avant d'être transféré dans la colonne. Sa température doit être supérieure d'environ 20°C à la température du produit le moins volatil. Le gaz porteur, de préférence préchauffé, entre dans une chambre chauffée, obturée par une pastille d'élastomère, le septum, qui assure l'étanchéité. À l'aide d'une seringue hypodermique de petite capacité, on pique au travers du septum, afin que l'extrémité de l'aiguille arrive en dessous du niveau de l'arrivée du gaz porteur, puis on pousse le piston pour réaliser l'injection. Il faut que la chambre d'injection ait un volume aussi petit que possible, pour limiter les volumes morts du chromatographe.

Lorsqu'on observe des baisses de pression dans le circuit gazeux, cela indique souvent qu'il faut changer le septum, usé par les multiples injections.

Il ne faut pas oublier de nettoyer la seringue d'injection avec un solvant volatil après chaque injection, puis de la sécher convenablement afin d'éviter toute contamination.

Il existe plusieurs types d'injecteurs :

➤ Injecteur à chaud avec vaporisation directe dans le corps de l'injecteur

Ce type d'injecteur (Figure 18) assure la décomposition des substances fragiles, car sa température est plus élevée que celle de la colonne. Cette injection est surtout utilisée avec les colonnes remplies. Il est composé d'un tube récepteur qui reçoit l'échantillon à analyser, d'un

gaz vecteur qui joue le rôle d'éluant favorisant le transport de l'échantillon et d'un septum qui assure l'étanchéité entre la colonne et l'extérieur.

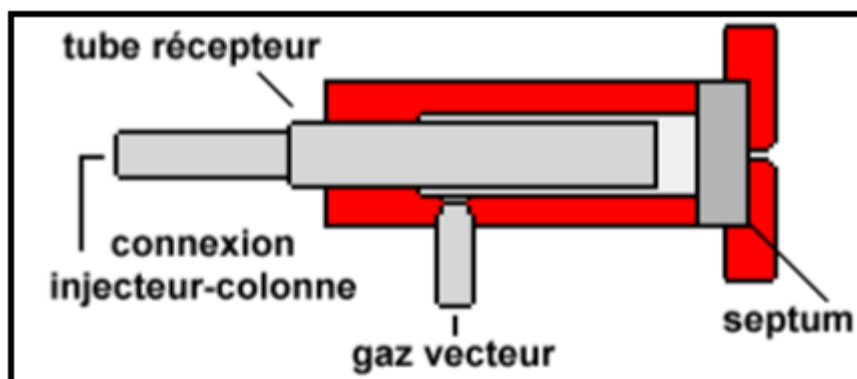


Figure 17 : Injecteur avec vaporisation directe à chaud

➤ Injecteur split

Ce type d'injecteur ne laisse entrer dans la colonne qu'une petite partie du volume injecté. Cette fraction est ajustable et peut atteindre 1/200. Il est équipé d'une purge de septum qui joue deux rôles : celui de compenser l'augmentation de volume lors de l'évaporation de l'échantillon et celui de laisser sortir le surplus de gaz provenant de l'injection précédente. Les injections sur colonnes capillaires ou méga bores obéissent à trois critères importants :

- garantir la composition du mélange (fiabilité) ;
- ménager la colonne ;
- maintenir la reproductibilité des injections (précision).

➤ Injecteur à froid

L'injecteur à froid suivi d'une brusque montée de la température est utilisé lors de la séparation de substances très fragiles. Cette technique permet la condensation à l'entrée de la colonne de produits qui ne supportent pas les hautes températures des injecteurs conventionnels. Une fois l'injection faite, la température de l'injecteur est très rapidement élevée de façon à ne chauffer les substances injectées que sur un temps beaucoup plus court que celui passé dans un injecteur à chaud.

2.1.4.1.2. Détecteur

Le détecteur permet de mettre en évidence le passage des différents gaz séparés par la colonne. La détection peut être basée sur des techniques de mesures différentes. Le détecteur le plus utilisé en CPG (Chromatographie en Phase Gazeuse) est celui à conductibilité

thermique appelé catharomètre. Sa température est généralement la même que celle de l'injecteur. Il existe plusieurs types de détecteurs.

➤ **Détecteur à conductibilité thermique - catharomètre**

Ce détecteur possède une résistance sensible à la température. Un filament en tungstène-platine ou thermistance est placé dans un flux gazeux. Un équilibre thermique est atteint quand le refroidissement de cette résistance provoqué par le passage du gaz vecteur compense son réchauffement au moyen d'un courant électrique. Cet équilibre est modifié par l'arrivée d'un soluté entraîné par le gaz vecteur (à condition que la conductibilité du soluté soit différente de celle du gaz vecteur) car la capacité de refroidissement du mélange différente de celle du gaz vecteur seul, entraîne une variation de la résistance. Cette résistance est un élément d'un pont de Wheatstone opposé à une autre résistance où ne circule que le gaz vecteur. Le déséquilibre de ce pont génère un signal qui indique la présence d'un soluté. Sur l'appareil à chromatographie en phase gazeuse, le détecteur à conductibilité thermique (Figure 19) n'utilise pas un pont de Wheatstone conventionnel. Il n'y a qu'une résistance qui sert de référence et de mesure à tour de rôle.

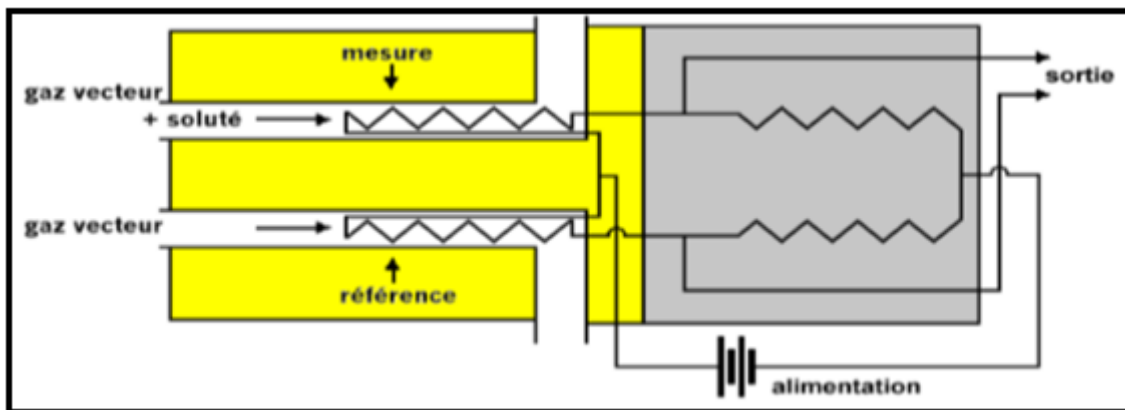


Figure 18 : Détecteur à conductibilité thermique

➤ **Détecteur à ionisation de flamme**

Principe : Des ions sont formés par la flamme provenant de la combustion de l'hydrogène dans l'air. Si une substance carbonée (organique) est présente dans cette flamme, le nombre d'ions formés augmente considérablement. La base du brûleur (Figure 20) étant une des bornes d'un circuit et une électrode collectrice l'autre, les ions produits captés par cette dernière permettent le passage du courant et indique par ce fait la présence d'un soluté. La réponse du détecteur FID (Détecteur à Ionisation de Flamme) est proportionnelle à la masse

du soluté qui passe dans le brûleur. Sa linéarité dépendrait plus de la géométrie du système que de la quantité injectée (Gwenola & Burgot, 2011).

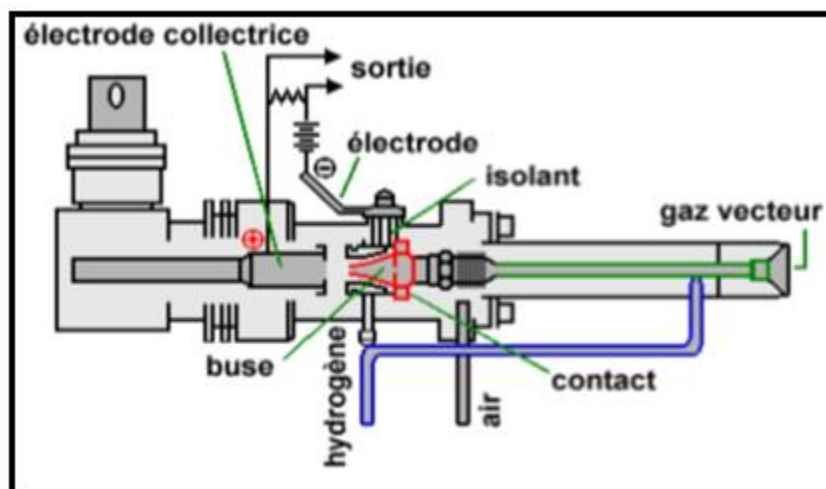


Figure 19: Détecteur à ionisation de flamme du modèle 8310 de la compagnie Perkin-Elmer

2.1.4.1.3. Colonne

C'est l'organe principal du chromatographe. Elle est constituée d'un tube généralement métallique de diamètre intérieur de l'ordre du millimètre. Ce tube contient la phase stationnaire constituée par un liquide adsorbant fixé sur un solide inerte (ex : brique pilée, alumine etc.) soigneusement calibrée. On distingue les colonnes à remplissage proprement dit, constituées d'une tubulure en verre, acier ou autre métal (les plus fréquentes sont en acier inoxydables), dont les dimensions varient de 2 à 6 mm pour le diamètre intérieur et de 1 à 10 m pour la longueur. Le support remplissant la colonne est constitué de grains dont les dimensions varient de 60 à 70 μm . Ils sont à base soit de matériau réfractaire soit de silice. La phase stationnaire est un liquide peu volatil, formant environ 10% de la masse du support non imprégné.

