

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique Option Energétique

Présenter par :

BOUSBIA BRAHIM Abderrazak Bachir

BOUKHELIFI KOUIDER Mohamed Youcef

Thème

*Etude et perspectives de l'exploitation du
pétrole en offshore dans le monde*

Soutenu publiquement

Le : **27 Juin 2019**

Devant le jury :

Président :

Dr **GUERMIT Tahar**

UKM Ouargla

Examineur :

Dr **KINA M.S.**

UKM Ouargla

Encadreur :

Dr **KABDI Zakaria**

UKM Ouargla

Année universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

D'abord Je remercie Allah, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail.

*Voici venu le temps de mettre un point final à ce manuscrit et à ces années d'études effectuées au sein de l'université KASDI MERBAH, sous la direction du Dr. **KABDI Zakaria**.*

Pour la confiance dont il a toujours fait preuve à mon égard, pour sa disponibilité et pour ses perpétuels encouragements.

A l'occasion, nous remercierons les membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Merci encore à tous...

Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

Nos parents.

Nos frères et sœurs.

Nos oncles et tantes.

La famille BOUSBIA.

La famille BOUKHELIFI.

Nos amis.

Sommaire

Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	II
Plan de travail	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Liste des abréviations	VII
Introduction générale	2

Chapitre I : Les gisements de pétrole en offshore dans le monde et en Algérie

I.1 Introduction	4
I.2 Les principaux champs offshore dans le monde	4
I.2.1 Golfe Persique	5
I.2.1.1 Les plus grands champs pétroliers en offshore dans le monde	5
I.2.1.1.1 Safaniya - le plus grand champ pétrolière offshore du monde.....	5
I.2.1.1.2 Upper Zakum	6
I.2.1.1.3 Manifa	6
I.2.2 Le Golfe du Mexique	7
I.2.3 La Mer du Nord.....	7
I.3 Les gisements en Offshore en Algérie	8
I.3.1 Introduction	8
I.3.2 Les régions riches en hydrocarbures en l'Algérie	8
I.3.3 Les zones minières à intérêt Offshore en Algérie	8
I.3.4 Le projet Algérien BEJ-1	9
I.3.4.1 La situation géographique de la zone du projet BEJ1	9
I.3.4.2 Le choix du matériel de forage en offshore pour le projet Algérien BEJ-1	10
I.3.4.2.1 Choix du Rig	10

I.3.4.2.1.1 Type de forage.....	10
I.3.4.2.1.2 La profondeur d'eau	10
I.3.4.2.1.3 Type des mers	10

Chapitre II : Réalités et perspectives sur l'exploitation des hydrocarbures en offshore dans le monde

II.1 Introduction.....	12
II.2 Convention sur le droit de la mer.....	12
II.2.1 Principales caractéristiques de la convention	12
II.3 Le droit de la mer	12
II.3.1 Eaux intérieures	12
II.3.2 La mer territoriale	13
II.3.3 La zone contiguë.....	13
II.3.4 La zone économique exclusive	13
II.3.5 Le plateau continental	14
II.3.6 Zones maritimes internationaux.....	14
II.3.6.1 Haute mer.....	14
II.3.6.2 Zone internationale des fonds marins	15
II.4 Futur de l'exploitation des hydrocarbures marin.....	16
II.4.1 La nécessité mondiale de développement de nouveaux gisements marins.....	16
II.4.2 La production des hydrocarbures en offshore.....	17

Chapitre III : Les méthodes et équipements d'exploration du pétrole en Offshore

III.1 Introduction	20
III.2 Etude géophysique.....	20
III.2.1 Méthode de prospection sismique	20
III.2.1.1 Méthode sismique de réfraction	20

III.2.1.1.1 Principe de la méthode sismique de réfraction.....	21
III.2.1.2 Méthode sismique de réflexion	21
III.2.1.2.1 Principe de la méthode sismique de réflexion.....	21
III.2.1.3 Comparaison entre les méthodes sismiques en onshore et en offshore.....	22
III.2.1.3.1 Méthode sismique en onshore	22
III.2.1.3.2 Méthode sismique en offshore.....	22
III.2.1.3.3 Les émetteurs des ondes sismiques en onshore	23
III.2.1.3.3.1 L'explosif	23
III.2.1.3.3.2 Le camion vibrant.....	23
III.2.1.3.4 Les émetteurs d'ondes sismiques en offshore	23
III.2.1.3.4.1 Navire sismique	23
III.2.1.3.4.2 Compresseur	24
III.2.1.3.4.3 Canon à air.....	24
III.2.1.4 Les ondes sismiques	24
III.2.1.4.1 Les ondes P.....	24
III.2.1.4.2 Les ondes S.....	24
III.2.1.5 Vitesses des ondes sismiques se propageant dans les roches	24
III.2.2 Méthode gravimétrique.....	25
III.2.2.1 Mesure du champ de gravité terrestre.....	25
III.2.2.2 Mesure du champ de gravité marine.....	26
III.2.2.2.1 Le gravimètre à la surface marine	26
III.2.2.2.2 Le gravimètre au fond marin	26
III.2.2.2.3 La gravimétrie obtenue à partir de mesures altimétriques.....	26
III.2.3 La méthode magnétique.....	27
III.2.3.1 La méthode de prospection magnétique en mer	27
III.2.4 La méthode électrique	27
III.2.5 Les différences entre les méthodes d'exploration du pétrole	28

Chapitre IV : Exploitation et production du pétrole en Offshore dans le monde

IV.1 Introduction	30
IV.2 Transport du personnel	30
IV.3 Le transport des produits	30
IV.4 Les moyens de transport.....	30
IV.4.1 Navire de ravitaillement en mer	30
IV.4.2 Hélicoptères.....	30
IV.5 Partie sécurité	30
IV.5.1 Partie sécurité relative aux dispositions générales	31
IV.5.2 Partie sécurité en ce qui concerne les installations et travaux en mer.....	31
IV.5.3 Partie sécurité relatifs aux travaux de forage et d'interventions lourdes à l'intérieur des sondages et des puits	31
IV.5.4 Partie sécurité des couloirs et issues de secours.....	31
IV.5.5 L'éclairage	32
IV.5.6 Travail en isolement	32
IV.5.7 Protection contre les explosions et les incendies en mer.....	32
IV.6 Les différents types de plateformes d'exploitation du pétrole en offshore	32
IV.6.1 Plates-formes fixes	32
IV.6.2 Plates formes mobiles et unités flottantes	33

Chapitre V : Dimensionnement de la conduite (diamètre) de transport du pétrole en offshore, du gisement à la plateforme

V.1 Modélisation du système	35
V.1.1 Equation de continuité	35
V.1.3.1 Projection des équations selon les directions (r, θ, z).....	36
V.1.3.1.1 Equation de continuité	36
V.1.3.2 Conditions aux limites et initiales.....	36
V.1.3.3 Equation de Bernoulli	37

V.1.3.3.1 Pertes de charge	37
V.1.3.3.1.2 Pertes de charges linéaires	38
V.2 Simulation.....	38
V.3 Résultats et discussions	38
V.3.1 Résultats.....	38
V.3.1.1 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L1.....	39
V.3.1.2 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L2.....	39
V.3.1.3 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L3.....	40
V.3.1.4 Variations de la pression en fonction de la longueur.....	40
V.3.1.5 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	41
V.3.1.6 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	41
V.3.1.7 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	42
V.3.1.8 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	42
V.3.1.9 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	43
V.3.1.10 Variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement pour différentes profondeurs.....	43
V.3.2 Discussions	44
Conclusion générale.....	46

Bibliographie.

Liste des figures

Chapitre I

Fig I.1 Carte mondiale des régions exploitant le pétrole en offshore	4
Fig I.2 La situation géographique du golfe persique	5
Fig.I.3 Safaniya le plus grand champ pétrolier en offshore dans le monde.	5
Fig I.4 Upper Zakum champ pétrolière en offshore	6
Fig I.5 Champ pétrolier de Manifa en offshore	6
Fig I.6 Les plateformes offshore du pétrole dans le golfe du Mexique	7
Fig I.7 Les champs pétroliers dans la Mer du nord	7
Fig I.8 Carte de situation du domaine minier en Algérie	8
Fig I.9 La situation géographique des zones minières en offshore en Algérie.....	9
Fig I.10 Les caractéristique de projet BEJ-1	9
Fig I.11 La situation géographique de la zone du projet BEJ-1	9

Chapitre II

Fig II.1 Zones maritimes internationales de la mer	15
--	----

Chapitre III

Fig III.1 Présentation de la méthode sismique de réfraction.	21
Fig III.2 Présentation de la méthode sismique de réflexion	21
Fig III.3 Schéma de principe de la méthode sismique en onshore	22
Fig III.4 Schéma de principe de la méthode sismique en offshore.....	22
Fig III.5 Canon à air	24
Fig III.6 Gravimètre terrestre	25
Fig III.7 Gravimètre marin de surface	26
Fig III.8 Gravimètre marin alimenté par satellite	26
Fig III.9 Coupe transversale d'un poisson équipé d'un magnétomètre	27
Fig III.10 Schéma de principe de la méthode électrique	28

Chapitre IV

Fig IV.1 Différents plate-formes d'exploitation du pétrole en offshore	33
--	----

Chapitre V

Fig V.1 Les données du gisement du projet Algérien de Béjaia	37
Fig V.2 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L1	39
Fig V.3 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L2	39
Fig V.4 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L3	40
Fig V.5 Représentation des Variations de la pression en fonction de la longueur	40
Fig V.6 Représentation des variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement.....	41
Fig V.7 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	41
Fig V.8 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	42
Fig V.9 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	42
Fig V.10 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement.....	43
Fig V.11 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement.....	43

Liste des tableaux

Chapitre I

Tab I.1 Classification des profondeurs d'eau en mer	10
---	----

Chapitre III

Tab III.1 Valeurs des vitesses V_p et V_s pour différents types de roches.....	25
--	----

Tab III.2 Les méthodes géophysiques, grandeurs mesurées, paramètres.....	28
--	----

Liste des abréviations

MT : Millions Tonnes.

EAU : Emirats Arabes Unis.

ZADCO : Zakum Development Company.

JODCO : Japan Oil Development Company.

HBB-1, ARZ-1 et ALG-1 : Bassins sédimentaires de côte nord d'Algérie.

VP : Vitesse des ondes de type P.

VS : Vitesses des ondes de type S.

Gal : Unité de mesure du champ de gravité ($1\text{Gal}=1\text{ cm.s}^{-2}$ ou 10^{-2} m.s^{-2}).

SMMII : Sonar Magnétisme Marin.

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

PST : Plan de Santé sur le lieu de Travail.

GPS : Global Position System.

TLP : Tension Leg Platforms.

FPSO : Floating Production Storage and Offloading.

MT : Mer Territorial.

ZEE : Zone Economique Exclusive.

OPEP : Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole.

Résumé

L'exploitation du pétrole dans les zones marines est l'un des sujets les plus importants du monde à notre époque, qui nécessite plusieurs opérations, d'abord une exploration, puis une exploitation. À travers ce travail, nous avons étudié les différentes méthodes utilisées dans la prospection et l'exploitation. Dans notre mémoire, nous avons étudié la plupart des plates-formes pétrolières dans le monde, ainsi que les perspectives du pétrole en offshore. Actuellement certains pays exploitent les ressources naturelles dans les zones internationales et d'autres non, à cause des moyens et d'un vide juridique dans ces zones internationales. Dans la partie scientifique de notre travail nous avons fait un dimensionnement de la conduite (diamètre) de transport du pétrole, du gisement de la zone de Béjaia, à la plate-forme de production pour assurer un transport adéquat.

Mots clés : Gisement, Offshore, Eau territoriale, Sismique, Exploitation, Plateformes flottantes, Champ pétrolière.

Abstract

The exploitation of oil in marine areas is one of the most important topics in the world today, which requires several operations, first exploration, then exploitation. Through this work, we studied the different methods used in prospecting and the next stage of exploitation. In our brief, we looked at most of the oil platforms around the world, as well as offshore oil prospects. Currently some countries exploit natural resources in international areas and others do not, because of the means and a legal vacuum in these international zones. In the scientific part of our work we have made a sizing of the oil transport pipe (diameter), from the deposit of the Bejaia zone, to the production platform to ensure an adequate transport.

Key words : Deposit, Offshore, Territorial Water, Seismic, Exploitation, Floating Platforms, Oil Field.

ملخص

يعد استغلال النفط في المناطق البحرية أحد أهم الموضوعات في العالم اليوم، والذي يتطلب العديد من العمليات، الاستكشاف الأول، ثم الاستغلال.

من خلال هذا العمل، درسنا الأساليب المختلفة المستخدمة في التنقيب ومرحلة الاستغلال في موجزنا، نظرنا إلى معظم منصات النفط في جميع أنحاء العالم، وكذلك آفاق النفط في البحرية. تستغل بعض الدول حاليًا الموارد الطبيعية في المناطق الدولية والبعض الآخر لا يستغلها، بسبب الامكانيات والفراغ القانوني في هذه المناطق الدولية. في الجزء العلمي من عملنا، قمنا بحساب أبعاد أنبوب نقل النفط (القطر)، من إيداع منطقة بجاية، إلى منصة الإنتاج لضمان النقل المناسب.

الكلمات المفتاحية : المكنن، المياه البحرية، المياه الإقليمية، الانعكاس السيزمي، الاستغلال، المنصات العائمة، حقل النفط.

Introduction générale

Introduction générale

Le pétrole est une source d'énergie non renouvelable, il impose plusieurs défis pour la plupart des pays du monde. Les anciens grands réservoirs sont en voie d'épuisement, ce qui peut conduire à un écart plus étroit entre la consommation et la production, ce qui nécessite au pays qui exporte le pétrole et autres pays d'exploiter de nouveaux gisements en offshore, rendant ainsi possible l'accès à des zones de concurrence entre les pays.

Les espaces maritimes couvrent 70% de notre planète. Ils stockent plusieurs importantes ressources d'énergie dans leur fonds comme le pétrole, selon le droit de la mer, les états ont le droit d'imposer leur souveraineté sur des zones limitées de leur côtés, ce qui a provoqué de grandes tensions entre pays sur l'accès à des zones non exploitées, comme les mers des zones internationales qui n'appartiennent à aucun pays, à cause d'un vide juridique.

En Algérie, sur une mer territoriale qui s'étend sur une longueur de 1200km, les champs en mer représentent un potentiel énorme dans le domaine de l'énergie, mais la complexité de sa structure géologique qui a été démontrée dans le traitement des résultats obtenus par la sismique de la côte, présente de nombreux défis. Les foreurs sont confrontés aux forages d'une formation plus récente que celle du Sahara, où un réservoir de gaz ou de pétrole doit être foré en profondeur sous la mer et peut être fracturé éventuellement. Des problèmes de perte et de menace pouvant survenir pendant le forage à cause des conditions maritimes. À cette fin, SONATRACH doit choisir du matériel et des techniques hautement sophistiquées en plus d'un personnel hautement expérimenté.

Notre travail comporte cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, on expose les différents champs pétroliers en offshore à travers le monde.

Dans le deuxième chapitre, on parlera du droit de la mer, des perspectives de l'exploitation des hydrocarbures en offshore dans le monde.

Dans le troisième chapitre, on décrit les différentes méthodes et équipements d'exploration du pétrole en Offshore.

Dans le quatrième chapitre, on parlera de l'exploitation et la production du pétrole en offshore dans le monde.

Dans le cinquième chapitre, on fait un dimensionnement de la conduite (diamètre) de transport du pétrole en offshore du gisement à la plateforme (cas réel du projet offshore du Béjaia).

