



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 août 1955 -SKIKDA
Faculté de Technologie
Département de Pétrochimie



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière: Industries Pétrochimiques

Spécialité: Génie Pétrochimique

Thème:

Études des matériaux utilisés pour transport et stockage des hydrocarbures.

Réalisé par:

BENENIA Lina Radja

Devant le jury composé de :

Président : Dr **MECHATI** Fadia Université 20 août 1955-SKIKDA

Examineur: Pr **SOBHI** Chafia Université 20 août 1955-SKIKDA

Examineur: Dr **MOUMEN** Abdelhak Université 20 août 1955-SKIKDA

Encadreur : Dr **CHEBLI** Abdelhak ENSET SKIKDA

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect. Avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie, mon paradis a la prunelle de mes yeux à la source de ma vie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin. Ma moitié à toi Maman...

Mon encadreur « Dr CHEBLI abdel hak » pour sa patience.sa diligence et sa réactivité lors de la préparation de ce mémoire

Sans oublier Dr F. MECHATI La plus cher à mon cœur

À mon ami « Dr Hakim » qui M'a toujours encouragé. Et à qui je souhaite plus de succès.

À tout qui m'aiment

Raja

Remerciements

En premier lieu, on tient à remercier mon Dieu ALLAH qui à donner la force à achever ce projet. Ce travail a été effectué à la faculté de la technologie, département de pétrochimie de l'université 20 août 1955 -SKIKDA sous la direction scientifique de Monsieur CHEBLI ABDELHAK maître de conférences(A) à ENSET SKIKDA, je lui exprime particulièrement toute ma reconnaissance pour m'avoir fait bénéficier de ces compétences scientifiques. Grande merci pour mon encadreur monsieur CHEBLI ABDELHAK de sa constante disponibilité.

Nous exprimons profondément et respectueuse gratitude à Madame F. MECHATI Docteur à l'Université 20 août 1955-SKIKDA Qui nous a honorés d'accepter de présider le jury de cette mémoire.

Nous voulons transmettre nos profonds remerciements et notre profonde expression respect au professeur de l'Université 20 août 1955-SKIKDA, Madame C.SOBHI et le Docteur, Monsieur A. MOUMEN pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.

Nous adressons mes vifs remerciements à ma chère maman, et mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles. Les conseils qu'il nous a prodigué, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études. Nous remercions enfin tous nos amis et camarades de promotion ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation et à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le présent travail a pour objectif l'étude des matériaux utilisés en stockage et transport des hydrocarbures. Après des généralités sur hydrocarbures et les différents types transports et de stockage, suivi par une étude des risques liés au transport et stockage tel que la corrosion et la fissuration dans les pipelines et bacs restent parmi les problèmes qui n'ont pas trouvé de solution absolue. L'alliage FeNi possède des propriétés mécaniques remarquables et aussi la composition $Fe_{66}Ni_{34}$ a une délation thermique nulle et donc il est prometteuse pour des matériaux en pipelines et des bacs. Les aciers de la norme API 5L X60M, sont les plus utilisé dans les pipelines tous les travaux de recherche ont montrant la bonne résistance à la corrosion et anis des propriétés mécaniques remarquable.

Mots-clés : hydrocarbures ; Pipelines ; les aciers ; la norme API 5L

Abstract

The transport of hydrocarbons over long distances, from the point of deposit to separation complexes, liquefaction and refineries is mainly carried out by buried pipelines covered with a bitumen or polymer coating supplemented by active cathodic protection allowing protect them against corrosion caused by soils. However, failures by corrosion and cracking which can occur under certain conditions lead to disruptions in the operation of the pipeline.

Corrosion and cracking in pipelines and tanks for transporting and storing hydrocarbon gas remains among the problems that have not found an absolute solution. Despite the difficulty of this phenomenon, there are several methods to detect it initially and limit its spread. These two behaviors, corrosion and cracking, are closely linked to the materials used to manufacture pipelines and tanks. Chebli et al they showed that the FeNi alloy has remarkable mechanical properties and also the composition Fe₆₅Ni₃₅ has zero thermal dilation and therefore it is promising for materials. Steels of the API 5L X60M standard, in piare the most used in pipelines, all research work has shown good corrosion resistance and remarkable mechanical properties.pelines and tanks.

Keywords: hydrocarbons; Pipelines; steels; the API 5L standard.

ملخص

العمل الحالي يهدف إلى دراسة المواد المستخدمة في تخزين ونقل الهيدروكربونات. بعد تقديم معلومات عامة عن الهيدروكربونات وأنواع النقل والتخزين المختلفة، يتبعها دراسة المخاطر المرتبطة بالنقل والتخزين مثل التآكل والتشققات في الأنابيب والخزانات التي تظل من بين المشاكل التي لم تجد حلاً نهائياً. تمتلك سبيكة FeNi خصائص ميكانيكية رائعة وكذلك تكوين $Fe_{66}Ni_{34}$ الذي لا يتمدد حرارياً، وبالتالي فهي واعدة لاستخدامها في الأنابيب والخزانات. الفولاذ من معيار API 5L X60M هو الأكثر استخداماً في الأنابيب، حيث أظهرت جميع الأبحاث مقاومته الجيدة للتآكل وخصائصه الميكانيكية الرائعة.

الكلمات المفتاحية: الهيدروكربونات؛ الأنابيب؛ الفولاذ؛ معيار API 5L.

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Tableau des Caractéristiques Physiques.	05
Tableau I.2	Les différentes fractions de distillation du pétrole	13
Tableau I.3	Propriétés des produits d'hydrocarbures du pétrole.	14
Tableau I.4	Exemples de produits de l'industrie pétrochimique.	16
Tableau II 1	Récapitulatif du Réseau de Transport du Gaz naturel.	30
Tableau II. 2	Paramètres énergétiques d'écoulement du gaz naturel à l sortie des stations de services SC.	31
Tableau III.1	Propriétés mécaniques du métal avant soudage, d'après le certificat de réception du Fournisseur (Arcelor Mittal).	42
Tableau III.2	Propriétés mécaniques de l'acier grade X60M selon la norme API 5L PSL2	42
Tableau III.3	Composition chimique de l'acier grade X60M d'après le certificat de réception du Fournisseur (ArcelorMittal).	43
Tableau III.4	Composition chimique de l'acier grade X60M selon la norme API 5L PSL2	43
Tableau III.5	Fiche d'analyse de sol	48
Tableau III.6	Fiche de comportement de l'acier XC 52	48
Tableau III.7	Dimensions et poids des éprouvettes après le traitement chimique	51
Tableau III.8	Dimensions et poids des éprouvettes après le traitement chimique	51
Tableau III.09	Poids des échantillons avant le traitement chimique	53
Tableau III.10:	Graphique représentant la perte de masse	53
Tableau III.11	Résultats des essais	55

TableauIII.12.	La composition chimique (en pourcentage %) du métal de base (acier X60M)	57
-----------------------	--	----

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Représentation des LIE et LIS	08
Figure I.2	Produits pétrochimiques primaires	18
Figure II.1	Les pipelines	23
Figure II. 2	Différents types de défaillances des pipelines	27
Figure II.3	Représente le graphique montrant les fuites enregistrées pendant plusieurs années	29
Figure II.4	Carte du réseau de transport du gaz naturel en Algérie.	29
Figure II.4	Bacs de stockage cylindriques verticaux	33
Figure II. 5	Les modes de stockage	33
Figure II.6	Bacs de stockage cylindriques horizontaux	34
Figure II.7	Réservoirs sphériques	35
Figure II.8	Types Équipements de la structure des bacs.	37
Figure III.1	Dimensions éprouvette	49
Figure III.2	Sableuse de pression 06 bar	50
Figure III.3	Échelle de pesée des échantillons, précise 0.001 g	50
Figure III.4	Éprouvettes avant le traitement chimique	50
Figure III.5	Après le traitement avec H ₂ SO ₄ 20%	51
Figure III.6	Après le traitement avec l'eau de mer	51
Figure III.07	Graphique représentant la perte de masse	53
Figure III.08	Essai de dureté	54
Figure III.09	Emplacement de l'éprouvette.	55

Sommaire

Résumé

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction générale	01
------------------------------	-----------

Chapitre I

Généralités sur les hydrocarbures

I.1	Définition	03
I.2	Caractéristiques des hydrocarbures	03
I.3	Origine des hydrocarbures	06
I.4	Utilisations des hydrocarbures	06
I.5	Classification des hydrocarbures	07
I.6	Risques présentés par les hydrocarbures	08
I.6.1	Risques physiologiques	08
I.6.2	Risques de pollution	09
I.6.3	Risque incendie	09
I.7	Le Phénomène boil-over	10
I.7.1	Description	10
I.7.2	Définition du boil-over	10
I.7.3	Conditions entraînant la naissance d'un boil-over	11
I.7.3.1	Présence d'eau à vaporiser	11
I.7.3.2	Création de l'onde de chaleur	11
I.7.3.3	Présence d'hydrocarbures en feu, suffisamment visqueux :	11
I.7.4	Évolution des différentes phases d'un boil-over	11
I.8	Propriétés physico-chimiques des hydrocarbures.	12
I.8.1	Densité	12
I.8.2	La solubilité	12

1.8.3	Polarité	12
1.8.4	Viscosité	12
I.9	Industrie pétrochimique	12
I.10	Conclusion	19
I.11	Référence	20

Chapitre II

Transport et stockages des hydrocarbures

II.1	Introduction	22
II.2	Les Pipelines	23
II.2.1	Définition	23
II.2.2	Types de canalisation	23
II.2.3	Constitution d'un oléoduc.	24
II.2.4	Caractéristiques d'une canalisation :	24
II.2.5	Essais de conformement des pipelines	25
II.2.6	Processus de fabrication des pipeline	25
II.2.7	Les causes de défaillances des canalisations de transport d'hydrocarbures	26
II.2.7.1	Corrosion dans les pipelines	27
III.2.7.2	Fissuration des pipelines	29
II.2.8	Le réseau de transport par gazoduc en Algérie	29
II.2.9	Description du Réseau de Transport du Gaz naturel	30
II.3.10	La ligne des pipelines GZ1	31
II.3	Stockage des hydrocarbures	31
II.3.2	Le Stockage du pétrole brut	32
II.3.3	Définition du parc de stockage	32
II.3.4	Les différents types de réservoirs	32
II.3.4.1	Réservoirs cylindriques verticaux	32

II.3.4.2	Réservoirs cylindriques horizontaux	34
II.3.4.3	Réservoirs sphériques	34
II.3.5	Caractéristiques Générales des Réservoirs	35
II.3.6	Équipements et accessoires des bacs de stockage	36
II.4	Stockage du GNL	37
II.4.1	But de l'unité de Stockage :	37
II.5	Conclusion	37
II.6	Référence	39

Chapitre III

Les aciers et Synthèse bibliographique

des travaux de recherches

III.1	Introduction	40
III.2	Classification des aciers	40
III.2.1	Les aciers au carbone d'usage général	40
III.2.1	Les aciers de traitement thermique	40
III.2.3	Aciers à outils	41
III.2.4	Aciers inoxydables	41
III.3	Les aciers API 5L X60M	41
III.4	Caractéristiques mécaniques de l'acier API 5L X60M	42
III.5	Caractéristiques chimiques de l'acier API 5L X60M	43
III.6	Influence des éléments d'addition	44
III.7	Les propriétés mécaniques des aciers	45
III.8	Synthèse bibliographique des travaux de recherches	47
III.8.1	Travail de Abdelhak Chebli	47
III.8.2	Travail de SAHRAOUI Aboubakr	47
III.8.2.1	Préparation des milieux corrosifs	48
III.8.2.2	Préparation des éprouvettes	49

III.8.2.3	Essai de traction	51
III.8.2.4	Essai de dureté	52
III.8.2.5	Résultats Expérimentaux des Essais	53
III.8.3	Travail de Makhlouf HAMOUCHE	56
III.8.4	Travail de Remma ABDELAZIZ et Sadjeda BENDARA	57
III.8.5	Travail de Abderrezek DJEDDI	58
III.9	Conclusion	59
III.10	Référence	60
Conclusion générale		61

Introduction Générale

Introduction générale

Les matériaux à base de pétrole sont très nombreux commencé par les produits énergétiques comme le gaz de butane et les fuels de divers véhicules jusqu'à tous les produits plastiques qui nous les utilisons d'une manière quotidienne.

Dans le domaine de hydrocarbures, l'objectif principal après d'extraire, est transporter et stocker les produits pétroliers en très grandes quantités dans les conditions économiques les plus performantes et pour des conditions de sécurité et de fiabilité des équipements optimales. Le transport des hydrocarbures sous forme liquide ou gazeuse (gazoducs) se fait par pipelines qui sont des canalisations enterrée ou aérienne, parallèlement les réservoirs de stockage ont été largement utilisés dans de nombreux établissements industriels, notamment dans les usines de traitement, telles que les raffineries de pétrole et l'industrie pétrochimique. Ils sont utilisés pour stocker une multitude de produits différents. Ils vont dans une gamme de tailles différentes comportant des produits tels que : les matières premières, produits finis, les gaz et les liquides. Il existe une grande variété de réservoirs de stockage, ils peuvent être construits sur le sol, dans le sol et sous terre. Les matériaux utilisés pour fabriquer les pipelines et les réservoirs (bacs) fait l'objet de plusieurs recherches scientifiques pour objectif améliorer leurs fiabilités et leurs durées du vis, tel que les aciers sont les matériaux les plus utilisés pour transporter et stoker les hydrocarbures.

Ce travail de mémoire se place dans le cadre d'une recherche bibliographique sur les matériaux notamment les aciers ainsi leurs performances dans le domine pipelines et réservoirs qui ont attiré l'attention des chercheurs durant ces dernières années.

Dans le premier chapitre nous passons en revue les hydrocarbures notamment le pétrole brut et le gaz naturel.

Le chapitre II décrit en première partie ; les pipelines de transport de pétrole et de gaz naturel qui sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés, en zone de risque sismique ou politiquement instable. Au contraire de leur investissement initial ; leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances. On termine ce chapitre par le stockage de ces hydrocarbures.

Le chapitre III, concerne une brève description des aciers, leurs définition, classification leurs propriétés en premier partie, dans la deuxième partie du chapitre, nous présentons des travaux récents faite par des chercheurs sur les performances des aciers dans le domaine des pipelines et les bacs.

Enfin, une conclusion générale résumé les pernicieux résultats

Chapitre I
Généralités sur les hydrocarbures

Chapitre I : Généralités sur hydrocarbures

Dans ce chapitre nous allons présenter en premier partie brièvement les hydrocarbures, leurs définitions, leurs origines, sa compositions chimiques, leurs classifications et ainsi leur risque et risques de pollution, tandis que le deuxième est consacré aux propriétés physico-chimiques des hydrocarbures et l'industrie pétrochimique.

I.1. Définition

Depuis plus de 50 siècles que le pétrole est connu dans le monde. Cela n'a rien d'étonnant puisque certains gisements étaient presque à fleurs de sol et des dégageaient es vapeurs inflammables pour les signaler. Tel que les peuples bibliques et chinois l'utilisaient il y a 5 à 6000 ans pour l'éclairage ainsi que pour la cuisson des aliments [1].

Il a fallu attendre 1859, date du premier sondage par DRAK aux USA pour que les quantités obtenues puissent faire l'objet d'une véritable industrie puisqu'aujourd'hui elle est devenue un véritable enjeu politico- économique [2].

Les hydrocarbures sont des simples molécules organiques, sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H).

Le terme « Hydrocarbures » est une appellation générique qui désigne le pétrole sous toutes ses formes (pétrole brut, le fuel-oil, les résidus d'hydrocarbures et les produits raffinés, « condensats », huiles minérales, gasoils et essences, etc.) [1].

La composition brute : C_nH_m , où n et m sont deux entiers naturels. Ils sont, selon les conditions de température et de pression, solides (paraffine), liquides (essences, pétrole, etc.) ou gazeux (méthane, butane, etc.). Les hydrocarbures peuvent aussi comprendre des atomes d'oxygène, d'azote et de soufre et des métaux à l'état de traces (nickel, vanadium, etc.) [2].

I.2. Caractéristiques des hydrocarbures

-Liquide inflammable : hydrocarbure ou autres liquides émettant des vapeurs, susceptibles de s'allumer momentanément en présence d'une flamme et ce, dans des conditions normales de température et de pression. Cette température minimum est appelée point éclair [3].

-Point éclair : température minimale à partir de laquelle un hydrocarbure liquide émet suffisamment de vapeurs susceptibles de provoquer un flash en présence d'une source de chaleur [3].

Le point éclair du brut en condensât se trouve généralement entre 12°C et 100°C mais il peut, parfois, dépasser ces limites.

-Point d'inflammation : température à laquelle un liquide inflammable émet des vapeurs en quantité suffisante pour que la combustion, une fois amorcée, puisse continuer d'elle-même, au moins cinq secondes [3].

-Point d'auto-inflammation : température à laquelle le produit chauffé émet des vapeurs. A cette température, le combustible s'enflamme spontanément en contact avec l'air et continue de brûler [3].