Par ailleurs, on utilise des colonnes capillaires formées d'un tube de métal, de verre, de silice fondue ou de quartz, dont le diamètre intérieur est de l'ordre de 0,2 à 0,5 mm et la longueur de 50 à 100 m, ou davantage. L'adsorbant y est fixé sous forme d'une fine couche collée à la paroi du tube, ou bien la phase stationnaire est fixée en film mince, sans support sur cette même paroi. Dans tous les cas, ces colonnes comportent un canal central largement ouvert, offrant peu de pertes de charge à la progression du gaz porteur.

Il existe deux types de colonnes avec des variantes. Les colonnes remplies (Figure 21) ou à garnissage (packed) sont caractérisées par un diamètre interne 1/8" (3,2 mm) ou 1/4" (6,4

mm), d'une longueur 0,5 à 3 mètres, un tube en acier inoxydable assez inerte et bon conducteur de chaleur, ou en verre inerte mais mauvais conducteur de chaleur

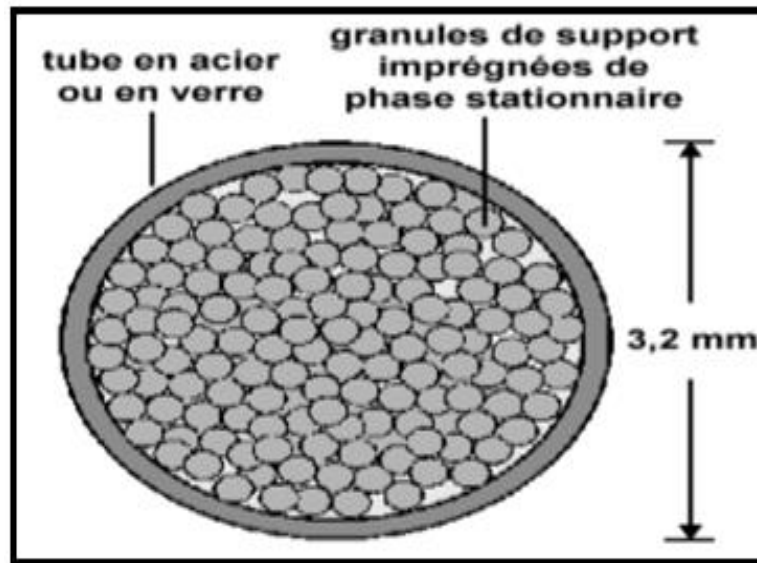


Figure 20 : Colonne remplie

Pour les colonnes capillaires (Figure 22), le diamètre interne varie de 0,2 mm à 0,7 mm. La longueur varie de 15 à 100 mètres, le tube est en silice fondue recouvert d'une mince couche de polyimide.

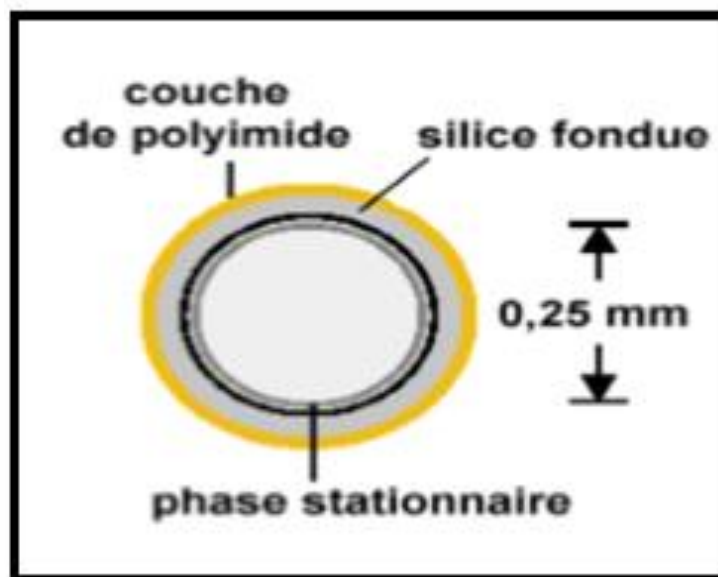


Figure 21 : Colonne capillaire

L'efficacité des colonnes capillaires ne dépend que de la vitesse de passage dans la phase stationnaire (Guillaume, 2017).

2.1.4.1.4. Four

C'est un four à bain d'air, pourvu de résistances chauffantes et d'un système de ventilation et de brassage pour l'homogénéisation de la température. La régulation est assurée par un thermocouple, grâce auquel la variation de température n'excède pas 0,2°C, pour un intervalle de fonctionnement allant de la température ambiante jusqu'à 400°C. Sa température est en général de 20°C inférieure à celle du soluté de plus bas point d'ébullition. Au lieu de maintenir la température constante dans l'enceinte, on peut l'astreindre à suivre une loi de variation donnée, généralement linéaire, pour obtenir une chromatographie à température programmée. Un chromatographe comporte souvent une enceinte pour assurer la régulation de la température de l'injecteur, et quelquefois une autre pour contenir le détecteur, surtout lorsqu'il s'agit d'un catharomètre.

2.1.4.2. Radar à jauge

Le radar à jauge (Figure 23) est un appareil qui permet une détermination quantitative du gaz, ce qui aide dans la détermination de la densité et la pression de vapeur du produit. Il est généralement associé à des sondes de température multipoint pour le calcul du volume net conformément à la norme API. Le radar à jauge mesure le niveau de tous les types de réservoir de stockage et de tous les produits, des gaz liquéfiés et produits légers au fioul lourd et au bitume.



Figure 22 : Radar à jauge (Emerson, 2019) a : radar avec antenne GPL/GNL. b : radar avec antenne conique. c : radar avec antenne parabolique. d : radar avec antenne réseau

2.1.4.3. Tube à essai et thermomètre

Le Tube à essai ou ampoule sert à déplacer , à contenir de petites quantités de solution ou à tester des réactions chimiques sur de faibles volumes de réactifs. Il se présente la plupart du temps en verre ou en matière plastique. Il peut sans risque être chauffé à la flamme d'un bec bunsen. Il est utilisé dans le cas de plusieurs tests tels que le Doctor Test et le test d'évaporation.

Quant au thermomètre, il permet de déterminer la température du produit. Il nous est utile lors du test d'évaporation (Figure 24).

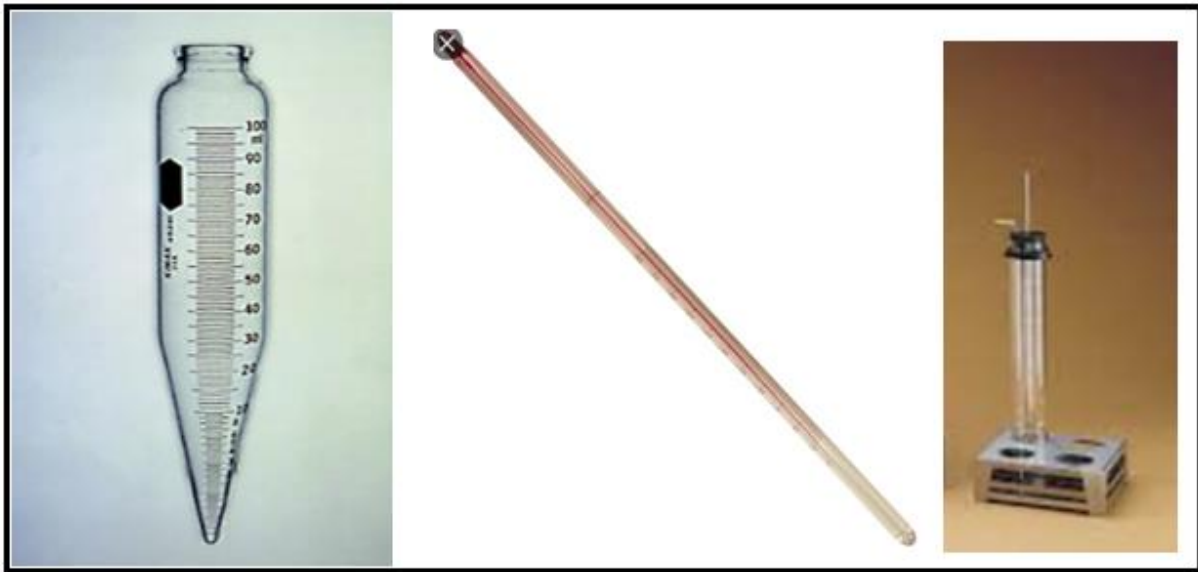


Figure 23 : Tube à essai gradué et thermomètre

2.1.4.4. Appareillage de test de corrosion

Le testeur de cuivre permet la détection de la présence dans le butane de composants pouvant être corrosifs pour le cuivre. L'instrument est principalement composé d'un bain à température constante, d'un agitateur, d'un dispositif de chauffage et d'une température constante. Le bain thermostatique est en acier inoxydable et résiste à la corrosion et à l'oxydation.