Chapitre I

Les gisements de pétrole en offshore dans le monde et en Algérie

I.1 Introduction

Les plates formes offshore sont réparties dans plusieurs régions du monde comme aux états unis, la mer du nord, le golfe persique, l'Afrique....

Dans ce chapitre, nous allons présenter les grands pays qui exploitent le pétrole dans les espaces maritimes et les plus grands champs d'hydrocarbures en mer dans le monde. Nous allons d'abord donner un aperçu sur la localisation de ces gisements, leurs capacités de production, puis on parlera de l'Algérie avec l'exploitation des gisements d'hydrocarbures qui existent sur les côtes Algériennes en mer méditerranéenne.

I.2 Les principaux champs offshore dans le monde

Les principaux gisements offshore sont répartis dans le monde entier, mais les trois plus grandes zones pétrolières offshore sont situées dans le golfe Persique. C'est le résultat des activités de forage pétrolier depuis les années 1950.

De plus, de l'autre côté du monde, il existe plusieurs importantes zones pétrolières en offshore. Le bassin du golfe du Mexique, la mer du nord, la mer Caspienne. Au large des côtes du Brésil, il y a un gisement pétrolier gigantesque dont le développement est considérable. Le champ de Kashagan, au nord de la mer Caspienne, est la plus grande zone pétrolière en dehors du Moyen-Orient [1].

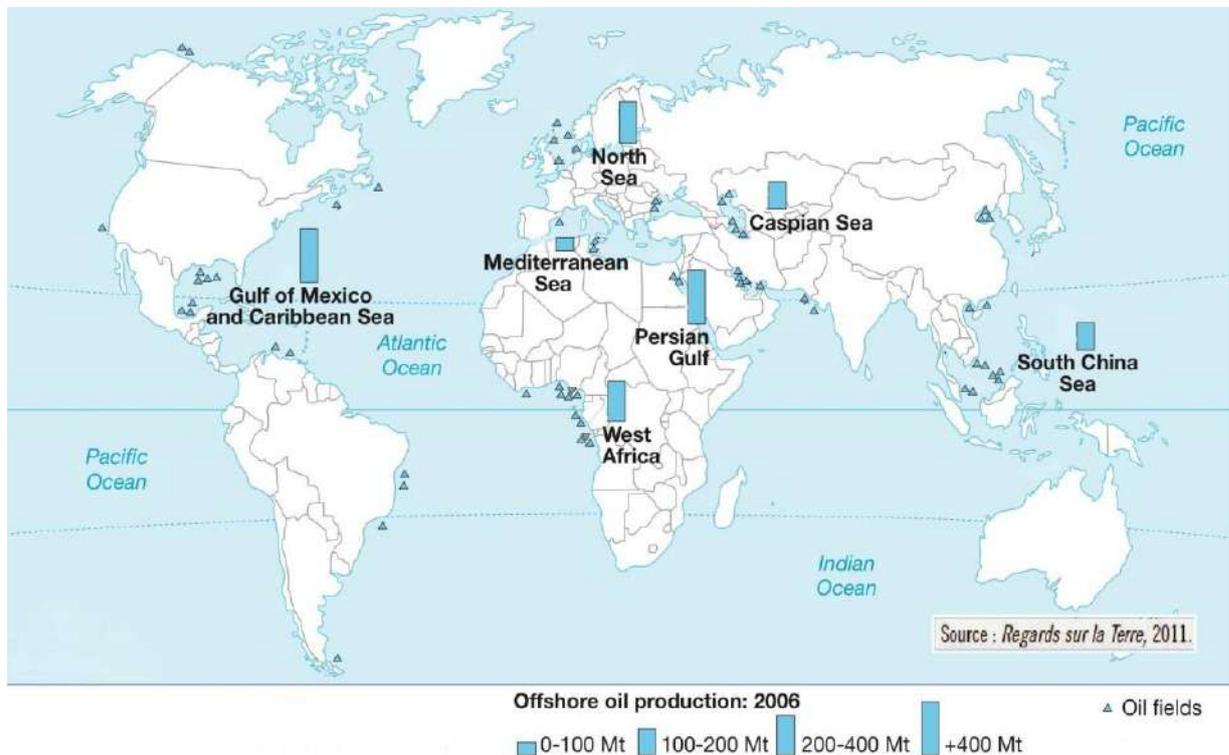


Fig I.1 Carte mondiale des régions exploitant le pétrole en offshore [2]

I.2.1 Golfe Persique

Le golfe persique est un golfe de l'océan Indien qui s'étend sur une superficie de 251 000 km². Il sépare l'Iran de la péninsule Arabique. Les pays qui le bordent sont : L'Iran au nord-est, l'Irak, le Koweït, l'Arabie saoudite à l'ouest, le Bahreïn, le Qatar et les Émirats arabes unis au sud et Oman à quelques kilomètres de côtes à l'est, il communique avec le golfe d'Oman et la mer d'Arabie en passant par le détroit d'Ormuz. La profondeur du golfe Persique ne dépasse pas les 100 m malgré la forte salinité [3].



Fig I.2 La situation géographique du golfe persique

I.2.1.1 Les plus grands champs pétroliers en offshore dans le monde

Les trois grands champs pétroliers en offshore dans le monde sont situés dans le golfe Persique, au large des côtes de l'Arabie saoudite et des Émirats arabes unis.

I.2.1.1.1 Safaniya - le plus grand champ pétrolière offshore du monde

Le champ Safaniya dans le golfe Persique, en Arabie saoudite, est le plus grand champ offshore au monde. il appartient et est exploité par Saudi Aramco, la compagnie nationale de pétrole et de gaz naturel d'Arabie saoudite. On pense que le champ contient une réserve totale estimée à plus de 50 milliards de barils. Selon les estimations, les réserves de pétrole récupérables sur le terrain pourraient atteindre 36 milliards de barils. Elle est exploitée avec plus de 624 puits de production et une série de plates-formes différentes. La capacité de production quotidienne du gisement de pétrole brut lourd atteint 1,5 million de barils.



Fig.I.3 Safaniya le plus grand champ pétrolier en offshore dans le monde

I.2.1.1.2 Upper Zakum

Le champ pétrolière Upper Zakum, situé à 84 km au nord-ouest des îles Abu Dhabi, dans les Émirats Arabes Unis (EAU), et dans le golfe Persique, il est le deuxième plus grand champ pétrolier en offshore du monde. Ce gisement pétrolier en offshore contiendrait environ 50 milliards de barils de pétrole et une réserve de pétrole récupérable estimée à 21 milliards de barils. Le gisement Upper Zakum est exploité par Zakum Development Company (ZADCO), une entreprise commune de la compagnie pétrolière nationale d'Abou Dhabi (ADNOC 60%), ExxonMobil (28%), et Japan Oil Development Company (JODCO 12%).

La capacité de production actuelle du champ est de 500.000 barils de pétrole brut par jour. Le pétrole brut de la partie supérieure de Zakum est envoyé pour traitement, stockage et exportation supplémentaires sur l'île de Zirku, située à 140 km au nord-ouest d'Abou Dhabi.

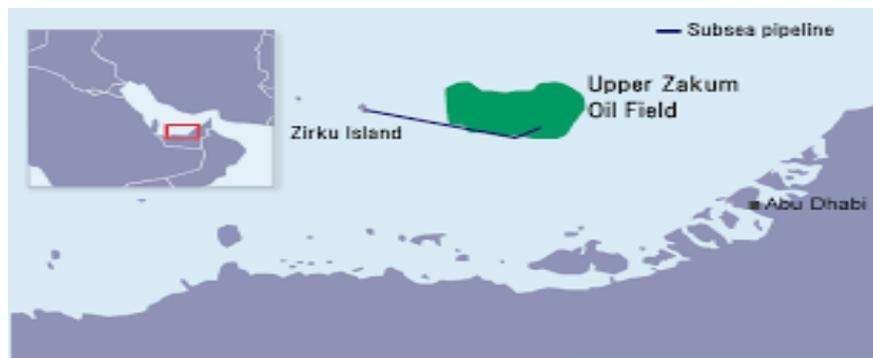


Fig I.4 Upper Zakum champ pétrolière en offshore

I.2.1.1.3 Manifa

Le gisement de pétrole de Manifa, situé au sud-est du champ de Safaniya, dans les eaux peu profondes du golfe Persique, en Arabie saoudite, contiendrait une réserve de pétrole récupérable pouvant atteindre 13 milliards de barils. Il s'agit d'un gisement en offshore de pétrole brut lourd, exploité par Saudi Aramco. Sa production a commencé en 1964 avec une capacité journalière de 200.000 barils. Il a été mis hors service en 1984 en raison de la réduction de la demande de son pétrole brut lourd. En 2007, Saudi Aramco a décidé d'investir dans le redémarrage de la production de Manifa, avec une capacité accrue, le prix du pétrole dépassant 70 dollars le baril [4].



Fig I.5 Champ pétrolier de Manifa en offshore

I.2.2 Le Golfe du Mexique

Le Golfe du Mexique est un golfe de l'océan Atlantique, situé au sud-est de l'Amérique du Nord. Il s'étend sur une superficie de 1.550.000 km². Les États américains du Texas, de la Louisiane, du Mississippi, de l'Alabama et de la Florida bordent le golfe au nord. Le pétrole et le gaz en mer dans le golfe du Mexique sont une source majeure aux États-Unis. L'ouest et le centre du golfe du Mexique, qui comprennent les zones extracôtières du Texas, de la Louisiane, du Mississippi et de l'Alabama, sont les principales régions productrices de pétrole des États-Unis [5].

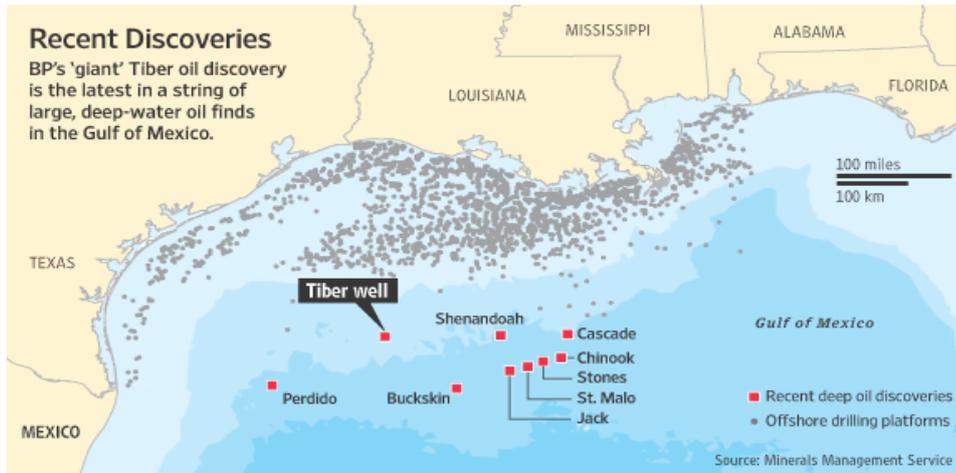


Fig I.6 Les plateformes offshore de pétrole dans le golfe du Mexique [6]

I.2.3 La Mer du Nord

La Mer du Nord est une mer de l'océan Atlantique, située au nord-ouest de l'Europe, et qui s'étend sur une superficie d'environ 575.000 km². Les pays qui bordent la mer du Nord sont le Royaume-Uni à l'ouest, l'île Shetland au nord-ouest, la Norvège au nord-est, la Belgique et la France au sud. Six des plus grands gisements de pétrole de la Mer du Nord se trouvent sur le plateau continental norvégien. La technologie offshore répertorie les plus grands gisements de pétrole de la mer du Nord sur la base de la dernière estimation disponible des réserves récupérables [7].



Fig I.7 Les champs pétroliers dans la Mer du nord

I.3 Les gisements en Offshore en Algérie

I.3.1 Introduction

Les hydrocarbures sont la première source d'énergie en Algérie, le cœur de l'économie, en particulier le pétrole, comme le pétrole est une énergie non renouvelable et que sa consommation pousse beaucoup à sa mise en œuvre, l'Algérie a donc envisagé d'explorer de nouveaux bassins, en offshore dans ses côtes de la mer méditerranéenne.

I.3.2 Les régions riches en hydrocarbures en l'Algérie

L'Algérie est très riche en Hydrocarbures, répartis dans plusieurs wilayas. Les anciens gisements se trouvent au sud d'Algérie (Hassi Messaoud, In-aimenas, alrar, Stah, Insalah, Berkine, Oued Noumer...). Les récents gisements découverts se situent au sud-ouest et au Nord du pays (Adrar, Bechar, Bouira, Tébessa) ainsi que d'autres gisements explorés récemment au Nord-est et en Offshore (Bejaia-Annaba, Mostaganem-Oran). Les gisements d'hydrocarbures en Offshore s'étalent d'est en ouest sur une longueur de 1200 km. Ces bassins de l'Offshore couvrent une superficie de 95.000 km² environ.

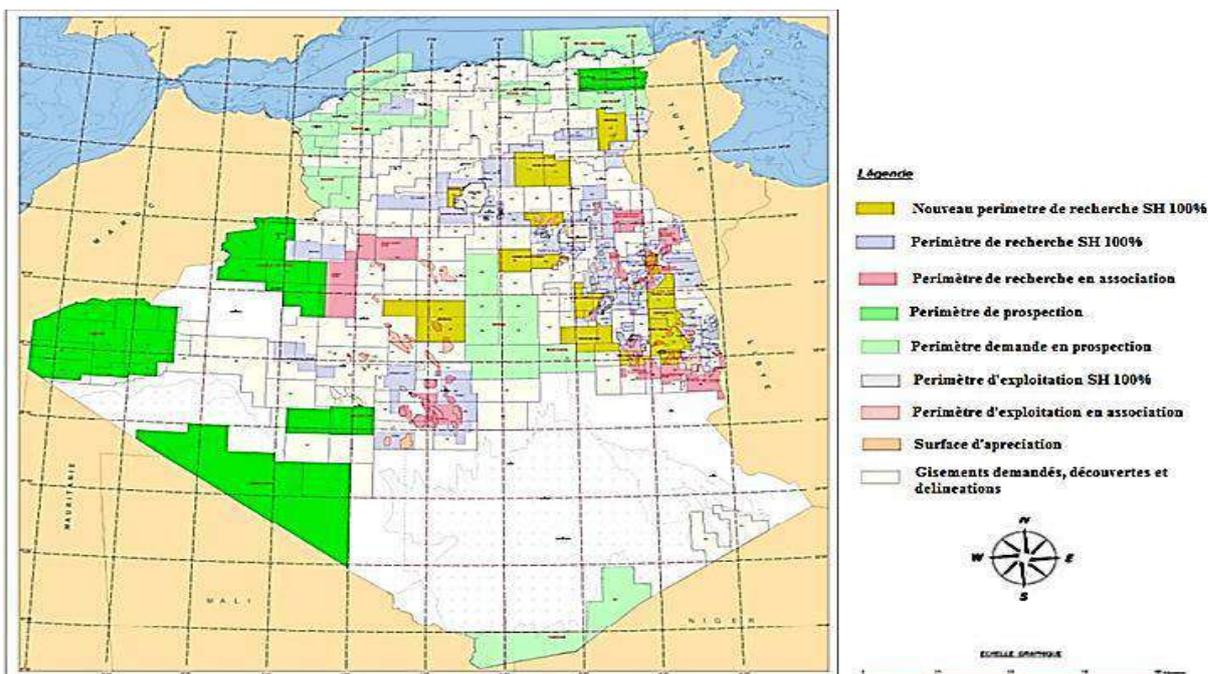


Fig I.8 Carte de situation du domaine minier en Algérie [8]

I.3.3 Les zones minières à intérêt Offshore en Algérie

Les bassins sédimentaires de la côte nord d'Algérie couvrent un vaste domaine minier. Ils sont répartis sur (HBB-1, ARZ-1 et ALG-1). Soit une capacité de forage de 4 forages pour 100.000 km². La zone (bassin algéro-baléare) a également fait l'étude gravimétriques ou magnétiques réalisés par différentes compagnies (SONATRACH, IFP/CNEXO...).

