

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de MASTER

Présenté par : ATTOU Manel

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Economie des hydrocarbures

**Optimisation des opérations de forage
- Etude de cas du puits pétrolier HTAN-1
de Hassi Touiza -**

Devant le jury :

Madame	KHADRAOUI	Fahima	Présidente
Monsieur	HAOUA	Abdelaziz	Examineur
Madame	YASSA	Yasmine	Examinatrice
Madame	NAIT BELKACEM	Salima	Promotrice

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu, Tout-Puissant, de m'avoir donné la force et la patience de survivre et de surmonter toutes les difficultés pour terminer ce travail. Mes remerciements vont à mes chers parents et à mes frères et sœur, ainsi qu'à mes amis pour leur soutien inconditionnel.

Je tiens également à remercier ma promotrice, madame NAIT BELKACEM SALIMA, pour tous ses conseils et son accompagnement du début à la fin de ce travail, mon encadrante, madame LAKAMA SABRINA, pour son soutien patient et pour toutes les opportunités qui m'ont été données pour faire avancer ma recherche, et je remercie également madame Messaoudi d'avoir répondu à mes questions liées au travail

J'étends mes sincères remerciements à tous les enseignants du département d'Économie et Commercialisation des Hydrocarbures qui ont contribué à ma formation et à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail de recherche.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À mes chers parents, qui ont placé leur confiance en moi et ont tout sacrifié pour mon bien-être.

Merci pour tout ce que vous avez fait pour rendre ce parcours possible. Votre détermination et votre confiance inébranlable en moi ont alimenté mon parcours de croissance et d'apprentissage. Ce mémoire est un hommage à vos sacrifices infinis et à votre amour. Que cet accomplissement soit le reflet de votre amour et de votre dévouement en tant que parents.

À ma chère grand-mère qui prie toujours pour ma réussite, vos prières réconfortent mon cœur à chaque fois que je les entends

A mes amis fidèles, qui ont été des piliers de réconfort et de soutien émotionnel dans les moments les plus difficiles. Votre amitié est un cadeau précieux qui m'a donné la force et le courage de surmonter les épreuves.

Liste des figures

Figure I. 1 : Organigramme de SONATRACH.....	11
Figure I. 2 : Coupe géologique passant par les puits DAD-1, HTA-1bis, HTAN-1, HAS-1 et SOEN-1	13
Figure I. 3 : Localisation du forage HASSI TOUIZA NORD-1 (HTAN-1).....	13
Figure I. 4 : schéma du puits HTAN-1.....	14
Figure II. 1 : la formation de pétrole.....	29
Figure II. 3 : les types de forage	36
Figure III. 1 : schéma de procédure utilisée par la recherche opérationnelle.....	47
Figure III. 2 : description de graphe de MPM	52
Figure III. 3 : description de chemin critique dans le réseau MPM	54
Figure IV. 1 : couts de réalisation du puits HTAN-1.....	57
Figure IV. 2 : délais des opérations de puits HTAN-1	58
Figure IV. 3 : réseau MPM de déroulement des opérations de forage de puits HTAN-1.....	60
Figure IV. 4 : le chemin critique de réseau MPM de déroulement des	66

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : les éléments constitutifs de prix de revient de forage de puits HTAN-1.....	18
Tableau II. 1 : Les produits de raffinage du pétrole brut	42
Tableau IV. 1 : Analyse des couts et des délais des opérations de puits HTAN-1 :.....	56
Tableau IV. 2 : détermination des taches et leurs dépendances :	59
Tableau IV. 3 : tableau récapitulatif des dates au plus tôt et au plus tard selon MPM :.....	65

Liste d'abréviations

EP : Exploration et Production

TRS : Transport par Canalisation

LQS : Liquéfaction et Séparation

RPC : Raffinage et Pétrochimie

COM : Commercialisation

GNL : gaz naturel liquéfiée

GPL : gaz de pétrole liquéfié

IAP : Institut Algérien du Pétrole

PDG : président directeur général

HSE : Santé, Sécurité et Environnement

FDP : plan de développement

FOB: free on board

CIF: cost insurance freight

CAPEX: capital expenditures

OPEX: operating expenses

API: American Petroleum Institute

RO: recherche opérationnelle

DST: Drill Stem Test

WBM: water based mud

OBM: oil based mud

AOP: annual operating plan

BOP: Blowout Preventers

CHH: Casing Head Housing

Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux.....	I
Liste d'abréviations.....	II
Table des matières	III
Introduction générale	A
Chapitre I Présentation de SONATRACH et de puits HTAN-1.....	1
Introduction	2
I.1 Présentation de groupe SONATRACH.....	2
I.1.1 Historique de la SONATRACH.....	3
I.1.2 Les objectifs de SONATRACH.....	4
I.1.3 Les divisions de SONATRACH	5
I.1.4 Les activités de la SONATRACH.....	6
I.2 Présentation de puits HTAN-1	12
I.2.1 La répartition des dépenses dans le forage	15
I.2.2 Le cout de revient de forage	16
I.2.3 Eléments constitutifs du prix de revient forage	16
I.2.4 Les opérations de forage de puits HTAN-1.....	18
Conclusion.....	25
Chapitre II Généralités sur le pétrole brut.....	26
Introduction	27
II.1 La définition du pétrole brut.....	27
II.2 Les caractéristiques du pétrole brut	27
II.3 La formation de pétrole	28
II.4 La chaîne pétrolière	29
II.4.1 L'étude géologique de pétrole	29
II.4.2 L'étude géophysique de pétrole.....	30

II.4.3	Le forage	32
II.4.4	Le transport de pétrole	38
II.4.5	Le raffinage	39
II.4.6	Les principaux produits de raffinage de pétrole brut et leur utilisation	42
Conclusion.....		43
Chapitre III Généralités sur la recherche opérationnelle et la méthode MPM.....		44
Introduction		45
III.1	La recherche opérationnelle	45
III.1.1	Historique de la recherche opérationnelle	45
III.1.2	Définition de la recherche opérationnelle	46
III.1.3	Les types de problèmes traités par la recherche opérationnelle	47
III.1.4	Domaines d'applications de la recherche opérationnelle.....	48
III.1.5	L'importance de la recherche opérationnelle dans l'industrie pétrolière	50
III.2	Les méthodes de résolution	51
III.2.1	La méthode MPM	51
III.2.2	Identification de chemin critique	53
Conclusion.....		54
Chapitre IV Etude du puits HTAN-1		55
Introduction		56
IV.1	Analyse des délais et du temps de réalisation de puits HTAN-1	56
IV.2	Etablissement d'une liste de tâches et détermination de tâches antérieures	59
IV.3	Construction de réseau MPM	59
IV.4	Calcul des dates au plus tôt et au plus tard selon MPM.....	61
IV.4.1	Calcul des dates au plus tôt	61
IV.4.2	Calcul des dates au plus tard.....	62
Conclusion.....		68
Conclusion générale.....		70

Bibliographie	74
Annexe	78
Résumé	80

Introduction générale

Introduction générale

Le secteur de l'industrie pétrolière et gazière est un pilier essentiel de l'économie mondiale, fournissant une source vitale d'énergie pour les activités quotidiennes et industrielles. Au cœur de cette industrie, les opérations de forage jouent un rôle important, car elles permettent l'extraction des précieuses ressources enfouies sous la surface de la terre. Cependant, ces opérations sont souvent confrontées à des défis complexes, notamment des coûts élevés et des délais prolongés, qui peuvent compromettre la rentabilité et l'efficacité globale des projets

La nécessité d'optimiser ces opérations, tant en termes de coûts et de délais, est donc cruciale pour garantir la compétitivité et la rentabilité des entreprises pétrolières

Dans ce contexte, ce mémoire se propose d'explorer en profondeur les possibilités d'optimisation des opérations de forage, en termes de coûts et de délais, en mettant en œuvre la méthode des potentiels métra (MPM), de la recherche opérationnelle. Cette approche analytique et quantitatif offre un cadre structuré pour modéliser, planifier et contrôler les activités de forage, en vue de minimiser les coûts et de réduire les délais, tout en maintenant des normes élevées de sécurité et d'efficacité.

Le choix du sujet de l'optimisation des opérations de forage est motivé par son importance cruciale dans l'industrie pétrolière. En optimisant ces opérations, il est possible de réduire les coûts, les délais et d'améliorer l'efficacité. Cette compréhension est essentielle pour les acteurs de l'industrie, les décideurs politiques et les analystes économiques, afin d'assurer une exploitation rentable et durable.

Problématique

La principale problématique est : Comment la méthode MPM peut être appliquée pour optimiser les coûts et les délais dans les opérations de forage ?

Sous questions

- Comment la méthode MPM peut aider à prendre des décisions éclairées pour minimiser les couts ?
- Comment répartir les ressources efficacement pour éviter les goulets d'étranglement ?
- Quelles sont les opérations de forage qui ont le plus grand impact sur la durée totale ?

Introduction générale

Les hypothèses

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour aborder cette problématique :

Hypothèse 1 : L'utilisation de cette méthode peut conduire à une réduction des délais de forage en permettant une meilleure prévision et une gestion des risques associés aux différentes étapes du forage.

Hypothèse 2 : L'utilisation de la méthode MPM permettra de mieux visualiser et de mieux comprendre les interdépendances entre les différentes tâches et activités de forage, en identifiant les chemins critiques et en optimisant les ressources disponibles, facilitant ainsi la planification et la gestion des ressources.

Ce mémoire se compose de plusieurs chapitres. Tout d'abord, il convient de comprendre les fondements du secteur pétrolier, nous commencerons par donner des généralités sur le pétrole brut, sa nature, ses propriétés et son processus d'exploitation depuis l'étude géologique jusqu'à son consommation. Ensuite, une présentation détaillée de la société SONATRACH, acteur majeur de l'industrie pétrolière en Algérie, avec un accent particulier sur sa division Exploration-Production.

Nous aborderons également dans un troisième chapitre les principes fondamentaux de la recherche opérationnelle, en mettant en évidence son rôle dans l'industrie pétrolière, y compris les opérations de forage. Enfin, nous explorerons en détail la méthode MPM, en expliquant son concept de base et son application pratique

Pour résumer, ce mémoire a pour objectif de montrer que l'utilisation de la méthode MPM dans les opérations de forage peut améliorer la gestion des projets en termes de coûts et de délais. L'analyse approfondie des hypothèses énoncées permettra d'obtenir des informations précieuses sur l'efficacité de ces méthodes et d'orienter les stratégies d'optimisation futures dans le domaine pétrolier et gazier.

Chapitre I

Présentation de

SONATRACH et de puits

HTAN-1

Introduction

SONATRACH, est une entreprise publique algérienne créée pour transporter et commercialiser les hydrocarbures, puis transformée en un immense groupe pétrolier et gazier qui fournit la part la plus importante des revenus du pays en devises fortes, et est classée parmi les plus grandes entreprises contractantes au niveau africain.

On donnant par la suite une présentation de groupe SONATRACH et de projet de puits pétrolier HTAN-1

I.1 Présentation de groupe SONATRACH

Créée en 1963, SONATRACH est la plus importante compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisations, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés.

SONATRACH joue pleinement son rôle de locomotive de l'économie nationale. Elle a pour mission de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Cet acteur majeur de l'industrie pétrolière, surnommé la major africaine, tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré sur toute la chaîne de valeur des hydrocarbures.

SONATRACH opère, en effort propre ou en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères, des gisements parmi les plus importants du monde dans différentes régions du Sahara algérien : Hassi Messaoud, Hassi R'Mel, Hassi Berkine, Ourhoud, In Salah et In Amenas.

En matière de transport, le Groupe dispose d'un réseau de canalisations extrêmement dense qui s'étend aujourd'hui sur près de 22 000 kilomètres sur le territoire national. La Compagnie a également aménagé quatre ports pétroliers de chargement d'hydrocarbures : Alger, Arzew, Bejaia et Skikda.

SONATRACH compte six raffineries en activité sur le territoire et deux complexes pétrochimiques, quatre complexes Liquéfaction GNL et deux complexes Séparation GPL.