Figure 24 : Appareil de test de corrosion (Bain ISL ATPEM, V06001)

2.2. METHODES

2.2.1. Chromatographie en phase gazeuse

La chromatographie est une technique de séparation des substances chimiques (mélange homogène liquide ou gazeux) qui repose sur des différences de comportement entre une phase mobile courante et une phase stationnaire (ou phase fixe). On peut classer les méthodes chromatographiques d'après la nature des phases utilisées ou celle des phénomènes mis en œuvre dans la séparation (Gwenola & Burgot, 2011).

Dans le cadre de cette étude, nous avons effectué uniquement la chromatographie en phase gazeuse (CPG). Elle est comme toutes les techniques de chromatographie, une technique qui permet de séparer des molécules d'un mélange éventuellement très complexe de nature très diverses (Kaoutar & Soahi, 2018). Elle s'applique principalement aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition (Leslie, 2008).

2.2.1.1. Principe

Le principe de la séparation par CPG consiste à partager l'échantillon à analyser entre deux phases. L'une de ces phases est un liquide stationnaire uniformément réparti sous forme d'une pellicule mince sur un solide inerte de grande surface spécifique, tandis que l'autre phase est un gaz mobile qui s'écoule à travers l'ensemble stationnaire.

2.2.1.2. Mode opératoire de CPG

Les granules imprégnés de phase stationnaire sont introduits peu à peu dans la colonne qui est fixé sur un vibreur afin d'effectuer un remplissage régulier. On introduit la colonne dans le four et on régule la température de sorte à ce que la durée de passage des substances dans la colonne ne soit pas trop longue. Le septum est inséré afin d'assurer l'étanchéité de l'appareil. On active le gaz vecteur qui est ici de l'hydrogène (qui a une conductibilité thermique très élevé) pour alimenter l'appareil. Le débit du gaz est convenablement réglé, il ne doit ni être trop rapide ni trop lente. A l'aide d'une seringue on insert l'échantillon qui est vaporiser dans la chambre d'injection surchauffé par rapport à la colonne. Les différents constituants de la solution sortent en fonction de leur solubilité d'où leur séparation à la sortie de la colonne. Ainsi, l'on enregistre la quantité de chaque constituant de l'échantillon en pourcentage.

2.2.2 Méthode de calcul de la masse volumique et de la pression de vapeur (ISO 8973)

2.2.2.1. Principe

On détermine la composition molaire du GPL par chromatographie en phase gazeuse conformément à la norme ISO 7941. Cette analyse permet ensuite de calculer la masse volumique et la pression de vapeur absolue du liquide, en utilisant pour chacun de ses constituants, les valeurs de masse volumique et de pression de vapeur fournies dans la présente Norme Internationale.

2.2.2.2. Calculs

Le tableau I indique en détail la masse moléculaire relative des constituants du GPL, ainsi que les facteurs de masse volumique et de pression absolue à utiliser dans les calculs.

Tableau I : Facteurs permettant le calcul de la masse volumique du liquide et la pression de vapeur des GPL

Constituant	Masse moléculaire relative	Facteur masse volumique kg/m ³ 15 °C	Facteur de pression absolue ^{a)} kPa			
			37,8 °C	40 °C	50 °C	70 °C
Éthane	30,069 4	375,76	5 269	5 611	6 282	9 119
Éthène	28,053 6	369,00	8 106	8 821	9 930	13 679
Propane	44,097 2	507,30	1 317	1 352	1 672	2 634
Propène	42,081 4	521,33	1 570	1 661	2 026	3 141
2-Méthylpropane (Isobutane)	58,123 0	562,98	507	531	659	1 115
Butane	58,123 0	584,06	355	377	486	831
1-Butène	56,107 2	601,15	415	457	588	973
2-Méthylpropène (Isobutène)	56,107 2	600,50	426	467	598	993
<i>cis</i> -2-Butène	56,107 2	627,20	314	337	436	729
<i>trans</i> -2-Butène	56,107 2	610,00	340	365	466	800
1,2-Butadiène	54,091 4	658,00	—	272	—	—
1,3-Butadiène	54,091 4	627,3	405	436	547	973
Méthylbutane (Isopentane)	72,149 8	624,35	142	151	203	355
Pentane	72,149 8	631,00	106	115	152	264
1-Pentène	70,134 0	645,65	130 b)	141	200 b)	—

➤ **Masse volumique**

Le calcul de la fraction massique W de chaque constituant du mélange est donné par la formule 1 :

$$W_i = \frac{X_i M_i}{\sum_1^n X_i M_i} \tag{1}$$

i est l'indice du constituant considéré;

n est le nombre de constituants;

w_i est la fraction massique du constituant i dans le mélange;

x_i est la fraction molaire du constituant i dans le mélange;

M_i est la masse molaire relative du constituant i dans le mélange.'

La masse volumique ρ du GPL en kilogrammes par mètre cube à 15 °C, se détermine à l'aide de l'équation 2 :

$$\rho = \frac{1}{\sum_1^n \frac{W_i}{\rho_i}} \quad (2)$$

Les valeurs calculées doivent être exprimées à 0,1 kg/ms près pour la masse volumique et à 1 kPa près pour la pression de vapeur.

La fidélité de cette méthode dépend de la fidélité de la détermination originelle par chromatographie en phase gazeuse de la composition du GPL et de la précision des facteurs qui sont entrés en compte dans le calcul.

➤ Pression

On calcule la pression de vapeur absolue partielle, (P_{vpi}) de chaque constituant du mélange de la façon suivante :

$$P_{vpi} = x_i P_{Vi} \quad (3)$$

où

P_{vpi} : est la pression de vapeur absolue partielle du constituant i dans le mélange, en kilopascals à 37,8°C, 40°C, 50°C ou 70°C;

x_i : est la fraction molaire du constituant i dans le mélange;

P_{Vi} : est le facteur de pression de vapeur absolue du constituant i dans le mélange, en kilopascals à 37,8°C, 40°C, 50°C ou 70°C.

Calculer la pression de vapeur absolue du GPL, P_v en kilopascals à 37,8°C, 40°C, 50°C ou 70° C, de la façon suivante:

$$P_v = \sum_1^n P_{vpi} \quad (4)$$

Où $\sum_1^n P_{vpi}$

est la somme des P_{vpi} dues à chaque constituant du mélange.

2.2.3. Doctor Test

2.2.3.1 Principe

Cette méthode d'essai concerne principalement la détection des mercaptans (composés organosulfurés) dans les carburants, le kérosène et les produits pétroliers similaires dont le gaz GPL. Comme tout produit sulfuré le mercaptan est aussi dangereux pour l'homme.

Cette méthode peut également fournir des informations sur le sulfure d'hydrogène et le soufre élémentaire susceptibles d'être présents dans ces types d'échantillons.

2.2.3.2. Mode opératoire

Agiter vigoureusement ensemble dans un tube à essai 10 ml d'échantillon à tester et 5 ml de solution de plombite de sodium pour environ 15 s. Ajoutez une petite quantité de fleurs pures et sublimées de soufre de sorte que pratiquement tout flotte à l'interface entre l'échantillon et la solution de plombite de sodium après agitation. Secouez à nouveau pendant 15 s. Laisser reposer et observer dans les 2 min. Si la solution est décolorée, le Doctor test est déclaré positif par contre si la solution reste inchangée le test est dit négatif. Il est important d'éviter d'ajouter plus de soufre que ce qui couvrira l'interface. Environ 20 mg à 25 mg est la quantité appropriée, qui peut être estimée. Si trop de soufre est ajouté, toute la décoloration sera masquée par l'excès de soufre.

2.2.4. Volatilité

Cette méthode d'essai est une mesure de la pureté relative des différents types de gaz de pétrole liquéfiés (GPL) et contribue à garantir des performances de volatilité appropriées. Les résultats des tests, lorsqu'ils sont correctement liés à la pression de vapeur et à la densité du produit, peuvent être utilisés pour indiquer la présence de butane et de composants plus lourds dans le gaz.

Une quantité de GPL est servi (soit 100 ml) dans un tube à essai dans lequel on introduit un thermomètre afin de lire la température à laquelle 95% de gaz est évaporé. A cette température correspond la volatilité du gaz qui varie généralement entre 1 et 2 degré Celsius maximum.