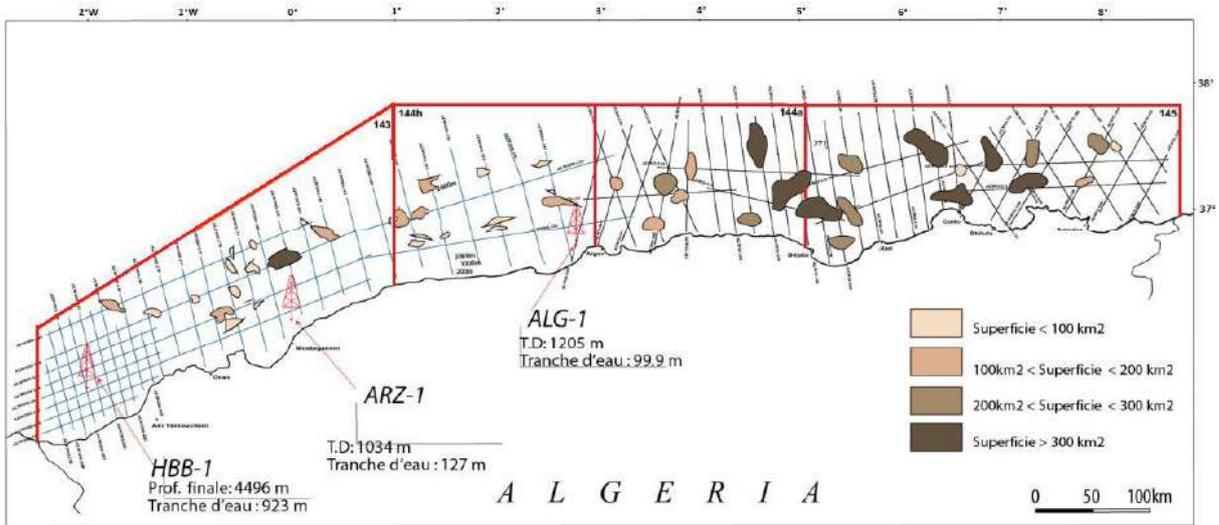


Fig I.9 La situation géographique des zones minières en offshore en Algérie [8]

I.3.4 Le projet Algérien BEJ-1

Le projet Algérien BEJ-1 situé à Béjaia, est présenté dans la figure I.10 ci-dessous.

Entreprise :	SONATRACH OFFSHORE
Projet :	ALGERIE OFFSHORE
Location :	BEJAIA
Puit :	BEJ - 1
Conception :	OFFSHORE
Type de puits :	SOUS-MER
Profondeur d'eau :	2010.00 m
Profondeur totale :	6010.00 m
Pression a profondeur 2125.00 m :	212.22 Bar
Pression au gisement :	825.13 Bar
Température au gisement :	85.00 °C

Fig I.10 Les caractéristique de projet BEJ-1 [8]

I.3.4.1 La situation géographique de la zone du projet BEJ1

Le projet BEJ-1 se situé au large de la côte est du littoral Algérien à une distance de 40 km de la ville de Bejaia et 80 km de la ville de Jijel. La profondeur totale du puits est 6010 m avec une profondeur d'eau de 2000m.



Fig I.11 La situation géographique de la zone du projet BEJ-1 [8]

I.3.4.2 Le choix du matériel de forage en offshore pour le projet Algérien BEJ-1

I.3.4.2.1 Choix du Rig

Pour faire le choix du Rig pour l'exploitation des hydrocarbures en offshore, l'ingénieur de forage trouve des critères qui conditionnent le choix, parmi ces critères on a : le type de forage, La profondeur d'eau et le type des mers.

I.3.4.2.1.1 Type de forage

- **Le forage d'exploration** : son but est de définir la nature des fluides présents dans la roche mère et d'obtenir des données sur le gisement.
- **Le forage d'expertise** : le but de ce forage est de compléter les informations fournies par le forage d'exploration, en déterminant les caractéristiques du gisement, ses limites, sa rentabilité...
- **Le forage de développement** : le but principal de ce type de forage est d'effectuer des puits en service ou en production.

En Algérie on est actuellement en phase d'exploration.

I.3.4.2.1.2 La profondeur d'eau

Nom	Profondeur d'eau H [m]
Eaux peu profonde	≤ 200
Eaux moyennement Profond	$200 < H \leq 450$
Grands fonds (Deepwater)	$450 < H \leq 1500/1800$
<i>Ultra Grands fonds (ultra Deepwater).</i>	$1800 < H \leq 2500/3000$

Tab I.1 Classification des profondeurs d'eau en mer

Pour les profondeurs en Ultra Deepwater (projet Algérien), les supports utilisés pour le forage sont des Drillship et des Semi-submersibles.

I.3.4.2.1.3 Type des mers

- Mer difficile (Semi-submersible).
- Mer calme (Drillship, Semi-submersible).

En Algérie, la mer est du type calme étant donné que l'Algérie est bordée au nord par la mer méditerranée [8].

Chapitre II

Réalités et perspectives sur l'exploitation des hydrocarbures en offshore dans le monde

II.1 Introduction

Les zones marines posent des défis majeurs aux pays, notamment en matière économique, en termes de défense nationale et plus récemment, en matière d'environnement et de développement durable. Pour cette raison, les États ont toujours essayé d'imposer leur souveraineté, sous réserve des réglementations internationales et nationales. Le texte de référence sur les questions internationales est la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'état de l'exploitation actuelle des espaces maritimes. Nous allons, d'abord donner un aperçu sur la convention des nations unies sur le droit de la mer, puis on parlera des perspectives de l'exploitation des hydrocarbures outre mer.

II.2 Convention sur le droit de la mer

Le champ d'application des instruments juridiques, est large et couvre toute la zone marine et ses utilisations, y compris la navigation et l'aviation, l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures en offshore, la conservation des ressources biologiques, la protection de la préservation du milieu marin et la recherche scientifique marine.

II.2.1 Principales caractéristiques de la convention

1. Les États côtiers ont la souveraineté sur leur mer territoriale, qui s'étend jusqu'à 12 milles marins de la côte. Les navires et les aéronefs de tous les pays bénéficient du "droit de passage inoffensif".
2. Les États côtiers ont des droits souverains sur les ressources naturelles et certaines activités économiques dans une "zone économique pure" de 200 milles marins.
3. Les États côtiers ont compétence sur les ressources du plateau continental (extension du sous-marin sur le territoire de l'État) pour explorer et exploiter ses ressources naturelles. La portée maximale est à 200 milles marins de la côte, voire davantage dans certains cas [9].

II.3 Le droit de la mer

Le droit de la mer est un ensemble de coutumes, de traités et d'accords internationaux régissant le maintien de l'ordre, la productivité et les relations pacifiques en mer.

II.3.1 Eaux intérieures

L'eau est comprise entre le rivage et la ligne de base à partir de laquelle la largeur de la mer territoriale est mesurée. Les ports, les estuaires et les baies historiques sont des eaux intérieures et de la souveraineté totale de l'Etat. L'accès à ces eaux relève de la seule responsabilité de l'État côtier, qui applique intégralement ses lois et ses règlements. Les navires privés étrangers ont le droit d'entrer librement dans les ports sur la base d'une disposition traditionnelle. Un État peut réglementer ou même empêcher l'accès à ses ports de navires de guerre étrangers, qui jouissent en tout cas d'une immunité totale [10].

II.3.2 La mer territoriale

La mer territoriale (MT) s'étend sur 12 milles marins ou 22,24 kilomètres de la ligne de base. Conformément à l'article 2 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, "la souveraineté de l'État côtier s'étend au-delà de son territoire et de ses eaux intérieures jusqu'à une zone de la mer voisine appelée mer territoriale".

Cette souveraineté s'étend à l'espace aérien situé au-dessus de la mer, La souveraineté de la mer s'exerce dans les conditions prévues par les dispositions de la Convention et par d'autres règles du droit international. "En fait, l'État côtier exerce sa souveraineté sur cette zone en matière économique et de police. Cette souveraineté s'explique par le principe "la terre domine la mer" et se traduit par le monopole de l'État côtier sur l'exploitation de la mer territoriale et l'adoption de règles nationales pour réglementer les activités qui en résultent.

De même, selon l'art 193 de la Convention, "les États ont le droit souverain d'exploiter leurs ressources naturelles conformément à leurs politiques en matière d'environnement et à leur obligation de protéger et de préserver le milieu marin". L'État peut donc exploiter la ressource mais d'une manière qui permet la conservation de la ressource et la préservation de l'environnement naturel [11].

II.3.3 La zone contiguë

Conformément à l'article 33 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, la zone contiguë s'étend à 12 milles marins de la ligne extérieure de la mer territoriale et à 24 milles marins de la ligne de base. Le même article dispose qu'un État côtier peut exercer le contrôle nécessaire dans le but de prévenir les violations de ses lois et règlements de base sur les douanes, les finances, la santé ou l'immigration, sur son territoire [11].

II.3.4 La zone économique exclusive

L'exposition maximale de la ZEE est de 200 milles (370 km) en dehors des lignes de base. L'État côtier a des droits souverains aux fins de la prospection, de l'exploitation, de la conservation et de la gestion des ressources naturelles, des eaux submergeant les fonds marins et les fonds marins. L'État côtier a le droit souverain d'explorer et d'exploiter les ressources naturelles ou non naturelles des eaux qui submergent les fonds marins. Il a également le droit de conserver et de gérer les ressources naturelles biologiques (à l'exclusion des espèces stables soumises au régime du plateau continental) ou non biologiques, par exemple : la part de pêche, les périodes de pêche... En outre, l'État côtier conserve des droits souverains sur d'autres activités qui tendent à exploiter et à explorer la zone économique exclusive à des fins économiques, telles que la production d'énergie.

L'État côtier a également le droit exclusif de procéder à la construction, à la délivrance des licences, à la réglementation, à l'exploitation et à l'utilisation des îlots industriels, des installations et des entreprises. L'État côtier a la compétence exclusive sur ces îles, installations et travaux industriels, y compris les lois et réglementations douanières, financières, sanitaires, de sécurité et d'immigration. Toutefois, l'État côtier a le droit exclusif d'organiser, de concéder sous licence et de mener des recherches scientifiques marines dans la

zone économique exclusive, en tenant compte des intérêts des autres états participant à la recherche scientifique marine. Toutefois, des recherches sont menées dans la zone économique exclusive avec l'assentiment de l'État côtier concerné. Les droits de protéger le milieu marin ne sont pas exclusifs, mais l'État côtier conserve la compétence législative et exécutive en matière de dumping, de pollution par d'autres navires et de pollution due aux activités en mer profonde. L'État côtier doit également garantir la liberté de navigation, la liberté de circulation et la liberté de développer des câbles et des pipelines sous-marins, toujours avec le consentement de l'État côtier [10].

II.3.5 Le plateau continental

Géographiquement, il s'agit du bord submergé du littoral, qui descend doucement sous la mer. La définition légale est différente : tous les États ont un, de 200 milles marins des lignes de base qui mesurent la largeur de la mer territoriale. Il s'agit d'une définition complexe et erronée, pour des raisons politiques plutôt que juridiques, un compromis entre des pays qui n'ont pas de plateau continental naturel et ceux de très grande taille. La convention sur le droit de la mer définit les critères suivants :

1. Le plateau continental légal s'étend des lignes de base à au moins 200 milles marins, même en l'absence de plateau continental géologique.
2. Si le plateau continental naturel dépasse 200 milles marins, il sera suspendu légalement au bord extérieur de la marge continentale, c'est-à-dire lorsque le plateau continental cessera géologiquement.
3. Dans tous les cas, le plateau continental légal ne peut dépasser le maximum autorisé : soit 350 milles marins de lignes de base, soit 100 milles marins en arrière de la ligne des 2500 mètres (La ligne reliant des points de profondeur égale = 2500 mètres). L'état côtier est libre de choisir entre la distance standard et la profondeur standard, le standard le plus approprié.

Le régime juridique du plateau continental ne concerne que le fond et le sol de la Terre au-delà de la mer territoriale. L'état côtier détient des droits souverains sur l'exploitation et l'exploration des ressources naturelles du plateau continental, qui se rapportent aux fonds marins et à leur sous-sol, à l'exclusion des eaux surjacentes [10].

II.3.6 Zones maritimes internationales

II.3.6.1 Haute mer

La haute mer commence au-delà de la limite extérieure de la zone économique et représente 64% de la surface de l'océan. Le principe de la liberté prévaut : liberté de navigation, survol, pêche, recherche scientifique, pose de câbles et de pipelines, construction d'îles industrielles. Le régime juridique auquel il s'applique est le système des autorités de l'État dont le navire bat pavillon. Ils constituent donc une compétence personnelle, basée sur la nationalité du navire. Les États côtiers n'ont le droit d'engager des poursuites en haute mer que lorsque des poursuites sont engagées dans une zone relevant de la juridiction de l'État en question.

II.3.6.2 Zone internationale des fonds marins

La zone internationale des fonds marins comprend les fonds marins. Cela commence là où les étagères continentales coulent. La Convention sur le droit de la mer consacre le principe de la résolution de l'Assemblée générale : la région est à l'abri de toute dépendance, le "bien public" ne devrait être utilisé qu'à des "fins pacifiques exclusives" et être exploité "dans l'intérêt de toute l'humanité". Si la propriété nationale des ressources de la région est interdite, la Convention instaure un système d'appropriation collective par l'intermédiaire de l'Autorité internationale des fonds marins, agissant au nom de l'humanité tout entière, mais peut tirer des revenus de cette exploitation par le l'intermédiaire d'un organisme spécifique, l'institution (non encore mise en œuvre). Toutefois, l'exploitation potentielle des ressources des fonds marins, en particulier des nodules polymétalliques, et les risques économiques que cela pourrait présenter ont conduit les pays développés à négocier un accord pour appliquer les dispositions de la convention des nations unies sur le droit de la mer.

Sous la pression des États-Unis, un accord a rétabli la partie XI de la Convention en accordant davantage de pouvoirs aux pays industrialisés au sein de l'Autorité (droit de veto au Conseil) et à l'investissement privé, aux dépens de l'objectif premier du texte en 1982, qui vise une redistribution équitable de ces richesses à l'échelle mondiale. Huit pays, dont la France, ont reçu des contrats d'exploration dans la région du fonds international pour les fonds marins [10].