SONATRACH emploie sur le territoire national près de 50 000 employés permanents et plus de 200.000 personnes à l'échelle du Groupe.¹

¹ ATTOU Manel et GUENNIFI Nour El Houda, 2022. *Le pétrole brut*. Mémoire de licence, université de M'hammed Bougara, département de l'économie et de commercialisation des hydrocarbures, page 27

SONATRACH met un fort accent sur la formation, considérant celle-ci comme un moteur essentiel du développement de l'entreprise. L'IAP (Institut Algérien du Pétrole) est un outil de formation clé du groupe SONATRACH plus, l'entreprise s'engage dans le développement du contenu local, la promotion des ressources humaines et la préparation des générations futures d'ingénieurs, techniciens et opérateurs¹

I.1.1 Historique de la SONATRACH

La société SONATRACH, une compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport et de commercialisation des hydrocarbures, à une histoire riche et une influence significative dans l'industrie pétrolière et gazière en Algérie et à l'échelle internationale. Voici un résumé de son historique :

- SONATRACH a été créée en 1963, peu après l'obtention de l'indépendance de l'Algérie
- Elle est devenue la première entreprise du continent africain dans le domaine des hydrocarbures
- SONATRACH a développé ses activités dans quatre principaux domaines : l'Amont, l'Aval, le Transport par Canalisations et la Commercialisation
- Elle est présente dans plusieurs projets avec des partenaires en Afrique, en Amérique Latine et en Europe
- SONATRACH s'est adaptée à l'environnement économique mondial en diversifiant ses activités, notamment dans la génération électrique, l'eau, le transport aérien et maritime
- Elle a adopté une politique HSE pour concilier son activité industrielle avec la préservation de la Santé, Sécurité et de l'Environnement
- SONATRACH a mis en place des programmes et des politiques qui reflètent son engagement responsable et concret à l'égard de la nation et de ses populations
- Le PDG de SONATRACH a récemment dévoilé les objectifs de l'Algérie en matière de production d'électricité via l'énergie solaire, avec un objectif de 15.000 mégawatts à l'horizon 2035

Cette compagnie pétrolière et gazière intégrée est devenue une force majeure dans l'industrie des hydrocarbures en Algérie et à l'échelle internationale, en se concentrant sur la recherche,

¹ Ibid

l'exploitation, le transport et la commercialisation des hydrocarbures, tout en se diversifiant dans d'autres secteurs économiques¹

I.1.2 Les objectifs de SONATRACH

L'objectif de SONATRACH est de gérer les ressources en hydrocarbures de l'Algérie afin que le pays et ses citoyens puissent les exploiter pleinement. Les principaux objectifs de l'entreprise sont :

- Assurer le développement durable des ressources en hydrocarbures de l'Algérie, en tenant compte des considérations sociales et environnementales
- Maximiser les bénéfices que le peuple et l'économie algériens tirent de ses ressources en hydrocarbures
- Soutenir l'expansion d'une économie nationale diversifiée contribuera au développement des industries et des entreprises régionales
- Développer le business et les compétences pour développer et entretenir des collaborations avec des sociétés pétrolières et gazières multinationales
- Pour atteindre ces objectifs, SONATRACH met en œuvre une série de projets et programmes, tels que le Plan National de Développement des Hydrocarbures, qui vise à créer de nouveaux gisements, augmenter la production et les réserves, et améliorer les technologies d'exploration.²

¹ATTOU Manel et GUENNIFI Nour El Houda, op.cit, page 28

²SOUFI Ahmed Mustapha, 2023, *Optimisation et Modélisation Graphique d'un réseau de production, de traitement et transport du gaz : Projet In-Salah Gas*, mémoire de master, université de M'hamed Bougara, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures, page 4

I.1.3 Les divisions de SONATRACH

I.1.3.1 Division de l'exploration et de la production

Cette division est responsable de l'exploration et de la production de pétrole et de gaz. Elle gère des actifs on shore et offshore, dont les champs d'Ourhoud et Hassi Messaoud. Elle supervise aussi la coopération avec des sociétés pétrolières et gazières étrangères

Ce département est divisé en plusieurs segmentations, par exemple :

- Services de forage et de puits : Responsable des activités de forage et de maintenance des puits
- La sous-division réservoir engineering effectue des recherches et des analyses de réservoirs pour maximiser la production
- La sous-division des opérations au sol, chargé de superviser les infrastructures et installations au sol.

I.1.3.2 Division du Raffinage et de la Pétrochimie

Ce secteur gère plusieurs raffineries en Algérie, notamment les raffineries de Skikda et Azef, d'une capacité de 700 000 barils par jour. En outre, le pays possède de nombreuses installations pétrochimiques qui fabriquent une variété de produits, notamment des plastiques, du méthanol et de l'ammoniac. Il existe plusieurs subdivisions au sein de ce département, notamment :

- La Division Raffinage, qui supervise les opérations de raffinage de l'entreprise
- Le Département Pétrochimique supervise la production de produits pétrochimiques.¹

I.1.3.3 Division Transport

Cette division gère le réseau de pipelines et autres infrastructures de transport de SONATRACH. Ce département supervise un certain nombre de subdivisions telles que :

- Pipeline Operations : La gestion des réseaux de pipelines et autres infrastructures de transport relève de la responsabilité de ce département.

¹SOUFI Ahmed Mustapha, op.cit , P 5- P 6

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

- Opérations marines : La gestion du transport naval de la logistique du pétrole brut et du GNL relève de cette section. La gestion logistique des produits pétroliers nationaux et internationaux entre dans le cadre de cette section.

I.1.3.4 Division Marketing

Ce département est responsable de la promotion des produits hydrocarbures de SONATRACH sur les marchés mondiaux

La division est composée d'un certain nombre de sous-divisions, telles que :

- Activités Commerciales : Ce département est en charge de la gestion des ventes et du marketing des produits d'hydrocarbures de SONATRACH. Il s'agit de développer des stratégies commerciales efficaces, de prospecter de nouveaux clients et de fidéliser les clients existants.
- Commerce et Approvisionnement : Ce département gère l'approvisionnement en produits hydrocarbures et le commerce international. Il s'agit de garantir un approvisionnement fiable et compétitif en matières premières et de maximiser les profits sur les marchés internationaux.
- Expédition : Ce département est responsable de la supervision de la livraison des produits d'hydrocarbures aux clients. Il s'agit de garantir le respect des délais et des conditions de livraison, ainsi que la sécurité et la qualité des produits.¹

I.1.4 Les activités de la SONATRACH

SONATRACH opère dans cinq principales activités exerçant les métiers de la chaîne pétrolière, ces activités sont les suivantes :

- Exploration et Production (E&P)
- Transport par Canalisation (TRC)
- Liquéfaction et Séparation (LQS)
- Raffinage et Pétrochimie (RPC)
- Commercialisation (COM)

Chaque activité exerce ses métiers et contribue également au développement des activités internationales de la société.

¹Ibid

I.1.4.1 Activité Transport par Canalisations (TRC)

Au sein du groupe SONATRACH, l'activité Transport par Canalisation (TRC) est en charge de l'acheminement et la livraison des hydrocarbures (pétrole brut, gaz, GPL et condensat), depuis les zones de stockage aux complexes GNL, aux usines de séparation des GPL, aux raffineries, aux ports pétroliers ainsi que l'export du gaz naturel à travers les gazoducs à destination de l'Italie et de l'Espagne.

L'activité Transport par Canalisation a la charge de définir, de réaliser, d'exploiter, d'assurer la maintenance et de faire évoluer les réseaux de canalisation ainsi que les différentes installations qui s'y rattachent. Elle veille également au respect des conditions de sécurité et de préservation de l'environnement. L'Activité Transport par Canalisations est un maillon important de la chaîne des hydrocarbures et ce, d'un point de vue historique, stratégique et opérationnel.

Elle a pour missions :

- La gestion et l'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures.
- La coordination et le contrôle de l'exécution des programmes de transport arrêtés en fonction des impératifs de production et de commercialisation.
- La maintenance, l'intervention et la protection des ouvrages et canalisation de transport des hydrocarbures.¹

I.1.4.2 Activité Liquéfaction et Séparation des gaz (LQS)

L'activité liquéfaction et séparation a pour mission la transformation des hydrocarbures par la liquéfaction du gaz naturel dans le but de faciliter son transport lors de l'exportation par méthanier (GNL) et la séparation des GPL.

Le premier Complexe de liquéfaction dans le monde dénommé GL4Z (ex-CAMEL) a vu le jour en 1964 à Arzew, au fur et à mesure et en réponse à une forte demande du marché mondial, SONATRACH a vu ses capacités de production se consolider par l'entrée en production de quatre nouveaux Complexes de liquéfaction (GL1Z, GL2Z, GL3Z d'Arzew et GL1K de Skikda) pour culminer sur une capacité totale de 56 millions de m³/an.

¹ ATTOU Manel et GUENNIFI Nour El Houda, 2022. *Le pétrole brut*. Mémoire de licence, université de M'hammed Bougara, département de l'économie et de commercialisation des hydrocarbures, page 31

I.1.4.3 Activité Raffinage et pétrochimie (RPC)

L'Activité Raffinage & Pétrochimie a pour mission essentielle l'exploitation et la gestion de l'outil de production du raffinage et de la pétrochimie, pour répondre principalement à la demande du marché national en produits pétroliers.

La raffinerie de Skikda RA1K

La raffinerie de pétrole de Skikda baptisé (RA1K) a été mise en service en Mars 1980. Elle a pour mission de transformer le Pétrole Brut de Hassi-Messaoud en fractions pétrolières valorisables sur le marché intérieur ou extérieur. Sa capacité de traitement, initialement de 15.000.000 t/an, a été portée à 16.500.000 t/an après sa réhabilitation en Octobre 2012. Elle constitue la plus grande raffinerie d'Afrique

I.1.4.4 Activité Commercialisation (COM)

L'activité commercialisation vient au bout de la chaîne pétrolière. Elle a pour mission la veille aux approvisionnements énergétiques du marché national, et la valorisation des hydrocarbures liquides et gazeux, primaires et transformés, exportés sur les marchés internationaux.

L'Activité Commercialisation est chargée de l'élaboration et de l'application des politiques et stratégies en matière de commercialisation des hydrocarbures¹

I.1.4.5 Activité Exploration - Production (EP)

Dans l'Amont, SONATRACH opère en effort propre ou en partenariat avec des compagnies pétrolières étrangères, des gisements parmi les plus importants du monde dans différentes régions du Sahara algérien.

Le pétrole est notre principale source d'énergie, il a révolutionné l'industrie, les transports et le confort domestique. La consommation énergétique mondiale est immense et ne semble pas devoir diminuer. Aujourd'hui, près de la moitié des besoins mondiaux en énergie sont couverts par le pétrole et le gaz. Mais, pour cela, il faut le débusquer et l'extraire du sous-sol où il s'est formé. L'aventure pétrolière commence par la recherche de gisements, c'est l'exploration.

L'activité EP englobe l'exploration, le développement et la production, constituant ainsi le cœur des activités principales de l'industrie pétrolière. Cette phase absorbe jusqu'à 70% du

¹ Ibid

budget annuel de l'entreprise, représentant son cœur de métier. Les missions de l'amont pétrolier impliquent la découverte de nouvelles réserves (exploration), leur évaluation technique et économique (développement), puis leur exploitation (production).¹

I.1.4.5.1 La phase d'exploration pétrolière

L'exploration pétrolière se concentre sur l'ensemble des bassins sédimentaires qui résultent de l'accumulation de matière organique au fil du temps. Cette phase, d'une durée moyenne de 5 à 7 ans, représente généralement 10 à 15% du budget total en amont. Elle est divisée en deux activités principales : la prospection et la recherche.

- La prospection

La prospection a pour objectif de connaître le système pétrolier d'une région donnée. Elle est réalisée lorsque le système pétrolier est non avéré.

Le système pétrolier est constitué de trois couches stratégiques :

- La roche couverture (qui protège les couches inférieures).
- La roche mère (où la matière organique se transforme en hydrocarbures).
- La roche réservoir (qui contient les hydrocarbures).

- La recherche

La recherche intervient après la prospection. Son objectif est de confirmer l'existence des hydrocarbures dans le système pétrolier. Elle est réalisée lorsque le système pétrolier est avéré

L'exploration est une activité intrinsèquement risquée, car elle repose sur l'incertitude de la présence et de la quantité de pétrole. Le principal risque réside dans le facteur géologique, lié à la complexité et à l'imprévisibilité des formations géologiques. Malgré l'utilisation de techniques d'exploration géologique et géophysique de pointe, les taux de succès moyens des forages à l'échelle mondiale ne dépassent guère 30 à 40%. Certaines compagnies, notamment les sociétés nationales, évaluent la performance de l'exploration par le taux de succès, calculé comme le rapport du nombre de découvertes au nombre de puits forés. Un taux de 100% peut être atteint, mais la rentabilité peut être nulle ou négligeable. Le nombre de découvertes ne suffit pas à garantir le succès commercial, la taille du piège et le volume de pétrole en place sont des paramètres déterminants pour la rentabilité du projet.

¹ Ibid

En cas de découverte, après l'évaluation par des puits de délimitation, les services d'engineering prennent en charge l'évaluation économique et la préparation d'un plan de développement (FDP).¹

I.1.4.5.2 La phase de développement

Suivant la découverte d'un gisement d'hydrocarbures, s'étend sur 2 à 3 ans et consiste à le préparer pour une exploitation commerciale rentable. Son objectif principal est de mettre en place l'infrastructure nécessaire à l'extraction, au traitement et au transport des hydrocarbures vers les marchés. Cela implique le forage de nombreux puits de développement, l'installation d'unités de traitement et de réseaux de collecte, la construction de bacs de stockage et d'infrastructures annexes (routes, pipelines, etc.).

Représentant 70% à 80% de l'investissement total en amont, cette phase est la plus coûteuse du processus amont. Ces dépenses, désignées par le terme CAPEX, nécessitent une planification minutieuse et une gestion efficace des risques pour maximiser les chances de réussite et minimiser les coûts.

Cette phase est également exposée à des risques économiques liés aux fluctuations des prix des hydrocarbures, et à des risques géologiques malgré leur moindre importance par rapport à la phase d'exploration. L'exemple du gisement de Hassi Messaoud en Algérie, où 10% des puits de développement se sont avérés négatifs, illustre ces défis.

En somme, la phase de développement est une étape cruciale et onéreuse qui transforme un gisement en une source d'énergie productive, nécessitant une exécution rigoureuse des opérations pour en garantir le succès.²

I.1.4.5.3 La phase de production : Exploitation du gisement

La phase de production correspond à l'exploitation du gisement d'hydrocarbures. Sa durée varie de 25 à 30 ans, en fonction du type d'hydrocarbure (pétrole ou gaz) et de l'importance des réserves à extraire. Contrairement aux phases d'exploration et de développement, elle nécessite peu d'investissements, la location du matériel étant souvent privilégiée à l'achat.