2.2.5 Corrosion de bande de cuivre par les gaz de pétrole liquéfiés

2.2.5.1 Principe

Cette méthode d'essai permet la détection de composants pouvant être corrosifs pour le cuivre dans les gaz de pétrole liquéfiés. Pour un test de bande de cuivre équivalent applicable à des

produits pétroliers moins volatils. Les valeurs exprimées en unités SI doivent être considérées comme standard.

2.2.5.2. Mode opératoire

Préparer le bain marine à 37°C pendant environ 1h de sorte à ce que la température du bain soit stable avant le début de l'analyse. A l'aide d'un carborundum, poncer la lame de cuivre afin de la nettoyer de toute impureté. Ensuite prélever 100ml de gaz dans une bonbonne et refroidir la lame de cuivre avec un peu de gaz afin d'éviter un choc thermique en l'introduisant dans la bonbonne à gaz. Le dispositif monté, on met la bonbonne et la lame de cuivre au bain marine pendant 1h puis on observe le changement de couleur sur la lame en cas de corrosion ou l'absence de changement de couleur.

2.2.6. Procédé de jaugeage

Le jaugeage est l'ensemble des opérations permettant de déterminer une quantité de produit stockée dans des réservoirs à terre ou sur un navire. En effet, la jauge consiste en la prise de la hauteur et la température du liquide et la hauteur de l'eau libre présente dans le bac afin de déterminer les quantités de produits contenus dans un réservoir. On note deux types de jaugeages :

- le jaugeage manuel ;
- le jaugeage automatique.

2.2.6.1. Jaugeage manuel

Il existe deux méthodes de jaugeage manuel :

- la mesure par le creux :

L'opération consiste à descendre le ruban dans le puits de jauge et à le fixer sur le puits à une hauteur H telle que $0 < H - H_a < L$ (L étant la hauteur du lest et H_a , la hauteur approximative)

- la mesure par le plein :

On applique la pâte indicatrice d'hydrocarbures sur le ruban de jauge.

On le plonge dans le puits de jauge jusqu'à ce que le lest touche la plaque de touche.

Le niveau d'hydrocarbures sur le ruban sera matérialisé par la frontière entre la nouvelle couleur de la pâte due à l'hydrocarbure et sa couleur originale.

2.2.6.2. Jaugeage automatique

Le Jaugeage automatique (Jauge par radar) est une méthode qui utilise des rayons infra rouges qui bombardent le niveau du liquide. Selon le niveau du liquide dans le bac, le rayon est réfléchi tardivement ou rapidement. Ce mécanisme est transformé en courant jusqu'en salle de contrôle pour être numérisé. Ce type de jaugeage est utilisé dans le cas des gaz.

Avant le déchargement un jaugeage automatique est effectué par les inspecteurs à bords et le chef officier du navire.

Après le déchargement le radar de la sphère concernée émet des rayons qui sont réfléchis et enregistré à la tour de contrôle du dépôt avec toutes les informations nécessaires à savoir la hauteur, la quantité, le volume du produit et la pression.

2.2.7. Procédures administratives pour le déchargement du butane

2.2.7.1 Procédures avant l'accostage du navire au quai de PETROCI JETTY

Avant le chargement des produits, le client envoie une nomination par courrier électronique. La nomination de la commande est la communication initiale utilisée pour informer la société d'inspection indépendante des détails de l'inspection requise et des exigences de l'inspection. Il s'agit d'une partie vitale du processus d'inspection, car une erreur, une mauvaise communication ou un manque de détails à ce stade peut entraîner une inspection inacceptable ou insatisfaisante.

2.2.7.2. Revue de la nomination

Ce processus d'examen des commandes consiste de la part de la société d'inspection indépendante d'examiner les exigences de la commande (nomination) afin de s'assurer qu'elles s'y conforment.

Il s'agit d'une étape critique qui nécessite fréquemment un contact avec le(s) client(s) pour plus de précision ou des modifications de la portée du travail. C'est particulièrement le cas lorsque plusieurs clients sont impliqués et qu'il y a des conflits ou des ambiguïtés dans les instructions reçues.

2.2.7.3. Acceptation et confirmation de la demande

C'est le processus par lequel la société d'inspection indépendante informe le(s) mandant(s) de son acceptation de la commande. Les confirmations de commande doivent toujours être faites par écrit et doivent faire référence à tout changement ou modification apporté à la nomination originale. L'acceptation et la confirmation des commandes doivent faire référence aux

conditions générales d'affaires de la société d'inspection et doivent indiquer comment celles-ci peuvent être trouvées. Elle précise les différents tests possibles avec les spécifications et les prix des opérations.

L'acceptation et la confirmation de la commande sont une partie très importante du processus de gestion des commandes en particulier lorsque des modifications ont été apportées à la proposition de commande originale. Le client devrait examiner les détails qui lui sont renvoyés par la société d'inspection indépendante afin de s'assurer que les modifications sont acceptables. Il est fortement recommandé de ne pas négliger cette partie finale de la gestion des commandes.

Une fois la gestion de la commande (nomination, revue de la nomination, acceptation et confirmation de demande) terminée, les sociétés ayant reçues une nomination envoient des inspecteurs pour faire une inspection à terre mais aussi sur le navire avant et après le chargement.

2.2.7.4. Accostage du navire

Avant le début de l'opération de déchargement, une ou plusieurs réunions appelées « Key meeting » devraient se tenir entre les représentants des différentes parties concernées. Il s'agit :

- du chef officier (représentant du navire) ;
- du loading master (représentant du terminal) ;
- de l'inspecteur chargé de la supervision de l'opération (employé de la société d'inspection mandatée pour l'opération, représentant aussi la société fournissant le(s) produit(s) et celle qui les achète ;
- un ou des superintendants représentant les sociétés fournissant et/ou achetant les produits.

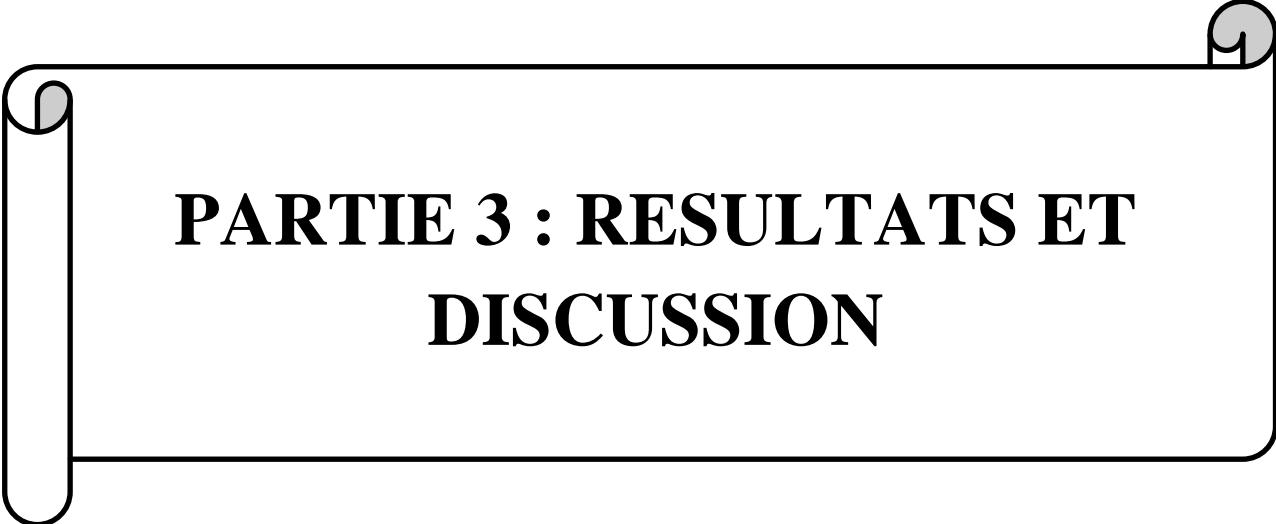
La présence de ces derniers est facultative, elle dépend des circonstances de l'opération.

Lors de ces réunions, des personnes clés de l'opération sont identifiées, les responsabilités sont définies, les procédures de communication sont organisées et toutes les personnes concernées examinent les procédures de chargement et les plans pour assurer une pleine compréhension de toutes les activités.

L'inspecteur se doit de vérifier auprès du représentant du navire s'il y a eu des événements inhabituels qui auraient pu se produire au cours du voyage en mer, ou au port précédent et qui peuvent nécessiter une vigilance particulière lors du chargement.

Aussi, doit il s'assurer avec le personnel du terminal, qu'il n'y ait pas de conditions spéciales à terre pouvant nuire à l'activité ou aux mesures de chargement. Une lettre de protestation doit être envoyée à toute partie qui ne se conforme pas aux procédures recommandées.

Lors de la réunion, l'inspecteur vérifie avec le chef officier le dernier produit chargé par la cargaison ainsi que la méthode de lavage des cuves afin d'évaluer tous les risques de contamination.