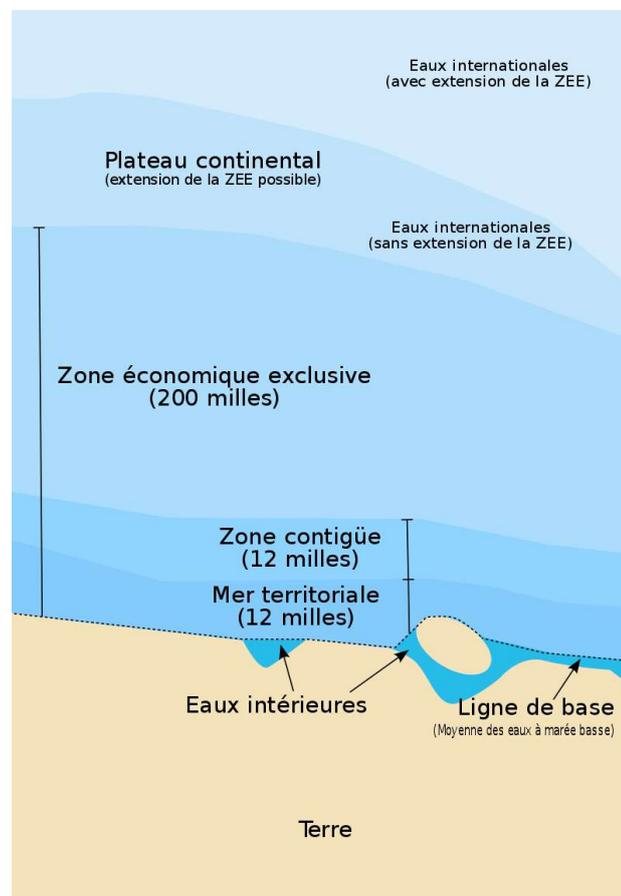


Fig II.1 Zones maritimes internationales de la mer [10]

II.4 Futur de l'exploitation des hydrocarbures marin

La production des hydrocarbures en mer est devenue une routine. Il existe actuellement environ 900 grandes plates-formes pétrolières et gazières dans le monde. Au fil du temps, les ingénieurs ont pénétré de plus en plus dans les profondeurs, car avec la hausse des prix du pétrole, la production des hydrocarbures en eaux profondes, bien que coûteuse, est devenue une activité lucrative. Les technologies de forage et d'extraction devenant également de plus en plus sophistiquées, il est désormais possible d'extraire du pétrole et du gaz à des profondeurs toujours plus grandes.

II.4.1 La nécessité mondiale de développement de nouveaux gisements marins

Les réserves et les ressources prouvées de pétrole brut restantes en 2011 s'élevaient à environ 585 milliards de tonnes. Les huiles non conventionnelles représentaient 258 milliards de tonnes de ce total. Cependant, la répartition mondiale des gisements de pétrole est extrêmement inégale. Près de 50% des réserves et des ressources pétrolières proviennent d'États de l'OPEP tels que l'Iraq, l'Iran, le Koweït, l'Arabie saoudite et le Venezuela, alors qu'environ 20% seulement représentent les régions de l'Australie, de l'Afrique et de l'Europe.

Compte tenu de l'ampleur des réserves et des ressources pétrolières actuelles, il est clair que d'un point de vue géologique, suffisamment de pétrole sera disponible dans le monde au cours des prochaines années pour permettre une augmentation modérée de la consommation. Mais sera-t-il toujours possible de fournir des quantités suffisantes de ce vecteur d'énergie lorsqu'il en aura besoin à l'avenir ? Cela ne peut pas être prédit avec certitude. Jusqu'à présent, toutefois, il a été possible de calibrer la production de pétrole de manière à toujours en satisfaire la demande.

Néanmoins, certaines critiques ont prédit un scénario appelé «pic pétrolier ». C'est le moment où la production annuelle de pétrole dans le monde atteint un sommet sans précédent - un sommet historique - avant de commencer à décliner. Mais avec la découverte constante de nouveaux gisements de pétrole et la sophistication croissante des technologies d'extraction, la production a en fait augmenté de manière constante dans le monde entier. Certains experts prédisent maintenant un « plateau maximum » au cours des prochaines années : cela signifie que la production de pétrole sera maintenue à un niveau élevé pendant une longue période.

Toutefois, les prix du pétrole continueront d'augmenter, la production pétrolière s'appuyant de plus en plus sur des gisements non conventionnels, dont l'exploitation nécessitera un effort technique considérable. Ils comprennent les sables bitumineux, qui sont exploités à grande échelle au Canada, et le pétrole de schiste, qui est piégé dans des couches de roche presque imperméables et dont l'extraction nécessite donc également un effort technique important. La production de pétrole en mer à des profondeurs toujours plus grandes entraînera également une hausse des prix du pétrole. Les experts prévoient que d'ici 2015, jusqu'à 12% du pétrole sera extrait de projets en eaux profondes à une profondeur supérieure à 200 mètres, contre 2% seulement en 2001. Il est donc difficile de prévoir à ce stade, au moment précis où la production mondiale de pétrole commencera à décliner ou lorsque le pétrole deviendra

effectivement une ressource rare. Si toutes les ressources pétrolières sont systématiquement exploitées, ce point ne sera probablement pas atteint avant 2035. Néanmoins, certains pays ont déjà enregistré un pic pétrolier dans leur pays. Le Royaume-Uni en est un exemple : la production de pétrole au Royaume-Uni a culminé en 1999 [12].

II.4.2 La production des hydrocarbures en offshore

Aujourd'hui, la plupart des activités d'extraction de pétrole et de gaz ont encore lieu à terre. Néanmoins, une quantité considérable de gaz et de pétrole est déjà produite en mer. L'extraction de pétrole en mer représente actuellement 37% de la production mondiale. À l'heure actuelle, 28% de la production mondiale de gaz a lieu en haute mer - et cela ne cesse d'augmenter. L'extraction du charbon n'a actuellement pas lieu au large des côtes. Pendant de nombreuses années, la production de pétrole et de gaz naturel en mer s'est limitée à des eaux peu profondes telles que la mer du Nord ou des zones côtières autour des États-Unis. Cependant, à mesure que de nombreux gisements anciens s'épuisent, les entreprises se déplacent de plus en plus dans les eaux profondes. Trois catégories de profondeur distinctes sont définies :

- Production d'eau peu profonde à des profondeurs inférieures à 400 mètres.
- Production en eaux profondes à des profondeurs allant jusqu'à environ 1500 mètres.
- Production en eaux ultra profondes à des profondeurs supérieures à 1500 mètres.

Grâce à la dernière technologie d'exploration géophysique à haute résolution, les scientifiques sont désormais en mesure de détecter les gisements de pétrole et de gaz situés dans les fonds marins et d'autres couches géologiques à une profondeur de 12 km. En conséquence, de nombreux nouveaux gisements importants ont été découverts ou récemment étudiés ces dernières années. Les secteurs des eaux profondes et ultra profondes deviennent donc de plus en plus importants. Il est également intéressant de noter que les gisements offshore récemment découverts sont généralement environ 10 fois plus grands que ceux découverts, ce qui rend la production en eaux profondes et ultra profondes très attrayante malgré des coûts plus élevés. À l'échelle mondiale, l'extraction de pétrole et de gaz à des profondeurs d'eau supérieures à 400 mètres est actuellement limitée, ne représentant que 7% de la production.

Cela s'explique en partie par le fait que seuls 38% des champs éprouvés en eaux profondes et ultra profondes sont actuellement en production. La plupart de ces champs font encore l'objet de levés détaillés, tandis que des essais préliminaires ont déjà eu lieu dans certains cas. De nombreux experts s'accordent pour dire que les gisements en eaux profondes et ultra profondes sont le dernier rempart de la production pétrolière. Bon nombre des champs autrefois à fort rendement situés en mer et dans des eaux peu profondes sont presque épuisés ; il n'existe donc pratiquement aucune alternative à la production en eaux profondes et ultra-profondes maintenant et dans les années à venir.

Mais la production de pétrole dans ces profondeurs d'eau est-elle viable ? Cela dépend en définitive des prix du pétrole. En règle générale, plus l'eau est profonde, plus les coûts d'extraction sont élevés. L'industrie pétrolière offshore extrait le pétrole principalement à partir de sources conventionnelles. Toutefois, si les prix du pétrole continuent d'augmenter de manière significative au cours des prochaines décennies, l'exploitation de gisements non conventionnels, tels que le pétrole de schiste, pourrait bien devenir une solution de plus en plus attrayante dans les pays offshore. Mais c'est encore loin [12].

Chapitre III

Les méthodes et équipements d'exploration du pétrole en Offshore

III.1 Introduction

Le pétrole se trouve après sa formation dans la terre au fond des mers, pour être extrait et exploité, il existe plusieurs méthodes d'exploration pour révéler son emplacement précis, sa profondeur, le type du sol, la roche mère et le réservoir.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes méthodes d'exploration qui permettent de localiser un gisement. Nous allons, d'abord donner un aperçu sur la méthode sismique, puis on parlera des autres méthodes d'exploration telle que la méthode gravimétrique, la méthode électrique, la méthode magnétique. La méthode sismique est la plus utilisée qui a connue un grand succès notamment dans la recherche.

III.2 Etude géophysique

La géophysique est la branche d'étude de la Terre utilisant des méthodes gravimétriques, magnétiques, électriques et sismiques. Certains géophysiciens passent la plupart de leur temps à l'extérieur à étudier diverses caractéristiques de la Terre, tandis que d'autres passent la majeure partie de leur temps à l'intérieur, à utiliser des ordinateurs pour la modélisation et les calculs. Certains géophysiciens utilisent ces méthodes pour trouver du pétrole, du fer, du cuivre et de nombreux autres minéraux. Certains évaluent les propriétés de la terre en fonction des risques environnementaux et des zones de barrages ou de chantiers de construction. Les géophysiciens dans la recherche étudient la structure interne de la terre et son évolution, les séismes de l'océan et d'autres caractéristiques physiques à l'aide de ces méthodes [13].

III.2.1 Méthode de prospection sismique

Les levées sismiques constituent la première étape de l'exploration pétrolière en mer. Cela consiste à générer de fortes ondes sonores, généralement de basse fréquence. Leurs réflexions sur les fonds marins et les couches souterraines fournissent des données sur le potentiel pétrolier et gazier de la région [14]. C'est une méthode d'exploration et d'imagerie souterraine qui permet une visualisation géologique profonde en analysant les échos des ondes sismiques. L'exploration sismique consiste à produire des séismes à faible impact (vibrations), à partir de sources artificielles (vibromètre, explosif, canon à air comprimé, etc.) et à enregistrer le temps nécessaire pour que ces déformations reliées au milieu géologique soient restituées. Ces séismes ont pour but de déterminer la profondeur et la forme des discontinuités géologiques qui forment le sous-sol [15].

III.2.1.1 Méthode sismique de réfraction

C'était la première méthode sismique utilisée dans l'exploration pétrolière. Dans les années 1950-1960, il était possible de trouver des sédiments du désert (Hassi-Messaoud). Actuellement, l'utilisation de la réfraction sismique est limitée au génie civil et à l'hydrologie. [16].

III.2.1.1.1 Principe de la méthode sismique de réfraction

Cette technique provoque un choc à la surface de la Terre, et analyse la diffusion de différents types d'ondes émises et mesure la vitesse de propagation des ondes. Chaque type d'onde est pris en charge par une méthode particulière. La réfraction sismique est une méthode de propagation des ondes sismiques similaire à la réflexion sismique, aux formes d'onde de surface et aux séismes. La réfraction sismique est basée sur l'analyse des ondes de compression P réfractées à la surface des couches. La vitesse (VP) est calculée en mesurant l'heure d'arrivée des premières ondes brisées (après accès direct) [17].

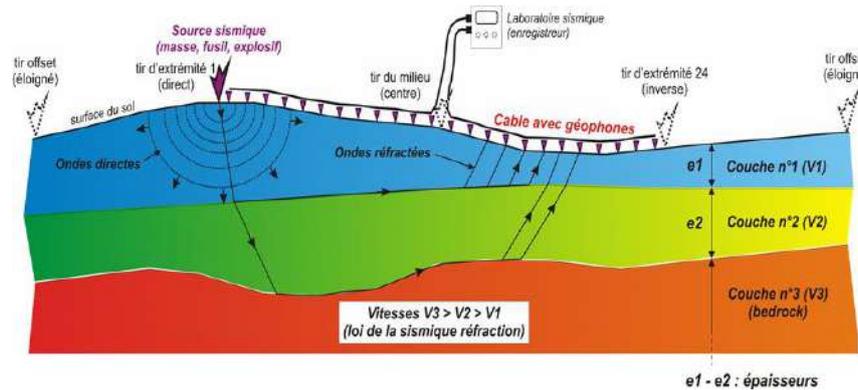


Fig III.1 Présentation de la méthode sismique de réfraction.

III.2.1.2 Méthode sismique de réflexion

Elle est la plus courante pour déterminer les structures de surface. La réflexion sismique est largement utilisée pour l'exploration industrielle, elle est responsable de la découverte de nombreux gisements de pétrole.

III.2.1.2.1 Principe de la méthode sismique de réflexion

Il s'agit de faire vibrer le sol, d'observer et de détecter les ondes réfléchies à la surface pour estimer les propriétés du sol sous-jacent et d'identifier les structures souterraines géologiques. La réflexion sismique est appliquée dans divers domaines de recherche tels que la géologie, l'hydrographie, la recherche pétrolière et minière et le génie civil.

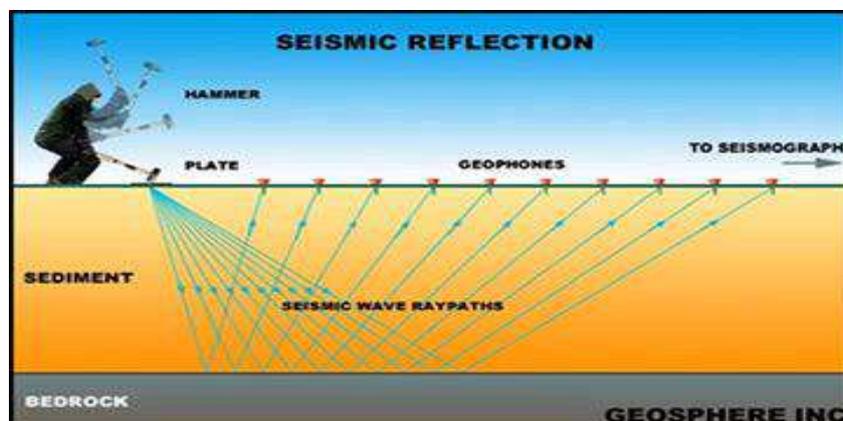


Fig III.2 Présentation de la méthode sismique de réflexion

III.2.1.3 Comparaison entre les méthodes sismiques en onshore et en offshore

Il existe plusieurs façons de créer une déformation à l'origine de la propagation de l'onde. Ce n'est pas la même chose lorsqu'on travaille dans un environnement marin ou terrestre. Les phases de la méthode sismique de réflexion sont divisées en trois étapes principales : l'acquisition, le traitement et l'interprétation. Que ce soit en mer ou sur terre, nous suivons les mêmes étapes.

III.2.1.3.1 Méthode sismique en onshore

La réflexion sismique terrestre est effectuée à la surface de la Terre.