¹BAGHOUL Mohammed Saïd, 2021. *Pétrole algérien : les barils de la peur*. Édition saint honoré Paris. p37- p38

²Ibid

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

Les coûts d'exploitation, désignés par OPEX, constituent, avec les CAPEX, le coût global de production ou prix de revient d'un baril produit. Ce coût varie considérablement d'un gisement à l'autre, en fonction de son âge, de son niveau d'amortissement et du pays d'exploitation.

Dans les contrats de recherche et d'exploitation des hydrocarbures en Algérie, les OPEX ne comprennent pas les coûts de transport, qui représentent environ 5 à 7% du budget annuel de l'amont. Viennent ensuite les coûts du siège, s'élevant à environ 3%.¹

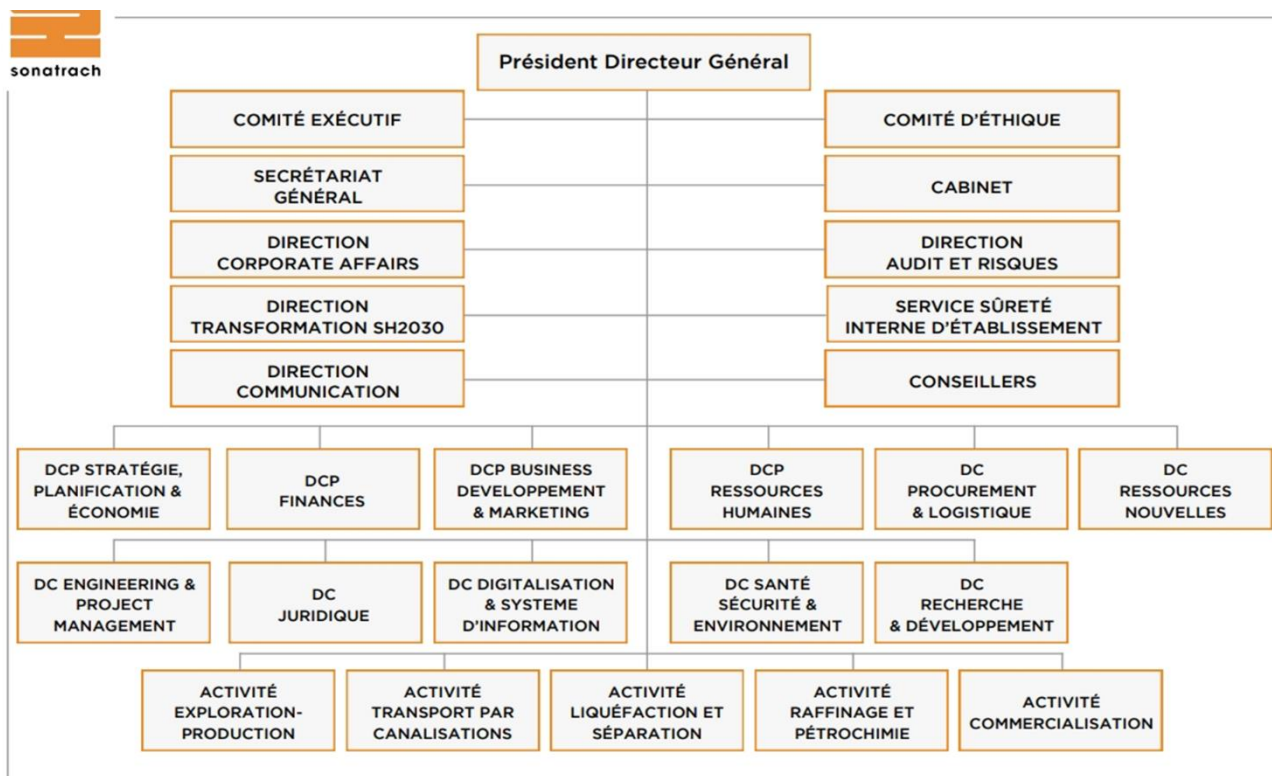


Figure I. 1 : Organigramme de SONATRACH

Source : Site officiel de SONATRACH, bilan annuel 2015, consulté le 12/02/2024

¹BAGHOUL Mohammed Saïd, 2021. *Pétrole algérien: les barils de la peur*. Édition saint honoré paris. p39

I.2 Présentation de puits HTAN-1

Le forage HASSI TOUIZA NORD-1 (HTAN-1) s'inscrit dans le cadre de l'exploration des réservoirs triasiques et ordoviciens dans le périmètre de recherche Touggourt III. Il se situe dans un environnement pétrolier très favorable à savoir les champs ; DAD et BRA au sud, productif dans l'Ordovicien (Quartzite de Hamra), les puits OEN et WOEN au Nord, auxquelles s'ajoutent les récentes découvertes d'huile dans les puits SOEN-1 (Grés d'Ouargla de l'Ordovicien) et HAS-1 (Série Inférieure du Trias) avec des débits d'huile respectifs de 13.69m³/h et 17.37 m³/h. Le cambrien (Ri) productif au puits HTA-1Bis avec un faible débit de gaz après acidification.

Le forage HTAN-1 a été implanté au Sud Est du périmètre Touggourt III, au Nord-est de la zone d'exploitation DRAA ED DAOUI (DAD), plus précisément au Nord-est du puits HTA1bis (1994) et au Sud de la découverte du puits HAS-1 (2022), à une distance de 9.5Km et 16Km, respectivement¹

Le puits HTAN-1 a été foré en mars 2023 dans un délai de réalisation 178 jours, la profondeur du puits est de 3980 m. Il a été foré verticalement en six phases (36", 26", 16", 12"1/4, 8"1/2, 6") de profondeurs respectives : 59m, 320m, 1985m, 2673m, 3452m et 3754m

Ces phases seront tubées, respectivement en : 30", 18"5/8, 13"3/8, 9"5/8, 7", 4"1/2

Le type de boue utilisé dans les phases 36" et 26" est le WBM et dans les autres phases le OBM²

¹ Rapport d'implantation du forage Hassi Touiza nord-1 (HTAN-1) périmètre Touggourt iii (Blocs : 415a-415b, 416, 423,424b, 433, 445a)

² Rapport annuel d'activité OPE – HMD – 2023

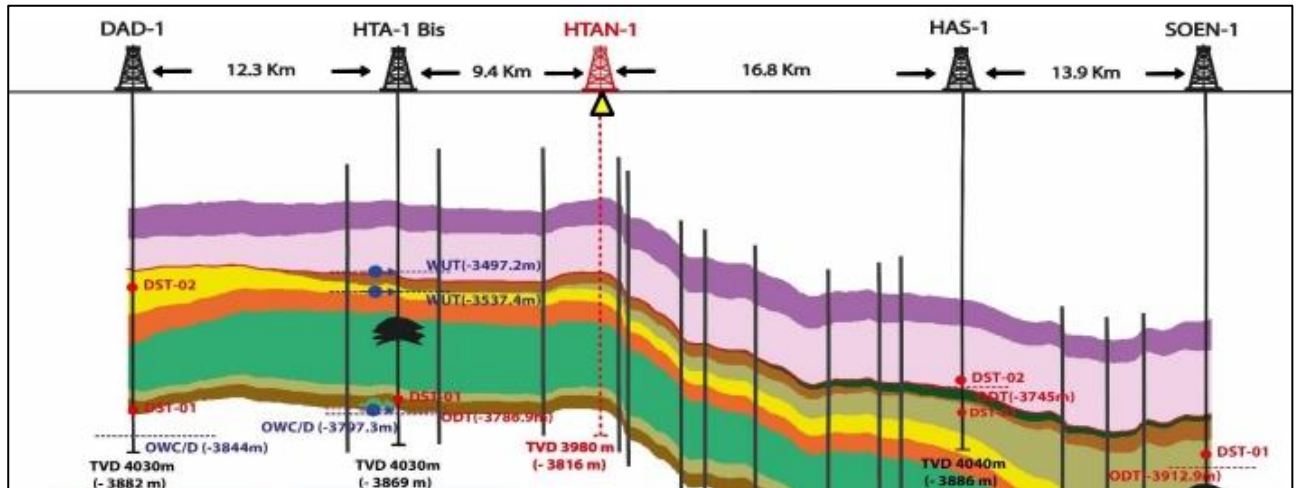


Figure I. 2 : Coupe géologique passant par les puits DAD-1, HTA-1bis, HTAN-1, HAS-1 et SOEN-1

Source : rapport d'implantation du forage HASSI TOUIZA NORD-1 (HTAN-1)

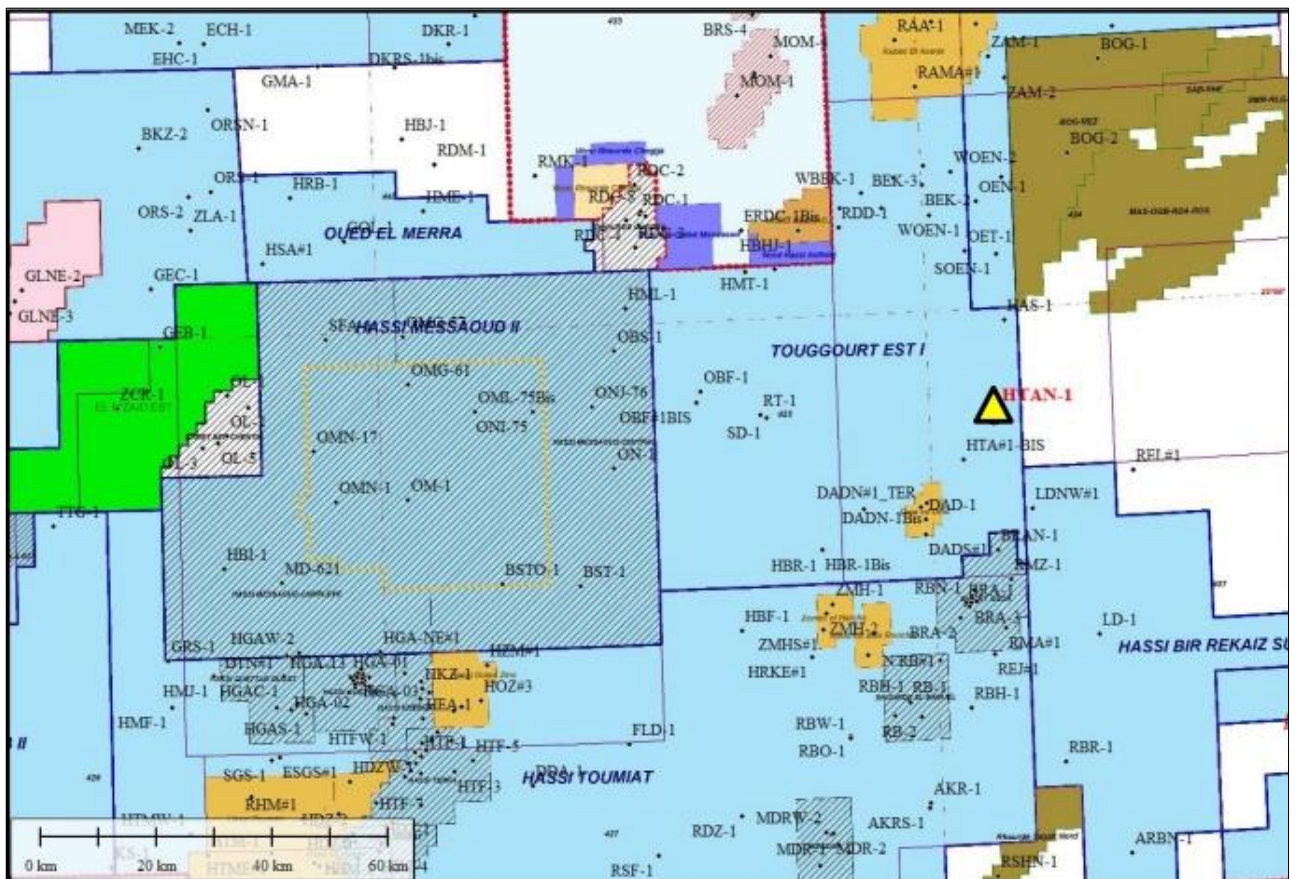


Figure I. 3 : Localisation du forage HASSI TOUIZA NORD-1 (HTAN-1)

Source : rapport d'implantation du forage HASSI TOUIZA NORD-1 (HTAN-1), consulté le 13/06/2024