**PARTIE 3 : RESULTATS ET
DISCUSSION**

3.1 RESULTATS

3.1.1 Résultats de l'analyse chromatographique en phase gazeuse du GPL

Cette analyse a permis de caractériser les hydrocarbures contenus dans le GPL de trois tanks (cuves du navire). Les résultats sont consignés dans le tableau II qui présente les différents constituants du butane vendu en Côte d'Ivoire et leur pourcentage. Le gaz butane vendu sur le territoire ivoirien encore appelé butane commercial est essentiellement composé d'alcane (C_nH_{2n+2}) et d'alcène (C_nH_{2n}). L'alcane majoritaire demeure le N-butane avec plus de 97% de la composition totale, suivi du propane et de l'isobutane. Les spécifications à défaut de l'oléfine qui ne doit pas excéder 1% de la composition totale reste indéfini pour tous les autres composés du gaz. L'insuffisance voire l'absence des autres composés du butane démontre de sa pureté.

Tableau II : Composition gazeuse du GPL de trois tanks

Composition	Résultats en %			Spécifications
	Tank 1	Tank 2	Tank 3	
Ethane	0.09	0.08	0.08	Report
Propane	1.29	1.20	1.26	Report
Isobutane (2-methylpropane)	0.99	0.94	0.96	Report
N-butane	97.45	97.62	97.52	Report
Isopentane (2-methylbutane)	0.09	0.08	0.09	Report
N-pentane	0.09	0.08	0.09	Report

3.1.2 Résultats de la densité du GPL

L'étude de la densité du GPL vendu en Côte d'Ivoire est faite selon la norme ISO 8973. Les résultats sont consignés dans le tableau III.

La densité qui est en réalité la masse volumique du gaz est liée à la composition élémentaire du gaz. En effet, plus les chaînes carbonées sont longues plus celle-ci est élevée, plus elle est courte, plus la densité est faible. Les résultats de la chromatographie ayant présenté un taux élevé de N-butane qui sont de longues chaînes carbonées rend compte de la forte densité du

gaz. Nous obtenons respectivement pour les trois tanks 584, 584.1 et 584 kg/m³. Cette densité est conforme à la norme ISO 8973 qui stipule que la densité du GPL doit être supérieur a 559 kg/m³

Tableau III : Densité du GPL contenu dans trois tanks

Tank	Densité du GPL à 15°C en kg/m³	Spécifications selon la norme ISO 8973 en kg/m³
Tank 1	584	559 minimum
Tank 2	584,1	559 minimum
Tank 3	584	559 minimum

3.1.3 Résultats de la pression de vapeur du GPL

L'étude de la pression du GPL vendu en Côte d'Ivoire est faite selon la norme ISO 8973. Les résultats sont consignés dans le tableau IV.

Les pressions de vapeur des tanks 1, 2 et 3 sont respectivement 5,15 ; 5,16 et 5,15 kg/cm².Elles sont donc conformes aux spécifications de la norme. La pression de vapeur est aussi liée à la composition du gaz, elle démontre la mobilité des éléments volatils dans une enceinte hermétiquement fermée. Elle est inversement proportionnelle à la masse volumique car plus les chaines carbonées sont longues moins est la pression de vapeur et plus elles sont courtes plus la pression de vapeur est élevée.

Tableau IV : Pression du GPL contenu dans les trois tanks du navire

Tank	Pression absolue à 50°C du GPL en kg/cm²	Spécifications selon la norme ISO 8973 en kg/cm²
Tank 1	5,15	7,5 maximum
Tank 2	5,16	7,5 maximum
Tank 3	5,15	7,5 maximum

3.1.4 Résultats du Doctor test sur le GPL

Concernant le Doctor Test, les résultats sont négatifs pour tous les trois tanks voir Tableau V. Ces résultats traduisent l'absence de soufre ou de mercaptan dans le gaz. Cependant, il est important de noter que, cette absence n'est pas totale, mais plutôt insignifiante de sorte à ne pas influencer positivement le test. La présence des composés sulfurés en quantité importante provoque une attaque des métaux et des matériaux métalliques et non métalliques lors de la distribution ou du stockage.

Tableau V : Résultats du Doctor test sur le GPL contenu dans les trois tanks

Tank	Résultats	Spécifications selon la norme ASTM D4952
Tank 1	Négative	Négative
Tank 2	Négative	Négative
Tank 3	Négative	Négative

3.1.5 Etude de la volatilité du GPL vendu en Côte d'Ivoire

Pour tous les trois tanks, les résultats du test de volatilité sont de + 1°C (Tableau VI). Cette valeur (+1°C) montre une absence de composés hydrocarbonés moins volatils que ceux qui composent principalement le butane. La norme spécifie dans ce test que la température maximale acceptable pour la volatilité du produit doit être de 2°C. Cette méthode d'essai permet de mesurer la pureté relative des différents types de gaz de pétrole liquéfiés.

Tableau VI : Résultats de la volatilité du GPL contenu dans les trois tanks

Tank	Volatilité en °C	Spécifications selon la norme ASTM D1837
Tank 1	+1	+ 2
Tank 2	+1	+2
Tank 3	+1	+2

3.1.6 Etude de la corrosion du GPL vendu en Côte d'Ivoire

Le test de corrosion de cuivre présente des résultats identiques (1 a) pour les trois tanks (Tableau VI). En effet, ces résultats montrent l'absence de composés corrosifs pour le cuivre. Au cas où une valeur excédait 1b, il y a alors une présence d'éléments chimiques pouvant corroder le cuivre selon la norme ASTM D1838.

Tableau VII : Résultats de la corrosion du GPL contenu dans les trois tanks

Tank	Corrosion des bandes de cuivre en une heure à 37,8 °C en rating	Spécifications selon la norme ASTM D1838
Tank 1	1a	1b
Tank 2	1a	1b
Tank 3	1a	1b

3.1.7. Etude comparative des tanks MT Permian Lady (BV) et MT Africa GAS (SGS)

Nous avons procédé à une étude comparative entre nos résultats et ceux du laboratoire de SGS Côte d'Ivoire (SGS, 2018).

Des tests ont été effectués sur le tank1 du navire Africa Gas de SAHARA par le laboratoire de SGS en 2018.

Les tests donnent les résultats suivants :

Densité 583.7 kg/m³, pression de vapeur 5.20 kg/cm², doctor test négatif, volatilité +2, corrosion cuivre et la chromatographie (oléfine 00, éthane 0.003, propane 1.53, Isobutane 3.00, N- butane 94.80, Iso pentane 0.32, Pentane 0.35) (Tableau VII).

Ces résultats révèlent la même composition chromatographique que celle du GPL de MT Permian Lady réalisée par le laboratoire Bureau Veritas

Tableau VIII : Tableau comparatif des différents paramètres

	Unités	Résultats BV	Résultats SGS	Spécifications
Ethane-C2	%	0.09	0.03	Report
Propane-C3	%	1.29	1.53	Report
Iso Butane –i-C4	%	0.99	3.00	Report
N-Butane	%	97.45	94.80	Report
Iso pentane –i-C5	%	0.09	0.32	Report
Pentane-C5	%	0.09	0.35	Report
Densité	Kg/m ³	584	583,7	Min 559.0
Pression de vapeur	Kg/cm ²	5,15	5,2	Max 7.50
Doctor test		Négatif	Négatif	Negative
Volatilité	°C	1	2	Max +2
Corrosion cuivre		1a	1a	Max 1b

La figure 26 met en évidence la composition chromatographique des tank1 des deux navires. Tank1 de MT Permian Lady (BV) et MT Africa Gas (SGS).

Ces différents histogrammes montrent des similitudes entre le GPL des deux navires différents ayant déchargé leurs gaz en Côte d’Ivoire. Le normal butane demeure le composé le plus dominant dans les deux échantillons de GPL, les composés minoritaires sont l’éthane, le pentane, l’isopentane, le propane et l’isobutane à quantité plus ou moins égale dans les deux gaz.