-Point d'ébullition : température à partir de laquelle, sous la pression atmosphérique, un liquide se vaporise dans sa masse [3].

-Tension de vapeurs : pression, déterminée constante pour chaque température, exercée par les vapeurs d'un liquide dans une enceinte fermée. Cette pression augmente rapidement avec la température. Lorsque celle-ci devient stable, l'évaporation du liquide cesse dès que la tension de vapeur est atteinte [4].

Produit	Densité		Point éclair °C	Point ébullition	Tension vapeur	Point Auto informati on °C	Limite information %		
	Liqui des à 15 °	Vapeur					Inférieure	Supérieure	
Méthane	0,466 à 164°	0,554		-164		537	5.3	14	Représente 97% de gaz naturel
Propane	0,585 à -42 °	1.522	-102	-42	133	466	2.2	10	
Butane	0,6 à -0°	2.6	-60	0	3.6	105	1.9	8.5	
Pentane	0,631	2.491	-40	36	1.1	309	1.5	7.8	
Hexane	0,664	2.975	-22	69	0.35	234	1.2	7.5	
Heptane	0,7	3.453	-4	98	0.12	223	1.2	6.7	
Essence A	0,69	3.400	-24	71	.23	235	1.2	7	
Essence/Summer	0,730 à 0.750	3.00 (environ)	-38	70	<0.800 <0.650	456	1.0	7.6	Du 15-10 au 30-4 (hiver) Du 01-05 au 14-10 (été)
White spirit	0,780		30 <PE <55	140	004	23	1.0	6.0	30<PE<55
Pétrole	0,790		42	160		250	0.7	5.0	
B.T.A. (1)	0,780		66	180					
Gazole/F.O.D.	0,830		65 <PE			270	6.0	13.5	65<PE
FO.L	0,890		70<PE			260 à 400			70<PE
Fuel lourd	0,950					260 à 400			

Huiles	0,840							
	à 0.950		140<PE			150 à 320		140<PE

Tableau I. 1 : Tableau des Caractéristiques Physiques.

I.3. Origine des hydrocarbures

Le pétrole brut constitue la première source d'énergie et de production des matières plastiques ou polymères, il y a deux origines ou deux théories des hydrocarbures bruts ou le pétrole, origine minérale et origine organique et l'origine organique est considérée aujourd'hui comme étant la plus vraisemblable.

Engler et Hofer [5] ont obtenu au laboratoire des hydrocarbures à partir de poissons et de végétaux. La présence de bactéries, d'azote, de soufre et parfois de phosphore dans les pétroles naturels, ainsi que la présence générale d'eau salée en bordure des gisements de pétrole sont donc autant d'arguments pour la théorie organique.

Les hydrocarbures en sont regroupés en trois catégories : pyrolytiques, pétro géniques et diagenétiques :

✓ **Pyrolytique** : Formation par combustion incomplète de matière organique d'origine naturelle (feux, volcanisme) ou anthropique (activité domestique ou industrielle).

Cette source est responsable de la majorité des émissions des hydrocarbures dans l'atmosphère.

✓ **Pétro génique** : Formation à partir des produits pétroliers ou des dérivés des produits pétroliers.

Cette source est responsable d'émissions plus localisées chroniques (activité portuaire, raffinerie, lessivage des infrastructures routières).

✓ **Diagenétique (ou biogéniques)** : Transformation par les organismes vivants (plantes, bactéries) [2].

Les sources anthropiques représentent la majorité des hydrocarbures et regroupent les processus de transformation, tels que la raffinerie du pétrole [6].

I.4. Utilisations des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont largement utilisés dans la vie quotidienne essentiellement comme :

- Carburants pour de nombreux moteurs.
- Combustibles et pour la fabrication des huiles lubrifiantes.
- Ils constituent aussi la matière première des synthèses pétrochimiques.

Ils sont utilisés comme source de carbone pour la culture des microorganismes [7], et se différencient fondamentalement des sucres par l'absence d'oxygène [8].

I.5. Classification des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont classés en fonction de leur point éclair. Selon leur catégorie d'appartenance, ils seront entreposés dans différents types de réservoirs [9] ;

Ainsi :

- **Les hydrocarbures liquéfiés** sont stockés dans des bacs spéciaux ou dans des sphères.
- **Les hydrocarbures liquides de point éclair inférieur à 55°C**, sont stockés dans des réservoirs à toit flottant.
- **Les hydrocarbures liquides dont le point éclair est compris entre 55 et 100°C**, sont stockés dans des réservoirs à toit fixe.
- **Les hydrocarbures liquides dont le point éclair est supérieur à 100°C**, sont stockés dans des réservoirs à toit fixe, munis d'un réchauffage pour les liquides

I.5. Caractéristiques d'explosivité d'un mélange gazeux

On définit :

- **La Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)** correspondant à la concentration minimale de gaz ou de vapeur inflammable dans l'air au-dessous de laquelle il n'y a pas d'explosion possible [10].
- **La limite Supérieure d'Explosivité (LES)** correspondant à la concentration maximale de gaz ou de vapeur inflammable dans l'air au-delà de laquelle il n'y a pas de risque d'explosion [10].

L.I.E. – L.S.E

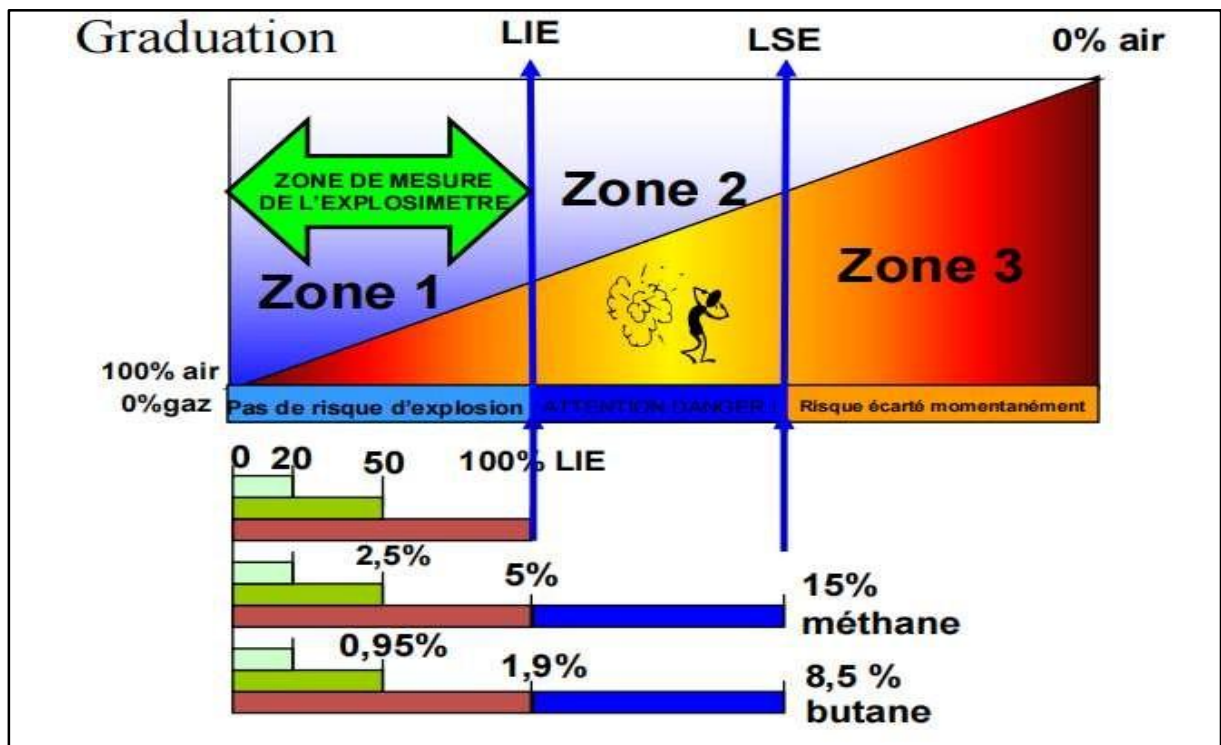


Figure I .1 : Représentation des LIE et LIS [3].

I.6. Risques présentés par les hydrocarbures

I.6.1. Risques physiologiques

Certains produits pétroliers peuvent provoquer des troubles physiologiques par contact ou inhalation.

Les vapeurs d'hydrocarbures, à l'exception des vapeurs aromatiques, ne sont pas toxiques.

Néanmoins, leur concentration dans l'air peut provoquer l'asphyxie ou l'anesthésie et ce, par manque d'oxygène [10].

En outre, certains troubles tel que l'intoxication benzolique ou les effets du saturnisme peuvent être constatés

-Toxicité - Certains produits pétroliers peuvent provoquer des désordres physiologiques par contact ou inhalation :

-Benzolisme – intoxication par hydrocarbures aromatiques tel le benzène.

-Saturnisme – intoxication par le plomb.

-Cancers – contacts répétés sur la peau pendant une longue période.

En termes de toxicité, les fiches de données de sécurité apportent les renseignements souhaités.

-Asphyxie : provoquée par une concentration en vapeurs d'hydrocarbures telle que la proportion d'oxygène dans l'air est trop faible pour entretenir la vie. Le risque de malaise se manifeste vers une valeur de 17 % d'oxygène dans l'air.

Il y a nécessité de contrôler la teneur en oxygène avant toute action dans une zone à risque. De plus, le port d'un appareil respiratoire à circuit ouvert serait nécessaire afin de ne pas se faire piéger dans une nappe.

I.6.2. Risques de pollution

-Pollution du sol

Elle dépend de la nature du sol et de son utilisation. Ainsi, une pollution accidentelle pourra rendre un terrain impropre à la culture, au pâturage, jusqu'à disparition du polluant, par évaporation, infiltration ou nettoyage.

-Pollution de l'air

Elle est due à la vaporisation légère des hydrocarbures laissés ou rejetés à l'air libre. Cette vaporisation est d'autant plus forte, que la température ambiante est élevée. Elle présente deux dangers :

- Un danger physiologique.
- Un danger d'incendie ou d'explosion.

L'activité de ces dangers dépend du milieu, de l'ampleur de la pollution et de la nature du polluant.

-Pollution de l'eau

Elle peut apparaître de trois manières :

- Événement direct dans un cours d'eau.
- Ruissellement des eaux en contact avec les polluants
- Infiltration directe des hydrocarbures ou d'une eau polluée.

Les deux premières causes touchent surtout les eaux de surface. L'infiltration vise plus les nappes phréatiques.

Généralement miscibles, les hydrocarbures ont un effet nuisible sur la faune, la flore et rendent les eaux impropres à la consommation.

I.6.3. Risque incendie

-Définition : L'incendie est une combustion incontrôlée dans le temps et dans l'espace. Il engendre de grandes quantités de chaleur, des fumées et des gaz polluants, voire toxique.

L'énergie émise favorise son développement [10].

L'hydrocarbure en soit, ne brûle pas. Seules les vapeurs émises peuvent, dans des proportions déterminées avec l'air, former un mélange combustible voir explosible.

-Explosion : C'est une combustion de vapeurs inflammables, violente et très rapide, libérant en un temps très court une quantité d'énergie élevée ; elle peut être à l'origine d'un incendie [10]. Elle se produit en présence d'un mélange explosif accompagnée d'une source d'énergie suffisante pour amorcer la réaction de combustion.

Le mélange est considéré comme explosif lorsque la concentration dans l'air de la substance combustible est comprise entre la LIE et la LES.

I.7. Le Phénomène boil-over

I.7.1. Description

L'explosion par vaporisation, dite boil-over, est un phénomène qui peut se rencontrer dans la lutte contre les incendies d'hydrocarbures. La boule de feu formée est la partie visible de ce phénomène. Les accidents associés au phénomène boil-over témoignent parfaitement de la gravité et de la sévérité de ce phénomène

I.7.2. Définition du boil-over

Le phénomène boil-over ne concerne que les feux des hydrocarbures.

Le terme boil-over est constitué de deux mots (boil) et (over). Le mot boil veut dire ébullition et over signifie au-dessus de l'ébullition.

Dans la littérature spécialisée dans le domaine de l'incendie, on trouve plusieurs définitions de ce phénomène :

- Le groupe multinational TOTAL définit le boil-over comme un phénomène de grande ampleur impliquant le feu de réservoir d'hydrocarbures et /ou de cuvette de rétention et entraînant la vaporisation d'un fond d'eau (eau libre ou émulsion dans la masse).

- Le Boil-Over est un phénomène qui peut se produire spontanément durant le feu d'un réservoir à toit ouvert contenant certains types d'huiles ou d'hydrocarbures. Cela peut se produire quand le toit du réservoir est détruit par une explosion généralement causée par allumage. La combustion se produit d'une manière progressive jusqu'à production soudaine d'une émulsion éjectant le reste du liquide présent dans le réservoir (causé par l'eau qui génère une rapide expansion moussante). Cette définition est donnée par NFPA.

- Le Boil-Over est un phénomène qui arrive lors d'un feu d'hydrocarbures sur la surface d'un réservoir à toit fixe après une longue durée de combustion (20 min), cela entraîne l'échauffement progressif du liquide vers le fond, ce qui provoque spontanément la vaporisation d'un fond d'eau générant une formidable poussée sur les parois du milieu éjectant la quantité restante dans le bac à haute température.

Ces trois définitions permettent de connaître les conditions nécessaires à la naissance d'un boil-over.

I.7.3. Conditions entraînant la naissance d'un boil-over

I.7.3.1. Présence d'eau à vaporiser

Cette eau est présente sous forme d'eau libre au fond du réservoir de stockage des hydrocarbures généralement à toit fixe. Sa présence est due [10] :

- À la teneur en eau de l'hydrocarbure.
- À la respiration du réservoir et condensation de l'humidité de l'air (inversion de gradient de température entre le jour et la nuit).
- Aux pluies ou introduction due aux activités de l'homme (refroidissement, eau de décantation de la mousse).

I.7.3.2. Création de l'onde de chaleur

L'hydrocarbure est un mélange de plusieurs fractions aux caractéristiques variables (viscosité, densité, température d'ébullition ...). Le feu d'un bac commence par une combustion des fractions en haut de réservoir (les fractions les plus légères), donc, pour étudier le cas Boil-Over en prendra conventionnellement la moyenne de chaque donnée. Avec un produit susceptible de provoquer un boil-over (par exemple le brut lourd), on constate qu'il se crée sous la surface de liquide, une zone chaude qui s'accroît avec le temps, jusqu'à atteindre le fond du bac. Ce phénomène est appelé (onde de chaleur). La zone chaude ne contient que les fractions lourdes.

On constate que le boil-over se produit lorsque la zone chaude atteint le fond de bac et que la vitesse de l'onde est supérieure à la vitesse de combustion.

I.7.3.3. Présence d'hydrocarbures en feu, suffisamment visqueux

Le phénomène de boil-over peut se produire lorsque la viscosité cinématique du liquide est supérieure à 0,73 CST. Si ce n'est pas le cas, l'interface hydrocarbures-vapeurs d'eau, générée par l'onde de chaleur ne sera pas suffisamment étanche. Dans ce cas la vapeur s'échappera et formera ce qu'on appelle un **Slop-Over**.

L'étanchéité réalisée par une viscosité supérieure à 0,73 CST permet, ainsi, la création de l'effet piston.

I.7.4. Évolution des différentes phases d'un boil-over

La réalisation du phénomène se fait en plusieurs phases présentées ci-après.

- Première phase** : Feu d'un bac et /ou de cuvette de rétention.
- Deuxième phase** : Perte de confinement par destruction de toit d'un bac à toit fixe.
- Troisième phase** : Les moyens de protections et défenses incendies placés en partie haute de la robe du bac seront détruites.

-Quatrième phase : Expulsion de tout ou partie de l'hydrocarbure contenu générant les deux effets associés suivant :

- Après expulsion, une colonne riche d'hydrocarbure s'élève dans l'air, c'est la **Boule de feu**.
- **Epandage :** l'effet piston transforme l'énergie d'expansion en énergie cinématique. La masse d'hydrocarbure est chassée hors du bac sous forme de vague.

I.8. Propriétés physico-chimiques des hydrocarbures

I.8.1. Densité

Elle correspond à la masse par unité de volume. Elle tend à diminuer lors des processus d'altération des hydrocarbures : augmentation de la température, évaporation des fractions plus légères, ou interaction avec les particules du sol [11]. Presque tous les hydrocarbures sont plus légers que l'eau, pour les produits les plus courants la densité varie de 0.7 à 0.9 [12].

I.8.2. La solubilité

La solubilité est la capacité d'une substance à se dissoudre dans la colonne d'eau. Elle est de l'ordre de : $\mu\text{g/l}$ (solubilité faible) ; mg/l (solubilité moyenne); g/l (solubilité importante). En général, les HAP ont une faible solubilité, comprise entre 30 mg/l pour les composés légers et 10^{-4} mg/l pour les plus lourds [06].

I.8.3. Polarité

Ils sont faiblement polaires avec des points d'ébullition et de fusion élevés [13]. Les HAP sont apolaires ou peu polaires [14].