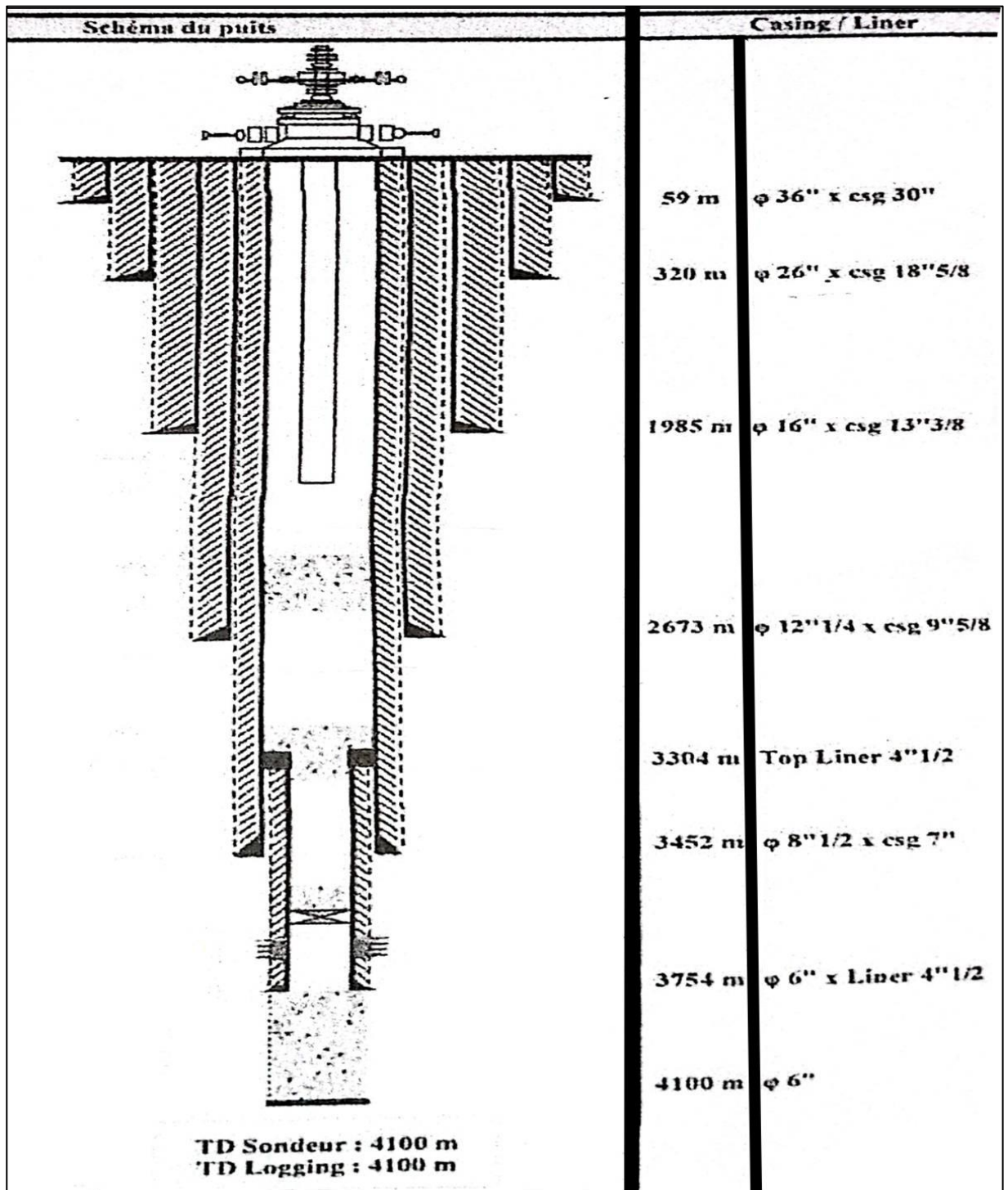


Figure I. 4 : schéma du puits HTAN-1

Source : Rapport annuel d'activité OPE – HMD – 2023, consulté le 13/06/2024

I.2.1 La répartition des dépenses dans le forage

I.2.1.1 Coûts d'exploration et d'évaluation

Ces frais comprennent les dépenses associées à la première étape d'exploration et d'évaluation du potentiel pétrolier ou gazier du site, comme les études géologiques et géophysiques, les campagnes de prospection et les forages d'exploration préliminaires, etc.

I.2.1.2 Coûts de location de la plate-forme de forage

Les frais liés à la location de la plate-forme de forage utilisée pour effectuer les opérations de forage. Selon le type de plate-forme (terrestre, offshore, semi-submersible, etc.), la durée de location et la profondeur du forage, ces coûts peuvent fluctuer

I.2.1.3 Coûts des équipements et des consommables

Les dépenses liées aux équipements de forage comprennent les frais liés aux tiges et outils de forage, aux têtes de puits, aux moteurs, aux pompes, aux compresseurs, ainsi qu'aux consommables tels que les fluides de forage, les consommables tubulaires, les lubrifiants, les produits chimiques, les consommables du tubage et habillage en colonnes, l'eau, ciments, etc.

I.2.1.4 Coûts de main-d'œuvre

Ces dépenses incluent les rémunérations, les prestations sociales et les frais de formation des employés engagés dans les opérations de forage, tels que les foreurs, les opérateurs de plate-forme, les ingénieurs de forage, les géologues et les techniciens de maintenance, etc.

I.2.1.5 Coûts de logistique et de transport

Ils englobent les dépenses liées au transport des équipements et du personnel vers le site de forage, les frais de carburant pour les véhicules et les équipements, aux coûts liés au stockage et à la gestion des matériaux et des consommables, ainsi qu'aux dépenses liées au logement et à la restauration du personnel sur place.

I.2.1.6 Coûts de maintenance et de réparation

Comprend les frais associés à la maintenance préventive et corrective des équipements de forage, tels que les coûts de pièces de rechange, les services de réparation et de révision, ainsi que les inspections systématiques, etc.

I.2.1.7 Coûts administratifs et réglementaires

Les frais administratifs généraux liés à la gestion du projet de forage comprennent les frais de permis et de réglementation, les frais d'assurance, les frais juridiques, les frais de gestion des contrats, et ainsi de suite

I.2.1.8 Coûts de gestion des risques et de sécurité

Cette catégorie comprend les dépenses liées à la gestion des risques opérationnels, à la sécurité du personnel et à la conformité aux normes réglementaires en matière de santé et de sécurité au travail.

Ces éléments constitutifs peuvent être répartis de manière précise selon les particularités de chaque projet de forage, l'emplacement géographique, les conditions géologiques, les réglementations en vigueur et les conditions du marché. Il est essentiel d'effectuer une analyse approfondie des dépenses afin d'évaluer précisément le coût de revient d'un projet de forage spécifique.

I.2.2 Le cout de revient de forage

Le prix de revient de forage est le coût total de l'opération de forage d'un puits, depuis la préparation de l'emplacement jusqu'à son mise en production ou à son abandon. Il est composé de différents éléments qui témoignent des dépenses engagées pour réaliser l'ensemble du processus de forage. Voici les éléments clés qui composent le prix de revient du forage :¹

I.2.3 Eléments constitutifs du prix de revient forage

Les principaux éléments constituant le prix de revient du forage sur un puits peuvent se regrouper sous ces principales rubriques :

❖ Les consommations

- outils de forage,
- tubage et habillage de colonnes,
- tête de puits,

¹MANSOURI Brahim, 2010. *Optimisation des couts et du temps de réalisation d'un forage horizontal a Hassi Messaoud*. Mémoire de fin d'études, université de M'hamed Bougara, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures, page 62

- produits à boue
- ciments
- eau
- carburants
- Divers.

❖ **Les services**

- opérations électriques
- cimentation
- tests
- opérations spéciales diverses (side track, opération de fishing, la diagraphie)

❖ **Location de l'appareil de forage**

- location régie
- location métré

❖ **Les transports**

- déménagement
- transport de matériel
- transport des travailleurs
- transport de l'appareil de forage¹

❖ **La supervision**

- la supervision AOP
- la supervision forage

❖ **Les charges**

- les charges d'exploitation
- les charges DPR

¹Ibid

Tableau I. 1 : les éléments constitutifs de prix de revient de forage de puits HTAN-1

Les éléments	Cout
Topographie	787 281,00
Piste	15 254 782,00
DTM	31 173 778,00
Forage en régie	386 649 150,00
Forage puits d'eau	11 579 100,99
Boue	6 209 281,00
Cim./prim./sces.	26 606 518,11
Cim. /bouc	39 822 359,67
Clés automatiques	8 568 869,25
Opération de carottage	7 145 551,01
Diagraphie	81 647 831,16
Sismique puits	4 820 402,40
D.S.T	127 170 000,00
Métrage	4 000,00
Redevance eau	960 000,00
Sureté aux puits	62 137 830,58
Environnement	15 242 616,38
Op. Spec. / fishing	2 937 989,00
Op. Spec. / side track	1 777 398,26
Transport - autres	6 750 000,00
Transport - matériel programme	5 500 000,00
Cons. Outils	18 997 000,00
Cons.- habillage colonne	1 217 289,32
Cons. - tubulaires	275 596 193,12
Cons. /têtes	12 907 226,66
Prestations annexes	38 664 915,00
Supervision forage	112 105 164,51
Charges d'exploration	117 977 646,60

Source : Rapport annuel d'activité OPE – HMD – 2023, consulté le 13/06/2024

I.2.4 Les opérations de forage de puits HTAN-1

I.2.4.1 Topographie

La topographie est essentielle pour établir l'emplacement idéal du puits en prenant en compte différents éléments tels que l'accessibilité aux ressources pétrolières, la configuration du terrain, les réglementations environnementales et les infrastructures déjà en place

I.2.4.2 Construction de la piste

Une fois que l'emplacement du puits est défini, il est nécessaire de construire une piste d'accès afin de faciliter le déplacement du matériel lourd et du personnel vers le site de forage. Cette étape assure un accès sécurisé et efficace tout au long du projet.

I.2.4.3 Installation de la plateforme

Avant de débiter le forage, il est nécessaire d'installer une plateforme solide afin de soutenir le matériel de forage et garantir la sécurité des opérations. Il est fréquent que la construction de la plateforme soit influencée par la nature du terrain et les conditions géologiques locales.¹

I.2.4.4 Le DTM

Le DTM (Démontage Transport Montage) fait référence à un processus où l'appareil de forage est démonté, transporté vers un nouveau site et remonté afin de reprendre les opérations de forage. Ce processus est nécessaire lorsque les opérations de forage doivent être déplacées vers de nouveaux sites géographiques afin d'explorer de nouveaux gisements.

L'appareil de forage programmé pour le puits HTAN-1 est ENF-13.

I.2.4.5 Forage du puits d'eau

Il arrive parfois qu'un puits secondaire soit creusé afin de fournir l'eau nécessaire au forage principal. Il est crucial de passer par cette étape afin d'assurer un approvisionnement en eau adéquat pendant les opérations de forage

I.2.4.6 Le forage

Cette étape implique de forer le puits vertical jusqu'à la profondeur désirée afin d'atteindre les réservoirs de pétrole ou de gaz de manière optimale

Cette opération fondamentale est effectuée exclusivement par le chef de poste, qui applique un poids sur l'outil à pastilles de diamant poly cristallin tout en le faisant tourner à l'aide des tiges de forage, permettant également l'injection continue de la boue de forage.

¹Science. *Le processus de forage pétrolier expliqué*. Consulté le 01/04/2024, Disponible sur <https://fr.scienceaq.com/Nature/1001021115.html>,

Dans le cadre du forage, il est crucial de contrôler de nombreux paramètres, parmi lesquels les plus importants sont :

- La nature, la tendance à dévier et l'abrasivité de la couche
- Le type d'outil utilisé
- Le poids appliqué et la vitesse de rotation
- Les caractéristiques du fluide de forage.

Pendant cette opération, qui requiert peu de personnel, le chef de poste contrôle principalement le poids sur l'outil en utilisant le levier de frein. Les deux autres paramètres, la vitesse de rotation et le débit de la boue, sont généralement fixes et ajustés selon un programme préétabli.¹

I.2.4.7 La boue de forage

Il s'agit d'un mélange d'eau et de particules argileuses solides, densifié, homogénéisé et stabilisé grâce à différents produits chimiques. Elle doit être continuellement injectée pendant le forage

Sa composition peut varier en fonction des roches traversées et de la pression dans les réservoirs traversés. Elle doit être parfaitement préparée et sa densité doit être contrôlée en permanence. Lorsqu'elle est trop lourde, elle risque de pénétrer dans les réservoirs qu'elle rencontre, car la pression est inférieure à celle du trou. Si la boue est trop légère, elle risque de provoquer une éruption incontrôlable et dangereuse.

La composition de la boue utilisée pour forer varie en fonction des roches traversées et de la pression du sous-sol.

Dans le forage de puits HTAN-1, ils ont utilisé deux types de boue ; une boue à base d'eau dans les phases 36" et 26" et une à base de l'huile dans les phases 16", 12"1/4, 8"1/2 et 6"

La boue de forage a plusieurs fonctions :

- La remontée des déblais ;
- Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation ;
- Le refroidissement et la lubrification de l'outil ;
- Le maintien des parois du trou foré ;
- Le contrôle des fluides de la formation traversée ;

¹BELHAOUA Abdelkader et BENSARI Amine, 2003. *Réduction des coûts dans les opérations de forage par la gestion des temps de connexion (méthode de Gantt)*. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique département génie minier, p23

- L'intervention dans le paramètre de forage (selon la pression exercée par La boue);

- La transmission de la puissance à l'équipement de fond ;
- La remontée des informations géologique ;
- L'indication des zones de fracturation (perte de boue) ;
- L'alerte sur l'imminence d'un kick (venue) ;

La boue de forage devra donc être en circulation continue pour assurer toutes les fonctions précédemment citées, il sera mis en mouvement par des pompes à boue¹

I.2.4.8 Le carottage

Le carottage est une opération très importante pour obtenir des données sur les formations géologiques rencontrées lors de forage, puisque les déblais remontés par la circulation de la boue ne sont pas toujours représentatifs pour le géologue, les renseignements sont incomplets. Ces déblais peuvent provenir de niveaux différents dont la vitesse de remontée des déblais est incertaine.

Dans l'industrie pétrolière, carotter est défini comme découper et enlever un échantillon cylindrique de roche appelé une "carotte" des parois du puits. Il fournit des échantillons intacts de la structure. C'est la seule méthode pour faire des mesures directes sur la roche et connaître les propriétés des fluides contenus. Les carottes sont l'une des sources de données les plus précieuses pour l'analyse des roches de sub-surface et des réservoirs.