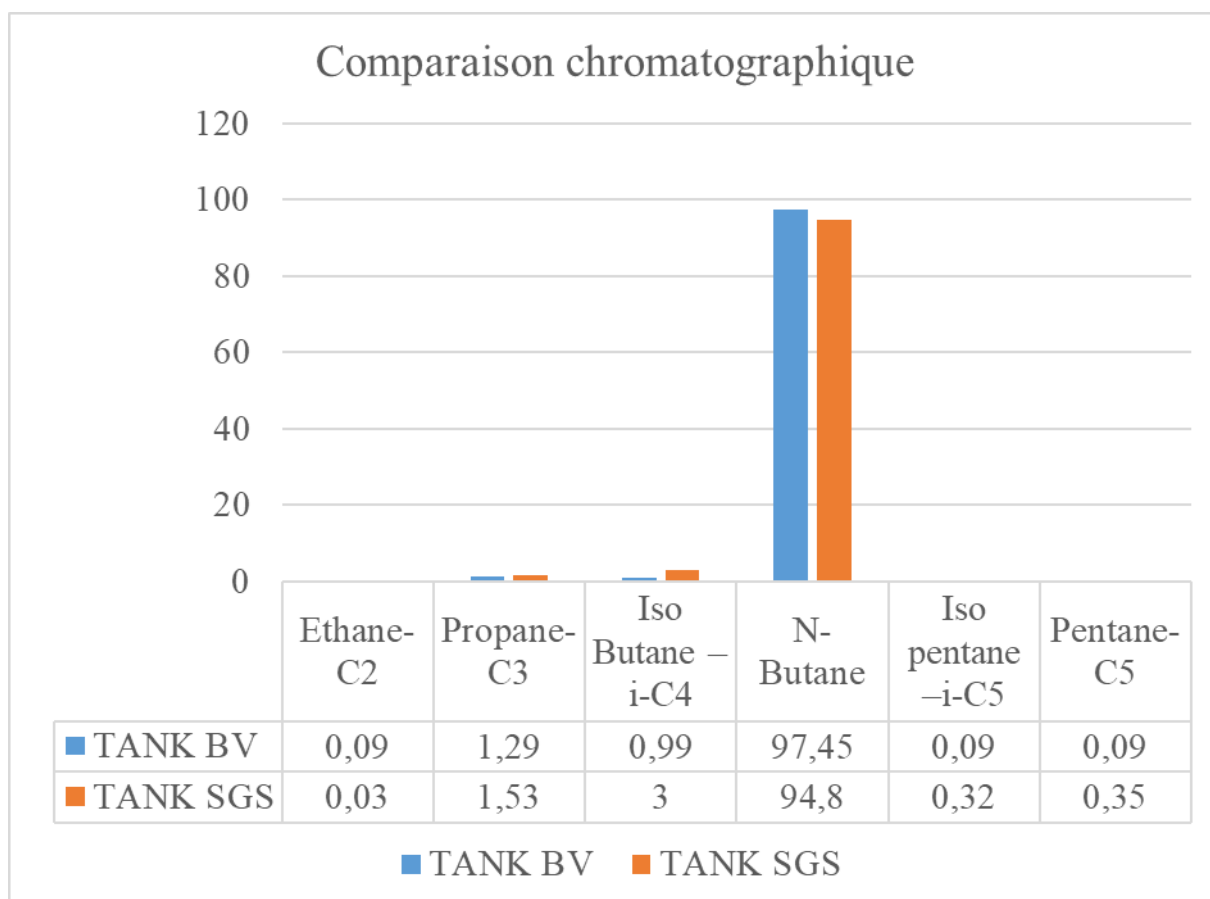


Figure 25 : Histogramme comparatif

3.1.8. Resultats administratifs pour le de déchargement du butane

3.1.8.1 La nomination

La nomination envoyée à la structure indépendante par mail se présente comme suit voir figure 26

TO: BUREAU VERITAS
ATTN: EUGENE

CC:

RE: MT : PERMIAN LADY - INSPECTOR'S APPOINTMENT

VESSEL : PERMIAN LADY
DISCHARGE PORT : ABIDJAN, COTE D'IVOIRE
TERMINAL : PETROCI
LAYCAN : 9-11 JAN 2020
DISPORT: ABIDJAN, COTE D'IVOIRE
RECEIVER: WORLDWIDE ENERGY (FOR PETROCI)
QUALITY: BUTANE AS PER AGREED SPECS
QUANTITY: 8.5 KT +/- 5%

DEAL: 359844

TRADE: 2040700

Please provide a consolidated certificate of quantity for full cargo discharged in Abidjan after completion.

THIS IS TRAFIGURA PTE LTD WHO ARE PLEASED TO CONFIRM YOUR APPOINTMENT TO ATTEND THE DISCHARGE OF THE CAPTIONED VESSEL.

THE TRAFIGURA DEAL AND TRADE NUMBERS ARE TO BE QUOTED ON ALL RELATED CORRESPONDENCE AND INVOICES.
YOU SHOULD SEND US WRITTEN ACCEPTANCE OF THIS APPOINTMENT BY RETURN.
THIS ACCEPTANCE SHOULD INCLUDE AN ESTIMATE OF THE COSTS TO TRAFIGURA AND DETAILS OF ANY PART OF THE OPERATION YOU ARE UNABLE TO PERFORM. WE HAVE SET OUT AT THE END OF THIS MESSAGE A FORMAT FOR YOUR REPLY.

OUR SALES / PURCHASE CONTRACT CONTAINS A FINAL AND BINDING CLAUSE WITH REGARD TO YOUR FINDINGS.

ANY SUBSEQUENT INSTRUCTIONS (WHETHER VERBAL OR WRITTEN) RECEIVED FROM TRAFIGURA ARE TO BE FOLLOWED UP WITH A WRITTEN CONFIRMATION AND (WHERE APPROPRIATE) A COST ESTIMATE FROM YOUR COMPANY.

Figure 26 : Lettre de nomination

3.1.8.2. L'acceptation de la nomination

Le mail envoyé au client afin de signifier l'approbation de la structure d'inspection est présentée comme suit, voir figure 27

Objet:	RE: PERMIAN LADY - INSPECTION NOMINATION - DISCHARGE BUTANE - ABIDJAN - 9- 11 JAN
DEAL & TRADE N° :	359844 & 2040700
OUT REF	: 002 / 2020
Dear Lakhani,	
We acknowledged Good receipt of your below nomination with thanks. We confirm our attendance.	
Reverting with formal acceptance	
Best Regards;	
Eugene SANKADIO Shipping Operations Coordinator	

Figure 27 : Lettre d’approbation

3.2 DISCUSSION

Les résultats obtenus bien que variant d’un tank à un autre respecte les normes relatives sur la qualité du butane commercial. Par ailleurs, la production annuelle du GPL en Côte d’Ivoire est insuffisante 21 006 TM par rapport à la consommation 268 904 TM (MPEER, 2017). Ainsi, les sociétés agréées (SIR, GESTOCI PETROCI et bien d’autres) importent le déficit afin de répondre au besoin de la population. Des laboratoires et structures autres que le Bureau Veritas étudient également les caractéristiques du GPL vendues en Côte d’Ivoire, ce qui permet d’effectuer parfois des contre-expertises en cas de non conformités des résultats comme ce fut le cas du navire Africa gas. En effet le laboratoire de PETROCI a effectué des tests sur le tank1 du navire Africa gas (PETROCI, 2020) et ont obtenus des résultats qui ne sont pas en conformité à ceux que nous avons obtenues lors de notre étude sur le navire Permian Lady. Les résultats du Doctor test effectués par le laboratoire de PETROCI ont présenté des résultats positifs ce qui a par la suite entrainer l’interdiction catégorique de son déchargement. Afin de juger de la qualité des résultats obtenues sur le GPL du Permian Lady et du GPL vendues en Côte d’Ivoire, nous avons procéder à une étude comparative entre nos résultats et ceux du laboratoire de SGS Côte d’Ivoire (SGS, 2018). Nos résultats obtenus présentent une conformité avec ceux du laboratoire de SGS.

La densité, la pression de vapeur, la volatilité, le Doctor test et la corrosion présentent les mêmes résultats que ceux obtenus par le laboratoire de SGS à quelques valeurs près.

Les importations de GPL sont assurées à 63,7% par la SIR et à 36,3% par la PETROCI (DGH, 2018).

L'étude analytique du butane avant son déchargement en Côte d'Ivoire nous présente les différents paramètres sur lesquels la Côte d'Ivoire se base pour s'assurer de la qualité du produit qu'elle importe. Le GPL(butane) livré en Côte d'Ivoire possède un taux de n-butane très élevé avoisinant les 90% selon les certificats établis avant le déchargement (SGS, 2020). Un pourcentage très considérable pour affirmer la bonne qualité du gaz fourni à la population. Tout produit ne respectant pas les spécifications du pays sont refusés. Le déchargement du GPL contenu dans le PERMIAN LADY n'aurait pas été autorisé en cas de résultat non satisfaisant.



CONCLUSION

CONCLUSION.

L'objet de ce travail est de déterminer la composition du gaz butane livré en Côte d'Ivoire lors d'un déchargement du navire MT PERMIAN LADY. Le navire (MT PERMIAN LADY) est un transporteur de GPL dont le tonnage est de 25144 tonnes et doté de trois (3) tanks. C'est un butanier actif et accoste dans plusieurs pays du monde. Six tests nous ont permis de mener à bien ce travail ; la chromatographie, selon la norme (ASTM D2163), la densité avec la norme (ISO 8973), la pression de vapeur avec la norme (ISO 8973), le Doctor test (ASTM D4952), l'évaporation (ASTM D1837) et la corrosion cuivre (ASTM D1838).

Les résultats montrent une légère variation des différents paramètres dans les trois tanks. Cette variation s'observe au niveau de trois tests notamment la chromatographie, la densité et la pression de vapeur. Cependant les résultats des autres tests (Doctor test, volatilité, corrosion cuivre) restent identiques. Ces similitudes traduisent l'homogénéité du butane à décharger.