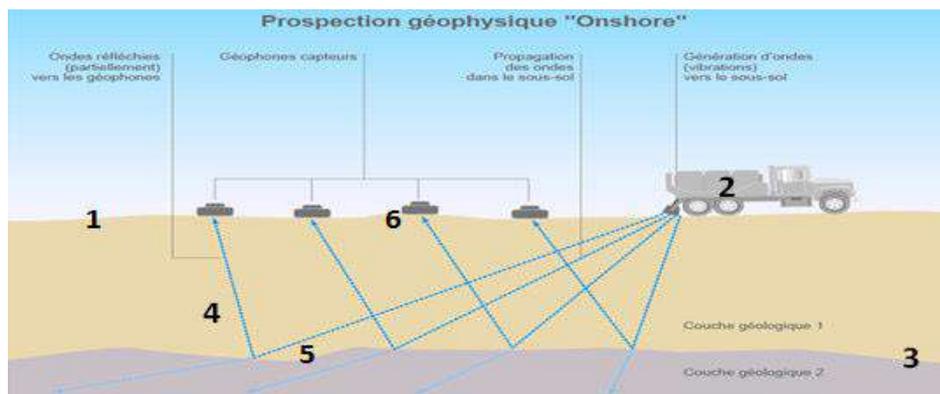


Fig III.3 Schéma de principe de la méthode sismique en onshore

Lorsqu'on provoque la vibration de la terre, par un signal source qui est produit par les vibroseis (2), l'onde de choc résultante est donc répartie dans les différentes couches du sol (3) : c'est l'onde transversale. Lorsqu'il y a une interface différente, l'onde transversale (4) est partiellement réfléchiée sur la surface (onde réfléchiée) 5 et est partiellement transmise aux couches plus profondes (onde brisée). Les ondes réfléchies et brisées sont finalement enregistrées à la surface par des récepteurs (géophones) (6). L'analyse des temps d'arrivée de ces ondes, ainsi que de la forme et de l'amplitude du signal, fournit des informations sur la géométrie et la nature des différentes couches traversées depuis le sol [15].

III.2.1.3.2 Méthode sismique en offshore

La réflexion sismique est effectuée en mer.

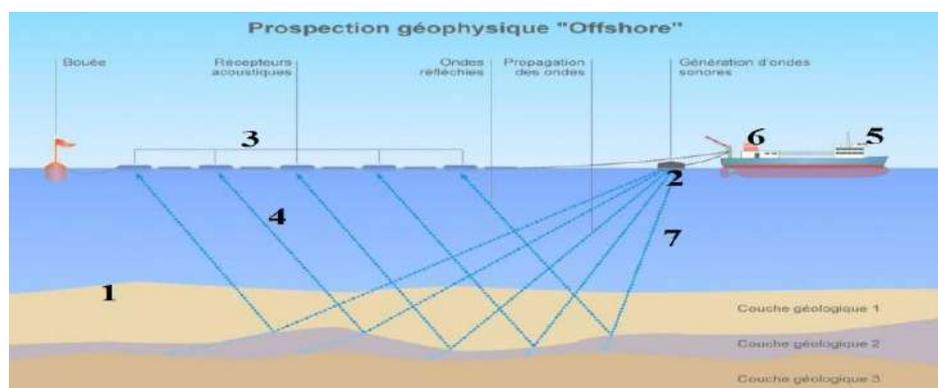


Fig III.4 Schéma de principe de la méthode sismique en offshore.

- 1 : Fond marin. 2 : Canon à air. 3 : Flûte sismique avec hydrophones.
4 : Ondes réfléchies. 5 : Navire d'acquisition. 6 : Local d'acquisition des données.
7 : Ondes incidentes.

La sismique en offshore repose sur la réflexion des ondes sur les interfaces entre plusieurs niveaux géologiques. Elle est utilisée pour explorer les sols en profondeur (1). Le principe de cette méthode consiste à générer une onde acoustique à partir d'une source contrôlée pour être déplacée. En sismique marine, la source du signal est généralement produite par des canons pneumatiques (2) qui libèrent soudainement une quantité d'air sous pression, propageant ainsi l'onde de choc dans les différentes couches. Au niveau d'une interface entre deux milieux différents, l'onde incidente est partiellement réfléchiée à la surface (onde réfléchissante) (4) et se déplace en partie vers les couches plus profondes (onde brisée). Les ondes réfléchies et brisées sont finalement enregistrées par les récepteurs [18].

III.2.1.3.3 Les émetteurs des ondes sismiques en onshore

III.2.1.3.3.1 L'explosif

La source explosive présente le spectre le plus large (réponse impulsionnelle très courte) et fournit de meilleurs enregistrements de résolution verticale. Bien que les explosifs soient utiles en exploration, ils présentent des inconvénients : ils sont destructifs et peuvent affecter l'environnement, et leur utilisation est soumise à un contrôle strict et très sérieux.

III.2.1.3.3.2 Le camion vibrant

C'est un système vibrant qui génère de l'énergie mécanique et qui est contrôlé pour générer un train d'ondes pendant au moins 7 secondes. Dans l'exploration pétrolière, de nombreux shakers sont utilisés en même temps (en parallèle). Tous les vibreurs sont contrôlés à distance grâce à la transmission sans fil provenant du laboratoire de contrôle. Les vibrations sismiques nécessitent un traitement supplémentaire qui force chaque train d'ondes réfléchies dans un signal court à obtenir une impulsion courte. Malgré la faible énergie émise, ils présentent de nombreux avantages tels que : absence d'explosifs (sécurité, peu de dégâts), emplois dans les zones peuplées, source économique, pas de forage, choix du signal de fréquence émis (balayage). Élimination du bruit. Il présente également de nombreux inconvénients : génération de bruit de surface, ondes à basse énergie [16].

III.2.1.3.4 Les émetteurs d'ondes sismiques en offshore

III.2.1.3.4.1 Navire sismique

Il est utilisé comme navire de recherche pour déterminer la meilleure zone possible pour le forage pétrolier en mer. Ce navire sismique a été spécialement conçu pour ces fonctions.

III.2.1.3.4.2 Compresseur

Il garantit une pression de gaz accrue qui sera injectée au cours de l'acquisition dans le Canon à air. La pression varie en fonction de l'acquisition, de 130 bars le premier jour à 110 bars le deuxième jour [18].

III.2.1.3.4.3 Canon à air

Actuellement, ce sont les sources les plus fréquemment utilisées. Ce sont des sources pneumatiques qui envoient une bulle d'air à haute pression dans le milieu marin. La bulle d'air comprimé oscille alors comme une bulle de gaz résultant du souffle, leur pénétration est meilleure mais leur énergie est moindre.



Fig III.5 Canon à air [15]

III.2.1.4 Les ondes sismiques

Les ondes sismiques proviennent des vibrations de type élastique, se propageant dans toutes les directions depuis la source. L'onde peut traverser un milieu sans modifier durablement ce milieu [19].

III.2.1.4.1 Les ondes P

Le déplacement du sol qui accompagne le passage de l'onde se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Sa vitesse (6 km/s près de la surface) est d'abord enregistrée sur un sismographe [19].

III.2.1.4.2 Les ondes S

Les ondes S ou ondes secondaires sont également appelées ondes de cisaillement ou ondes transversales. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides, elles sont stoppées par le noyau de la Terre. Leur vitesse est inférieure à la vitesse des ondes P [19].

III.2.1.5 Vitesses des ondes sismiques se propageant dans les roches

Les vitesses sismiques sont les vitesses de propagation des ondes dans différents milieux. La propagation des ondes sismiques dépend des propriétés mécaniques des milieux dans lesquels elles se propagent avec des vitesses V_p et V_s différentes.

Nature des terrains	Vitesse P en m/s	Vitesse s en m/s	Masse volumique
Eboulis, terre végétale	300-700	100-300	1,7-2,4
Sables secs	400-1200	100-500	1,5-1,7
Sable humide	1500-4000	400-1200	1,9-2,1
Argiles	1100-2500	200-800	2,0-2,4
Marnes	2000-3000	750-1500	2,1-2,6
Grés	3000-4500	1200-1800	2,1-2,4
Calcaires	3500-6000	2000-3300	2,4-2,7
Craie	2300-2600	1100-1300	1,8-2,3
Sel	4500-5500	2500-3100	2,1-2,3
Anhydrite	4000-5500	2200-3100	2,9-3
Dolomie	3500-6500	1900-3600	2,5-2,9
Granite	4500-6000	2500-3300	2,5-2,7
Basalte	5000-6000	2800-3400	2,7-3,1
Charbon	2200-2700	1000-1400	1,3-1,8
Eau	1450-1500	-	1
Glace	3400-3800	1700-1900	0,9
Huile	1200-1250	-	0,5-0,9

Tab III.1 Valeurs des vitesses V_p et V_s pour différents types de roches

Dans le tableau III.1, les vitesses des ondes P et S ont été introduites dans différents matériaux, on observe une différence de vitesse d'un matériau à l'autre. Cela nous explique que les vitesses varient en fonction du matériau, ce qui souligne l'hétérogénéité du sol sous-jacent, induisant des variations de la vitesse des ondes sismiques. Mesurer les vitesses par réflexion sismique ou réfraction peut nous amener à identifier les milieux traversés par les ondes et à déterminer ainsi l'emplacement des roches et des pièges sources [20].

III.2.2 Méthode gravimétrique

L'analyse gravimétrique mesure les modifications du champ gravitationnel de la terre causées par les différences de densité de surface des roches. Les méthodes gravimétriques ont été largement utilisées dans la recherche de pétrole et de gaz.

III.2.2.1 Mesure du champ de gravité terrestre

Il existe deux types de gravimètres. Un gravimètre qui mesure la valeur absolue de g en mesurant la vitesse d'une masse en chute, à l'aide d'un faisceau laser. Bien que ce compteur atteigne des précisions de 0,01 à 0,001 mGal (miliGals ou 1/1000 Gal), il est coûteux, lourd et volumineux. Un deuxième type de gravimètre mesure les variations relatives de g entre deux sites. Ce type de compteur peut mesurer g avec une précision de 0,01 mGal dans environ 5 minutes.



Fig III.6 Gravimètre terrestre [21]

III.2.2.2 Mesure du champ de gravité marine

La gravimétrie est utilisée en mer de deux manières : soit à la surface, à travers la colonne d'eau, ou reposant sur le fond, le géoïde peut aussi être déduit de mesures du niveau de l'océan par altimétrie.

III.2.2.2.1 Le gravimètre à la surface marine

En mer, la mesure de la gravitation est plus complexe car l'appareil connaît une accélération dans un navire pouvant atteindre 10.000 voire 100.000 mGal. Grâce à des systèmes de suspension et à des cardans très sophistiqués, nous sommes en mesure d'obtenir des mesures précises jusqu'à 0,1 mGal.



Fig III.7 Gravimètre marin de surface

III.2.2.2.2 Le gravimètre au fond marin

Les gravimètres utilisés pour les mesures au fond de la mer sont des gravimètres terrestres équipés d'une protection étanche et résistante à la pression (jusqu'à 900 m de profondeur), avec un système de nivellement automatique et une commande à distance de l'appareil.

III.2.2.2.3 La gravimétrie obtenue à partir de mesures altimétriques

Le principe de l'altimétrie est basé sur l'embarcation sur un satellite d'un radar, qui mesure la distance entre le satellite et la surface océanique. Connaissant l'orbite du satellite, cela permet d'en déduire les ondulations de la surface océanique. Le niveau moyen des mers étant une surface équipotentielle du géoïde, il reflète également la répartition de la matière dans le sous-sol sous-marin.

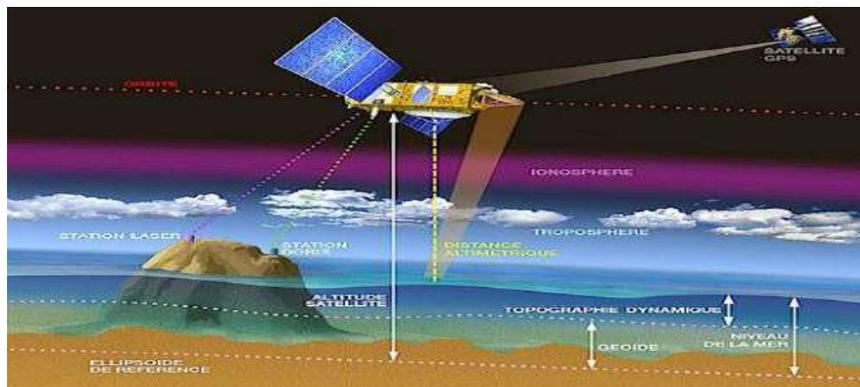


Fig III.8 Gravimètre marin alimenté par satellite [22]

III.2.3 La méthode magnétique

La méthode magnétique est une approche courante et peu coûteuse pour détecter les métaux près de la surface. Les projets d'ingénierie et de caractérisation environnementale du site commencent souvent par une étude à l'échelle magnétique. Le principe de fonctionnement est très simple. Lorsqu'un matériau en fer est placé dans le champ magnétique terrestre, il développe un champ magnétique induit. Le champ induit interfère sur le champ terrestre à cet endroit, ce qui entraîne des anomalies magnétiques. La détection dépend de la quantité de matériaux magnétiques dans le système et le capteur. Les anomalies sont généralement affichées sur des cartes de contour [21].

III.2.3.1 La méthode de prospection magnétique en mer

Un balayage magnétique est généralement effectué en mer à l'aide d'un poisson tiré par un bateau à l'échelle magnétique. C'est le cas du système sonar Thomson Marconi pour la mesure du magnétisme marin (SMMII). Ce système permet de découvrir la présence d'objets en fer qui modifient la surface de la terre locale (anomalies). Les informations recueillies, après traitement, peuvent fournir de nombreuses informations intéressantes, telles que la masse de fer, la profondeur d'enfouissement...

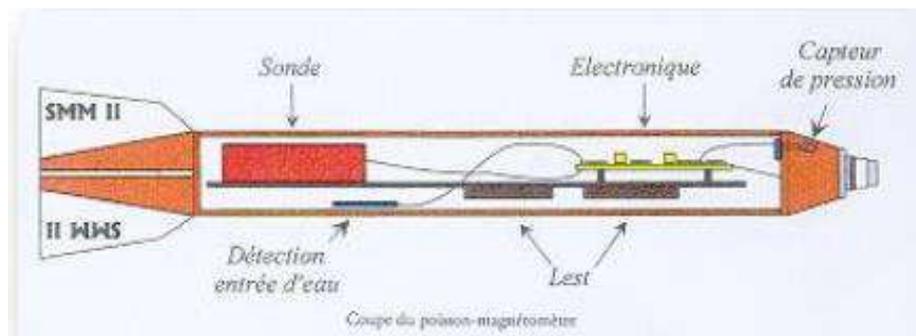


Fig III.9 Coupe transversale d'un poisson équipé d'un magnétomètre [22]

III.2.4 La méthode électrique

Cette méthode est basée sur différentes mesures de résistance électrique entre différents types de roches, en particulier entre le sel et les sédiments, et il est facile de les utiliser pour déterminer la profondeur des roches de base, grâce aux valeurs élevées des résistances. Si les variations des propriétés électriques des roches sédimentaires sont limitées, les roches calcaires et l'anhydrite se caractérisent par leurs résistances de haute qualité. La méthode de l'auto-tension est utilisée pour effectuer des mesures de surface en millivolts pour les processus électrochimiques apparaissant sur la terre par des réactions électrochimiques entre certains métaux et des solutions aux propriétés électriques [23].