La prise d'une carotte donne au géologue :

- Une certitude sur la côte et le terrain ;
- Une valeur du pendage ;
- Une appréciation de la dureté des terrains
- Une possibilité de faire des mesures précises, de porosité, perméabilité ;
- Une possibilité de reconnaître avec certitude l'âge du terrain par l'étude des fossiles²

¹Planète Énergies, 2014. *Comment se déroule le forage d'exploration ?* .Consulté le 15/05/2024, Disponible sur : <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/comment-se-deroule-forage-dexploration>.

²Le-Roy Yane Bethel NGOMA, 2019, *Préparation d'une unité mud logging en vue d'une surveillance géologique d'un forage pétrolier*, mémoire de licence professionnelle, Ecole supérieure de technologie du littoral, génie de l'amont pétrolier, page 27

I.2.4.9 Diagraphie

Le progrès du forage doit être documenté, surveillé et comparé au plan initial du puits. Il peut être nécessaire d'ajuster le programme pour améliorer la progression du forage à mesure que de nouvelles données deviennent disponibles

Des mesures doivent être prises pendant le forage ou lors des périodes d'arrêt pour garantir la sécurité du puits, des installations et du personnel, ainsi que pour établir les documents techniques.

Ces mesures sont appelées diagraphies, qui représentent graphiquement les variations d'un paramètre en fonction d'un autre. On distingue deux catégories de mesures :

- Diagraphies instantanées :

Elles sont effectuées pendant le forage et portent sur :

- Les paramètres de forage : poids sur l'outil, vitesse de pénétration, vitesse de rotation et débit d'injection de la boue.
- Les variables de fonctionnement : couple à la table de rotation, pression de refoulement aux pompes de forage, vitesse de déplacement du train de sonde et niveau de la boue dans les bassins.
- Les variables géologiques selon les formations traversées : température et résistivité de la boue, teneur en gaz et densité de la boue.

- Diagraphies différées :

- Elles sont réalisées après le retrait des tiges de forage, pendant le "Drilling Wait Time", à l'aide de sondes descendues dans le trou de forage au bout d'un câble enroulé sur le treuil de la cabine d'enregistrement.
- Les diagraphies différées permettent d'évaluer les caractéristiques des formations et des fluides rencontrés, de fournir des informations techniques (détection de points de coincement, par exemple) et d'étudier les phénomènes liés aux fluides et à leur écoulement.

Ces mesures sont nécessaires pour la gestion efficace du forage, en fournissant des informations essentielles pour optimiser les opérations et assurer la sécurité et la qualité des travaux.¹

¹BELHAOUA Abdelkader et BENSARI Amine, 2003. *Réduction des coûts dans les opérations de forage par la gestion des temps de connexion (méthode de Gantt)*. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique, département génie minier, p 28

I.2.4.10 Le DST

Cette opération permet de déterminer si les formations géologiques contiennent du pétrole, du gaz ou de l'eau, ce qui permet d'estimer les débits et les pressions des réservoirs. Il peut être défini comme une simulation temporaire de la production du puits en cours de forage, visant à collecter des échantillons des fluides contenus dans les roches.

Les résultats obtenus par ce test guideront la décision du foreur : il pourra alors décider de lancer les opérations de tubage pour établir une colonne de production et mettre le puits en exploitation, de poursuivre le forage vers des cibles plus profondes, voire d'abandonner le puits si nécessaire.

I.2.4.11 Le tubage

Pour garantir un forage sécurisé et sans incidents, il est essentiel de consolider le puits à l'aide de tubes en acier, formant ce que l'on appelle le tubage ou casing.

Le tubage est l'opération consistant à descendre les tubes de casing dans le puits une fois le forage réalisé jusqu'à la profondeur souhaitée, en ajoutant progressivement des sections de tubes de grand diamètre.

Les connexions lors du tubage doivent être robustes, capables de résister à la torsion, à la flexion et à la traction, tout en assurant une étanchéité parfaite.

Les principaux objectifs du tubage sont les suivants :

- Former un conduit durable et étanche pour le transfert du pétrole depuis la couche profonde jusqu'à la surface.
- Assurer l'isolation sécurisée entre les différentes zones de pression et entre les zones productives et non productives.
- Renforcer les parois du trou, constituées de roches présentant une stabilité insuffisante.¹

I.2.4.12 La cimentation

La cimentation consiste à introduire un mélange de ciment dans l'espace annulaire autour du tubage.

L'objectif principal de la cimentation est de maintenir en suspension le tubage et d'assurer l'étanchéité de l'espace annulaire entre le tubage et les parois du trou. Elle permet également d'isoler les zones d'absorption découvertes par le puits et de protéger le tubage contre la corrosion causée par les fluides agressifs du gisement, entre autres.

¹BELHAOUA Abdelkader et BENSARI Amine, op.cit, p 24 - 25

Le succès de cette opération repose sur une attention particulière aux détails, ce qui nécessite une collaboration étroite entre l'opérateur et la compagnie de services à toutes les étapes. Il dépend également de plusieurs facteurs, notamment :

- La géométrie du trou.
- Les propriétés de la boue de forage.
- La centralisation du tubage.
- La composition du mélange de ciment.
- Le déplacement efficace de la boue.
- La préparation et l'exécution des opérations de cimentation.¹

I.2.4.13 Bouchon de cimentation

Une fois que la cimentation initiale est terminée, il est fréquent d'installer un bouchon de ciment afin d'isoler diverses parties du puits et d'éviter les migrations de fluides indésirables.

I.2.4.14 La tête de puits

Après avoir réalisé le tubage et la cimentation, il est maintenant nécessaire de procéder au montage des équipements de suspension et d'étanchéité pour effectuer des tests afin de garantir la conformité aux normes de sécurité. Parmi ces équipements figurent :

- La tête de tubage de base appelée Casing Head Housing (CHH), qui constitue le premier élément fixé au tubage de surface par vissage ou soudure. Elle permet le montage des BOP (Blowout Preventers) ou de la tête de tubage appelée "Casing Head Spool".

Les BOP sont des dispositifs de fermeture de tête de puits qui remplissent deux fonctions principales :

- Assurer la fermeture du puits en cas de rencontre avec des formations contenant un fluide sous une pression supérieure à celle de la boue de forage.
- Permettre la circulation pour reconditionner la boue, ajuster sa densité et évacuer le fluide présent dans le puits.²

I.2.4.15 Utilisation d'outils spécifiques

À chaque étape du processus de forage, des outils spécialisés sont employés afin de réaliser des tâches particulières telles que la perforation, la cimentation, la mesure des caractéristiques

¹Ibid

²BELHAOUA Abdelkader et BENSARI Amine, 2003 *Réduction des coûts dans les opérations de forage par la gestion des temps de connexion (méthode de Gantt)*. Mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique, département génie minier, p 26 - 27

du réservoir, et ainsi de suite. Ces outils jouent un rôle crucial dans la réussite des opérations de forage.¹

I.2.4.16 Les clés automatiques

Les clés automatiques sont des outils utilisés pour serrer et desserrer les tiges de forage automatiquement, ce qui simplifie les opérations de forage et réduit les risques pour les travailleurs

Conclusion

Ce chapitre offre une perspective complète sur SONATRACH, son historique et ses objectifs, ses activités et ses divisions, en mettant la lumière sur l'activité Exploration- Production qui constitue le cœur des opérations pétrolières et gazières en Algérie. Et une présentation du puits HTAN-1, ses caractéristiques, la répartition des dépenses dans le forage, et les différents opérations de forage du puits HTAN-1

¹ Schlumberger Oilfield Glossary , Consulté le 18/04/2024 , disponible sur : <https://glossary.slb.com/en/search#q=cementing&sort=relevancy>

Chapitre II

Généralités sur le pétrole brut

Introduction

Le pétrole est la principale énergie dans le monde des combustibles liquides depuis plusieurs années, et il reste irremplaçable sur le marché énergétique, même à son prix actuel.

Le pétrole brut est une grande variété de fluides riches en hydrocarbures qui se sont accumulés dans les réservoirs souterrains et qui présentent des propriétés considérablement simples.

Étant un mélange complexe de différentes molécules, c'est la matière première pour l'industrie pétrochimique. L'industrie pétrolière s'occupe en amont de l'exploration (étude géologique et géophysique) et du forage des puits pour la récupération du pétrole, et en aval du transport, de distribution, de raffinage et de commercialisation¹

II.1 La définition du pétrole brut

Le pétrole est une huile minérale, qui est un mélange d'hydrocarbures (molécules de carbone et d'hydrogène) et de divers composés organiques. Le pétrole contient des milliers de molécules différentes qui sont décomposées et transformées chimiquement en produits utilisables.

Le pétrole brut est constitué par un mélange complexe très nombreux composé, hydrocarbures pour la plupart.

II.2 Les caractéristiques du pétrole brut

Le pétrole brut a des caractéristiques physiques et chimiques très variables d'un champ de production à un autre et même à l'intérieur du même gisement.

La caractérisation la plus grossière, mais néanmoins lourde de conséquences économiques, est la classification en pétrole "lourds et légers". Étant essentiellement constituée de molécules hydrocarbonées, la densité d'un pétrole sera d'autant plus faible que son rapport atomique H/C sera grand. C'est ainsi que la densité des divers pétroles bruts va de 0,7 à 1, cette densité pouvant souvent se rencontrer exprimée en degré API (American Petroleum Institute). Il est

¹KRADRA BRAHIM Khadija, 2009. *Détection et cinétique de la floculation des asphaltées du pétrole*. Mémoire de fin d'études, faculté des sciences d'Oran, p1.

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

clair, comme nous le verrons, que cette densité variable reflète des compositions en familles chimiques elles-mêmes très différentes.¹

Le pétrole brut algérien présente principalement les avantages suivants :

- pétrole léger et doux (faible en soufre) : Se rend lui une valeur ajoutée sur les marchés internationaux, car il est moins coûteux à raffiner, parfait pour les raffineries simples et génère des profits supplémentaires pour les producteurs et les raffineurs

2. Adaptabilité pour la blending : Le pétrole algérien peut être mélangé avec du pétrole brut lourd et soufré pour créer des combinaisons optimales²

3. Haute teneur en Nafta lorsqu'il est raffiné : Ceci signifie une meilleure conversion en produits finis utiles

4. Position géographique privilégiée : la localisation de l'Algérie réduit les risques liés au délai de livraison

Cependant, ces avantages doivent également être considérés dans le contexte de la concurrence intense des marchés pétroliers internationaux et des fluctuations des prix du pétrole.³

II.3 La formation de pétrole

La géologie pétrolière est une branche de la géologie économique, qui s'intéresse à l'étude de l'origine du pétrole, de ses emplacements et des processus géologiques qui ont conduit à sa formation.

Le pétrole se forme dans les profondeurs de la terre dans les roches, à la suite de l'accumulation de quelques restes de cadavres d'organismes vivants et de certains types de bactéries, en plus de plusieurs composés naturels tels que le carbone et l'hydrogène, avec la présence de haute température et de haute pression, ce qui conduit à la formation de pétrole brut.

¹WAUQUIER Jean Pierre, 1998. *Raffinage du pétrole : procédés de séparation*. Editions : Technip, p1.

²DARE Michée ,2023 . *Le pétrole le plus cher du monde est algérien*. Consulté le 24/02/2024, Disponible sur : <https://forbesafrique.com/le-petrole-le-plus-cher-du-monde-est-algerien/>

³ Le Monde Diplomatique, 2018. *Le pétrole et le gaz, facteurs essentiels de l'essor économique*. Consulté le 24/02/2024, Disponible sur : <https://www.monde-diplomatique.fr/1965/10/A/26892>

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

Après sa formation, le pétrole migre d'un endroit à haute pression vers des endroits où il y a une basse pression, à travers des canaux, des exutoires, des fractures et des fissures dans les roches.