I.8.4. Viscosité

Elle est définie comme la résistance à l'écoulement d'un liquide. Des hydrocarbures pétroliers ayant une faible viscosité sont très fluides et se propagent rapidement, rendant leur confinement difficile. La viscosité est influencée par la température. En effet, plus la température est faible, plus la viscosité est élevée [15].

I.9 Industrie pétrochimique

Les produits pétrochimiques occupent actuellement une grande place dans le marché mondial vu leur importance et leur indispensabilité dans la vie courante moderne. Ainsi, l'industrie pétrochimique ne cesse de se développer davantage notamment dans les pays industrialisés. Dans ce contexte l'Algérie, un pays pétrolier et gazier, veut se lancer dans ce domaine pour transformer une grande partie de sa richesse de pétrole et gaz naturel en produits pétrochimiques pour répondre d'abord à la demande nationale et recourir à l'exportation qui génère au pays un potentiel important

de réserve monétaire en devise. Il est à signaler que l'Algérie a observé un grand retard jusqu'à l'heure actuelle concernant les investissements dans le domaine pétrochimique, dont la quasi-totalité de son pétrole et gaz est orientée vers le secteur énergétique ou vendue à l'état brute, avec une faible quantité transformée en dérivés pétroliers par fractionnement, ou en ammoniac et engrais azotés pour le gaz naturel. De ce fait, et pour rattraper le retard, le gouvernement algérien a lancé divers projets de pétrochimie par la SONATRACH et d'autres firmes multinationales et privées afin de diversifier les gammes de produits pétrochimiques et augmenter leur production.

Produit	Indice de C inférieur	Indice de C supérieur	Pb °C° inférieur	Pb °C° supérieur	Pb °F° inférieur	Pb °F° supérieur
Gaz de pétrole Liquéfié	C3	C4	-42	-1	-44	31
Naphta	C5	C17	36	302	97	575
Kérosène	C8	C18	126	258	302	575
Gazole léger	C12	>C20	216	421	>345	>650
Gazole lourd	>C20		>345		>650	
Résidu	>C20		>345		>660	

Tableau I.2. Les différentes fractions de distillation du pétrole

	Masse moléculaire	Gravité spécifique	Point d'ébullition °F	Température d'allumage °F	Point d'éclair °F	Limites d'inflammabilité dans l'aire % v/v
Benzène	78.1	0.879	176.2	1.040	12	1.35-5.65
n-Butane	58.1	0.601	31.1	761	-76	1.86-8.41
Isobutane	58.1		10.9	864	-117	180-8.44
n-Butène	56.1	0.595	21.2	829	Gas	198-9.65
Isobutène	56.1		19.6	869	Gas	1.8-9.0
Gazole	170-198	0.875			100-130	
Ethane	30.1	0.572	-127.5	959	Gas	3.0-12.5
Ethylène	28.0		-154.7	914	Gas	8.8-28.6
Fioul No.1		0.875	304-574	410	100-162	0.7-5.0
Fioul No.2		0.920		494	126-204	
Fioul No.4	198.0	0.959		505	142-240	
Fioul No.5		0.960			156-336	
Fioul No.6		0.960			150	
Essence	113.0	0.720	100-400	536	-45	1.4-7.6
n-Hexane	86.2	0.659	155.7	437	-7	1.25-7.0
n-Heptane	100.2	0.668	419.0	419	25	1.00-6.00
Kérosène	154.0	0.800	304-574	410	100-162	0.7-5.0
Méthane	16.0	0.553	-258.7	900-1.170	Gas	5.0-15.0
Naphtalène	128.2		424.4	959	174	0.90-5.90
Néohexane	86.2	0.649	121.5	797	-54	1.19-7.58
Néopentane	72.1		49.1	841	Gas	1.38-7.11
n-Octane	114.2	0.707	258.3	428	56	0.95-3.2
Isoctane	114.2	0.702	243.9	837	10	0.79-5.94
n-Pentane	72.1	0.626	97.0	500	-40	1.40-7.80
Isopentane	72.1	0.621	82.2	788	-60	1.31-9.16

n-Pentène	70.1	0.641	86.0	569	-	1.65-7.70
Propane	44.1		-13.8	842	Gas	2.1-10.1
Propylène	42.1		-53.9	856	Gas	2.00-11.1
Toluène	92.1	0.867	321.1	992	40	1.27-6.75
Xylène	106.2	0.861	281.1	867	63	1.00-6.00

Tableau I.3. Propriétés des produits d'hydrocarbures du pétrole.

Très grands nombres de produits ont évolué au cours de la courte durée de vie de l'industrie pétrolière, soit sous forme de fractions en vrac, soit sous forme de produits hydrocarbonés uniques (Tableaux I.2. Et I.3) [16].

Groupe	Domaine d'utilisation
Plastiques et polymères	Gestion de l'eau agricole
	Emballage
	Voitures
	Télécommunications
	La santé et l'hygiène
	Transport
Caoutchouc synthétique	Industrie du transport
	Electronique
	Adhésifs
	Scellant
	Revêtements
Fibres synthétiques	Textile
	Transport
	Tissus industriels
Détergents	La santé et l'hygiène
Produits chimiques industriels	Médicaments
	Pesticides
	Explosifs
	Revêtement de surface
	Teintures
	Additifs d'huile de graissage
	Adhésifs
	Produits chimiques pour champs pétrolifères
	Antioxydants
	Encre à imprimer
Engrais	Solvants
	Parfums
	Additive alimentaire
	Agriculture

Tableau I.4. Exemples de produits de l'industrie pétrochimique.

Un produit pétrochimique est un produit chimique élaboré à partir du pétrole qui est devenu un élément essentiel de l'industrie chimique moderne (Tableau I.2.) L'industrie chimique est, en fait, l'industrie de transformation chimique par laquelle une variété de produits chimiques sont fabriqués.

L'industrie des procédés chimiques est, en fait, subdivisée en d'autres catégories qui sont : (a) les industries chimiques et de produits connexes dans lesquelles les produits chimiques sont fabriqués à partir d'une variété de matières premières et peuvent ensuite être réutilisés, (b) le caoutchouc et les industries de produits divers qui se concentrent sur la fabrication de caoutchouc et de matières plastiques, et (c) le raffinage du pétrole et les industries connexes qui, sur la base des chapitres suivants de ce texte, s'expliquent maintenant d'eux-mêmes. Ainsi, l'industrie pétrochimique relève de la sous-catégorie des industries pétrolières et connexes.

A titre de définition et de clarification en ce qui concerne l'industrie pétrochimique et chimique, les matières premières primaires sont des substances d'origine naturelle qui n'ont pas subi de modifications chimiques après avoir été récupérées. Actuellement, à travers une variété d'intermédiaires, le pétrole et le gaz naturel sont les principales sources de matières premières car ils sont les moins chers, les plus facilement disponibles et peuvent être transformés le plus facilement en produits pétrochimiques primaires.

Un produit pétrochimique aromatique est également un composé chimique organique, mais qui contient ou est dérivé du système cyclique benzénique de base [17].

Les produits pétrochimiques primaires comprennent :

- Les dérivés d'oléfines tels que l'éthylène, le propylène et le butadiène
- Les dérivés aromatiques tels que le benzène, le toluène et les isomères du xylène (BTX)
- Le méthanol

Cependant, bien que le pétrole contienne différents types de dérivés d'hydrocarbures, tous les dérivés d'hydrocarbures ne sont pas utilisés dans la production de produits pétrochimiques. L'analyse pétrochimique a permis d'identifier quelques principaux dérivés d'hydrocarbures utilisés dans la production de produits pétrochimiques. Parmi la multitude de dérivés d'hydrocarbures, les dérivés d'hydrocarbures servant de matières premières principales utilisées par les industries pétrochimiques dans la production de produits pétrochimiques sont :

- Les matières premières obtenues à partir du traitement du gaz naturel telles que le méthane, l'éthane, le propane et le butane
- Les matières premières issues des raffineries de pétrole telles que le naphta et le gazole

- Les matières premières telles que le benzène, le toluène et les isomères du xylène obtenus lors de l'extraction du reformat (le produit des processus de reformage à travers des catalyseurs appelés reformeurs catalytiques dans les raffineries de pétrole.

Ainsi, les produits pétrochimiques sont des produits chimiques dérivés du pétrole et du gaz naturel et, pour faciliter leur identification, les produits pétrochimiques peuvent être divisés en deux groupes (Figure I.2.) :

-Produits pétrochimiques primaires

-Intermédiaires et dérivés

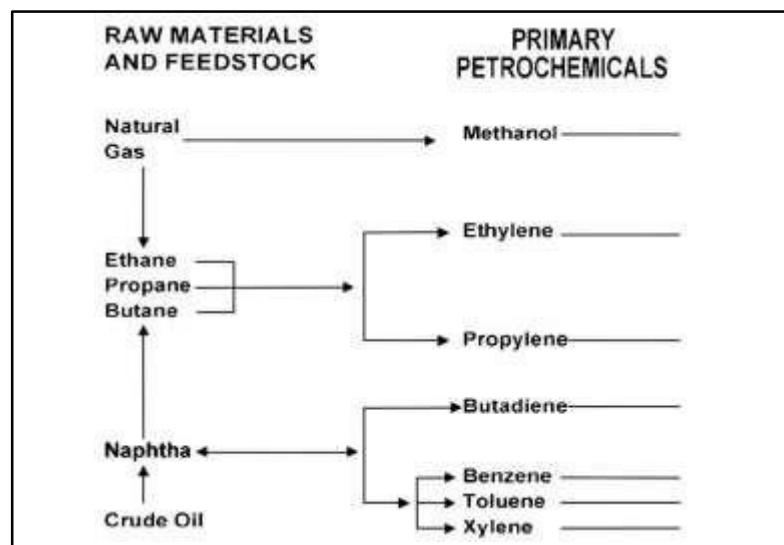


Figure I.2. Produits pétrochimiques primaires [17]

L'industrie pétrochimique, comme son nom l'indique, est basée sur la production de produits chimiques à partir du pétrole. Cependant, l'industrie ne se limite pas aux produits pétroliers. L'industrie pétrochimique traite également des produits chimiques fabriqués à partir des sous-produits du raffinage du pétrole, tels que le gaz naturel, les liquides de gaz naturel et d'autres matières premières telles que le charbon, le schiste bitumineux et la biomasse.

La structure de l'industrie est extrêmement complexe, impliquant des milliers de produits chimiques et de processus et il existe de nombreuses interrelations au sein de l'industrie, les produits d'un processus étant les matières premières de nombreux autres. Pour la plupart des produits chimiques, la voie de production de la matière première aux produits finis n'est pas unique, mais comprend de nombreuses alternatives possibles. Aussi compliqué que cela puisse paraître ; cependant, cette structure est compréhensible, au moins sous sa forme générale. Au début

de la chaîne de production se trouvent les matières premières brutes : pétrole, gaz naturel et matières premières carbonées alternatives goudron.

A partir de ceux-ci sont produits un nombre relativement petit de blocs de construction importants qui comprennent principalement, mais pas exclusivement, les oléfines à bas point d'ébullition et les dérivés aromatiques, tels que l'éthylène, le propylène, les butylènes, le butadiène, le benzène, le toluène et les isomères du xylène. Ces blocs de construction sont ensuite convertis en un ensemble complexe de milliers de produits chimiques intermédiaires. Certains de ces intermédiaires ont une valeur commerciale en eux-mêmes et d'autres sont des composés purement intermédiaires dans les chaînes de production. Les produits finaux de l'industrie pétrochimique ne sont généralement pas consommés directement par le public, mais sont utilisés par d'autres industries pour fabriquer des biens de consommation. 8 Ainsi, sur une base scientifique, comme on pouvait s'y attendre, l'industrie pétrochimique est concernée par la production et le commerce de produits pétrochimiques qui ont une large influence sur les modes de vie à travers la production de produits chimiques de base et de spécialités chimiques qui ont une influence marquée sur les modes de vie : Pétrole/gaz naturel Produits chimiques de base Produits chimiques de spécialité La base de l'industrie pétrochimique et, par conséquent, de la production pétrochimique se compose de deux étapes : (a) la production de matières premières à partir de sources d'énergie primaires en matières premières et (b) la production pétrochimique à partir de matières premières. Pétrole/gaz naturel Production de matières premières produits pétrochimiques.

Dans l'industrie pétrochimique, les produits chimiques organiques produits dans les plus gros volumes sont le méthanol (alcool méthylique, CH_3OH), l'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), le propylène ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$), le butadiène $\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2$), le benzène (C_6H_6), le toluène ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) et les isomères du xylène ($\text{H}_3\text{CC}_6\text{H}_4\text{CH}_3$). L'éthylène, le propylène et le butadiène, ainsi que les butylènes, sont collectivement appelés oléfines, qui appartiennent à une classe de dérivés d'hydrocarbures aliphatiques insaturés ayant la formule générale C_nH_{2n} . Les dérivés d'oléfinas contiennent une ou plusieurs doubles.

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur hydrocarbures, définition leur origine, leur classification, le boil-over ; et les propriétés physico-chimiques, des hydrocarbures et l'industrie pétrochimique.

I.11. Référence

- [1] Richard S. Krau Pétrole 2021 : origine, production et traitement, Union pétrolière de Zurich. LE RAFFINAGE DU PÉTROLE -
- [2] Mourad Naciri 2016 mémoire de master. Pétrole et gaz non conventionnels : opportunité ou menace ? Le cas de l'Algérie.
- [3] Mc Quarrie, C., D.A. McQuarrie, and P.A. Rock, Chimie générale 2000 : De Boeck Supérieur.
- [4] GUIBET, J.-C., Caractéristiques Des produits pétroliers. Techniques de l'ingénieur Constantes chimiques, 2016. Base documentaire : TIB337DUO.
- [5] Carl Engler and Hans Hofer Sourcebook for Petroleum Geology (1969) Origin of Oils (Entstehung des Erdöls): Appendix A: Part I. Genesis of Petroleum, Compiled by Robert H. Dott
- [6] Cabane. (2012). Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral. P 342. Version 24. Ifremer.
- [7] Hassaine. (2016). Biodégradation des hydrocarbures (pétrole brut et kérosène) par la microflore microbienne des eaux de la région de skikda. thèse de doctorat, Annaba.
- [08] Lefebvre. (1986). Notion de chimie du pétrole. Ed, technique, pp. 41. Paris : Technip.
- [9]. GUIBET, J.-C., Caractéristiques Des produits pétroliers. Techniques de l'ingénieur Constantes chimiques, 2016. Base documentaire : TIB337DUO.
- [10]. Lian-Ming, S., Perméation gazeuse. Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires :
- [11] Mbogne, P. M. (2017). Biorémédiation augmentée de sols contaminés aux hydrocarbures lourds par ajout de substrats organiques. 109p. Montréal.
- [12] Fattal, P. (2008). La pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de Rennes : PUR.
- [13] Mazeas, O. (2004). Evaluation de l'exposition des organismes aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le milieu marin par le dosage des métabolites de HAP, géosciences, sciences de l'environnement. thèse de doctorat, Bordeaux
- [14] Benyahia, M. (2012). La pollution des sols par les Hydrocarbures. En vue l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en écologie et environnement, Thèse de doctorat. Université Abderahmane Mira de Bejaia.
- [15] Gruyer. (2015). Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale, P 04-55.
- [16] Antoine, F. (2013). Étude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'applications en bioremédiation fongique de sols pollués. Thèse de doctorat, École doctorale 104

Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement Filière Ingénierie des Fonctions Biologiques.

[17] Book Title: M 5: Sourcebook for Petroleum Geology (1969) Origin of Oils (Entstehung des Erdöls): Appendix A: Part I. Genesis of Petroleum, Compiled by Robert H. Dott

Chapitre II
Transport et stockages
Des hydrocarbures

Chapitre II: Transport et stockages des hydrocarbures

Ce chapitre est constitué de deux parties, la première est consacrée aux transports des hydrocarbures notamment via les pipelines. Dans la seconde partie nous allons présenter les différents réservoirs ou bacs de stockages des hydrocarbures.

II.1. Introduction

Ces dernières années le mode de transport par pipeline a connu une ample importance à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale, ce qui s'explique par une hausse des quantités des produits transportés et des consommations en énergie. Cette situation exige des entreprises de développer davantage leur logistique, voir même de varier leur mode de transport afin de garantir un approvisionnement régulier, pour faire face à la progression de la demande sur le marché. C'est dans cette vision que les entreprises pétrolières ont abordé un programme d'investissement important, visant à sécuriser l'approvisionnement en produits pétroliers, à travers un maillage intelligent de pipelines, répondant au vrai besoin des différentes zones. Le mode de transport par canalisation coopère sensiblement à la réduction à la fois des coûts, des délais de livraison, du trafic routier et assure aussi des transports massifs d'hydrocarbures, en veillant au respect de l'environnement avec des conditions les plus strictes de sécurité.

Les pipelines jouent un rôle important dans le transport du pétrole et de ses dérivés, car c'est le moyen le plus efficace et sécurisant pour transporter de gros volumes sur de grandes distances. Les problèmes apparaissent lors de l'acheminement du pétrole brut entre la source d'extraction et les unités de raffinage sont multiples et ils sont souvent causés par la viscosité élevée des produits pétroliers et ça nécessite plus d'énergie. Ceci nous a conduit de réduire cette viscosité apparente par diverses techniques afin d'assurer une bonne optimisation du transport du pétrole.