Les résultats des tests respectent tous les spécifications de la Cote d'Ivoire sur le gaz butane. Cependant, les résultats des tests de chromatographie bien qu'étant variés dans les trois tanks présentent des valeurs de n-butane supérieur à 97 % ; ce qui est certes favorable pour la qualité du butane mais ne demeurent pas pour autant complet vu l'absence totale d'alcènes dans le gaz. En effet l'état ivoirien recommande un volume avoisinant les 19% de propane et de propène dans le butane commercialisé. Par contre le chromatographe ne permet pas de déterminer avec certitude le taux d'alcènes présent dans le gaz butane. Il est donc recommandé une étude approfondie afin d'améliorer les méthodes d'analyse effectuée sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL) vendu en Côte d'Ivoire .



REFERENCES

- ASTM D1838 (2016). Méthode d'essai standard pour la corrosion des bandes de cuivres pour les gaz de pétrole liquéfiés, Normes 5 p.
- ASTM D1837 (2017). Méthode d'essai standard pour la volatilité des gaz de pétrole liquéfié Normes 4 p.
- ASTM D4952 (2017). Méthode d'essai standard pour l'analyse qualitative des espèces de soufres actifs dans les carburants et les solvants test du docteur, Normes 3 p.
- ASTM D2163 (2019). Méthode d'essai standard pour la détermination des hydrocarbures dans les gaz de pétrole liquéfiés et les mélanges de propane/propène par chromatographie en phase gazeuse, Normes 12 p.
- AFNOR (1990). Volatilité des gaz de pétrole liquéfiés. Normes et recueils NF M41-012 sur le Gaz-de-Pétrole-Liquéfié, Normes 11 p.
- Bendaas O. & Oukacha C. (2017). Optimisation des paramètres de fonctionnement déethaniseur (C-701) et du débutaniseur (C-702) de la section de fractionnement du gaz à l'UTG de Guellala. Mémoire de Master en technologie de la pétrochimie. Université M'hamed Bougara-Boumerdes en Tunisie, 112 p.
- CCNR/OCIMF (2010). Guide international de sécurité pour les bateaux citernes de la navigation intérieure et les terminaux. Types de bateaux-citernes transportant du gaz. Chapitre 33 Edition 1,14p.
- DGH (2018). Annuaire des statistiques des hydrocarbures en Côte d'Ivoire, 55 p.
- Emerson R. (2019). Fiche de spécifications Septembre 2019, 00813-0103-5900 rev, AB 48p.
- Guillaume G. (2017). La chromatographie en phase gazeuse : principe et exemples d'applications, Culture Sciences Chimie 5 p.
- Gwenola B. & Burgot J. L. (2011). Méthodes instrumentales d'analyse chimique et applications. Livres Technique & Documentation, Lavoisier 3^e édition, 395 p.
- Ingrid P., Martin T. & Minh H. (2016). Etude sur les enjeux propres aux plateformes multimodales et aux opérations de transbordement des hydrocarbures au Québec. Canadian electronic library, 1^o édition 222 p.
- ISO 8973 (2018). Gaz de pétrole liquéfiés-méthode de calcul de la masse volumique et de la pression de vapeur, Normes 5 p.
- Kaoutar J. & Soahi O. S. (2018). Méthode de séparation et d'analyse chromatographie en Phase gazeuse. Rapport de TP de chimie, Université Moulay Ismail Maroc, 11 p
- Leslie S. E. (2008). The Beginnings of Gas Adsorption Chromatography 60 Years Ago. *LCGC , North America*, 492p.

- MPEER (2017). Ministère du pétrole, de l'énergie et des énergies renouvelables, rapport statistique des activités 9 p.
- P G R P (2001). Chargement et déchargement de véhicules-citernes contenant des liquides dangereux. Note Technique de Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail Nord-est n°28, 17 p.
- PETROCI (2020). Qualité du butane en Côte d'Ivoire, Certificat de qualité du laboratoire de PETROCI Côte d'Ivoire 1 p.
- Pierre P. (1996). Liquéfaction du gaz naturel. Technique de l'ingénieur J3601v1 ,50 p.
- SGS (2018). Qualité du butane en Côte d'Ivoire, Certificat de qualité du laboratoire SGS Côte d'Ivoire 1 p.
- SGS (2020). Qualité du butane en Côte d'Ivoire, Certificat de qualité du laboratoire SGS Côte d'Ivoire 1 p.



ANNEXES

Annexe 1 : Certificat de qualité SGS



Analytical Report: AB20-00419.001

Date: 12-May-20

BUREAU VERITAS

CI-ABJ-2000-B-251339 N°CC. 0024089 W

Bd Roume- Angle rue Thomasset

01 BP 1453 Abidjan 01

Abidjan

Cote d'Ivoire

The results shown in this test report specifically refer to the sample(s) tested as received unless otherwise stated. All tests have been performed using the latest revision of the methods indicated, unless specifically marked otherwise on the report. Precision parameters apply in the determination of the below results. Users of analytical results, when establishing conformance with commercial or regulatory requirements should note the full provisions of ASTM D3244, IP 367 and ISO 4259 in that context, the default confidence level of petroleum testing having been set at the 95% confidence level. Your attention is specifically drawn to Sections 7.3.6., 7.3.7 and 7.3.8 of ASTM D3244. With respect to the UOP methods listed in the report below the user is referred to the method and the statement within it specifying that the precision statements were determined using UOP Method 999. This Test Report is issued under the Company's General Conditions of Service (copy available upon request or on the company website at <https://www.sgs.com/en/terms-and-conditions>). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues defined therein. This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

CLIENT ORDER NUMBER :	Bon N° 0035053 du 12-05-2020	SGS ORDER NO.:	--
CLIENT ID :	BUREAU VERITAS	VESSEL :	"LPG/C AFRICA GAS "
LOCATION :	PETROCI-JETTY	PRODUCT DESCRIPTION :	Butane - Butane with no olefin
SAMPLE SOURCE :	Ships Tanks	SOURCE ID :	Tank 2
SAMPLE TYPE :	Composite Before Discharge	SAMPLE BY :	SGS
SAMPLED :	12-May-20 11:30	RECEIVED :	12-May-20 13:00
ANALYSED :	12-May-20 14:31 - 12-May-20 14:36	COMPLETED :	12-May-20 14:36

PROPERTY	METHOD	RESULT UNITS	MIN	MAX
Appearance	Visual	Clear & --- Bright	--	--
Hydrocarbons in LPG and Propane/Propene Mixtures by GC	ASTM D2163			
Ethane		0.07 % (v/v)	Report	--
Propane		5.15 % (v/v)	Report	--
Isobutane (2-Methylpropane)		4.45 % (v/v)	Report	--
n-Butane		90.27 % (v/v)	Report	--
n-pentane		0.02 % (v/v)	Report	--
Total Olefins		<0.01 % (v/v)	--	1
Isopentane (2-methyl butane)		0.04 % (v/v)	--	--
Doctor Test	ASTM D4952	Negative --- (sweet)	--	Sweet
Density at 15°C	ISO 8973	580.5 kg/m ³	559.0	--
Gauge Vapour Pressure at 50°C	ISO 8973	546 kPa	--	750.0
Volatility (95% Evaporation Temperature)	ASTM D1837	1.0 °C	--	+2
Copper Strip Corrosion (1hr at 37.8°C)	ASTM D1838	1A Rating	--	1b

** End of Analytical Results **



PETROCI/DGA/EPOT/DCAI/DPT GÉOCHIMIE
Service Laboratoire d'analyse des produits pétroliers

RAPPORT D'ANALYSE

Client : BV-CI
Produit : LPG
Navire : AFRICA GAS
N° d'Analyse : 295 / 2020
Origine de l'échantillon : TANK 3
Prélèvement par : Vos soins
Date de prélèvement : 11 Mai 2020 : 14 H 30
Date de réception : 11 Mai 2019 : 15 H 55
Analyses effectuées par : Laboratoire de Produits Pétroliers de PETROCI
Numéro de Dossier : 295-26- 2020 / ANAL LPP-DB

PARAMETRES	UNITES	METHODES	RESULTATS	SPECIFICATION
Composition				
Méthane-C1	%Vol.	ISO 7941	Non détecté	A noter
Ethane-C2	%Vol.	ISO 7941	0.05	A noter
Propane-C3	%Vol.	ISO 7941	0.91	A noter
i-Butane-C4	%Vol.	ISO 7941	4.62	A noter
n-Butane-C4	%Vol.	ISO 7941	91.17	A noter
C5+	%Vol.	ISO 7941	3.24	A noter
Masse Volumique à 15°C	kg/L	ISO 8973	583.7	Min 0.559
Pression de Vapeur à 50°C	Kg/ cm ²	ISO 8973	4.08	Max 7.50
Doctor Test		ASTM D4952	Positive *	Negative
Odeur	-		Caractéristique	Caractéristique
Volatilité				
5 % Vol. Evaporé	°C	ASTM D 1837	-1.8	A noter
95 % Vol. Evaporé	°C	ASTM D 1837	+0.6	Max 2
Corrosion Cuivre à 37.8°C	-	ASTM D1838	1 b	Max 1b