Enfin, le pétrole s'accumule en un seul endroit, et en grande quantité, dans une zone fortement rocheuse, et cette zone s'appelle le piège à pétrole.¹

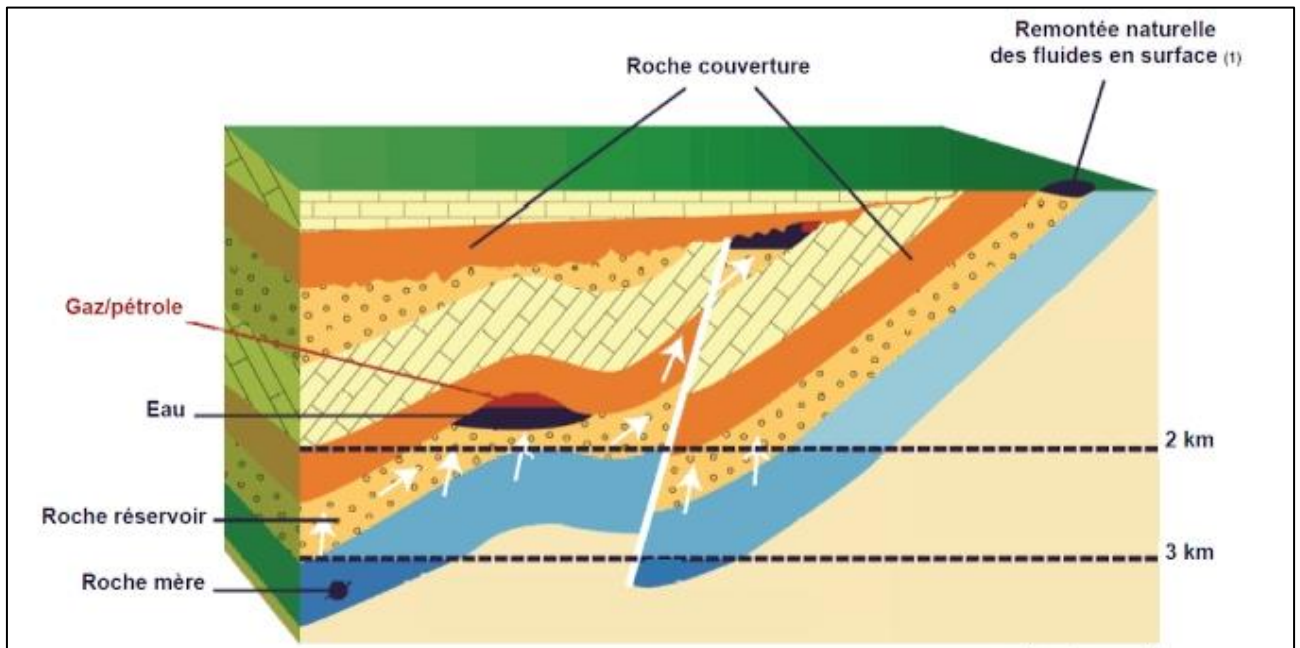


Figure II. 1 : la formation de pétrole

Source : Comment se forme le pétrole?, consulté le 13/06/2024 sur : <https://www.vermilionenergy.com/fr/notre-secteur/comment-se-forme-le-petrole/>

II.4 La chaîne pétrolière

II.4.1 L'étude géologique de pétrole

L'étude géologique du pétrole consiste à comprendre comment le pétrole se forme, où il se trouve et comment il peut être extrait et produit. Cette discipline est cruciale pour l'exploration, l'évaluation et le développement des réserves de pétrole et de gaz

L'étude géologique consiste à lancer un programme de recherche détaillée pour faire un examen des documents géologiques disponibles afin de savoir si la zone considérée présente une chance de contenir des hydrocarbures, utilisant la photographie aérienne pour établir une carte topographique des lieux. Il est ensuite demandé d'envoyer une équipe de géologie de

¹BITEAU Jean jacques et BAUDIN François. *Géologie de pétrole*, 2002. Édition technip paris, p 145

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

surface sur le terrain pour chercher les traces d'existence des roches-mères et des réservoirs divers et pour déterminer si les conditions physiques ont peut entraîner la formation d'un gisement¹

Les géologues pétroliers utilisent des méthodes et des outils pour localiser, cartographier et estimer les capacités des gisements d'hydrocarbures et des systèmes générateurs qui en sont à l'origine.

Les principaux types de pièges à pétrole sont également étudiés, ainsi que les techniques d'exploration pour trouver et évaluer les réserves de pétrole et de gaz. ²

II.4.2 L'étude géophysique de pétrole

L'étude géophysique dans le domaine pétrolier est une pratique essentielle pour la prospection et l'exploration des gisements de pétrole. Les géophysiciens utilisent des techniques spécialisées pour acquérir des données sur les caractéristiques géologiques du sous-sol, telles que la nature des roches, les conditions favorables à la création d'hydrocarbures, et la migration des hydrocarbures. Ces données sont cruciales pour localiser les zones potentiellement pétrolifères et évaluer la présence de gisements.

Son objectif est de donner le maximum d'informations pour que les forages soient entrepris avec succès. L'étude géophysique est basée sur plusieurs méthodes qui sont principalement :

II.4.2.1 La méthode électrique

La méthode électrique utilise des courants électriques injectés dans le sol à travers des électrodes. La distribution du potentiel électrique est ensuite mesurée par une série d'autres électrodes. L'interprétation de ces mesures permet de déduire la résistivité du sous-sol, qui est directement liée à ses propriétés physiques et chimiques.³

¹ BOUHRI Abdelkader, 2022. *Chapitre introductif au pétrole*. Université de M'hamed Bougara de Boumerdès, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures

² MAT Mahmut, 2023. *La géophysique de pétrole* [en ligne]. Disponible sur : <https://fr.geologyscience.com/geology-branches/petroleum-geology/petroleum-geology/?amp> [consulté le 22/02/2024]

³Dr. HAMLAOUI Mahmoud, 2019. *Méthode électrique, sismique et gravimétrique*. Université de Ferhat Abbas Sétif 1, p19

II.4.2.2 La méthode électromagnétique

Cette méthode utilise des courants électriques ou des ondes électromagnétiques pour sonder le sous-sol et mesurer sa conductivité ou sa résistivité. Cette méthode permet de distinguer les fluides (eau, pétrole, gaz) des roches, et de déterminer la porosité et la perméabilité des réservoirs. L'électromagnétisme est une méthode récente et prometteuse dans l'exploration pétrolière, car elle offre une meilleure résolution que les méthodes sismiques

II.4.2.3 La méthode gravimétrie

La gravimétrie mesure les variations de la gravité terrestre causées par la densité des roches. Cette méthode permet de détecter les contrastes de densité qui peuvent révéler la présence de bassins sédimentaires, de dômes salins ou de roches volcaniques. La gravimétrie est également utilisée en complément de la méthode sismique pour identifier les zones favorables à l'exploration pétrolière¹

II.4.2.4 La méthode sismique

La méthode sismique est l'étude de la propagation des ondes mécaniques dans la terre, où la vitesse de propagation des ondes dépend des propriétés élastiques des matériaux. Elle consiste à envoyer des ondes sonores à l'aide d'un vibreur sismique sur terre. Les échos des ondes sismiques réfléchies sont captés à la surface par un réseau de récepteurs appelés géophones. Ces récepteurs enregistrent les variations de pression générées par les ondes sismiques réfléchies, capturant ainsi une image du sous-sol. Les données recueillies sont ensuite analysées et traitées en utilisant des logiciels spécialisés.

La méthode sismique est la plus utilisée dans l'exploration pétrolière, car elle permet de localiser avec précision les réservoirs potentiels de pétrole²

Il existe 3 types de la sismique :

-Sismique 2D : est particulièrement utile pour étudier les couches rocheuses horizontales ou quasi horizontales et pour identifier les failles et autres discontinuités dans le sous-sol

Il s'agit d'envoyer des ondes sismiques dans le sol à l'aide de sources d'énergie et de mesurer le temps de parcours et l'amplitude des ondes réfléchies à la surface. Ces mesures sont ensuite utilisées pour construire des profils verticaux de la structure du sous-sol.

¹Dr. HAMLAOUI Mahmoud, Op.cit. , p76

²Dr. HAMLAOUI Mahmoud, Op.cit. p 51- p 52

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

- Sismique 3D : est une technique d'exploration géophysique qui utilise des ondes sismiques pour créer des images tridimensionnelles de la géologie souterraine.

Lors d'une sismique 3D, de multiples sources sismiques sont déployées à la surface et génèrent des ondes sismiques qui pénètrent dans les couches rocheuses souterraines.

Les ondes sont ensuite enregistrées par un réseau de capteurs appelés géophones ou sismomètres.

Les données enregistrées sont ensuite traitées pour créer une image 3D de la structure souterraine.

Cela permet aux géologues et aux ingénieurs de cartographier avec précision l'emplacement, la taille et l'orientation des réservoirs de pétrole et de gaz.

La sismique 3D a révolutionné la façon dont l'industrie pétrolière et gazière explore et exploite les réserves de pétrole et de gaz.

Il permet une meilleure compréhension de la structure géologique du sous-sol, contribue à réduire les risques d'exploration et d'exploitation et augmente l'efficacité de la production et l'interprétation de réservoirs de manière qualitative et quantitative

- La sismique 4D : Également appelé réservoir, il combine levé sismique 3D avec une dimension temporelle. Il est utilisé pour le suivi à long terme des dépôts en production, mais son utilisation en est encore à ses balbutiements.¹

II.4.3 Le forage

C'est l'ensemble des opérations qui permettent d'accéder aux roches perméables et poreuses du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides et gazeux. il consiste à percer la surface pour atteindre les zones pétrolières. il est décidé d'implanter un forage après l'étude

¹CHAIB Mohamed Yazid, 2023. *Etude économétrique de l'impact de l'évolution de prix du pétrole sur l'activité Exploration-Production (modèle ARDL)*. Mémoire de master, université M'hamed Bougara de Boumerdès, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures, page 15 - 16

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

géologique et géophysique. Cela nous donne une indication sur la composition du sous-sol et ses réserves potentielles sans mentionner l'existence d'hydrocarbures.¹

L'opération de forage peut donc confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches

II.4.3.1 Le forage dans l'activité exploration- production

1. Forage stratégique (prospection)

Le forage stratégique, également appelé prospection, est la première étape dans la recherche de gisements d'hydrocarbures. Il vise à identifier des zones potentielles où des réserves de pétrole ou de gaz naturel pourraient être présentes. Cela implique l'analyse de données géologiques, géophysiques et sismiques pour sélectionner les sites de forage. Si les résultats sont positifs, nous passons au forage d'exploration.

2. Forage d'exploration

Lorsqu'un forage stratégique identifie une zone prometteuse, on procède au forage d'exploration. Il est effectué pour confirmer la présence de réserves. Si les résultats sont négatifs (pas de découverte de réserves), le projet est abandonné. En revanche, si les résultats sont positifs, le forage passe à l'étape suivante.

3. Forage de délimitation

Après un résultat positif lors du forage d'exploration, on effectue un forage de délimitation. Celui-ci permet de mieux caractériser le gisement, d'estimer sa taille et sa forme. Les données obtenues aident à déterminer la viabilité économique du projet.

II.4.3.2 Les notions des ressources et des réserves

Les ressources d'hydrocarbures représentent l'ensemble des volumes d'hydrocarbures contenus dans le sous-sol terrestre. Les réserves d'hydrocarbures désignent les volumes récupérables d'hydrocarbures aux conditions techniques et économiques du moment dans des gisements exploités ou en passe de l'être.

Donc, les réserves ne constituent qu'une partie des ressources estimées

¹DJENNADI Idriss Moulay et MELHOUT Amine, 2015. *Contrôle des venues des fluides au cours d'un forage pétrolier : Cas d'études de puits : DHKT-2/NZ-22/RNA-15*. Mémoire fin d'études, école nationale polytechnique, page 16

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

Lors de l'évaluation des réserves, on utilise des probabilités pour estimer le volume de pétrole ou de gaz. Les valeurs p10, p50 et p90 correspondent à différents niveaux de confiance :

- p10 : il ya une probabilité de 10% que les réserves dépassent cette valeur
- p50 : il ya une probabilité de 50% que les réserves dépassent cette valeur.
- p90 : il ya une probabilité de 90% que les réserves dépassent cette valeur.

Enfin, les réserves sont classées en réserves prouvées (P1), possibles (P3) ou probables (P2) en fonction des preuves disponibles.

- Réserves prouvées (P1): Ces réserves sont confirmées par des données de forage et sont considérées comme certaines.

- Réserves probables (P2) : ils se situent entre les réserves prouvées et possibles en termes de certitude.

- Réserves possibles (P3) : ils sont basés sur des preuves indirectes et ont une probabilité moindre d'être extraites.¹

II.4.3.3 Les types de forage

Le forage pétrolier peut être réalisé selon différentes orientations, notamment vertical, horizontal et directionnel. Les types de forage varient en fonction des lieux de gisements. Pour les forages offshore, on utilise généralement des plates-formes de forage fixes. Pour les forages onshore, les installations varient en fonction de la profondeur d'eau, la nature des courants marins et la profondeur de sous-sol. Ils doivent pouvoir conserver une mobilité relative.

Chaque méthode de forage présente ses propres avantages et défis, et le choix de la technique dépendra des caractéristiques géologiques du site, des objectifs de production et des contraintes techniques et économiques

¹ Connaissance des Énergies, 2013 .*Quelle est la différence entre les ressources et les réserves d'hydrocarbures ?* Consulté le 16 mai 2024, Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/questions-et-reponses-energies/quelle-est-la-difference-entre-les-ressources-et-les-reserves-dhydrocarbures>

- Forage vertical

Il s'agit de la méthode de forage pétrolier la plus traditionnelle. Un puits vertical est foré directement dans la terre pour atteindre le gisement de pétrole. Cette méthode est généralement utilisée pour les gisements de pétrole moins profonds ou pour forer dans une couche spécifique de roche. Il est utilisé pour les gisements conventionnels¹

- Forage horizontal

Il est parfois difficile, voire impossible, de mettre en place des opérations de forage au-dessus d'un réservoir des hydrocarbures, par exemple dans une zone urbaine dans laquelle les conditions de surface ne seraient pas propices ou légalement autorisées.

En raison de ces limitations verticales, ils ont la possibilité d'être résolus par forage horizontal.

Le forage horizontal implique un forage à un angle pour atteindre une couche spécifique de roche, utilisé pour accéder à des gisements non situés directement sous la surface. Ils sont pratiqués pour les gisements de grande étendue et de faible épaisseur. Cela signifie qu'on peut forer le long de la couche du réservoir et exposer une plus grande partie du puits de forage à la formation. Le forage horizontal est bénéfique pour plusieurs raisons, telles que l'augmentation de la zone de contact, l'amélioration du facteur de récupération et l'amélioration de la stimulation des puits.²

- Forage directionnel

Le forage directionnel est une technique qui permet de forer un puits qui s'écarte de l'axe vertical. Cela signifie qu'on peut contrôler la direction et l'angle du foret et atteindre des cibles qui ne sont pas directement sous la surface. Le forage directionnel est utile pour plusieurs raisons, comme éviter les obstacles, accéder à plusieurs réservoirs à partir d'un seul endroit, réduire l'impact environnemental et améliorer les performances des puits.