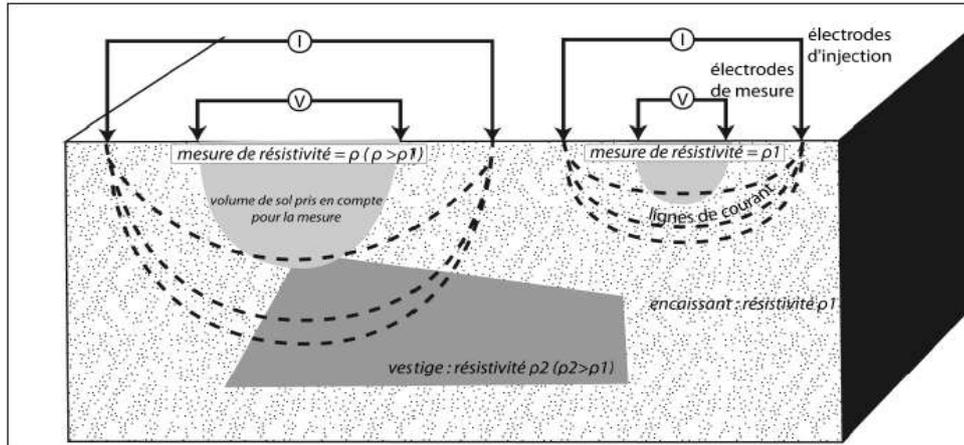


Fig III.10 Schéma de principe de la méthode électrique

III.2.5 Les différences entre les méthodes d'exploration du pétrole

Méthodes géophysiques	Grandeurs mesurées	Paramètres
Sismique	Temps de trajet	Vitesse
Gravimétrie	Variation du poids (pesanteur g)	Densité
Magnétique	Champ magnétique	Degré de magnétisation des roches
Electrique	Tension électrique	Résistivité électrique

Tab III.2 Les méthodes géophysiques, grandeurs mesurées, paramètres [24].

Chapitre IV

Exploitation et production du pétrole en Offshore dans le monde

IV.1 Introduction

Le forage en mer est un processus mécanique qui consiste à forer un puits sous le fond marin. Il est généralement effectué dans le but d'explorer et d'extraire ultérieurement le pétrole qui se trouve dans les formations rocheuses sous les fonds marins. Le plus souvent, le terme est utilisé pour décrire les activités de forage sur le plateau continental, bien que le terme puisse également s'appliquer au forage dans les lacs, les eaux côtières et les mers continentales.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents types de plateformes qui permettent l'extraction des hydrocarbures qui se trouvent au fond marin. Nous allons, d'abord donner un aperçu sur l'importance du pétrole et son utilisation, puis on parlera du transport des personnes, des produits, du matériel au niveau des plateformes offshore, après nous allons donner un aperçu sur la sécurité de vie d'un champ pétrolier marin.

IV.2 Transport du personnel

Le transport du personnel entre les installations offshore et le continent se fait généralement par hélicoptère ou par navire. Il convient de respecter les procédures de sécurité spéciales applicables au transport du personnel par hélicoptère ou par navire. Les plates-formes d'hélicoptères installées en mer doivent être conformes aux exigences de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Les dispositifs d'amarrage pour le transfert du personnel doivent être conçus de manière à protéger le navire et la structure de l'installation contre les chocs violents en cas de mauvaises conditions de la mer. Les navires de service doivent disposer des permis et des certificats requis, conformément aux exigences de l'Organisation maritime internationale [8].

IV.3 Le transport des produits

Le transfert des produits et d'équipements de la base d'approvisionnement terrestre (À quai) vers une installation offshore doit être effectué de la manière la plus sûre possible.

IV.4 Les moyens de transport

IV.4.1 Navire de ravitaillement en mer

Le navire de ravitaillement en mer soutient l'activité des plates-formes de forage et permet de couvrir l'ensemble des besoins qui constituent le quotidien de la vie d'un champ.

IV.4.2 Hélicoptères

Des rotations d'hélicoptères (3 à 5 vols par semaine en moyenne) sont prévues entre l'aéroport et le navire de transport. Des hélicoptères de soutien seront utilisés pour les changements d'équipes.

IV.5 Partie sécurité

Au cours des dernières années, la santé et la sécurité au travail sont devenues des priorités du ministère du Travail. Le Plan de santé sur le lieu de travail (PST), conçu pour réformer le système national de prévention des risques professionnels en développant les entreprises (dirigeants, employés...) a été développé au cœur de la stratégie. Les chiffres restent

alarmants : plus d'une personne meurt chaque jour des suites d'un accident du travail (569 décès en 2008) ou d'une maladie professionnelle (425 décès en 2008) [8].

IV.5.1 Partie sécurité relative aux dispositions générales

Les normes d'aptitude pour les employés spécifiés au risque des fonctions spécifiques nécessitant l'utilisation, le fonctionnement et l'exploitation d'un équipement d'urgence, La liste de ces personnes est affichée sur différents points (plate-forme de forage et bureau).

Les appareils respiratoires.

La méthode de contrôle et d'exercices de sécurité à effectuer sur les installations en mer.

IV.5.2 Partie sécurité en ce qui concerne les installations et travaux en mer

Cela nécessite :

- La mise en place d'un système de contrôle à distance d'urgence.
- L'établissement d'un système pour maintenir le contact avec le continent et les services d'urgence.
- L'élaboration des normes de formation pour les conditions d'évacuation des lieux de travail et de formation aux compétences de survie.
- Le développement d'un plan de sauvetage pour le sauvetage maritime, l'évacuation du lieu de travail et la détermination de la capacité et du temps de réaction (hélicoptère ou bateau).
- La protection des logements mis à la disposition des travailleurs contre les effets de l'explosion, de l'infiltration de fumée et de gaz, ainsi que de l'incendie et de sa propagation.

IV.5.3 Partie sécurité relatifs aux travaux de forage et d'interventions lourdes à l'intérieur des sondages et des puits

Pour cela, on doit avoir :

L'éclairage de sécurité sur le plancher de travail et postes de commande et de contrôle, la justification de l'adaptation à l'aide aux conditions météorologiques et océanographiques. L'installation des caractéristiques du système GPS dynamique ou du système d'installation en mer. On doit déterminer le nombre des générateurs d'énergie et les moyens de propulsions. Aussi on doit justifier pour un support mobile qui prend appui sur le fond de la mer, de sa stabilité au renversement et de sa stabilité sur le fond.

IV.5.4 Partie sécurité des couloirs et issues de secours

En présence d'hébergement, cela doit comporter au moins deux sorties de secours distinctes, aussi éloignées que possible l'un de l'autre, et s'ouvrir dans une zone sûre, à un point de rassemblement ou dans un poste d'évacuation sécurisé. Les portes de secours sont ouvertes sur l'extérieur ou coulissantes.

IV.5.5 L'éclairage

Les appareils d'éclairage sont conçus de manière à ce que les salles de commande du processus, les issues de secours, les abris et les zones de danger restent allumés.

IV.5.6 Travail en isolement

Un système de communication approprié devrait être fourni aux travailleurs sur le site.

IV.5.7 Protection contre les explosions et les incendies en mer

1. Sur l'ensemble de la plate-forme marine, des systèmes de détection, de protection, ainsi que des systèmes de protection contre l'incendie, sont installés pour isoler les zones présentant des risques d'incendie. L'équipement de sécurité incendie peut inclure :

Les systèmes de détection d'incendie et de gaz inflammables.

Les systèmes d'alarme en cas d'incendie.

Le réseau de canalisations d'eau anti-incendie.

Les tuyaux flexibles et de lance à eau.

Les systèmes d'extinction des feux de gaz.

Les extincteurs portables.

Les équipements mobiles de lutte contre l'incendie.

2. Les systèmes de sécurité sont conçus, isolés et protégés de manière à pouvoir continuer à fonctionner même en cas d'accident, d'incendie ou d'explosion. Si nécessaire, multipliez ces systèmes.

IV.6 Les différents types de plateformes d'exploitation du pétrole en offshore

Une plateforme pétrolière est une unité permettant d'extraire, produire ou stocker le pétrole situés en haute mer, à des profondeurs parfois très importantes. Elle supporte principalement les dispositifs nécessaires pour la phase de forage ou d'extraction du pétrole. Elle peut également inclure des équipements destinés à assurer un hébergement du personnel d'exploitation. Certaines plateformes permettent de transformer le pétrole extrait pour le rendre plus facile à transporter. Les plateformes fixes sont utilisées en mer peu profonde, pour exploiter des gisements situés à moins de 300 m, tandis que les plateformes flottantes servent surtout pour l'exploitation de champs pétroliers dans les grands fonds [25].

IV.6.1 Plates-formes fixes

La plupart des plates-formes fixes sont utilisées dans des eaux peu profondes (<300 m). Ces plates-formes sont basées sur le fond et peuvent donc être connectées de manière rigide aux têtes de puits et aux pipelines. Il existe différentes formes de ces plates formes fixes :

Les plates formes Jacket-deck : structure en acier constituée de cadres tubulaires et fixée au sol par des pieux en acier.

Les plates formes Gravitary platform : tour en béton dont la stabilité est due uniquement à son propre poids au fond de la mer et sur laquelle les supers structures sont érigées.

Les plates formes Compliant tower : structure flexible constituée d'un pont flottant ancré au fond de l'océan au moyen de longs tuyaux constamment étirés.

Les plates formes Jack-up rig : plates-formes auto élévatrices constituées d'une coque et de pattes, conçues pour les opérations en eaux peu profondes. La structure peut être déplacée mais également élevée ou abaissée. Ainsi, ces plates-formes peuvent être déployées à plusieurs endroits tout en ayant un support sur le terrain (Voir Fig IV.1) [25].

IV.6.2 Plates formes mobiles et unités flottantes

Les plates-formes flottantes sont principalement utilisées pour l'exploitation des gisements de pétrole en eaux profondes (plus de 300 mètres environ). Lorsque la plate-forme est flottante, les installations de la tête de puits lui sont reliées par des conduites flexibles. Il existe différentes formes de ces plates formes flottantes :

Les plateformes en TLP (Tension Leg Plat forms) : plates-formes avec une flottabilité excessive et maintenues en place par des câbles tendus les reliant au fond.

Les plateformes en SPAR : plates-formes plus traditionnelles qui incluent uniquement la production et sont connectées à des pipelines pour l'exportation de gaz et ou de pétrole produit. Les SPAR sont basés sur un énorme flotteur cylindrique.

Les Plates-formes semi-submersibles : plates-formes lestées par remplissage d'eau lorsqu'elles sont en position, puis ancrées. Cela les rend moins vulnérables à la houle.

Les plateformes en FPSO (stockage et déchargement de production flottants) : plates-formes en forme de coque, qui produisent du pétrole, le stockent temporairement et chargent des pétroliers. Ils sont ancrés au fond de la mer (Voir fig IV.1) [25].

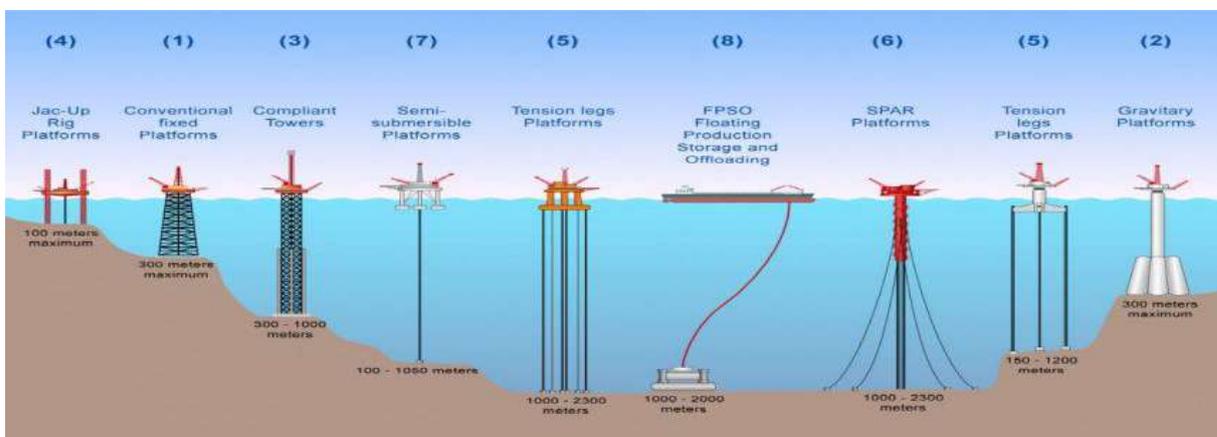


Fig IV.1 Différentes plates-formes d'exploitation du pétrole en offshore [25]

Chapitre V

*Dimensionnement d'une conduite (diamètre)
de transport du pétrole en offshore, du
gisement à la plateforme*

V.1 Modélisation du système

Nous allons étudier dans cette partie, le projet Algérien d'exploitation du pétrole en offshore au large de Béjaïa représenté en figure V1. Nous allons dimensionner la conduite (diamètre) de transport de pétrole en offshore du gisement à la plateforme. Nous étudions la variation du diamètre de la conduite en fonction de sa longueur et de la pression du gisement et ceci en régime permanent. Nous écrivons le modèle mathématique de l'écoulement du fluide dans cette conduite qui représente des singularités.

Nous considérons un écoulement newtonien incompressible et isotherme (densité $\rho = \text{cte}$, viscosité $\mu = \text{cte}$), avec un champ de vitesse $\vec{V} = (u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z))$.

V.1.1 Equation de continuité

L'équation de continuité simplifiée sous forme vectorielle en régime permanent et en admettant la masse volumique constante, s'écrit :

$$\text{Div } \vec{V} = 0$$

L'équation de continuité selon les composantes x, y, z est :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

V.1.2 Equation de mouvement de Navier-Stokes

L'équation du mouvement sous la forme de vectorielle s'écrit :

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla \vec{P} + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V}$$

Selon la composante x cette équation s'écrit :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

Selon la composante y elle s'écrit :

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

Selon la composante z elle s'écrit :

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

V.1.3 Equations du système en coordonnées cylindriques

On exprime ces équations dans un système de coordonnées cylindriques :

Coordonnées (r, θ , z), vitesse (u, v, ; w)

V.1.3.1 Projection des équations selon les directions (r, θ, z)

Les équations de continuité et de Navier Stokes exprimées selon les directions (r, θ, z) s'écrivent comme ci-dessous.

V.1.3.1.1 Equation de continuité

L'équation de continuité en coordonnées cylindriques devient :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(u_z)}{\partial z} = 0$$

V.1.3.1.2 Equation de Navier Stokes

L'équation de Navier Stokes selon le rayon r, s'écrit sous la forme :

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) \\ &= - \frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right] \end{aligned}$$

L'équation de Navier Stokes selon l'angle θ, s'écrit sous la forme :

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) \\ &= - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} \right) - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \right] \end{aligned}$$

L'équation de Navier Stokes selon la direction z, s'écrit sous la forme :

$$\begin{aligned} & \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \\ &= - \frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad [26]. \end{aligned}$$

Ces équations peuvent être simplifiées.

V.1.3.2 Conditions aux limites et initiales

Au niveau de la paroi de la conduite r=R, et compte tenu de la viscosité du fluide on a :

$$u=0 \text{ pour } r=R$$

Au centre de la conduite r=0, la vitesse du fluide est maximale.

$$u=u_{\max} \text{ pour } r=0$$

Pour le reste des données, elles sont présentées sur la figure (V.1).

V.1.3.3 Equation de Bernoulli

L'équation de Bernoulli dans ces conditions s'écrit :

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g \cdot h = J_{1,2}$$

g : Accélération de la pesanteur en (m/s²).

ρ : Masse volumique en (kg/m³).

P : Pression.

J_{1,2} : Pertes de charge.

V : Vitesse moyenne d'écoulement.