La technologie actuelle est révolutionnée et orientée vers les pipelines multiproduits fabriquées en des matériaux très spéciale. Ces matériaux présentent des propriétés prometteuses et spécifiques comme la dilatation thermique et des modules d'élasticité et résistances au corrosion. Le mélange en question est généré à chaque contact produit-produit lors du transport des carburants, donc une séquence de plusieurs batch favorise proportionnellement plusieurs lots de contaminât, nécessitant un parc important pour leur stockage.

II.2. Les Pipelines

II.2.1 Définition

Un pipeline (en anglais) ou canalisation (**Figure II.1**) est un mode de transport des matières fluides réalisé au moyen de conduites constituant généralement un réseau [1-3], et au sens large, le pipeline est une installation utilisée pour le transport de marchandises, du point de réception au point de livraison. Un pipeline est une canalisation enterrée ou aérienne transportant des biens, qu'ils soient sous forme liquide ou gazeuse. Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés, en zone de risque sismique ou politiquement instable. Au contraire de leur investissement initial, leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances [2-4].



Figure II.1: Les pipelines [5]

II.2.2. Types de canalisation

Le type et le nom d'un pipeline dépendent des caractéristiques physiques et des conditions du transport du produit. Pour le domaine des hydrocarbures on distingue :

- Les gazoducs pour le transport du gaz naturel
- Les oléoducs pour le transport des hydrocarbures liquides, (exemple : le pétrole). Ce moyen de transport massif a connu un essor considérable, occupant ainsi la première place du point de vue économique et sécurité. Ce réseau de transport est vital pour l'acheminement du gaz naturel, et des hydrocarbures liquides produits dans le sud du pays vers les centres de transformation (raffineries,

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

complexes de séparation et de liquéfaction, usines pétrochimiques) et centres de consommation à l'intérieur et à l'extérieur du pays.

L'Oléoduc est l'élément principal de la chaîne de transport des hydrocarbures liquides. Il relie un parc de stockage principal (aux différents terminaux existant et les pipelines installés sur un territoire quelconque. Il a pour fonction aussi d'acheminer le pétrole brut aux raffineries et aux terminaux marins. L'exploitation de la ligne de transport se fait avec des débits variables selon la demande des terminaux et aussi selon le nombre des stations de pompage à mettre en service.

II.2.3 Constitution d'un oléoduc.

Un oléoduc comprend :

- Les stations de pompage de départ et intermédiaires.
- La ligne (conduite).
- Les terminaux de départ et d'arrivée (T.D et T.A)

II.2.4 Caractéristiques d'une canalisation

Une canalisation, ou un pipeline (de l'anglais) est une conduite destinée à l'acheminement de matières gazeuses, liquides, solides ou polyphasiques, solides ou polyphasiques, d'une zone à une autre [6].

Le diamètre nominal d'une canalisation peut aller de trente millimètres environ (un pouce un quart) pour des fluides spéciaux jusqu'à plus de trois mètres vingt (soixante-huit pouces) pour les adductions d'eau. On désigne par « pipelines », les oléoducs ou gazoducs qui sont des canalisations de diamètres pouvant aller de 1 à 42 pouces (1pouce = 2,54 centimètres), Celles-ci sont le plus souvent en acier, constituées d'éléments linéaires soudés bout en bout et revêtus, et dans lesquelles transitent, sous des pressions relativement élevées, des produits pétroliers, liquides ou gazeux. Ces produits pétroliers sont propulsés par des installations de pompages ou de compression. Elle sert à transporter un produit entre deux points donnés et elle est construite avec des matériaux et des techniques qui apportent la solution la plus économique au problème posé. Lorsqu'une canalisation a un très petit diamètre (moins de trente millimètres environ), on parle plutôt de tuyauterie [7] gazière explicites et implicites. Le type et le nom d'une canalisation dépendent des caractéristiques physiques et des conditions d'acheminement du produit à déplacer.

Et comme conclusion, les principales caractéristiques d'un pipeline sont :

- Un grand diamètre qui arrive jusqu'à 56"et peut atteindre 64'',
- La capacité maximale de transport,

- La pression de service élevée (jusqu'à 100 bars),
- Une grande longueur,
- L'épaisseur (variant de 6.35 mm à 23 mm),
- Le mode de pose (aérien ou souterrain).

II.2.5. Essais de conformement des pipelines

Tous les essais sont effectués en conformité avec les normes API5L (voir chapitre III) et avec les spécifications du client.

A- Analyses chimiques

Le contrôle de la composition chimique se fait sur le métal de tube. Les résultats d'analyses sont comparés avec celle du fournisseur et les exigences du client, ce qui permet de définir les premiers critères d'acceptation du produit en composition chimique (spectromètre).

B- Essai de traction

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques (la résistance ultime à la traction, la limite apparente d'élasticité à 0.5% et l'allongement).

C- Essai de dureté

L'essai de dureté consiste à mesurer la résistance d'un matériau à la pénétration.

D- Essai de résilience

L'essai de résilience consiste à mesurer l'énergie de rupture des éprouvettes dans les différentes températures, cette dernière est exigée par le client et la norme API.

II.2.6 Processus de fabrication des pipelines

Un pipeline est une canalisation enterrée ou aérienne transportant des biens, qu'ils soient sous forme solide (petites capsules...), liquide (eau, pétrole) ou gazeux (gaz naturel) [8]. A l'inverse de l'investissement initial, leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur des petites et moyennes durées.

Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol, on distingue :

- **Tubes soudés en spirale** : les tubes soudés en long exigent des tôles de largeur voisine du développement circonférentiel du tube.
- **Tubes soudés longitudinalement** : Les tubes de grand diamètre soudés longitudinalement sont essentiellement utilisés pour le transport du pétrole et du gaz [9].

II.2.7 Les causes de défaillances des canalisations de transport d'hydrocarbures

Les pipelines sont toujours exposés aux risques d'endommagements. Les causes de défaillances des canalisations sont de diverses natures. Elles peuvent se manifester soit par une rupture soit par une fuite dans les conduites. Les défauts à l'origine de ces défaillances peuvent être classés suivant quatre catégories [10] :

- Les défauts de corrosion, causés par des piqûres de corrosions ou par des fissurations de corrosion sous contraintes.
- Les défauts de types éraflures.
- Les défauts de type enfoncement.
- Les défauts dans les soudures.

La plupart de ces défaillances sont causées par des piqûres de corrosion ou par des fissurations de corrosion sous contraintes, sans négliger les agressions mécaniques extérieures. Certains travaux d'excavation par des engins de chantier peuvent provoquer des endommagements ou perforations des canalisations [10]. Les problèmes d'amorçage des fissures et les ruptures émanent des concentrations de contraintes, sont à l'origine de plus de 90% des ruptures en service. La présence d'une discontinuité géométrique, telle qu'une entaille, provoque l'affaiblissement de la résistance la rupture de la canalisation. Elle réduit la section du pipeline en le rendant plus sensible à la pression de service et aux efforts causés par le mouvement des sols, ensuite l'effet de l'amplification locale de la contrainte accroît exponentiellement la nocivité du défaut.

Le contenu du gazoduc est sous pression, cette pression constitue une source de contraintes s'exerçant sur la paroi de la conduite. Le sol autour du pipeline peut bouger et constitue une autre source de contraintes. Les procédés de fabrication des conduites tels que le soudage peuvent introduire des contraintes résiduelles. La maîtrise de la propagation et de l'arrêt d'une fissure ainsi que la lutte contre la corrosion dans un gazoduc permettent d'atteindre un niveau de sécurité plus élevé. La corrosion qu'elle soit interne provoqué par la matière transporté ou bien externe par le milieu environnant est parmi les causes majeurs de dégradation et défaillance des gazoducs [11]. La figure II. 2 montre quelques exemples de défaillances des aciers de pipelines [11]



Figure 1-a : Corrosion externe par piqure



Figure 1-b : Déformation



Figure 1-c : Corrosion biologique



Figure 1-d : Eclatement



Figure 1-e : Rupture



Figure 1-f : Corrosion en cordon de soudure



Figure II. 2 : Différents types de défaillances des pipelines

II.2.7 .1 Corrosion dans les pipelines

La corrosion c'est la destruction ou la dégradation d'un matériau sous l'action du milieu environnant (air, eau, solution aqueuse, sols ...) par un processus de type physico-chimique.

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

Certaines ont défini la corrosion comme suit : "La corrosion est une interaction physico-chimique entre un alliage et son environnement entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du matériau lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs...".

En ce qui concerne la corrosion des pipelines, l'alliage est de l'acier. La corrosion de ce dernier est un phénomène naturel et courant, où les molécules de fer sont transformées en des formes d'hydroxydes ferreux. Le processus de la corrosion peut être décomposé en deux réactions : anodique et cathodique. Dans l'industrie pétrolière, les pipelines sont des outils essentiels de transport massif des hydrocarbures, sur de grandes distances, ils allient des débits importants et confirment année après année qu'ils sont le mode le plus sûr et le plus économique de transport des hydrocarbures. Cependant, leur enfouissement conduit à une série de pertes systématiques et les autres sont accidentelles. En Algérie, Une étude a été effectuée, sur la base des données réelles propres au Champ de Hassi Messaoud. Cette étude a donné les résultats représentés sur la figure II.3 et qui montrent que le nombre de fuites, qui pourrait être enregistré en l'année 2005, avoisinerait 1800. L'origine des majorités des fuites enregistrées sur les pipelines sont essentiellement la conséquence de corrosion interne, accentuée par la corrosion externe. Ces fuites peuvent provoquer des accidents graves, comme l'incendie survenu le 21 septembre 2004, au niveau du gazoduc GZ 2, reliant Hassi-R'mel à Arzew au niveau de la localité d'El-Ghomri.

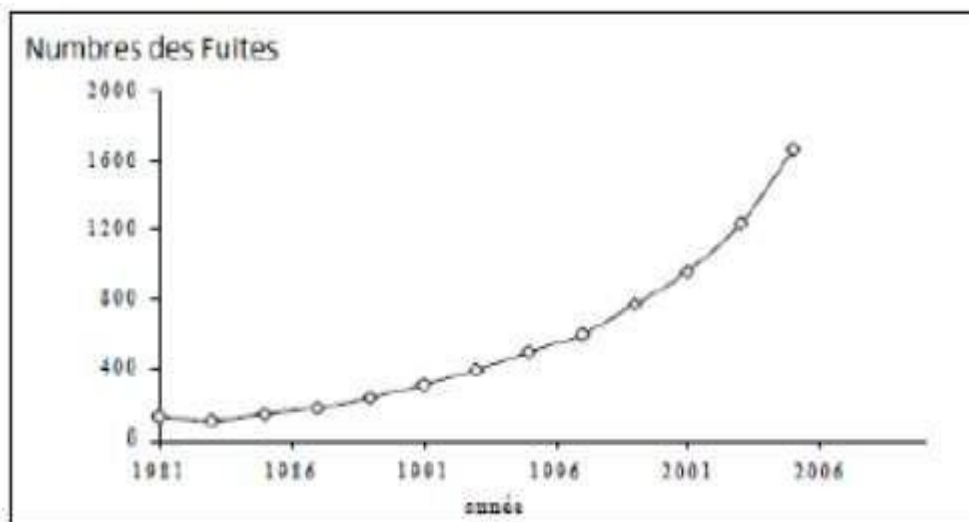


Figure II.3: Représente le graphique montrant les fuites enregistrées pendant plusieurs années [12]

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

II.2.7 .2. Fissuration des pipelines

La fissure est une discontinuité brutale apparue ou apparaissant dans un matériau sous l'effet de contraintes internes ou externes, où la matière est séparée sur une certaine surface. Tant que les forces de contraintes ne sont pas libérées, elle entraîne une grande concentration de contrainte à son fond. Sa propagation, sous l'effet de contraintes suffisantes, combinée ou non avec un environnement agressif (corrosion sous contrainte) mène à la rupture.

II.2.8 Le réseau de transport par gazoduc en Algérie

Le réseau gazoducs de Sonatrach compte 14 lignes d'une longueur totale de 10.981 km avec une capacité de transport de 119 milliards de m³ ans⁻¹ dont 39 milliards m³ destinée à l'exportation. L'activité Transport par Canalisation TRC de la société Sonatrach dispose de 82 stations de pompage et de compression avec une capacité de stockage de près de 3,4 millions m³ et une capacité de chargement portuaire de près de 210 MTA (millions de tonnes par an), un centre national de dispatching gaz (CNDG) à Hassi R'mel et un centre de dispatching des hydrocarbures liquides (CDHL) à Haoud El Hamra, La figure II .4. Représente la distribution du réseau de transport de gaz naturel en Algérie [13].

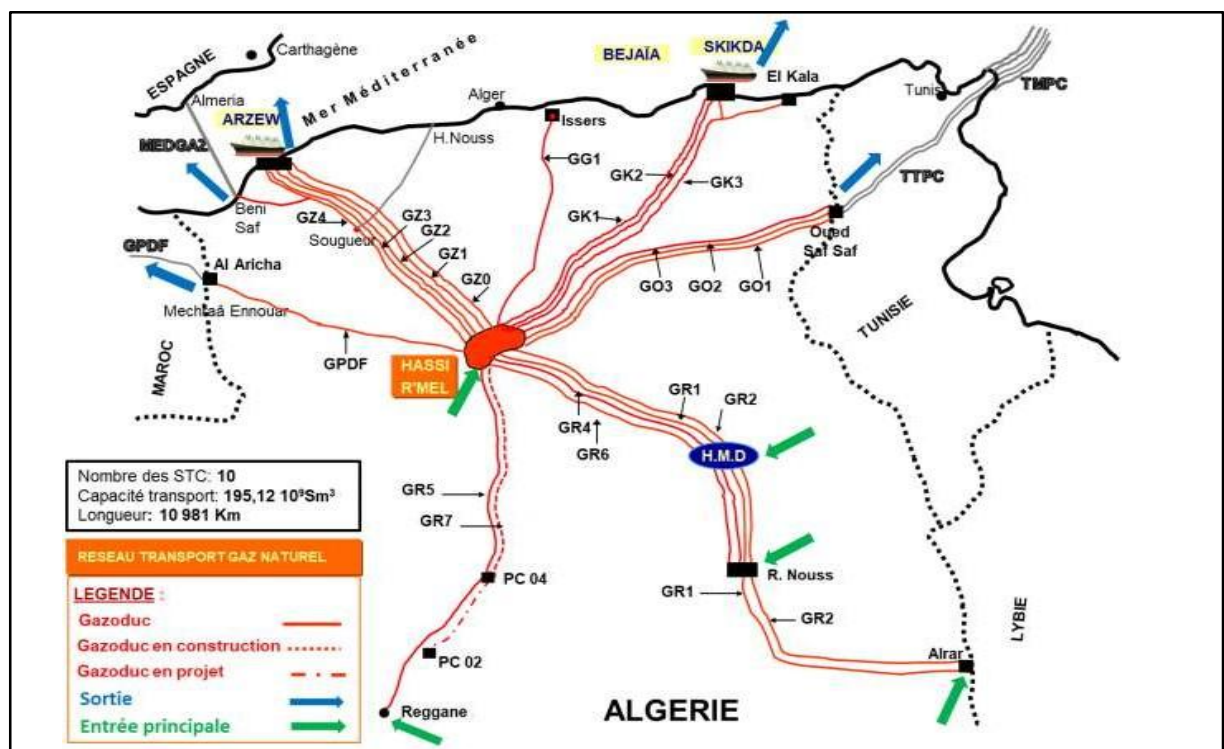


Figure II.4 : Carte du réseau de transport du gaz naturel en Algérie.

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

II.2.9 Description du Réseau de Transport du Gaz naturel

Le transport du gaz naturel est assuré par plusieurs canalisations de différentes longueurs et d'une variété de diamètre. Le tableau II.1 donne quelques informations concernant le réseau de transport du gaz naturel Algérien [13].

Le réseau de transport du gaz naturel						
Dénomination	Canalisations	Diamètre (pouce)	Départ	Arrivée	Longueur (Km)	Nombre de stations
Réseau nord					7 210	27
Axe Ouest: HASSI R'MEL - ARZEW / BENI SAF						
STC GZ0	GZ0	24"/20"	Hassi R'mel	Arzew/Beni Saf	509	4
STC GZ1/GZ2/GZ3	GZ1	40"	Hassi R'mel	Arzew/Beni Saf	507	5
	GZ2	40"	Hassi R'mel		511	5
	GZ3	42"	Hassi R'mel		511	5
STC GZ4	GZ4	48"	Hassi R'mel	Arzew	513	-
		48"	Mouctaa Douze	Beni Saf	120	
STC GPDF (*)	GPDF	48"	Hassi R'mel	El Aricha	521	1
Axe est : HASSI R'MEL - SKIKDA / EL KALA						
STC GK1/GK2	GK1	40"	Hassi R'mel	Skikda	575	5
	GK2	42"	Hassi R'mel		575	
STC GK3	GK3	48"	Hassi R'mel	Mechtatine	432	-
		48"	Mechtatine	El Kala	267	
		48"	Tamlouka	Skikda	87	
STC GO1/GO2/GO3	GO1-GO2-GO3	48"	Hassi R'mel	Oued SafSaf	1645	1
Axe centre : HASSI R'MEL - BORDJ MENAIL / ALGER						
STC GG1	GG1	42"	Hassi R'mel	Bordj Menail	437	1
Réseau sud					3 771	6
Axe est : ALRAR - HASSI R'MEL						
STC GR1/GR2/GR4/GR6	GR1	42/48"	Alrar	Hassi R'mel	966	5
	GR2	42/48"	Alrar		966	
	GR4	48"	RhoudNouss		535	1
	GR6	48"	RhoudNouss	Hassi R'mel	534	-
Axe ouest : REGGANE - HASSI R'MEL						
STC GR5	GR5	48"/56"	Reggane	Hassi R'mel	770	1
	GR7 (en construction)	48"	PC4-GR5	Hassi R'mel	345	-

Tableau II.1 : Récapitulatif du Réseau de Transport du Gaz naturel.