Lors du choix entre le forage directionnel et horizontal, vous devez prendre en compte plusieurs facteurs tels que les caractéristiques du réservoir, les coûts de forage, le potentiel de

¹ Vigor, 2023. *Différents types de processus de forage pétrolier*. Consulté le 23/05/2024, disponible sur : <http://fr.vigordrilling.com/info/different-types-of-oil-drilling-processes-88242285.html>

² LinkedIn. *How can you choose between directional and horizontal drilling?* Consulté le 22 mai 2024, Disponible sur: <https://www.linkedin.com/advice/1/how-can-you-choose-between-directional-horizontal#:~:text=Generally%20speaking%2C%20directional%20drilling%20is,equipment%2C%20time%2C%20and%20complexity>

production et les risques opérationnels. De manière générale, le forage directionnel est plus adapté aux réservoirs minces, profonds ou discontinus, tandis que le forage horizontal est plus approprié aux réservoirs épais, peu profonds ou homogènes. De plus, le forage directionnel est généralement moins cher que le forage horizontal en raison de moins d'équipement, de temps et de complexité. D'un autre côté, le forage horizontal est généralement plus rentable que le forage directionnel car il améliore la récupération et réduit le taux de déclin. De plus, le forage directionnel est généralement plus sûr que le forage horizontal car il réduit les risques d'instabilité du puits de forage, de collage différentiel et de dommages à la formation. Enfin, le forage horizontal est généralement plus difficile que le forage directionnel car il nécessite davantage de planification, de surveillance et de dépannage.¹

- Forage offshore

Utilisé pour le forage en mer, généralement utilisant les supports de forages qui sont : les plates-formes autoélevatrices, des plateformes semi-submersibles ou des bateaux à positionnement dynamique. Le choix entre ces équipements dépend de la nature des courants marins, du sous-sol et la profondeur de l'eau.

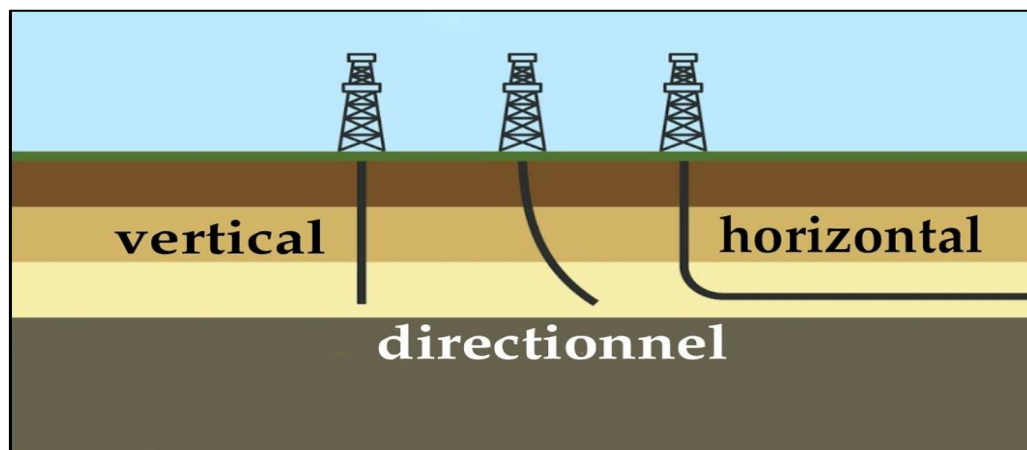


Figure II. 2 : les types de forage

Source : SLB - Predictive Maintenance to Improve Reliability of Drilling Services, consulté le 13/06/2024 sur : <https://community.dataiku.com/t5/Dataiku-Frontrunner-Awards/SLB-Predictive-Maintenance-to-Improve-Reliability-of-Drilling/ta-p/28994>

¹ Kyle D. Venema, 2022 *.Drilling Methods 101: Conventional (Vertical) vs. Unconventional (Horizontal)*, consulté le 18/05/2024, Disponible sur: <https://venergymomentum.com/posts/drilling-methods-101-conventional-vertical-vs-unconventional-horizontal/>

II.4.3.4 Les risques liés au forage pétrolier

La plate-forme pétrolière est une unité complexe composée de plusieurs systèmes nécessaires pour la réalisation de forage mais cette unité contient plusieurs risques provoquent la vie humaine, l'installation et l'environnement, d'où la nécessité de proposer des solutions, consignes et mesures de l'élimination ou réduction de ses derniers. Pour faciliter l'analyse des risques nous avons repartie les risques présents dans le chantier de forage en 4 familles :

- Famille physique
- Familles chimiques
- Familles biologiques
- Familles ergonomiques

Famille physique

Les ambiances de travail (éclairage, ambiances thermiques) et les agents physiques (bruit, vibrations, rayonnement, pression) constituent l'environnement de travail dans le chantier de forage .Ces paramètres sont des éléments essentiels pour la bonne exécution des taches car ils agissent sur le facteur humain et l'installation

Familles chimique

Les substances et les mélanges chimiques utilisés dans les différentes opérations de forage engendrent dans les cas accidentels des effets sur l'être humaine (effets toxiques) les équipements l'environnement (explosion)

Famille biologique

Les activités effectuées dans le chantier de forage dans des zones très spéciales résultent une exposition à des agents biologiques

Famille ergonomique

Les foreurs, les exploitants, les manœuvres sont exposées à des risques de type ergonomiques à cause des taches et les moyens lourds qu'ils utilisent.

Les risques liés au forage pétrolier peuvent être divers et variés. Voici quelques-uns des risques:

- Risques liés aux intempéries pour le travail en plein air, tels que les variations climatiques (chaleur, froid, pluie, vent)
- Dangers mécaniques sur les chantiers de forage, tels que les chutes de personnes, les chutes d'objets en hauteur, les circuits sous pression, les heurts et coincements par des machines ou équipements en mouvement

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

- Risques d'incendie et d'explosion, principalement dus à la présence de combustibles sur le chantier de forage, pouvant avoir des impacts sur l'environnement, les installations et les personnes
- Risques ergonomiques, accidents routiers, risques physiques, risques chimiques et risques biologiques, qui peuvent tous affecter l'environnement, les individus et les équipements. Ces risques soulignent l'importance de mettre en place des mesures de prévention adéquates pour garantir la sécurité des travailleurs, des installations et de l'environnement lors des opérations de forage pétrolier¹

II.4.4 Le transport de pétrole

Avant d'être consommé, le pétrole doit d'abord être transporté des sites de production vers les raffineries de pétrole puis vers nos villes, où le brut est exporté à l'étranger.

Le pétrole peut être transporté par voie terrestre et maritime à l'aide de plusieurs moyens qui dépendent de la distance entre le site d'extraction du pétrole et le lieu où il est transporté.

Il peut être transporté par camion, par train ou par bateau, mais sur les plus grandes distances, il est transporté préférentiellement par pipelines ou à bord de navires pétrole distances appelés tankers

II.4.4.1 Par voie terrestre

Le transport terrestre du pétrole repose principalement sur 3 moyens :

II.4.4.1.1 Les oléoducs

Ce sont des canalisations souterraines ou aériennes qui permettent de transporter le pétrole sur de longues distances, atteignant souvent des centaines voire des milliers de kilomètres. Les oléoducs ont la capacité de transporter de grandes quantités de pétrole de manière continue, avec peu d'interruptions, sur des trajets prédéfinis.²

¹MAMOUNI Houssam, 2016. *Analyse des risques liés aux activités de forage d'un puits pétrolier-cas du Chantier de forage NDIL 284 -HASSI MESSAOUD-*. Mémoire de master, Ecole Nationale Polytechnique, page 26

² Peter McMahon. *Le transport du pétrole aux quatre coins du monde*. Consulté le 16/05/2024, Disponible sur : <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-transport-du-petrole-aux-quatre-coins-du-monde>

II.4.4.1.2 Les trains

Le transport ferroviaire représente une alternative flexible aux oléoducs. En effet, les wagons-citernes permettent l'acheminement du pétrole vers des destinations variées. Bien que les trains puissent transporter des volumes moins importants que les oléoducs, ils offrent une solution adaptée pour atteindre des destinations moins accessibles ou pour des quantités plus modestes.¹

II.4.4.1.3 Les camions

Le transport par camion-citerne est utilisé pour des volumes plus petits et des distances plus courtes. C'est généralement la dernière étape dans la chaîne pétrolière ; la distribution, pour approvisionner les stations-service. Il est particulièrement adapté pour desservir des zones reculées ou difficiles d'accès.²

II.4.4.2 Par voie maritime

Sur mer, le pétrole circule dans des pétroliers ; qui sont des navires citernes servant à transporter le pétrole ainsi que ces produits dérivés et on les nomme également tankers

Il existe deux types de base de tankers : les tankers de pétrole brut et tankers de produits raffinés qui sont généralement beaucoup plus petits

Les tankers de pétrole transportent de grandes quantités de pétrole brut non raffiné du point d'extraction aux raffineries et ont une capacité stupéfiante de plus de 350 000 tonnes. Les tankers de produits raffinés, sont conçus pour transporter les produits raffinés des raffineries vers les points proches des marchés consommateurs d'une capacité de 200 000 tonnes.

En mer, les risques d'accidents sont nombreux comme le chavirage, collision, explosion, fissures de coque³

II.4.5 Le raffinage

Le processus industriel de raffinage du pétrole consiste à convertir le pétrole brut en divers produits finis tels que l'essence, le fioul lourd ou le naphta. Le pétrole brut est un mélange d'hydrocarbures variés (molécules constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène) qui ne peut être utilisé en l'état (il existe différents types de pétrole brut qui se caractérisent

¹Ibid

²Peter McMahon. *Le transport du pétrole aux quatre coins du monde*. Consulté le 16/05/2024, Disponible sur: <https://parlonsscience.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-transport-du-petrole-aux-quatre-coins-du-monde>

³Ibid

notamment par leur viscosité et leur concentration en soufre). Il est nécessaire de séparer ses composants pour obtenir des produits finaux exploitables directement.¹

II.4.5.1 Les procédés de raffinage

Les opérations et les procédés de raffinage du pétrole peuvent être classés en quelques grandes catégories : séparation, conversion, traitement, opérations de raffinage auxiliaires et opérations de raffinage sans traitement

II.4.5.1.1 Séparation

La première étape est la séparation des molécules selon leurs poids moléculaires par distillation atmosphérique. Ce processus consiste à chauffer le pétrole. Il est chauffé au pied d'une tour de distillation de 60 mètres de haut, à 350/400°C jusqu'à évaporation. Les vapeurs de brutes montent dans la tour tandis que les molécules plus lourdes ou les résidus lourds restent à la base sans s'évaporer. Au fur et à mesure que les vapeurs montent, les molécules se condensent une à l'autre en liquides, jusqu'à ce que les gaz atteignent seuls le sommet de la tour, où la température n'est que de 150°C. À différents niveaux de la tour se trouvent des plateaux qui permettent de récupérer ces liquides de plus en plus légers et chaque plateau correspond à une portion de distillation

Les résidus lourds issus de cette distillation sont soumis à une autre colonne, à une seconde distillation permettant de récupérer plus de produits intermédiaires (fiouls lourds et gasoil)²

II.4.5.1.2 Conversion

Après les procédés de séparation, la proportion d'hydrocarbures lourds est encore très élevée. Pour répondre à la demande de produits plus légers, on casse ces molécules lourdes en deux ou plusieurs molécules plus légères.

Ce procédé de conversion est appelé craquage catalytique car il comprend un catalyseur, il est appliqué à 500°C, ainsi 75% des produits lourds en cours de conversion sont convertis en gaz, essence et diesel. D'autres procédés peuvent améliorer ce résultat par hydrocraquage où on ajoute de l'hydrogène ou par transformation profonde en employant des méthodes d'extraction du carbone.

¹ Connaissance des énergies, 2018. *Raffinage pétrolier*. Consulté le 26/02/2024, Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/raffinage-petrolier>

² Connaissance des énergies, 2018. *Raffinage pétrolier*. Consulté le 26/02/2024, Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/raffinage-petrolier>

Chapitre II : Généralités sur le pétrole brut

Plus la conversion est importante, plus la conversion est coûteuse et énergivore. L'objectif constant des raffineries est de trouver un équilibre entre degré et coût de conversion¹

II.4.5.1.3 Traitement

Le traitement implique à la fois des réactions chimiques et une séparation physique, comme la dissolution, l'absorption ou la précipitation, en utilisant une variété et une combinaison de procédés.

Les acides et les édulcorants sont utilisés pour éliminer le soufre du pétrole brut avant le raffinage et pour transformer les produits pendant et après le traitement. D'autres méthodes comprennent le dessalement de l'eau brute, le dessalement chimique, le traitement à l'acide, le traitement de contact avec la terre, la déshydrogénation, le raffinage au solvant, le lavage à la soude caustique, l'hydrotraitement, le séchage, l'extraction au solvant et le déparaffinage au solvant.

La formulation et le mélange sont le mélange et l'incorporation de fractions d'hydrocarbures, d'additifs et d'autres composés pour obtenir des produits finis avec des caractéristiques de performance spécifiques.

II.4.5.1.4 Opérations de raffinage auxiliaire

Les autres opérations de raffinage nécessaires au cours du traitement des hydrocarbures comprennent la récupération des fractions légères, l'extraction de l'eau acide, le traitement et le refroidissement des déchets solides, des eaux usées et des eaux de procédé, la production d'hydrogène, la récupération du soufre et le traitement des gaz acide et des gaz résiduels ; réactifs, vapeur, air, azote, oxygène, hydrogène et gaz combustibles.