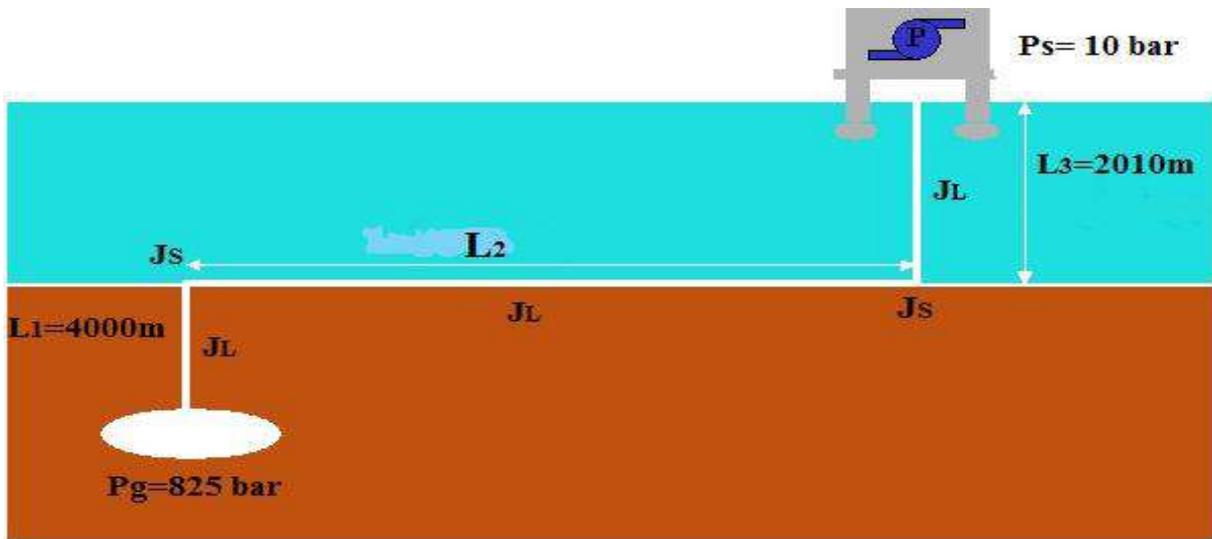


Fig V.1 Les données du gisement du projet Algérien de Béjaia

V.1.3.3.1 Pertes de charge

Les pertes de charges sont soit singulières Js et ou linéaires JL :

$$J_{1,2} = J_s + J_l$$

V.1.3.3.1.1 Pertes de charge singulières

Quand la conduite subit de brusque variation de section ou de direction, il se produit des pertes de charges dites singulières, elles sont généralement mesurables et font partie des caractéristiques de l'installation. On les exprime par :

$$J_s = -2K_s \cdot \frac{V^2}{2}$$

Ks : Coefficient (sans unité) de pertes de charge. Il dépend de la nature et de la géométrie de l'accident.

V : Vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s).

V.1.3.3.1.2 Pertes de charge linéaires

Les pertes de charge linéaires, sont des pertes de charge réparties régulièrement le long des conduites. En chaque point d'un écoulement permanent, les caractéristiques de l'écoulement sont bien définies et ne dépendent pas du temps. Les pertes de charge linéaires sont proportionnelles à la longueur L de la conduite, inversement proportionnelles à son diamètre d et proportionnelle au carré de la vitesse débitante V du fluide.

$$J_l = - \gamma \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \frac{L}{D}$$

V : Vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s).

L : Longueur de la conduite (m).

D : Diamètre de la conduite (m).

γ : Coefficient de perte de charge linéaire. Il dépend du régime d'écoulement et notamment du nombre de Reynolds Re [27].

V.2 Simulation

Dans le but de dimensionner la conduite (diamètre) de transport du pétrole du gisement jusqu'à la plateforme, cette conduite contient des singularités. Nous avons fait une simulation du problème en utilisant le modèle mathématique en régime permanent avec les conditions limites. En prenant en compte les deux variables ; la longueur de la conduite et la pression qui dépend de la pression dans le gisement.

Pour cela nous avons conçu un programme en langage fortran et exploité les résultats obtenus.

V.3 Résultats et discussions

V.3.1 Résultats

Nous présentons nos résultats sous forme de graphiques, où le diamètre de la conduite de transport du pétrole est représenté en fonction de sa longueur voir fig.V.2 à fig.V.4, puis nous présentons la différence de pression en fonction de la longueur de la conduite fig.V.5 et enfin, nous représentons le diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement fig.V.6 à fig.V.10.

V.3.1.1 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L1

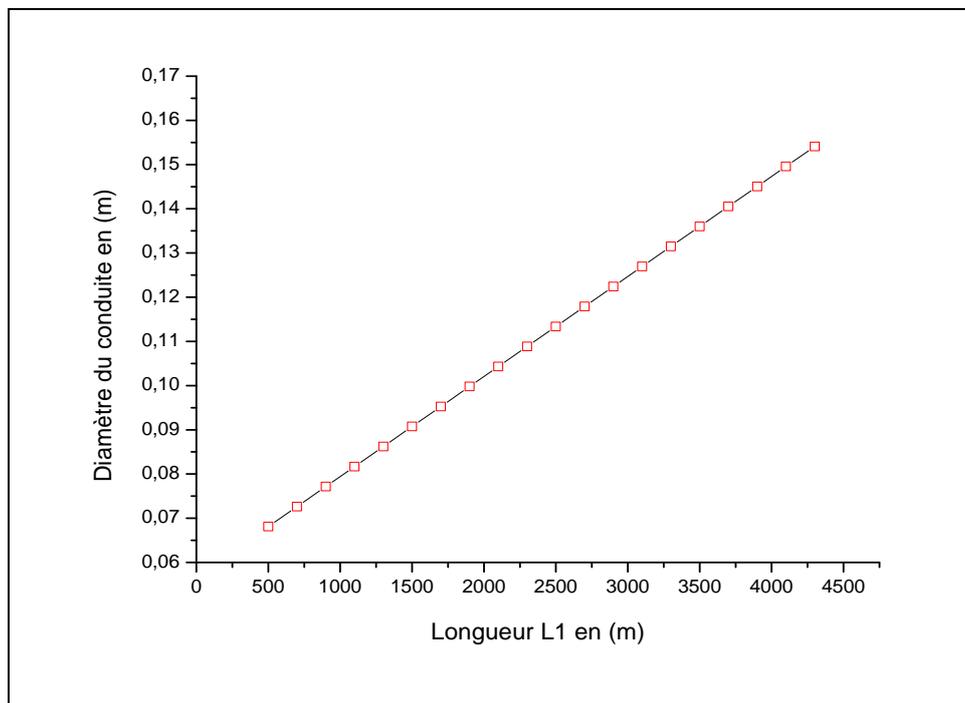


Fig V.2 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L1

V.3.1.2 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L2

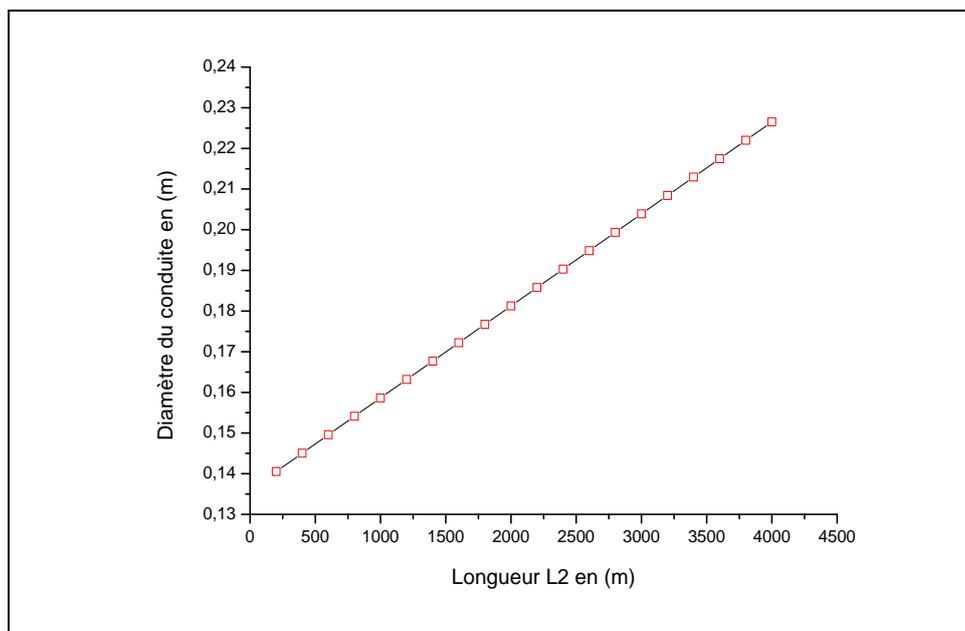


Fig V.3 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L2

V.3.1.3 Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L3

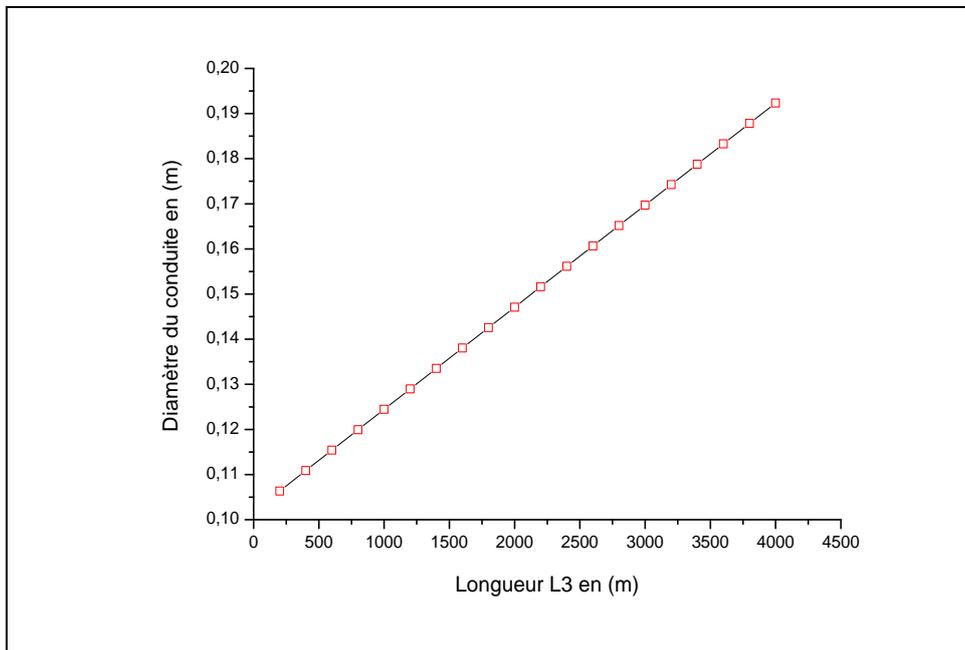


Fig V.4 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de longueur L3

V.3.1.4 Variations de la pression en fonction de la longueur

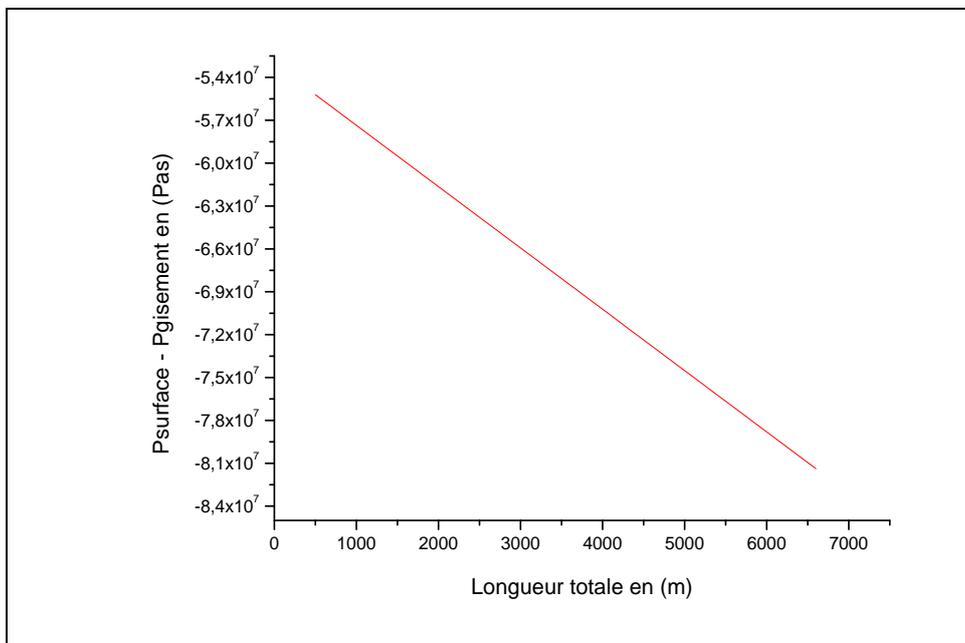


Fig V.5 Représentation des Variations de la pression en fonction de la longueur

V.3.1.5 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement
1^{er} cas : L1 = 4000m, L3=2010m, La profondeur =6010m Voir fig V.1.

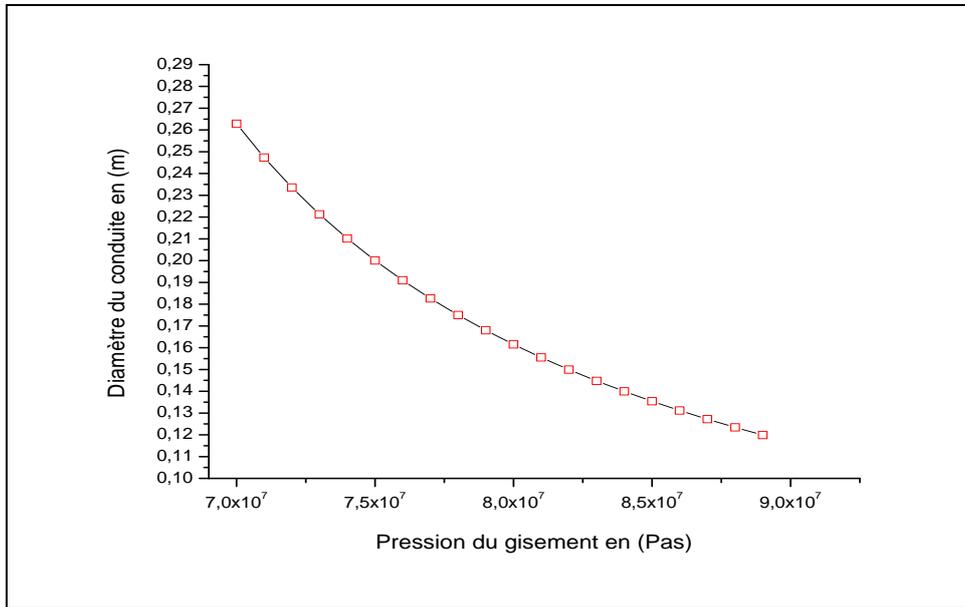


Fig V.6 Représentation des variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement

V.3.1.6 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement
2^{ème} cas : L1 = 3500m, L3=1760m, La profondeur 1=5260m Voir fig V.1.