II.2.10 La ligne des pipelines GZ1

GZ1 est une ligne parmi le faisceau de pipelines connu sous le nom de route multiple, qui assure le transport du gaz naturel depuis Hassi R'mel jusqu'à la zone industrielle d'Arzew sur une distance de 507 km, cette ligne a été réalisée entre 1976 et 1979.

Le tracé de cette ligne passe à proximité des localités de Laghouat, Tiaret, Relizane et Arzew, c'est une ligne enterrée dont la profondeur varie entre 0,6 et 1 m. Cette ligne est constituée de tubes en acier (type roulé soudés), ils sont protégés des agressions extérieures (corrosion, courants vagabonds...) par un revêtement épais appliqué sur chantier et renforcé par un système de protection cathodique (PC). Pour le maintien de la pression le long de trajet, la ligne passe par cinq stations de compression (SC). Les paramètres énergétiques d'écoulement du gaz naturel à la sortie des stations sont regroupés dans le tableau II.3 [13].

Ligne	Température Max [°C]	Température Min. [°C]	Pression Max. [bars]	Pression Min. [bars]	Débit [$m^3 an^{-1}$]
GZ1	81	40	69,8	42	$15,33 \times 10^6$

Tableau II. 2 : Paramètres énergétiques d'écoulement du gaz naturel à la sortie des stations de services SC.

II.3. Stockage des hydrocarbures

II.3.1 Introduction

Le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrés dans l'industrie du pétrole, de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans des réservoirs métalliques, de construction soudée, installés à l'air libre et reposant sur le sol (réservoirs aériens). Ces réservoirs ont des capacités très variables. Elles n'excèdent pas quelques centaines de mètres cubes pour de nombreux produits chimiques, tandis que, dans le domaine pétrolier, les réservoirs de pétrole brut par exemple dépassent de beaucoup ces limites. C'est ainsi que, sur le parc de certains terminaux de chargement du Moyen-Orient, il existe des réservoirs de 240 000 m³ et qu'il n'est pas rare, sur les terminaux de réception européens, de compter des réservoirs de 100 000 à 150 000 m³.

Dans les terminales de Bejaia, Skikda et Oran il existe des réservoirs d'une capacité de 50 000 et 35 000 m³. Les produits stockés sont nombreux et différents. Pour chacun d'eux existe une capacité

de stockage fonctionnellement et économiquement adaptée aux caractéristiques du stock envisagé [14].

II.3.2. Le Stockage du pétrole brut

Les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers pour que la production ne soit pas interrompue suite à des arrêts du cheminement de pétrole brut vers les bacs de stockages des terminaux qui se trouve sur les côtes ou près des unités de transformation de ces hydrocarbures le transport et le stockage sont des secteurs stratégiques dans l'industrie pétrolier. Le stockage joue le rôle de régulation des systèmes de transport des hydrocarbures par canalisation ou autres moyens de transport et en plus du traitement pour décantation qui consiste à éliminer l'eau et comptabiliser la quantité du pétrole brut à expédier. Le choix de la capacité d'un parc de stockage est fait en fonction du débit véhicules et des capacités des moyens de transport.

II.3.3 Définition du parc de stockage

Le parc de stockage c'est une zone généralement de grande surface où se situe un ensemble des bacs de stockage. Ils peuvent être de différente ou de même capacité. Ils sont bien sûr connectés à une canalisation d'entrée et une autre de sortie et éventuellement connectés entre eux. Les hydrocarbures sont stockés dans des réservoirs qui se retrouvent dans :

- Les terminaux maritimes
- Les raffineries
- Les champs de production de bruts
- Les lieux de consommation **DED**

II.3.4 Les différents types de réservoirs

II.3.4.1 Réservoirs cylindriques verticaux

Appelés communément réservoirs, ils reposent directement sur le sol ou sur une fondation par l'intermédiaire d'un fond plat. Ils sont habituellement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans le piston formé par la robe du réservoir. Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique et leur fond en périphérie peut être ancré sur une fondation circulaire en béton. Pour éviter ces ancrages et la fondation qu'ils impliquent, le fond plat peut être remplacé par un fond sphérique concave qui équilibre les effets de la pression sur le toit.



Figure II.4: Bacs de stockage cylindriques verticaux

Les réservoirs cylindriques verticaux sont plus utilisés dans les cas où une consommation plus élevée et des stocks opérationnels plus importants sont utilisés. Ces derniers supportent des fluides de plus grande densité, et par conséquent, un poids spécifique plus important.

On trouve que les réservoirs cylindriques verticaux en l'un des modes suivants :

- Aérien ou atmosphérique
- Semi-enterré
- Totaletement enterré



Figure II.5 : Les modes de stockage

Les réservoirs atmosphériques représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables. Ils présentent classiquement un grand diamètre et donc par voie de conséquence un élancement faible. Ils sont constitués d'une unique enveloppe ou d'une double enveloppe métallique. Ces réservoirs sont le plus souvent :

- Métalliques** : leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier ;
- Verticaux** : leur axe de symétrie est vertical.

II.3.4.2 Réservoirs cylindriques horizontaux

Souvent, ils sont installés au-dessus du sol sur des berceaux supports. Leurs extrémités sont terminées par des fonds emboutis hémisphériques ou elliptiques. Ces récipients sont destinés aux stockages sous forte pression, mais leur emploi est limité en général à de faibles capacités.

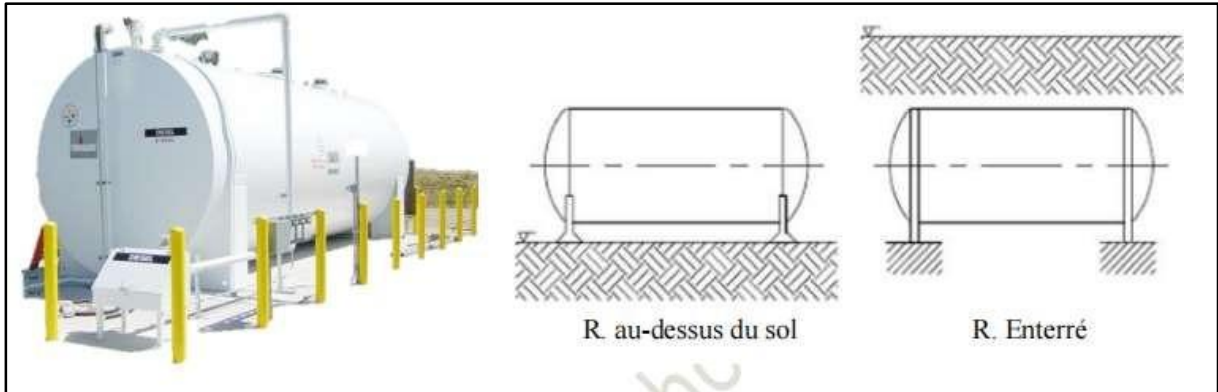


Figure 11.6: Bacs de stockage cylindriques horizontaux

Les réservoirs horizontaux sont principalement utilisés dans les cas où la consommation de fluide est faible et où le poids spécifique du fluide en question est faible.

II.3.4.3 Réservoirs sphériques

Dans ce type de réservoir, et pour ce qui concerne les raffineries, sont stockés sous pression des produits sous phase liquide tels que le propane, le butane, ... Leur rayon est compris entre 5 et 10 m, pour un volume de 500 à 4500 m³. La masse stockée varie selon la densité de la phase de liquide de produit stocké. Pour une sphère de 1000 m³, la masse varie de 400 t (propane) à 700 t (oxyde d'éthylène). L'épaisseur de la paroi est toujours supérieure à 10 mm. Ce réservoir doit résister à des pressions internes de 8-9 bars pour le butane jusqu'à 25 bars pour le propane. Les réservoirs sphériques résistent à des pressions extrêmes et sont principalement utilisés pour le stockage de GPL ou de GN sous haute pression.



Figure II.7; Réservoirs sphériques

Les réservoirs ou les bacs de stockages sont classés ou regroupés selon les caractéristiques suivantes ;

- La nature du toit du réservoir (toit **fixe** **toit flottant**), pour les réservoirs cylindriques verticaux.
- La nature du produit stocké,
- Les capacités des réservoirs.

II.3.5. Caractéristiques Générales des Réservoirs

Un réservoir de stockage est déterminé par sa forme, ses dimensions géométriques qui déterminent notamment le volume contenu, sa pression et la température du produit stocké d'ailleurs liée à sa pression par la loi de vapeur saturante. La forme sphérique est la mieux adaptée à l'isolation, mais pour des capacités dépassant 15 à 20 000 m³, on a toujours recours à la forme cylindrique. Si l'on suppose (hypothèse grossière) que les échanges thermiques ont même intensité au m² sur la surface latérale, le fond et le toit, on démontre que la forme la plus favorable d'un réservoir cylindrique vérifie l'égalité : **Hauteur=Diamètre**

En fait, il est quelquefois difficile de réaliser cette condition, pour des raisons d'environnement ; il est fréquent que le rapport diamètre/hauteur soit supérieur à 1. La pression est toujours légèrement supérieure à la pression atmosphérique, de manière à éviter les rentrées d'air qui, avec la vapeur du GNL, provoqueraient des mélanges explosifs ; la surpression est de l'ordre de quelques dizaines de millibars. La température interne est celle correspondant à l'ébullition du produit ; elle est de l'ordre de -160°C. Un réservoir est donc toujours constitué de deux enveloppes séparées par une épaisseur importante de calorifuge.

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

Malgré cette isolation, les apports calorifiques inévitables, en provenance de l'extérieur, se traduisent par une évaporation du produit, à température constante. La qualité de l'isolation se traduit donc par le taux d'évaporation, exprimé généralement en pourcentage par jour. Les réservoirs doivent satisfaire à des conditions de nature mécanique et de nature thermique ; ces deux types de conditions sont énumérés séparément ci-dessous, dans un but de clarification, mais en fait les problèmes mécanique et thermique sont intimement liés.

II.3.6 Équipements et accessoires des bacs de stockage :

Les principaux équipements de la structure des bacs sont :

- La robe : c'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre du réservoir.
- La virole : c'est un anneau constitué de tôles dont la succession donne la robe.
- La cuvette : c'est un compartiment construit autour d'un bac ou d'un ensemble de bacs destiné à recevoir le contenu du bac ou de l'ensemble de bacs en cas de fuite accidentelle.
- Le fond : c'est la base du réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- L'assise : c'est la fondation sur laquelle repose le réservoir.
- Le toit : c'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage de tôles il peut être fixe ou flottant.

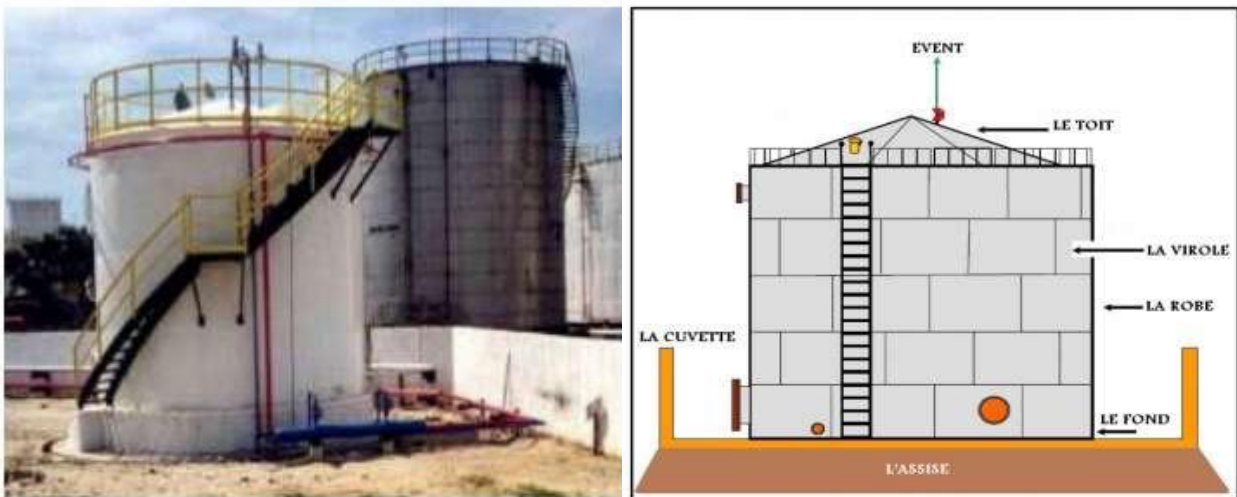


Figure II.8: Types Équipements de la structure des bacs.

II.4. Stockage du GNL

II.4.1. But de l'unité de Stockage

Le but de l'unité de stockage et expédition est d'assurer le bon stockage de GNL produit par le train de liquéfaction dans les bacs de stockages. En moyenne, un GNL a une masse volumique de l'ordre de 480 kg/m³ et un pouvoir calorifique de 25 GJ. La grande volatilité représente un danger potentiel très important. La conception des réservoirs et de leur environnement est donc dominée par le problème de la sécurité. Celui-ci s'analyse en plusieurs aspects :

- **la sécurité passive** : consiste à concevoir le réservoir de stockage de manière à minimiser la probabilité des incidents et leurs conséquences. Ces incidents peuvent être de nature interne ou externe.
 - **interne** : risque de fuite, de choc thermique, de surpression, d'évaporation anormale et brutale, etc.
 - **externe** : incendie à l'extérieur du réservoir, séisme, chute d'objets volants, sabotage par arme à distance, sabotage par charge portative.
- **la sécurité active** : consiste à disposer de moyens de lutte contre les conséquences incidentes : cuvettes de rétention en cas de fuite, dispositifs de lutte contre l'incendie, etc.

II.5. Conclusion

Les pipelines sont les moyens les mieux adaptés au transport du pétrole brut ou gaze depuis les champs de production jusqu'aux raffineries. Les pipelines et les bacs sont en interaction permanente avec l'environnement, et subissent des sollicitations qui altèrent leurs caractéristiques et donc peuvent devenir une source de danger.

Ces dernières années les objectifs techniques et économiques des industriels de tous les secteurs vont dans le sens de la réduction des coûts, de l'amélioration des performances et de la productivité. Les matériaux de pipelines et des bacs sont des équipements qui doivent résister à des sollicitations nombreuses :

- Sollicitations externes : contraintes mécaniques, fatigue, ...
- Sollicitations internes : frottement, abrasion, température, érosion, ...
- Sollicitations environnementales : corrosion, oxydation, attaque chimique, chaleur...

La corrosion est un des facteurs importants qui entraîne une dégradation des pipelines dans l'industrie du pétrole et du gaz. Des moyens financiers sont mis en place annuellement pour

Chapitre II : Transport et stockages des hydrocarbures

minimiser l'ampleur de ce phénomène, mais il demeure un problème à moyen ou long terme et les conséquences peuvent être désastreuse.

La nécessité de l'étude de l'effet de la corrosion sur les pipelines d'un point de vue maîtrise des risques industriels est donc indispensable afin :

- D'évaluer son impact sur les équipements, l'homme, et l'environnement
- De mettre en place des mesures d'atténuation pour ce phénomène
- De pouvoir planifier la maintenance des pipes afin d'éviter des scénarios d'accidents majeurs dont une des principales causes est la corrosion.