NB : * = paramètre hors spécification

Conclusion : Le produit est non conforme aux spécifications du butane selon le décret N° 2013-220 du 22 Mars 2013 fixant la spécification des produits pétroliers en Côte D'Ivoire

Fait Abidjan le 11/05/2020 à 20 H 30

Le Chef du Service laboratoire d'analyse des produits pétroliers

DIOMANDE Bato

Annexe 3 : Certificat de qualité du tank1

**REPORT OF ANALYSES****BUTANE**

File Ref No.	: OPS-BVL/ABJ/UNL/002/2020	Vessel	: "M/T PERMIAN LADY"
Location	: Petroci Jetty	Installation	: Abidjan, Côte d'Ivoire
Test Certificate N°	: ABJ/LAB/0007/2020	Sample drawn by	: Bureau Veritas
Sample ID No	: 0024 / 2020	Sampling method	: ASTM D 4057
Sample Source	: SHIP'S TANK 1	Date & Time Drawn	: 14 / 01 / 2020 @ 10:10 Hrs
	BEFORE DISCHARGE	Date & Time Analysed	: 14 / 01 / 2020

PROPERTIES	UNITS	TEST METHODS	RESULTS	SPECIFICATIONS
Hydrocarbons in LPG and Propane/Propene Mixtures by GC		ASTM D2163		
Olefins	% Vol		0,00	1 max
Methane	% Vol		0,00	Report
Ethane	% Vol		0,09	Report
Propane	% Vol		1,29	Report
Propene	% Vol		0,00	Report
Isobutane (2-Methylpropane)	% Vol		0,99	Report
n-Butane	% Vol		97,45	Report
Butene 1	% Vol		0,00	Report
IsoButene	% Vol		0,00	Report
Trans-Butene	% Vol		0,00	Report
Cis-Butene	% Vol		0,00	Report
Isopentane (2-methyl butane)	% Vol		0,09	Report
N-Pentane	% Vol		0,09	Report
Density at 15°C	kg/m ³	ISO 8973	584,0	559,0 min
Absolute Vapour Pressure at 50°C	kg/cm ²	ISO 8973	5,15	7,5 Max
Doctor Test	-	ASTM D4952	Negative	Negative
Volatility (95% Evaporation Temperature)	°C	ASTM D1837	+1	+2
Copper Strip Corrosion (1hr at 37,8°C)	Rating	ASTM D1838	1a	1b

* Analyses witnessed by Our Partner Laboratory

Based on the sample(s) drawn, the product complies with the specifications detailed above.

DATE : 14 / 01 / 2020

SIGNATURE:



Annexe 4: Certificat de qualité du tank 2

**REPORT OF ANALYSES****BUTANE**

File Ref No.	: OPS-BVL/ABJ/UNL/002/2020	Vessel	: "M/T PERMIAN LADY"
Location	: Petroci Jetty	Installation	: Abidjan, Côte d'Ivoire
Test Certificate N°	: ABJ/LAB/0005/2020	Sample drawn by	: Bureau Veritas
Sample ID No	: 0022 / 2020	Sampling method	: ASTM D 4057
Sample Source	: SHIP'S TANK 2	Date & Time Drawn	: 13 / 01 / 2020 @ 17:00 Hrs
	BEFORE DISCHARGE	Date & Time Analysed	: 13 / 01 / 2020

PROPERTIES	UNITS	TEST METHODS	RESULTS	SPECIFICATIONS
Hydrocarbons in LPG and Propane/Propene Mixtures by GC		ASTM D2163		
Olefins	% Vol		0.00	1 max
Methane	% Vol		0.00	Report
Ethane	% Vol		0.08	Report
Propane	% Vol		1.20	Report
Propene	% Vol		0.00	Report
Isobutane (2-Methylpropane)	% Vol		0.94	Report
n-Butane	% Vol		97.62	Report
Butene 1	% Vol		0.00	Report
IsoButene	% Vol		0.00	Report
Trans-Butene	% Vol		0.00	Report
Cis-Butene	% Vol		0.00	Report
Isopentane (2-methyl butane)	% Vol		0.08	Report
N-Pentane	% Vol		0.08	Report
Density at 15°C	kg/m ³	ISO 8973	584.1	559.0 min
Absolute Vapour Pressure at 50°C	kg/cm ²	ISO 8973	5.16	7.5 Max
Doctor Test	-	ASTM D4952	Negative	Negative
Volatility (95% Evaporation Temperature)	°C	ASTM D1837	+ 1	+2
Copper Strip Corrosion (1hr at 37.8°C)	Rating	ASTM D1838	1a	1b

* Analyses witnessed by Our Partner Laboratory

Based on the sample(s) drawn, the product complies with the specifications detailed above.

DATE : 13 / 01 / 2020

SIGNATURE:



Annexe 5: Certificat de qualité du tank 3

**REPORT OF ANALYSES****BUTANE**

File Ref No.	: OPS-BVI/ABJ/UNL/002/2020	Vessel	: "M/T PERMIAN LADY"
Location	: Petroci Jetty	Installation	: Abidjan, Côte d'Ivoire
Test Certificate N°	: ABJ/LAB/0006/2020	Sample drawn by	: Bureau Veritas
Sample ID No	: 0023 / 2020	Sampling method	: ASTM D 4057
Sample Source	: SHIP'S TANK 3	Date & Time Drawn	: 13 / 01 / 2020 @ 17:00 Hrs
	BEFORE DISCHARGE	Date & Time Analysed	: 13 / 01 / 2020

PROPERTIES	UNITS	TEST METHODS	RESULTS	SPECIFICATIONS
Hydrocarbons in LPG and Propane/Propene Mixtures by GC		ASTM D2163		
Olefins	% Vol		0,00	1 max
Methane	% Vol		0,00	Report
Ethane	% Vol		0,08	Report
Propane	% Vol		1,26	Report
Propene	% Vol		0,00	Report
Isobutane (2-Methylpropane)	% Vol		0,96	Report
n-Butane	% Vol		97,52	Report
Butene 1	% Vol		0,00	Report
IsoButene	% Vol		0,00	Report
Trans-Butene	% Vol		0,00	Report
Cis-Butene	% Vol		0,00	Report
Isopentane (2-methyl butane)	% Vol		0,09	Report
N-Pentane	% Vol		0,09	Report
Density at 15°C	kg/m ³	ISO 8973	584,0	559,0 min
Absolute Vapour Pressure at 50°C	kg/cm ²	ISO 8973	5,15	7,5 Max
Doctor Test	-	ASTM D4952	Negative	Negative
Volatility (95% Evaporation Temperature)	°C	ASTM D1837	+1	+2
Copper Strip Corrosion (1hr at 37,8°C)	Rating	ASTM D1838	1a	1b

* Analyses witnessed by Our Partner Laboratory

Based on the sample(s) drawn, the product complies with the specifications detailed above.

DATE : 13 / 01 / 2020

SIGNATURE:



Résumé

L'objet de ce travail est la caractérisation analytique du butane lors d'un déchargement en Côte d'Ivoire : cas du navire MT PERMIAN LADY. Ce navire (MT PERMIAN LADY) est un transporteur de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) dont le tonnage est de 25144 tonnes et doté de trois (3) tanks. C'est un butanier actif et accoste dans plusieurs pays du monde entier. Plusieurs tests à savoir : la Chromatographie en phase gazeuse ; la pression de vapeur ; le Doctor Test ; volatilité et la corrosion ont permis d'effectuer l'analyse du butane lors du déchargement. Les résultats des tests de chromatographie bien qu'étant varié dans les trois tanks présente des valeurs de n-butane supérieur à 95 %. Les résultats du test de densité à 15°C pour les trois tanks sont supérieurs à 559,0 kg/m³ qui est la valeur minimum toléré pour le gaz butane. Pour les autres tests : les valeurs des résultats du test de pression de vapeur à 50° C, les résultats de Doctor Test, les résultats du test de volatilité et le test de corrosion de cuivre présentent des résultats accord avec les normes en vigueur dans le domaine gazier.

Mots clés : Butane, Analyse, Tank, Navire MT Permian lady

Abstract

The object of this work is the analytical characterization of butane during an unloading in Ivory Coast: case of the ship MT PERMIAN LADY. This vessel (MT PERMIAN LADY) is an LPG transporter with a tonnage of 25,144 tonnes and equipped with three (3) tanks. She is an active butaner and docks in several countries around the world. Several tests, namely: gas chromatography; vapor pressure; the Doctor Test; volatility and corrosion allowed the analysis of butane during unloading. The results of the chromatography tests, although varied in the three tanks, show n-butane values greater than 95%. The density test results at 15 ° C for the three tanks are greater than 559.0 kg / m³ which is the minimum tolerated value for butane gas. For the other tests: the values of the results of the vapor pressure test at 50 ° C, the results of Doctor Test, the results of the volatility test and the copper corrosion test present results in accordance with the standards in force in the gas field.

Keywords : Butane, Analysis, Tank, MT Permian lady vessel