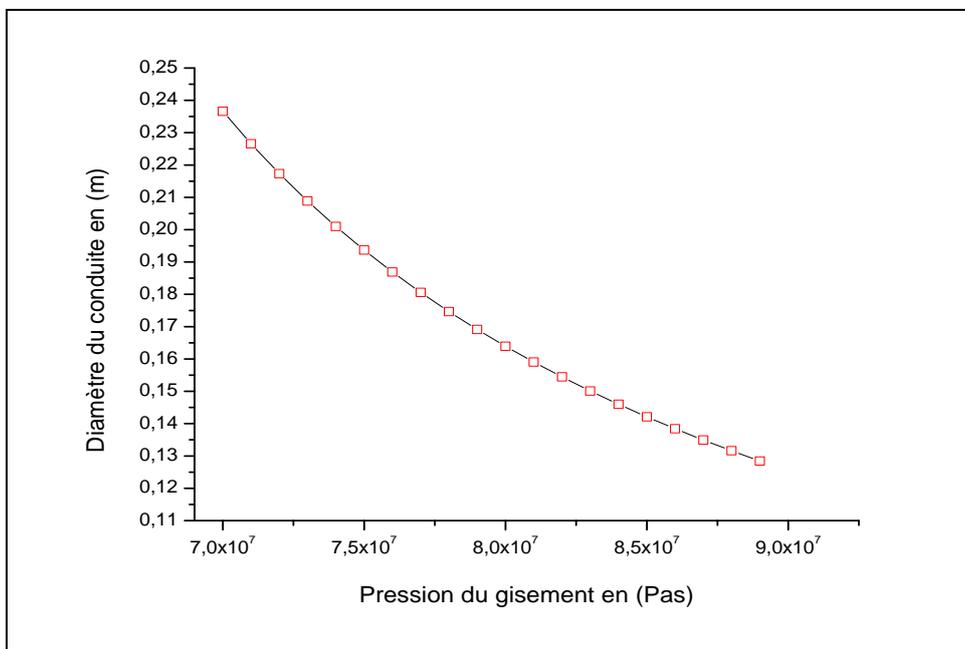


Fig V.7 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

V.3.1.7 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

3^{ème} Cas : L1=3000m, L3=1510m, Profondeur=4510m Voir fig V.1.

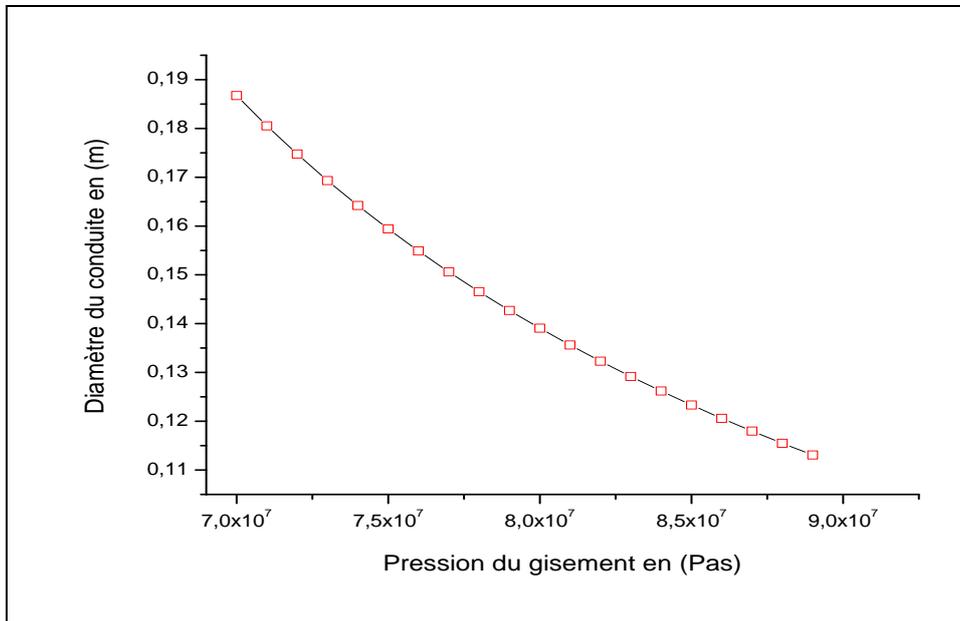


Fig V.8 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

V.3.1.8 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

4^{ème} Cas : L1=2500m, L3=1260m, La profondeur=3760m Voir fig V.1.

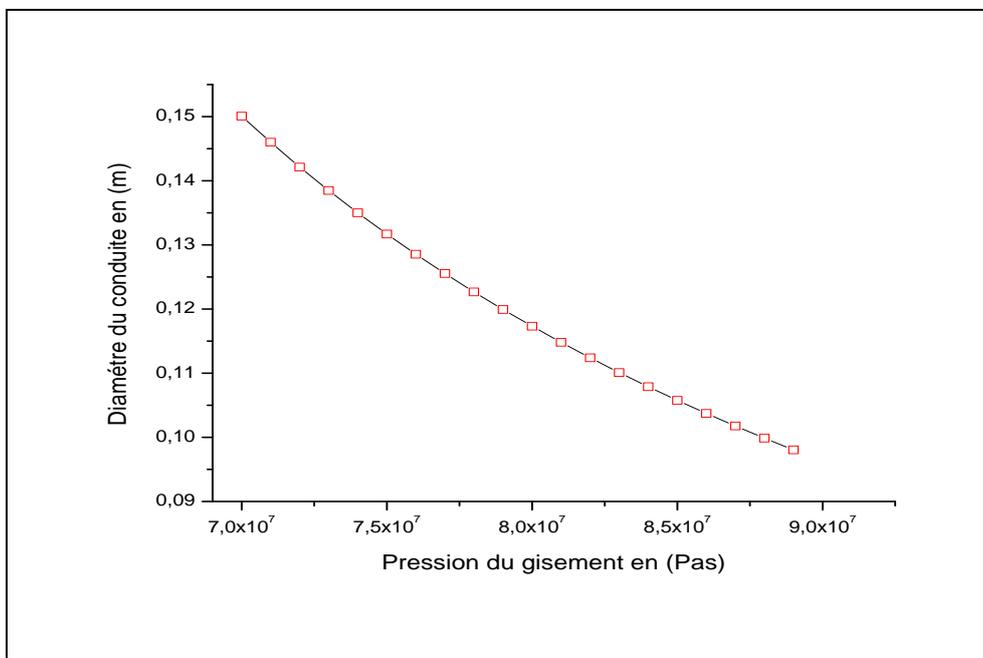


Fig V.9 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

V.3.1.9 Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

5ème Cas : $L_1=2000\text{m}$, $L_3=1010\text{m}$, La profondeur=3010m Voir fig V.1.

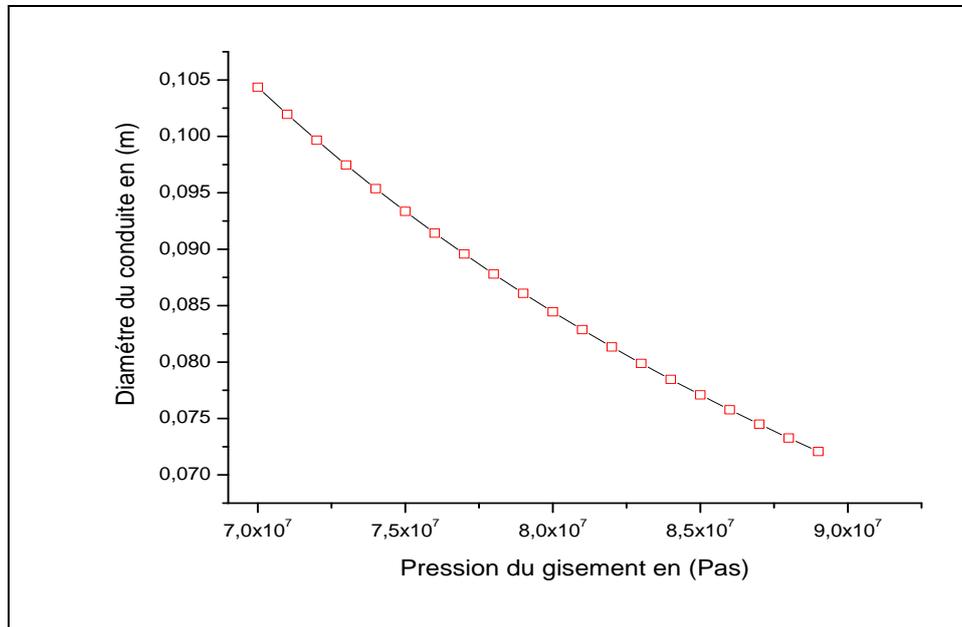


Fig V.10 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de pression du gisement

V.3.1.10 Variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement pour différentes profondeurs

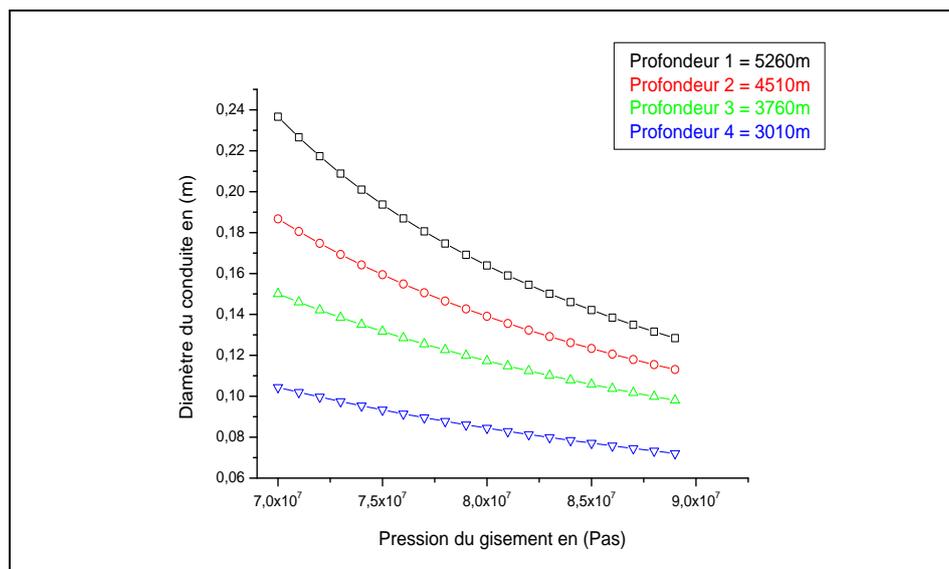


Fig V.11 Représentation des Variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression du gisement

V.3.2 Discussions

Après avoir modélisé notre système dans lequel on dimensionne la conduite (diamètre) de transport de pétrole du gisement à la plate forme. Nous avons fait une simulation en réalisant un programme en langage fortran et obtenu les résultats que nous avons représenté sur les figures ci-dessus. Nous avons représenté dans les figures Fig V.2, Fig V.3, Fig V.4 les variations du diamètre de la conduite en fonction de ses différentes longueurs L_1 , L_2 et L_3 pour un fluide (pétrole) de masse volumique, de viscosité et de débit donnés. Nous constatons une bonne adéquation entre la longueur de la conduite et son diamètre. Dans la figure Fig V.5, nous avons représentés la différence de pression en fonction de la longueur de la conduite. Nous avons représenté également dans les figures Fig V.6, Fig V.7, Fig V.8, Fig V.9, Fig V.10 et Fig V.11 les variations du diamètre de la conduite en fonction de la pression dans le gisement et ceci pour différentes valeurs de la longueur de la conduite et de la profondeur. Nous constatons que les valeurs du diamètre de la conduite obtenues sont normales. De ce fait, nous pourrons exploiter ces graphiques pour l'utilisation des valeurs du diamètre de la conduite.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce projet, nous avons étudié l'exploitation de la plupart des plates-formes pétrolières marines dans le monde entier, en définissant les plus grandes en termes de quantité et de type de production. L'Algérie tente de prospecter en mer en raison du manque de technologie et de main-d'œuvre qualifiée dans le domaine du forage en mer.

Nous avons également discuté des méthodes de prospection les plus importantes en matière de prospection et des équipements utilisés pour chaque processus de recherche, ainsi que du processus de prospection le plus efficace. Nous avons expliqué que la méthode la plus utilisée était celle des vibrations sismiques pour leur efficacité et leur faible coût. Nous avons également abordé le processus après la prospection.

Nous avons fait un dimensionnement de la conduite (diamètre) de transport du pétrole en offshore du gisement à la plateforme de production en fonction de plusieurs variables allant de la hauteur à la longueur du tuyau et de la valeur de pression.

Nous avons constaté que la valeur de diamètre varie directement avec la longueur du tuyau et la hauteur, mais le diamètre varie également en fonction de la pression.

On en déduit que la valeur du diamètre du conduit n'est pas fixe, elle change d'un puit à l'autre en raison du changement de données d'un gisement à un autre.

Finalement, nous avons discuté de l'étude de la phase post-pétrolière on shore, des défis qui se produiront dans le monde et du sort des zones internationales non délimitées de la mer à cause d'un vide juridique les concernant. Nous nous attendons à ce que l'exploitation dans ces zones soit réservée à des pays dotés du pouvoir scientifique et de moyens et des capacités nécessaires pour les exploiter.

Bibliographie

- [1] **M.Wallin**, An introduction to the offshore basics, Turku University of Applied Sciences, 2014.
- [2] **02-02-2019** <https://aquaculture-aquablog.blogspot.com/2013/06/pew-energie-petrole-ges-gaz.html>
- [3] **20-01-2019** https://fr.wikipedia.org/wiki/Golfe_Persique
- [4] **22-01-2019** <https://www.offshore-technology.com/features/feature-largest-oil-fields-world-gulf-uae/>
- [5] **22-01-2019** [https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_oil_and_gas_in_the_Gulf_of_Mexico_\(United_States\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_oil_and_gas_in_the_Gulf_of_Mexico_(United_States))
- [6] **13-05-2019** <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/gold5/>
- [7] **25-02-2019** <https://www.offshore-technology.com/features/featurethe-biggest-oil-fields-in-the-north-sea-4836046/>
- [8] **LAGOUD, A.MESSOURI, M.BRAHIMI** Le choix de l'appareil de forage ultra deep water pour le projet algérien BEJ-1, mémoire de master, université de Ouargla 18-05-2017.
- [9] **22-02-2019** <https://www.un.org/fr/sections/issues-depth/oceans-and-law-sea/>
- [10] **22-02-2019** https://fr.wikipedia.org/wiki/Droit_de_la_mer
- [11] **N.Calderaro, D. Chapevov**, L'utilisation et l'exploitation de la mer, Tribunal administratif de nice.
- [12] **23-05-2019** https://worldoceanreview.com/wp-content/downloads/wor3/WOR3_chapter_1.pdf
- [13] **15-05-2019** <https://earthquake.usgs.gov/learn/kids/become.php>
- [14] **S.Kloff, C.Wicks**, pétrole offshore et du transport maritime pétrolier Gestion environnementale de l'exploitation de pétrole offshore et du transport maritime pétrolier.
- [15] **B.Kahina**, Sismique onshore et offshore/étude comparative, mémoire master, université de Sétif, juin-2018.
- [16] Cours de sismique-Filtrage multidimensionnel, Ecole d'ingénieurs pour le Physique, l'Electronique et les Matériaux (PHELMA).
- [17] **15-05-2019** <http://www.agapqualite.org/sismique-refraction.html>
- [18] **L.Amer-Moussa, S.Arsenikos, S.Batany, S.Elfilali**, 2012, rapport de stage de sismique marine, ville franche-sur-mer, Nice.
- [19] **28-02-2019** <https://coursgeologie.com/73-les-ondes-sismiques.html>

- [20] **B.Giroux**, Technique géophysique de haute résolution, école Polytechnique de Montreal.
- [21] **J.Rivas**, Gravity and magnetic methods, united nations university, 17-30 October 2009.
- [22] Introduction aux méthodes géophysiques, reconstitution de la topographie de la surface moyenne des océans.
- [23] 02-02-2019 <https://almohandes.org/t/36258طرق-و-أساليب-البحث-و-التنقيب-عن-النفط>
- [24] **Dr. Sid-Ali Ouadfeul**, cours sismique, université de Khemis Miliana.
- [25] 01-02-2019 <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/plateformes-petrolieres>
- [26] 26.05.2019
http://ingforum.haninge.kth.se/armin/FLUID/EXER/NAVIER_STOKES_EQ.pdf
- [27] R. Ben Hamouda, Notions de mécanique de fluide, cours et exercices corrigés, Centre de publication universitaire.