II.6. Référence

- [1] Documentation ALFA PIPE ANNABA
- [2] Documentation technique de l'unité ALFAPIPE (Ex : TUS, EN Sider)
- [3] Documentation de soudage ALFA PIPE ANNABA
- [4] documentation technique de la zone « revêtement extérieur » de ALFAPIPE, Annaba.
- [5] Khelfat abderrazek . Mémoire de Master 2016 : Analyse des éléments du revêtement des pipelines université badj mokhtar annaba département de génie mécanique
- [6] Luc JOIN-LAMBERT, 'Généralistes sur le transport international du gaz'', (1995).
- [7] Gérard BERANGER, Guy HENRY et Germain SANZ – Le livre de l'acier – Edition LAVOISIER Paris (1994). .
- [8] Le transport par canalisation. Disponible à l'adresse : [pipevent.wordpress.com/quest-ce qu'un-pipeline](http://pipevent.wordpress.com/quest-ce-qu'un-pipeline). [Consulté le 25/04/2020] .
- [9] N. ABDELBAKI, E. BOUALI, M. BETTAYEB, Etude et développement de méthodes appropriées d'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations de transport des hydrocarbures-Rapport final, PNR projet national de recherche,2013.
- [10] A. AMARA ZENATI. Étude du comportement des aciers API 5L X60 sollicités par contraintes mécaniques et milieu de sol Algérien Simulé. Thèse de Doctorat : Sciences des matériaux. Telemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2014.
- [11] I. DJEDID. Etude sur les défaillances des aciers API- 5LX60 pour pipeline Cas de la ligne GZ1. Mémoire de Master : Maintenance industriel. Telemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2013.
- [12] SAHRAOUI Aboubakr memoire de Master Département de Génie Mécanique université de m'sila 2020.
- [13] SONATRACH-SPA, la direction Générale. Le code du réseau de transport par canalisation. Alger, 2018.
- [14] Régis, C., Réservoirs métalliques : stockage des liquides à température ambiante. Techniques de l'ingénieur Stockage et transfert des fluides des machines hydrauliques et thermiques, 2013.base documentaire : TIB174DUO (ref. Article : bm6591).

Chapitre III
Les aciers et Synthèse
Bibliographique des travaux
Des recherches

Chapitre III: Les aciers et Synthèse bibliographique des travaux des recherches

Pour la fabrication des tubes des pipelines et les réservoirs, un grand nombre de matériaux peut être utilisé : acier, fonte, résines armées, etc., Le choix du matériau est fonction de la nature et de l'état des produits qu'elle doit acheminer. Dans ce cas, on considère l'application de l'acier dans la fabrication des tubes, pièces et matériaux qui satisfont aux exigences les plus sévères de l'industrie, ce chapitre qui est dévissé en deux partie, une partie concerne la présentation de différentes caractéristiques des aciers, particulièrement les aciers dans les normes de API 5L X60M destiné à la fabrication des pipelines. Une deuxième partie est consacrées aux travaux ou des études déjà réalisé sur ces matériaux.

III.1 Introduction

L'acier est un alliage métallique constitué essentiellement de fer (typiquement très majoritaire et représentant plus de 98% du métal) et de carbone (typiquement moins de 2% du métal), auxquels sont ajoutés en faibles quantités d'autres composants minoritaires en fonction des propriétés recherchées. [1]

III.2. Classification des aciers

On peut classer les aciers selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation.

C'est cette dernière classification qui nous permet de considérer les quatre familles suivantes.[2]

III.2.1 Les aciers au carbone d'usage général

Les aciers au carbone d'usage général, utilisés tels quels, sans traitement ultérieur, constituent environ 85 % de la production des aciers. Ce sont des matériaux produits en très grande quantité et dont le prix est relativement bas. En présence du carbone, ces aciers contiennent d'autre éléments chimiques avec un faible pourcentage (manganèse, silicium, soufre, et phosphore).

III.2.2 Les aciers de traitement thermique

Les aciers alliés ou non alliés de traitements thermiques sont définis en fonction de leur composition. La composition chimique de ces aciers permet de déterminer les traitements qu'on peut leur appliquer en fonction des propriétés recherchées.

A- Aciers non alliés

Ces aciers sont, en fait, intermédiaires entre les aciers d'usage général de type A et les aciers fins de type XC ; on peut leur faire subir un traitement thermique mais les caractéristiques mécaniques obtenues peuvent être assez variables d'un lot à l'autre et même à l'intérieur d'un même lot.

B- Aciers alliés : On distingue deux grandes catégories d'aciers alliés :

B.1 Aciers faiblement alliés

Ce sont des aciers dans lesquels aucun élément d'addition n'atteint la teneur de 5%.

B-2 Aciers fortement alliés

Dans ces aciers, au moins un élément d'addition atteint la teneur supérieure ou égale à 5%.

III.2.3- Aciers à outils

Sont des aciers utilisés pour la fabrication d'outils mécaniques tels que les mèches, outils de coupe, cisailles, marteaux, burins...etc. Les caractéristiques d'utilisation des aciers à outils sont semblables à celles des aciers alliés, mais elles exigent l'amélioration d'un certain nombre de propriétés : la dureté, la résistance et la résistance aux chocs thermiques.

III.2.4- Aciers inoxydables

Les aciers inoxydables comprennent un ensemble de familles d'alliages à base de fer dont la principale propriété est la résistance à la corrosion généralisée. Toutefois, bien qu'on les qualifie d'inoxidables, ces aciers ne sont pas dans tous les cas totalement exempts d'une possibilité de corrosion. Le chrome est l'élément essentiel qui, à des teneurs supérieures à environ 12 %, rend l'acier inoxydable en favorisant, en milieu oxydant, la formation d'un film passif à sa surface.

III.3. Les aciers API 5L X60M

La signification de la nuance API 5L X60M est comme suivante :

API : Institut Américain du Pétrole ;

5L : spécification pour le pipeline

X : désignation de catégorie pour le pipeline de haute résistance ;

M : est le suffixe qui décrit l'état de livraison (M : traité mécaniquement).

Le chiffre après le "X" correspond à la valeur de la limite d'élasticité minimale. Par exemple

Les chercheurs ont développé un acier de ferrite aciculaire dur pour le pipeline par l'optimisation du contenu de carbone et de niobium, l'addition du bore, et/ou l'application du refroidissement en ligne accélérée [4].

L'application principale de l'acier de ferrite aciculaire implique les canalisations d'hydrocarbures dans des conditions arctiques. Cette application exige une combinaison de dureté, de haute résistance, d'excellente résistance à la fissuration induite par l'hydrogène et la soudabilité [4].

III.4. Caractéristiques mécaniques de l'acier API 5L X60M

A la livraison des bobines le matériau procède des caractéristiques mécaniques du au laminage à chaud avant de subir le formage et l'opération de soudage, ces caractéristiques sont présentées dans le tableau III.1. Ces propriétés doivent être conformes aux exigences de la dernière édition (45ème) de la norme API 5L PSL2 présentées dans le tableau III.2.

Traction	$R_e = 514\text{Mpa}$ $R_m = 577\text{Mpa}$ $A\% = 34,6$ $\frac{E}{R} = 0,89$
Résilience à 10°C	263 Joule
Dureté Vickers	192

Tableau III.1. Propriétés mécaniques du métal avant soudage, d'après le certificat de réception du Fournisseur (Arcelor Mittal).

Nuance	Limite élastique E 0,5% Mpa		Résistance à la rupture Mpa		Allongement Mini%	E/R Maxi
	Mini	Maxi	Mini	Maxi		
X60M	415	565	520	760	27	0,90

Tableau III.2. Propriétés mécaniques de l'acier grade X60M selon la norme API 5L PSL2. [5]

III.5. Caractéristiques chimiques de l'acier API 5L X60M

La composition chimique de l'acier des bobines est donnée par le fournisseur sous forme de certificat de réception (tableau III.3). Cette composition chimique doit être conforme aux exigences de la dernière édition (45ème) de la norme API 5L PSL2 présentées dans le tableau III.4.

C%	Mn%	P%	S%	Si%	Al%
0.06	1.31	0.016	0.002	0.22	0.031
B%	Ca%	Cr%	Cu%	Mo%	N%
0.0002	0.002	0.02	0.01	0.01	0.003
Nb%	Ni%	Sn%	Ti%	V%	
0.031	0.01	0.000	0.014	0.001	

Tableau III.3. Composition chimique de l'acier grade X60M d'après le certificat de réception du Fournisseur (ArcelorMittal).

Element/Nuance	%C Maxi	%Mn Maxi	%Si Maxi	%P Maxi	%S Maxi	%CEpem Maxi
X60M	0.12	1.600	0.450	0.025	0.015	0.20

Tableau III.4. Composition chimique de l'acier grade X60M selon la norme API 5L PSL2. [5]

Avec:

$$\text{Nb} + \text{V} + \text{Ti} \leq 0,150$$

$$\% \text{Cu} \leq 0,250 \text{ max}; \% \text{Ni} \leq 0,30 \text{ max}; \% \text{Cr} \leq 0,30 \text{ max}; \% \text{Mo} \leq 0,10 \text{ max};$$

$$\% \text{Ca} \leq 0,06; \% \text{B} \leq 0,0005; \% \text{Ti} \leq 0,060; \% \text{Nb} \leq 0,050; \% \text{N} \leq 0,012;$$

$$\% \text{V} \leq 0,08; \% \text{Tin} \leq 0,010$$

$$0,015 \leq \text{Al}_\alpha \leq 0,5; \frac{\text{Al}}{\text{N}} \geq 2.$$

II.7. Influence des éléments d'addition

Les éléments d'addition (éléments d'alliage) sont souvent des "métaux" mais ce peut être des "non métaux" ou des "gaz". En général, les éléments d'alliage améliorent les propriétés de ces aciers. Les éléments d'addition dans les aciers sont très nombreux. Ces éléments ont un effet spécifique dans les aciers. Les éléments d'alliages confèrent des propriétés mécaniques (à froid ou à chaud), ou chimiques (résistance à la corrosion), particulières et bien précises.

Il n'est pas superflu de définir, rapidement, le rôle des principaux éléments d'addition et impuretés des aciers.

-Carbone (C)

C'est l'élément le plus influent en soudage. En fait, nécessaire pour accroître la résistance

à la rupture et la dureté des aciers, il joue un rôle actif mais très défavorable : il favorise, en effet, la trempe de l'acier de base dans les zones de transformation. [6]

- Manganèse (Mn)

Élément très intéressant en soudage pour de multiples raisons. Non seulement il augmente harmonieusement les propriétés mécaniques des aciers laminés et du métal déposé avec une électrode par son rôle désoxydant, mais, à forte dose (13% Mn) il confère à l'acier une forte résistance à l'usure et aux chocs. [6]

- Chrome (Cr)

Il augmente la résistance à la rupture des aciers faiblement alliés. Il est utilisé avec le carbone et le manganèse, ces éléments toujours présents mais avec une teneur inférieure à 1% ; tout au moins dans les aciers dits soudables [6]

-Nickel (Ni)

Élément améliorant les propriétés générales des aciers [6]

Il est utilisé :

- Dans les aciers autotremnants conjointement avec le chrome et le carbone (aciers de soudabilité très difficile),
- Dans les aciers à teneur en Ni de 3 à 9% pour emploi à très basses températures,
- Dans les aciers inoxydables avec le chrome.

- Molybdène (Mo)

Sa teneur, généralement inférieure à 0,5 – 1,5%, est surtout génératrice, soit d'accroissement de la résistance à chaud, soit d'une diminution de la fragilité des aciers. Dans les aciers inoxydables, une teneur exceptionnelle de 2 à 3% améliore la tenue à la corrosion. [6]

- Cuivre (Cu)

Élément de teneur généralement inférieure à 0,5%. Il améliore la résistance à la corrosion dans certains milieux aqueux (eau de mer). Allié au Cr, au Mo, il constitue les aciers dits (semi-inoxydables) classiques ou à haute limite élastique. [6]

- Silicium et Aluminium

Suivant sa teneur, le silicium (Si) peut être considéré :

- Soit comme agent désoxydation ; dans les aciers calmé ou semi-calmés, sa teneur varie de 0,04 à 0,25% ;
- Soit comme élément d'alliage dans les aciers à haute limite élastique, le maximum admissible, pour des raisons de soudabilité est de 0,50/0,55%.

L'aluminium (Al) permet de réduire la taille des grains.

- Soufre (S)

C'est un élément très défavorable, tant par son influence sur les caractéristiques mécaniques (notamment abaissement des résiliences), que sur la soudabilité métallurgique (soufflures, criques). Un acier soudable doit, classiquement, avoir une teneur en soufre inférieure à 0,04%. Toute teneur supérieure, surtout sur pièces épaisses ou trempantes, implique des précautions lors de soudage. [6]

III.7 les propriétés mécaniques des aciers

Un acier courant se caractérise essentiellement par sa composition et les propriétés mécaniques qui en découlent, bien que non rattachées à un type d'essai normalisé, les caractéristiques les plus souvent citées sont :

• Élasticité :

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer sous une charge (un effort) et de retourner à son état initial après décharge.

- **Plasticité :**

C'est la déformation d'un matériau sous une charge sans revenir à son état initial après décharge.

- **La rigidité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer de façon élastique (et donc réversible).

La rigidité est définie par le Module d'élasticité E. Plus le matériau est rigide, plus la force qu'on peut lui appliquer est importante.

- **Résistance maximale :**

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau. La charge peut être effort en traction ou couple en torsion.

- **Limite élastique :**

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau pour se déformer d'une façon élastique.

- **Ductilité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement avant rupture. Un matériau qui se déforme plus avant rupture est plus ductile qu'un matériau qui se déforme moins.

- **Fragilité :**

C'est la facilité avec laquelle on peut fracturer un matériau. Un matériau fragile se fracture sans se déformer plastiquement.

- **Ténacité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à absorber l'énergie lors d'une déformation plastique. C'est une combinaison entre la bonne résistance à la rupture et la bonne ductilité. Une des façons de définir la ténacité est l'aire de la surface engendrée par la courbe de traction. La ténacité peut être mesurée par l'essai de Résilience Charpy. (Les termes résilience et ténacité ont des significations équivalentes).

- **La dureté :**

L'aptitude du métal à résister à la pénétration et à l'abrasion. [7]

- **Essai de traction :**

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module de d'élasticité,

le coefficient de poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans l'industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages. [8]

III.8 Synthèse bibliographique des travaux de recherches

III.8.1. Travail de Abdelhak Chebli

Les alliages FeNi, font l'objet de nombreuses études en raison de leurs propriétés physiques singulières, selon leur composition.

Des propriétés très diverses peuvent être observées comme la dilatation thermique, et les alliages de composition proches de Fe₆₅Ni₃₅, [9] ont une dilatation thermique nulle dans large domaine de température autour de la température ambiante, cette propriété a été découverte par Ch.E Guillaume en 1887 est connue sous le nom de L'INVAR.

Les alliages FeNi possèdent très bonnes propriétés mécaniques, et ainsi les alliages FeNi résistant à la corrosion. Les propriétés remarquables de l'alliage FeNi offrent plusieurs domaines d'application dans l'industrie [10], dans les parois intérieures des bacs des réservoirs de gaz, dans les matériaux pour transport des hydrocarbures.

Le travail de A.Chebli [11], décrit l'élaboration des matériaux nanostructurés par broyage à haut énergie les matériaux obtenus sont des nanostructurées de deux phases cristallographique de taille de grains moyenne de 10 à 70 nm. La réduction de la taille des grains à améliorer la résistance aux corrosions et les propriétés mécaniques ainsi la dilatation thermique des FeNi [12].

III.8.2 Travail de SAHRAOUI Aboubakr

Le but de travail de A.Sahraoui [13], est l'étude de la corrosion des équipements de transport de brut à la ligne dans la localité de Bouhmadou, APC Soumaa, Wilaya de M'sila.

(Région transport centre – Bejaïa, dans la localité de Bohmadou, APC Souamaa. W. de M'sila). Il a commencé son étude expérimentale par l'analyse physico-chimique d'un lot de sable prélevé de la zone de Bouhmadou – M'sila. Il a réalisé des tests physico-chimique sur le lot de sable au laboratoire de Biochimie – Faculté de science – M'sila - dont l'objectif est faire les tests suivants :

- Teste de salinité
- Teste de TDS (Total Dissolved Solids)

- Teste de conductivité électrique
- Teste de PH

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Salinité de sol	TDS	Conductivité	PH
34%	5.38%	4.14 ms	8
La température: entre -10 la nuit a +45 le jour- soit un gradient de 55 C			

Tableau III.5 : Fiche d’analyse de sol

Comme ils sont réalisé l’étude sur l’acier XC52 : L’analyse qui permet de déterminer la composition chimique à effectuer au niveau de l’entreprise SONELGAZ de M’sila.

L’analyse de la composition chimique de la nuance d’acier dans laquelle est fabriquée la pipe de canalisation qui ce trouve au niveau de la zone de Bouhmadou est donnée dans le tableau suivant

Elé.	Sn	Pd	Ag	Ru	Mo	Nb	Zr	Bi	Pb	Se	W
%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.004	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elé.	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sb	Al	/
%	0.027	<LOD	0.276	99.017	0.422	0.042	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	/

Tableau III.6 : Fiche de comportement de l’acier XC 52

L’importance de la composition chimique apparaît par son influence sur la soudabilité, les caractéristiques mécaniques ainsi que la résistance à la corrosion. Il est donc indispensable de toujours vérifier ce paramètre afin de satisfaire toutes les exigences moyennant un compromis entre les différentes contraintes.

III.8.2.1 Préparation des milieux corrosifs

L’immersion des éprouvettes dans deux (02) solutions corrosives bien choisi qui sont similaire au milieu agressif de la localité de Bouhmadou- M’sila ainsi que l’étude de leurs effets sur la microstructure et les propriétés mécaniques pendant une durée de Dix (10) jours :

Les solutions choisies sont tirées d'une longue recherche bibliographique afin de reproduire le milieu corrosif similaire étaient :

- H_2SO_4 20% obtenue à partir de dilution d'acide sulfurique commercial par l'eau distillé.
- Eau de mer avec une salinité de 3.5%

III.8.2.2 Préparation des éprouvettes

Les essais de traction sont réalisés sur des éprouvettes, plates de sections rectangulaires, prélevées dans la direction longitudinale (L).

Les échantillons d'acier sous formes rectangle de dimensions 300mm X 10mm X 8mm sont préparés, avant immersion dans les solutions, par le sablage, il se fait par projection d'une poudre abrasive à grande vitesse (06 bar), sur la surface à encoller à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper. On recouvre ensuite la surface traitée par un film protecteur et ensuite par le polissage au papier abrasif au carbure de silicium de granulométrie décroissante allant jusqu'au grain 1200. Ces échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée et séchés à l'air ambiant avant utilisation. Afin que celles-ci soient leurs plans lissent et uniforme. Ce traitement doit être avant tout les essais électrochimiques.

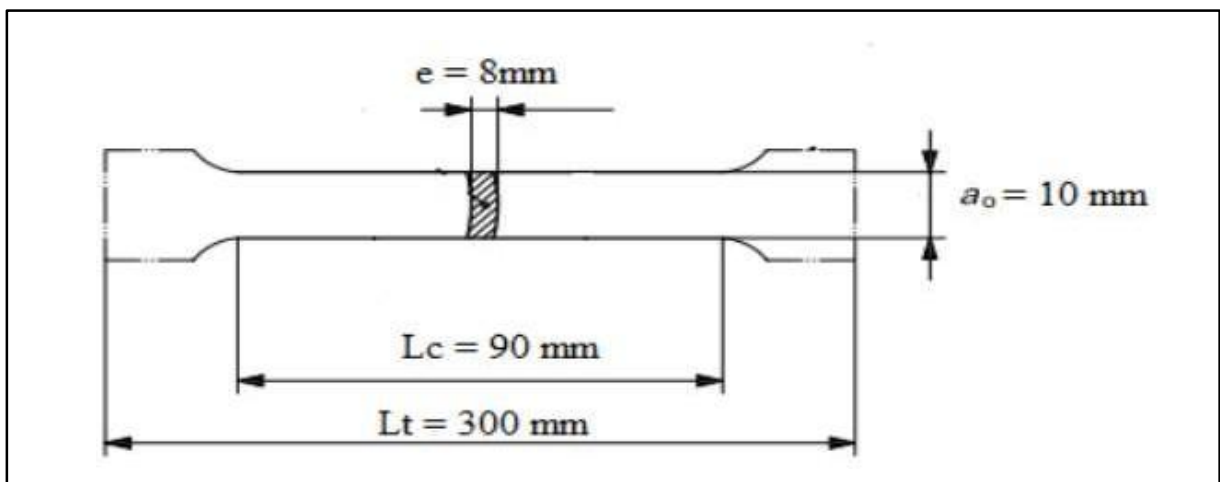


Figure III.1: Dimensions éprouvette



Figure III.2: Sableuse de pression 06 bar

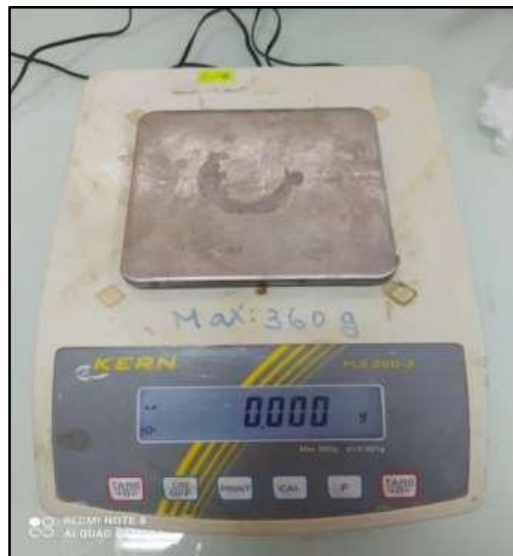


Figure III.3: Échelle de pesée des échantillons, précise 0.001 g



Figure III.4: Éprouvettes avant le traitement chimique



Figure III.5 : Après le traitement avec H₂SO₄ 20%



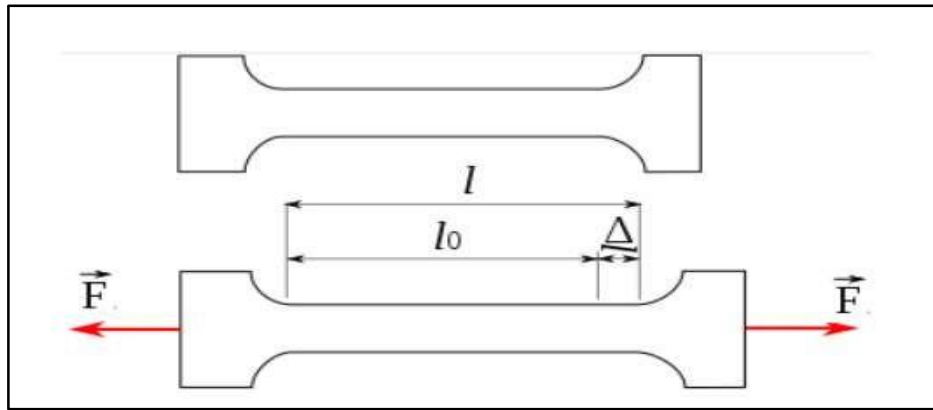
Figure III.6: Après le traitement avec l'eau de mer

N	01	02	03	04	05	06
Longueur en mm	90	8.9	90	90	90	90
Largeur (a) en mm	09	9.2	9.8	9.9	10	10
Epaisseur en mm	7.4	7.1	7.9	7.9	8	8
Poids en (g)	294.825	293.455	320.97	322.548	325.281	226.564

Tableau III.8: Dimensions et poids des éprouvettes après le traitement chimique

III.8.2.3 Essai de traction

L'essai de traction à une grande importance dans les essais mécaniques, une barre travaille à la traction quand elle est soumise à l'action de deux forces égales et directement opposées qui tendent à l'allonger.



L'essai de traction est destiné surtout pour l'examen de la tenue des matériaux soumis à l'action de contraintes de traction axiales réparties uniformément sur toute la section de l'éprouvette. L'essai se fait sur des éprouvettes standardisées sur une machine d'essai de traction. Les éprouvettes sont solidement maintenues entre les mâchoires (dispositif de fixation) de la machine et sont soumises à l'action d'une charge (éloignement des mâchoires l'une de l'autre) jusqu'à un allongement provoquant la rupture. La machine peut être munie d'un enregistreur pouvant donner instantanément les valeurs de l'effort de traction et l'allongement correspondant ou encore la dépendance entre la contrainte de traction et l'allongement correspondant ou encore la dépendance entre la contrainte de traction et l'allongement

III.8.2.4 Essai de dureté

L'essai de dureté est un outil essentiel de discrimination des matériaux et d'analyse, de développement et d'amélioration des matériaux et des technologies dans le cadre de la recherche fondamentale (science des matériaux, techniques des matériaux, diagnostic des matériaux).

Il permet de collecter des valeurs caractéristiques (valeurs de dureté) qui sont d'une importance décisive pour l'application des matériaux dans l'industrie (aptitude d'un matériau pour un composant technique), pour leur réception dans le cadre de contrôles d'assurance qualité (inspection en entrée et en sortie), pour la discrimination des matériaux (par exemple dans le cas de confusion entre matériaux) et pour la clarification en cas de sinistres (analyse des dommages).

III.8.2.5 Résultats Expérimentaux des Essais

-Teste perde de masse poids en (g)

	Aucun traitement		H2SO4		Eau de Mer	
N°	1	2	3	4	5	6
Poids Brut	325,281	326,564	326,408	326,326	324,478	325,921
Après traitement (10 jours)	325,281	326,564	294,825	293,455	320,97	322,548

Tableau III.09 : Poids des échantillons avant le traitement chimique

En remarque le poids de l'éprouvette traité au milieu acide H₂SO₄ à perdue plus de matière que celui traité à l'eau de mer (32.871 g).

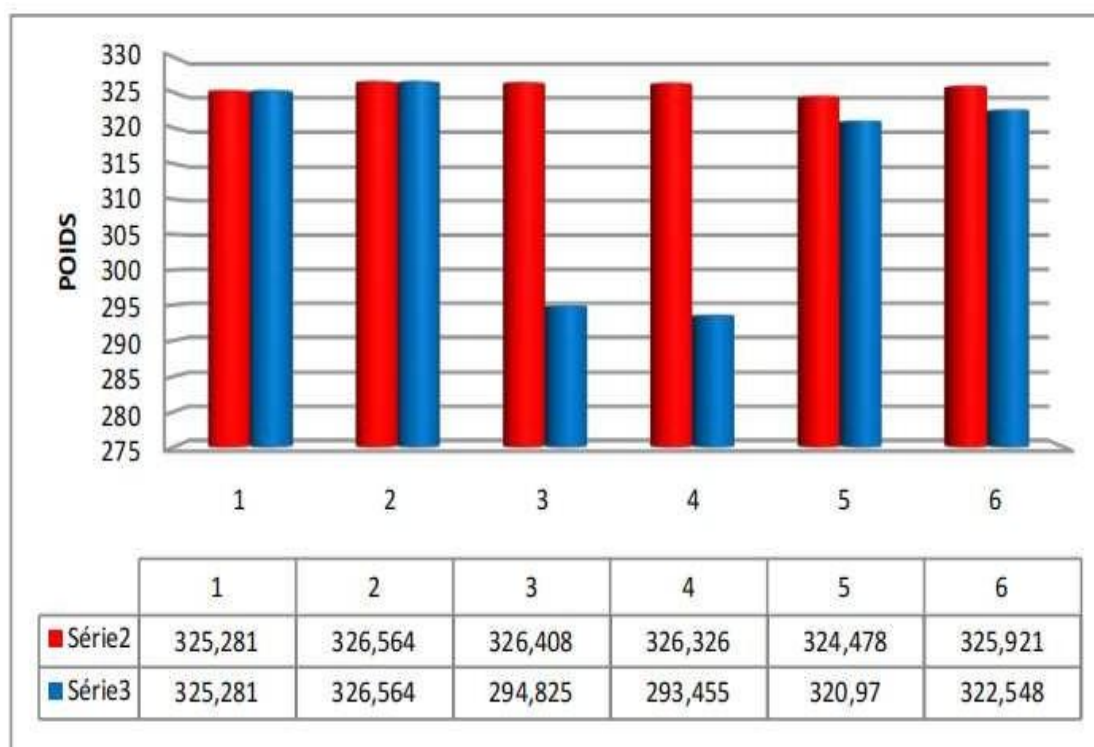


Figure III.10: Graphique représentant la perte de masse

-Résultats expérimentaux de l'essai de la dureté :

Les essais de la dureté ont été réalisés avec un duromètre au laboratoire de la Mécanique optique (Sétif), la dureté dans l'état brut est de 251 HV ; 198 Hv pour l'éprouvette traitée par H_2SO_4 , et 223 Hv pour l'éprouvette traitée par l'eau de mer, avec des charges de 10 N.



Figure III.08 : Essai de dureté

-Les étapes suivantes sont nécessaires pour la réalisation de l'essai :

Placer l'éprouvette entre les mores de la machine

- Serrer les mores.
- Introduire les données relatives de l'éprouvette à tester.
- Introduire les conditions de l'expérience (vitesse)
- Introduire les données relatives de l'éprouvette à tester (largeur, l'épaisseur de l'éprouvette et la distance entre les mores).

Démarrer la machine et attendre jusqu'à la rupture :

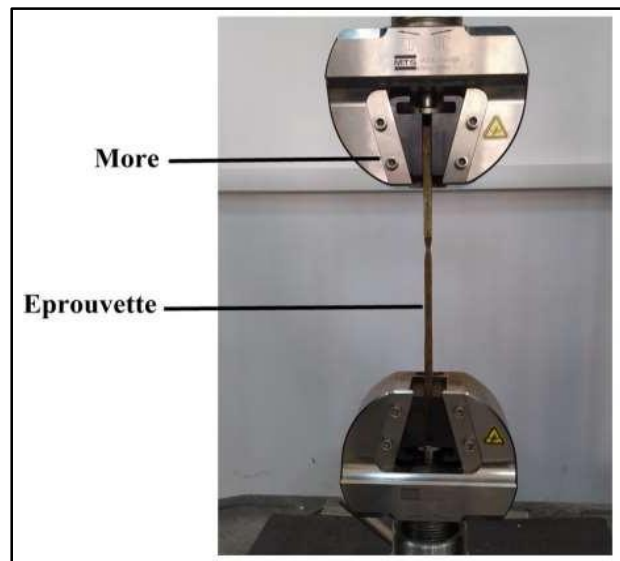


Figure III.09 : Emplacement de l'éprouvette.

	Perte de masse (g)	Pic de contrainte (Mpa)	Force maximale (KN)	Déformation à la rupture (%)	Dureté (Hv10)
Aucun Traitement					
1 ère éprouvette	0	400.3	33.860	8.841	251
2ème éprouvette	0	395.9	33.162	8.780	
Traitement Avec H₂SO₄ 20%					
3ème éprouvette	31,583	370.3	25.579	6.351	198
4ème éprouvette	32,871	378.3	26.969	6.773	
Traitement Avec L'eau de Mer					
5ème éprouvette	3,508	385.2	31.867	7.127	223
6ème éprouvette	3,373	389.5	31.397	7.366	

Tableau III.11 : Résultats des essais

Il est clair que plus le milieu est acide plus le taux de corrosion du métal est élevé, donc la durée de vie de l'efficacité du tube diminue, du fait des facteurs de corrosion internes et externes qui s'y trouvent.

Et ont conclure que la corrosion se manifeste à l'intérieur des installations de surface par l'attaque chimique de brut lui-même et l'extérieur des ouvrages enterrés sous l'effet de l'agressivité du sol,

ce qui provoque des percements des installations conduisant à des fuites donc la corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matières premières, elle peut aussi entraîner des pertes économiques et humaines majeures et des tragédies écologiques irréremédiables.

La détection du problème de corrosion au niveau des pipelines se fait par l'application des techniques d'inspection spécifiques représentées essentiellement dans les analyses chimiques au laboratoire et le contrôle non destructif par la mesure des épaisseurs des pipelines au moyen d'un ultrason, ou par l'observation visuelle par conséquent ça nous permet de décider la méthode de protection la plus efficace, qui ce soit la protection cathodique des conduites enterrées, soit l'injection des inhibiteur de corrosion pour les installations de surface, ceci permet de réduire les catastrophes écologiques et économiques dues aux fuites et à une augmentation de la durée de vie des installations pétrolières et de leur protection.

III.8.3. Travail de Makhlouf HAMOUCHE

Le but de ce travail M. HAMOUCHE [14] est l'étude de l'évolution des caractéristiques chimique et mécaniques durant la chaîne de fabrication des pipelines, l'étude est basée sur des essais de contrôle destructif et non destructif selon la norme API 5L PSL2 de l'acier X60M. Cette étude a nécessité un examen par le spectromètre de masse pour l'analyse chimique et des essais mécaniques de traction, de dureté, de résilience et de pliage. Ces résultats suggèrent la possibilité de continuer la fabrication, et qualifier le produit final pour la commercialisation selon les normes API 5L PSL2.

Tous les essais effectués par M. HAMOUCHE durant la chaîne de fabrication des tubes en acier API 5L X60 M à l'entreprise ALTUMET sont regroupé en deux catégories :

- Contrôle destructifs

Les essais destructifs sont utilisés pour déterminer les caractéristiques physiques du métal de base ou d'une soudure. Les essais destructifs rendent l'échantillon impropre à une utilisation ultérieure.

Les essais destructifs comprennent :

- Essai de traction ;
- Essai de dureté ;

-Essais de contrôle non destructif

- Analyse chimique

La composition chimique de l'acier, doit être conforme aux exigences de la dernière édition (45ème) de la norme API 5L PSL2. L'analyse chimique sur le métal X60M fut effectuée au niveau de l'entreprise ALTUMET sur un spectromètre de masse.

Les résultats des tous les essais sont :

- La composition chimique mesurée de l'acier API 5L X60M est conforme à la norme API 5L PSL2.
- La variation enregistrée dans l'énergie de rupture peut varier sous l'action de facteurs liés aux conditions de soudage tels que :
 - l'énergie linéaire de soudage déposée ;
 - la vitesse de refroidissement ; Et, d'après les résultats obtenus, il est clair que les propriétés mécaniques de cordon de soudure restent conformes aux exigences de la norme API 5L PSL2,

Ave	Fe	C	Si	Mn	P	S
	98.1	0.109	0.233	1.32	0.192	0.0041
Ave	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu
	0.0242	0.0026	0.0128	0.0293<0.005		0.0124
Ave	V	Nb	Ti	W	Pb	Sn
	0.0020	0.0289	0.0127	0.0023	0.0014	0.0016
Ave	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
	0.0001	0.0068	0.0018	0.0012	0.0012	0.0020
Ave	N	Se	Sb	Ta	CE	
	0.0193	0.0025<0.0010 <0.0050			0.179	

Tableau III.12. La composition chimique (en pourcentage %) du métal de base (acier X60M)

III.8.3 Travail de Remma ABDELAZIZ et Sadjeda BENDARA

Pour le travail de R. ABDELAZIZ et S. BENDARA [15] de l'université de Ghardaïa, l'acier étudié, est prélevé à partir d'un tube en acier de type API 5L X70 PSL2 destiné pour la canalisation du gaz naturel pour le projet GR7. Tel que l'objectif principal de ce travail a optimisé la qualité des soudures de l'acier API 5L X70 PSL2 utilisés par Alpha pipe de Ghardaïa pour la fabrication des pipelines.

Les fissurations constituent l'un des défauts de soudure les plus fréquents. Il existe deux types de fissurations fissuration à chaud et fissurations à froid : à chaud survient au moment de la solidification du bain de fusion et à froid peut apparaître des heures ou des jours après le soudage. Le travail a permis de bien maîtriser l'aspect matériaux utilisés dans la fabrication des pipelines et

d'acquérir de nouvelles connaissances sur leurs procédés de fabrication, et précisément ceux utilisés l'usine Alphapipe.

- Pour avoir un faible taux de défauts et les niveaux élevés de résilience. Il faut un ajustement de la composition du fil d'apport à celle de l'acier utilisé X70, dans le but d'avoir un soudage le plus homogène possible pour éviter la fissuration causée par les contraintes de dilations thermique des différents matériaux.

Les essais de traction ont montré que la rupture se manifeste loin du cordon de soudure et dans les tous les essais ; la rupture se produit dans le métal de base. Ce qui qualifie l'acier

X70 a être utilise pour ce procédé en tout satisfaction de la qualité.

Et d'après les résultats obtenus par R. ABDELAZIZ et S. BENDARA ont constatés que l'utilisation de l'acier X70, et représente les avantages suivants :

- Taux de dépôt élevé,
- Pénétration profonde, permettant de déduire la quantité de matériau d'apport,
- Haute qualité de la soudure
- Environnement de travail amélioré par rapport à l'autre procédé de soudage.

III.8.4 Travail de Abderrezek DJEDDI

Le travail de A. DJEDDI [16] intitulé "caractérisations mécaniques d'un joint soudé en acier API 5L X70", est une contribution à l'étude de l'acier API 5L X70.

Les principaux résultats de travail est peuvent être énumérées comme suit :

- La composition chimique mesurée de l'acier API 5L X70 est conforme à la norme API 5L.
- Le niobium est l'élément micro allié efficace qui améliore l'acier X70 par trois mécanismes : il affine les grains par ses précipités.
- Les aciers destinés au transport des hydrocarbures doivent répondre à deux exigences essentielle et contradictoire à savoir : ductilité et résistance mécanique élevée.
- Les résultats mécaniques obtenus montrent que l'acier étudié présente de bonnes propriétés de résistance à savoir une limite d'élasticité ($R_{e0,5}$) égale à 508MPa et une résistance mécanique (R_m) égale à 611 MPa.
- Les performances mécaniques s'expliquent par la présence de cupules sur les faciès de rupture analysés au MEB. Ces cupules sont la preuve d'une ductilité assez bonne du matériau.

- L'étude sur l'acier API 5L X70 montre que les différents essais sur le joint soudé de comportement en traction, la microstructure, la dureté, et la résilience montrent que les propriétés mécaniques sont convenables pour l'utilisation dans le transport des hydrocarbures.
- L'acier étudié répond aux exigences techniques demandées par la norme API.

III.9 Conclusion

Les alliages à base de Fer avec un pourcentage élevée, communément appelés les aciers, sont largement utilisés dans pipelines et les réservoirs. La présence des éléments a additions : chrome nickel, carbone etext , augmente considérablement la résistance à la corrosion et améliorants les propriétés mécanique .

Les alliages FeNi possèdent très bonnes propriétés mécaniques, et ainsi les alliages FeNi résistant à la corrosion. Les propriétés remarquables de l'alliage FeNi offrent plusieurs domaines d'application dans l'industrie, dans les parois intérieures des bacs des réservoirs de gaz, dans les matériaux pour transport des hydrocarbures.

Avant l'utilisation de tel aciers pour une application dans les pipelines et réservoirs on doivent vérifier la composition chimique qui est conforme à la norme API 5L (la conformité des pipelines destinés aux hydrocarbures).

Le développement des procédés d'élaboration de ces aciers a conduit à l'amélioration de leurs propriétés mécaniques et structurales. A présent, ces pipelines offrent de nouvelles perspectives pour le transport pétrolier, mais la variabilité de leur comportement mécanique constitue néanmoins un obstacle important à leur développement.

III.10 Référence

- [1] Michael F.Ashby et David R.H.Jones – Matériaux, propriétés et applications – Edition DUNOD,
- [2] Gérard BERANGER, Guy HENRY et Germain SANZ – Le livre de l'acier – Edition LAVOISIER Paris (1994). Pages 888,889 et 890.
- [3] «Welding pressure pipelines & piping systems», ed. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY
- [4] Metals handbook Vol.1 «Properties and Selection: Irons, Steels, and High
- [5] American Petroleum Industry, API Specification 5L, 45ème Edition, 2013.
- [6] La Soudure Autogène française (SAF), Guide de l'utilisateur du soudage manuel, 4ème édition 1978.
- [7] J.Paulbailon, J.Mariedorlot . « Des matériaux »,3eme édition 2000 - 2001.
- [8] Document usine N°2, Contrôle qualité – Matériaux métalliques, Essai de traction – NF100021
- [9] M. Abdellaoui et E. Gaffet, J. Alloys and compound, 209, 351-361 (1994)
- [10] M. Abdellaoui et E. Gaffet Acta Metallurgica et Materialia 43, 1087-1098 (1995)
- [11] Chebli Abdelhak 2006.mémoire de magister université de Badji Mokhetar Annaba.
- [12] B.D.C.ullity Inc (1978)284.
- [13] Sahraoui Aboubakr 2021, mémoire de Master université de M'sila.
- [14] Makhlouf HAMOUCHE 2015, Mémoire de Fin d'étude d'ingénieur d'Etat École Nationale Polytechnique d'Alger
- [15] Remma ABDELAZIZ et Sadjeda BENDARA 2021, mémoire de Master Université de Ghardaïa
- [16] Abderrezek DJEDDI 2017, Mémoire de Fin d'étude d'ingénieur d'Etat École Nationale Polytechnique d'Alger

La Conclusion Générale

Conclusion générale

L'ingénierie des pipelines et les réservoirs est une branche de l'ingénierie qui traite de la conception, de la construction, de l'exploitation et de la maintenance des pipelines transportant des fluides et des gaz. Les ingénieurs pipelines et les réservoirs appliquent des principes et des pratiques d'ingénierie pour garantir la livraison sûre, efficace et fiable de ces matériaux sur diverses distances et terrains. L'ingénierie des pipelines et les réservoirs est un domaine multidisciplinaire qui implique des aspects du génie civil, mécanique, chimique, environnemental et électrique, ainsi que de la géologie, de l'hydrologie et de l'économie. Dans cette section, nous explorerons certains des principaux sujets et défis auxquels les ingénieurs de pipelines sont confrontés dans leur travail. Nous fournirons également quelques exemples de projets et d'applications d'ingénierie de pipelines dans différentes industries et secteurs.

Certains des sujets et défis que les ingénieurs en pipeline et réservoirs doivent prendre en compte sont :

Matériaux et spécifications : cela implique le choix des matériaux et des spécifications appropriés pour le pipeline et réservoirs, en fonction du type, de la pression, de la température et de la corrosivité du fluide, du gaz ou du solide transporté. Les ingénieurs doivent s'assurer que les matériaux du pipeline ont une résistance, une durabilité, une flexibilité et une résistance adéquates à la corrosion, à l'érosion, à la fatigue et à la fissuration. Les ingénieurs doivent également tenir compte de la compatibilité des matériaux du pipeline avec l'environnement environnant et des impacts potentiels des forces externes telles que les tremblements de terre, les glissements de terrain, les inondations et les incendies.

Conception et analyse du pipeline : cela implique la conception et l'analyse du système de pipeline, y compris le diamètre du tuyau, l'épaisseur de la paroi, la longueur, les joints, les raccords, les vannes, les pompes, les compresseurs, les compteurs, les capteurs et les dispositifs de contrôle. Les ingénieurs doivent s'assurer que le système répond aux critères de performance, de sécurité et de fiabilité pour l'application prévue.

Le travail présenté dans ce mémoire se place dans le cadre d'une recherche bibliographique sur les matériaux utilisés pour fabriquer les moyens de transport et stockages des hydrocarbures ainsi les propositions de modification et sur ces matériaux améliorent les performances contre l'usure, la corrosion et la fissuration.

D'après l'évaluation complète de la tendance du développement des oléoducs, et des gazoducs et les réservoirs, les conditions de pose du pipeline, les principales formes de défaillance et les causes de défaillance, l'acier du pipeline devrait avoir de bonnes propriétés mécaniques (paroi épaisse,

haute résistance, ténacité élevée, résistance à l'usure). Il doit également avoir un grand diamètre, une soudabilité, une résistance au froid et aux basses températures, une résistance à la corrosion (CO₂), une résistance à l'eau de mer, des performances HIC, SSCC, etc.

1- haute résistance.

L'acier pour pipeline nécessite non seulement une résistance à la traction et une limite élastique élevées, mais également un rapport de limite élastique compris entre 0,85 et 0,93.

2- haute ténacité aux chocs.

La ténacité élevée aux chocs répond aux exigences de prévention de l'amorçage de fissures.

3- faible température de transition ductile-fragile.

Les conditions régionales et climatiques sévères exigent que l'acier du pipeline ait une température de transition ductile-fragile faible. La zone de cisaillement du DWTT (test de déchirure de poids en baisse) est devenue le principal indice de contrôle pour éviter la rupture fragile du pipeline. La spécification générale exige que la zone de cisaillement de rupture de l'échantillon soit $\geq 85\%$ à la température de fonctionnement la plus basse.

4- excellente résistance à la fissuration induite par l'hydrogène (HIC) et à la fissuration par corrosion sous contrainte sulfurée (SSCC).

5- bonne soudabilité.

La bonne soudabilité de l'acier est très importante pour garantir l'intégrité et la qualité de soudage du pipeline.

À l'heure actuelle, les principales normes techniques des tuyaux en acier pour le transport de pétrole et de gaz utilisés aux mondes sont API 5L,

1-API 5L (Pipeline Spécification) est une spécification largement utilisée développée par l'American Petroleum Institute. La spécification concerne uniquement les produits de tuyaux en acier, à l'exclusion de la conception, de la sélection ou de l'installation de pipelines.

Références bibliographiques

Références

Chapitre I

- [1] Richard S. Krau Pétrole 2021 : origine, production et traitement, Union pétrolière de Zurich.
LE RAFFINAGE DU PÉTROLE -
- [2] Mourad Naciri 2016 mémoire de master. Pétrole et gaz non conventionnels : opportunité ou menace ? Le cas de l'Algérie.
- [3] Mc Quarrie, C., D.A. McQuarrie, and P.A. Rock, Chimie générale 2000 : De Boeck Supérieur.
- [4] GUIBET, J.-C., Caractéristiques Des produits pétroliers. Techniques de l'ingénieur Constantes chimiques, 2016. Base documentaire : TIB337DUO.
- [5] Carl En
gler and Hans Hofer Sourcebook for Petroleum Geology (1969) Origin of Oils (Entstehung des Erdöls): Appendix A: Part I. Genesis of Petroleum, Compiled by Robert H. Dott
- [6] Cabane. (2012). Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral. P 342. Version 24. Ifremer.
- [7] Hassaine. (2016). Biodégradation des hydrocarbures (pétrole brut et kérosène) par la microflore microbienne des eaux de la région de skikda. thèse de doctorat, Annaba.
- [08] Lefebvre. (1986). Notion de chimie du pétrole. Ed, technique, pp. 41. Paris : Technip.
- [9]. GUIBET, J.-C., Caractéristiques Des produits pétroliers. Techniques de l'ingénieur Constantes chimiques, 2016. Base documentaire : TIB337DUO.
- [10]. Lian-Ming, S., Perméation gazeuse. Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires :
- [11] Mbogne, P. M. (2017). Biorémédiation augmentée de sols contaminés aux hydrocarbures lourds par ajout de substrats organiques. 109p. Montréal.
- [12] Fattal, P. (2008). La pollution des cotes par les hydrocarbures. Presses universitaires de Rennes : PUR.
- [13] Mazeas, O. (2004). Evaluation de l'exposition des organismes aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le milieu marin par le dosage des métabolites de HAP, géosciences, sciences de l'environnement. thèse de doctorat, Bordeaux
- [14] Benyahia, M. (2012). La pollution des sols par les Hydrocarbures. En vue l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en écologie et environnement, Thèse de doctorat. Université Abderahmane mira de Bejaia.
- [15] Gruyer. (2015). Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale, P 04-55.

[16] Antoine, F. (2013). Étude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'applications en bioremédiation fongique de sols pollués. Thèse de doctorat, École doctorale 104 Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement Filière Ingénierie des Fonctions Biologiques.

[17] Book Title: M 5: Sourcebook for Petroleum Geology (1969) Origin of Oils (Entstehung des Erdöls): Appendix A: Part I. Genesis of Petroleum, Compiled by Robert H. Dott

Chapitre II

[1] Documentation ALFA PIPE ANNABA

[2] Documentation technique de l'unité ALFAPIPE (Ex : TUS, EN Sider)

[3] Documentation de soudage ALFA PIPE ANNABA

[4] documentation technique de la zone « revêtement extérieur » de ALFAPIPE, Annaba.

[5] Khelfat abderrazek . Mémoire de Master 2016 : Analyse des éléments du revêtement des pipelines université badj mokhtar annaba département de génie mécanique

[6] Luc JOIN-LAMBERT, 'Généralistes sur le transport international du gaz'', (1995).

[7] Gérard BERANGER, Guy HENRY et Germain SANZ – Le livre de l'acier –

Edition LAVOISIER Paris (1994). .

[8] Le transport par canalisation. Disponible à l'adresse : pipevent.wordpress.com/quest-ce-qu'un-pipeline. [Consulté le 25/04/2020] .

[9] N. ABDELBAKI, E. BOUALI, M. BETTAYEB, Etude et développement de méthodes appropriées d'amélioration de la sûreté de fonctionnement des installations de transport des hydrocarbures-Rapport final, PNR projet national de recherche,2013.

[10] A. AMARA ZENATI. Étude du comportement des aciers API 5L X60 sollicités par contraintes mécaniques et milieu de sol Algérien Simulé. Thèse de Doctorat : Sciences des matériaux. Telemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2014.

[11] I. DJEDID. Etude sur les défaillances des aciers API- 5LX60 pour pipeline Cas de la ligne GZ1. Mémoire de Master : Maintenance industriel. Telemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2013.

- [12] SAHRAOUI Aboubakr memoire de Master Département de Génie Mécanique université de m'sila 2020.
- [13] SONATRACH-SPA, la direction Générale. Le code du réseau de transport par canalisation. Alger, 2018.
- [14] Régis, C., Réservoirs métalliques : stockage des liquides à température ambiante. Techniques de l'ingénieur Stockage et transfert des fluides des machines hydrauliques et thermiques, 2013.base documentaire : TIB174DUO (ref. Article : bm6591).

Chapitre III

- [1] Michael F.Ashby et David R.H.Jones – Matériaux, propriétés et applications – Edition DUNOD,
- [2] Gérard BERANGER, Guy HENRY et Germain SANZ – Le livre de l'acier – Edition LAVOISIER Paris (1994). Pages 888,889 et 890.
- [3] «Welding pressure pipelines & piping systems», ed. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY
- [4] Metals handbook Vol.1 «Properties and Selection: Irons, Steels, and High
- [5] American Petroleum Industry, API Specification 5L, 45ème Edition, 2013.
- [6] La Soudure Autogène française (SAF), Guide de l'utilisateur du soudage manuel, 4ème édition 1978.
- [7] J.Paulbailon, J.Mariedorlot . « Des matériaux »,3eme édition 2000 - 2001.
- [8] Document usine N°2, Contrôle qualité – Matériaux métalliques, Essai de traction – NF100021
- [9] M. Abdellaoui et E. Gaffet, J. Alloys and compound, 209, 351-361 (1994)
- [10] M. Abdellaoui et E. Gaffet Acta Metallurgica et Materialia 43, 1087-1098 (1995)
- [11] Chebli Abdelhak 2006.mémoire de magister université de Badji Mokhetar Annaba.
- [12] B.D.C.ullity Inc (1978)284.
- [13] Sahraoui Aboubakr 2021, mémoire de Master université de M'sila.
- [14] Makhlouf HAMOUCHE 2015, Mémoire de Fin d'étude d'ingénieur d'Etat École Nationale Polytechnique d'Alger
- [15] Remma ABDELAZIZ et Sadjeda BENDARA 2021, mémoire de Master Université de Ghardaïa
- [16] Abderrezek DJEDDI 2017, Mémoire de Fin d'étude d'ingénieur d'Etat École Nationale Polytechnique d'Alger