II.4.5.1.5 Les opérations de raffinage sans traitement

Toutes les raffineries disposent d'un grand nombre d'installations, d'équipements et de systèmes essentiels aux opérations de traitement des hydrocarbures, tels que la production thermique et d'électricité, le transport des produits, les réservoirs de stockage, le transport et la manutention, les systèmes de torche et de décompression, les fours et les réchauffeurs, les dispositifs d'alarme et les capteurs, l'échantillonnage, l'essai et l'inspection. Les installations hors traitement comprennent la protection contre les incendies, l'approvisionnement et la protection en eau, les installations de lutte contre le bruit et la pollution, les laboratoires, les salles de contrôle, les entrepôts, les ateliers de maintenance et les bâtiments administratifs.²

¹Ibid

²Ibid

II.4.6 Les principaux produits de raffinage de pétrole brut et leur utilisation

Le pétrole est utilisé comme matière première dans l'industrie chimique et dans la production de carburant. Le pétrole et ses dérivés sont utilisés dans la production de produits pharmaceutiques, de pesticides, d'aliments, de plastiques, de matériaux de construction, de peintures, de fibres synthétiques, de détergents, de caoutchouc et dans la production d'électricité.

Tableau II. 1 : Les produits de raffinage du pétrole brut

Produit pétrolier	Utilisations
Essence	Carburant pour véhicules à moteur à essence. Utilisé également comme solvant dans divers produits chimiques.
Diesel	Carburant pour les moteurs diesel, notamment les camions, les trains, les navires et les générateurs.
Fioul lourd	Utilisé comme carburant pour les grands navires et les centrales électriques. Peut également être transformé en produits plus légers tels que le diesel.
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	Utilisé comme carburant pour le chauffage, la cuisson et les véhicules.
Kérosène	Carburant pour les avions à réaction et les turbopropulseurs, ainsi que pour le chauffage et l'éclairage dans certaines régions.
Naphta	Utilisé comme matière première dans la production de divers produits pétrochimiques, tels que les plastiques, les fibres synthétiques et les peintures.
Asphalte	Utilisé dans la construction routière pour la fabrication de revêtements bitumineux.
Gaz naturel liquéfié (GNL)	Utilisé comme carburant pour les véhicules à moteur et les navires, ainsi que pour la production d'électricité.
Lubrifiants	Utilisés pour réduire la friction et l'usure dans les moteurs, les machines et les équipements mécaniques.
Paraffine	Utilisée dans la fabrication de bougies, de cosmétiques, de lubrifiants et de produits pharmaceutiques.

Source : Chapitre 78 - Le raffinage du pétrole, consulté le 13/06/2024 sur : <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo078.htm>

Conclusion

Ce chapitre sur le pétrole brut peut mettre en évidence l'importance cruciale et l'influence du pétrole dans presque tous les aspects des modes de vie modernes. En définissant le pétrole brut et en explorant ses caractéristiques, nous avons jeté les bases pour comprendre la complexité de la chaîne pétrolière. Ce chapitre a servi de point de départ pour explorer les multiples facettes de l'industrie pétrolière, allant de l'exploration à la production, du raffinage à la distribution.

En comprenant les caractéristiques physiques et chimiques du pétrole brut, ainsi que les divers processus impliqués dans sa transformation en produits finis, nous sommes mieux équipés pour aborder les défis et les opportunités qui se présentent dans ce secteur vital. La chaîne pétrolière, complexe et interconnectée, joue un rôle crucial dans l'économie mondiale et notre quotidien.

Ce chapitre pose les fondations nécessaires pour explorer plus en détail les différentes étapes de la chaîne pétrolière, en mettant en lumière l'importance de cette ressource fossile dans la vie moderne et les enjeux qui entourent son exploration, son extraction, son traitement et sa distribution.

Chapitre III

Généralités sur la recherche opérationnelle et la méthode MPM

Introduction

La recherche opérationnelle est un outil essentiel dans le domaine de la gestion et de la planification. Ses différentes méthodes offrent des solutions structurées pour optimiser les processus, gérer les ressources et atteindre des objectifs spécifiques de manière efficace. Parmi les méthodes de la recherche opérationnelle qui peuvent être utilisées pour optimiser les opérations de forage : la méthode MPM

Dans ce chapitre, nous explorerons les fondements de la recherche opérationnelle et la méthode MPM, en mettant en lumière leurs principes clés, leurs applications pratiques et leur importance dans la prise de décision stratégique.

III.1 La recherche opérationnelle

III.1.1 Historique de la recherche opérationnelle

La recherche opérationnelle a commencé au début du XXe siècle lorsque Harris a proposé la formule du lot économique (également connue sous le nom de formule de Wilson) pour étudier la gestion des stocks. Cependant, la pratique n'a connu son nom qu'avec la seconde guerre mondiale. Patrick Blackett est appelé par l'état-major anglais en 1940 pour diriger la première équipe de recherche opérationnelle pour résoudre des problèmes tels que la gestion des convois d'approvisionnement ou l'implantation optimale des radars de surveillance. Le qualificatif "opérationnel" provient du fait que la première application d'un groupe de travail organisé dans cette discipline avait trait aux opérations militaires.

Malgré les critiques des censeurs quant à l'expansion de l'expression, et ce à juste titre, elle est maintenant largement admise et le citoyen moyen n'est plus surpris d'apprendre ce qu'est la recherche opérationnelle.¹

Si l'application est nouvelle, l'approche est dépassée. L'homme a toujours cherché à maximiser les résultats qu'il peut obtenir dans des conditions spécifiques, et s'il fait appel à l'esprit scientifique pour l'aider, il peut faire de la recherche opérationnelle sans s'en rendre compte.

Saviez-vous, dans un contexte plus proche, que Jacques Bernoulli, qui a publié son *Ars conjecturalis* en 1713, huit ans après son décès, et Pascal et Fermat, qui ont inventé le concept

¹FAURE Robert, BOSS Jean paul et LE GARFF André ,1980. *La recherche opérationnelle*. 5^{ème} édition ; Bd Saint-Germain, 75006 Paris ; p3 – p4

d'anticipation mathématique en 1654, étaient tous deux fascinés par l'art de prendre des décisions dans des situations floues ?

Dès 1824, Fourier a proposé une méthode directe pour traiter les systèmes d'inégalités linéaires, tandis qu'en 1939, Kantorovitch a proposé une méthode pour résoudre les programmes linéaires.¹

En résumé, durant la Seconde Guerre mondiale, une quantité considérable d'informations avait été collectée, ce qui a fourni une base solide pour la recherche opérationnelle. Cependant, ces techniques n'ont jamais été utilisées, à l'exception des calculs d'inventaires déterministes de Wilson (1929), des applications hésitantes de l'idée d'espérance mathématique d'Erlang et Engset (1918) et des travaux de Leontief, qui a immigré aux États-Unis. Les principales causes de ce dilemme sont la faiblesse des moyens de calcul - l'ordinateur n'était pas encore inventé - et la conception relativement simple des systèmes d'information des entreprises, beaucoup plus basiques que ceux auxquels nous sommes habitués aujourd'hui

III.1.2 Définition de la recherche opérationnelle

La recherche opérationnelle est avant tout un outil d'aide à la décision. C'est une discipline qui permet de formuler des problèmes par des supports scientifiques, mathématiques et informatiques pour aider à une meilleure prise de décision

Autrement définie, la Recherche Opérationnelle traduit des énoncés ou des cahiers de charges liés à des problématiques spécifiques sous forme de méthodes et des démarches à base d'équation mathématique, des algorithmes et des outils statistiques. Elle assure la communication entre les secteurs extérieurs (le milieu industriel) et les applications théoriques dans le but de proposer les solutions les mieux adaptées à une situation spécifique donnée.²

L'objectif de cette discipline est de fournir des bases rationnelles à la prise de décisions, généralement dans le but de contrôle ou d'optimisation (améliorer l'efficacité, réduire les coûts, maximiser le profit, etc.).³

La recherche opérationnelle (RO) est utilisée dans les domaines où la prise de décision nécessite une résolution des problèmes d'optimisation telle que les problèmes de :

¹FAURE Robert, BOSS Jean paul, Op.cit p5-p6

² SARI TRIQUI Lamia, 2016 .*Polycopié du cours de la Recherche Opérationnelle RO* [cour PDF], Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, Faculté de TECHNOLOGIE, P8 – P9

³Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. *Qu'est-ce que la recherche opérationnelle ?* Consulté le 29/02/2024, Disponible sur : <https://diro.umontreal.ca/departement/quest-ce-que-la-recherche-operationnelle>

- Dimensionnement, localisation
- Gestion de ressources
- Rentabilisation des investissements
- Détection de dysfonctionnements : diagnostics, réparation, maintenance.
- Partage des ressourcesetc.

La procédure utilisée par la recherche Opérationnelle RO peut être schématisée comme suit :

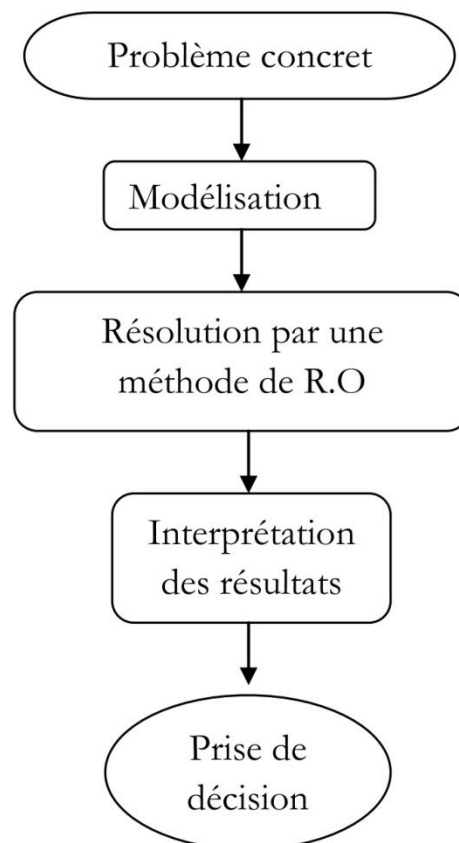


Figure III. 1 : schéma de procédure utilisée par la recherche opérationnelle

Source : SARI TRIQUI Lamia, 2016 .*Polycopié du cours de la Recherche Opérationnelle RO* [cour PDF], Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, Faculté de TECHNOLOGIE, page 9

III.1.3 Les types de problèmes traités par la recherche opérationnelle

La recherche opérationnelle, que nos ancêtres ont connue, ne traite que des questions qui sont difficiles à comprendre. Ils sont concurrentiels, aléatoires et combinatoires

III.1.3.1 Combinatoire

Il est communément admis que nous avons du mal à concevoir des situations combinatoires. Cependant, il existe de nombreuses méthodes disponibles dans la recherche opérationnelle pour créer des algorithmes rapides pour résoudre un problème sans fournir une liste

exhaustive. La programmation dynamique, la théorie des graphes, l'algèbre de Boole et les treillis et, enfin, la programmation mathématique font partie de ces domaines.¹

En résumé, lorsque nous sommes confrontés à des problèmes de répartition et d'organisation impliquant des combinaisons, il est crucial de reconnaître que le nombre de solutions peut rapidement devenir énorme

III.1.3.2 Aléatoires

Le problème de la prise de décision dans un contexte d'incertitude n'est pas non plus un problème commun. Même si l'espérance mathématique est simple à enseigner aux adolescents, elle n'est pas incluse dans le programme des premières classes de l'enseignement secondaire. En outre, lorsqu'elle est présentée devant une population déjà dispersée à la fin du deuxième cycle, elle ne reçoit guère d'illustrations concrètes. Les personnes intelligentes reconnaissent la difficulté de percevoir l'avantage du banquier uniquement en utilisant l'expérience.

En recherche opérationnelle, la notion d'espérance mathématique, en conjonction avec la théorie des processus stochastiques, est extrêmement utile pour prendre des décisions éclairées dans des situations où l'évolution n'est connue que par probabilité. Il concerne en particulier les questions liées au remplacement des équipements, à l'entretien préventif, à la gestion scientifique des stocks, à la réduction ou à l'élimination des files d'attente, et plus largement à la résolution de problèmes qui dépendent de variables aléatoires, qui peuvent entraîner des obstacles.

III.1.3.3 Concurrentiel

La prise de décision en duel, c'est-à-dire en concurrence, semble encore plus difficile. Il est possible de conclure que la recherche opérationnelle ne vise pas à remplacer le sens commun, mais plutôt à aider les gens à faire des choix judicieux en résolvant les problèmes liés à la structure combinatoire, aléatoire ou concurrentielle des problèmes réels. Pierre Massé a affirmé que c'était la science de la prise de décision dans ce contexte.²

III.1.4 Domaines d'applications de la recherche opérationnelle

L'utilisation de la recherche opérationnelle devient de plus en plus demandée dans la vie quotidienne et à différents niveaux puisqu'elle offre plusieurs avantages et traite plusieurs points tels que :

¹FAURE Robert, op.cit, p8-p10

²Ibid

- **Planification et ordonnancement :**
 - Ordonnancement de chantier
 - Ordonnancement d'atelier : Ordonnancer les passages sur les machines
 - Emploi du temps
- **Stockage et gestion :**
 - Gestion de la production
 - Gestion des stocks
 - Gestion de la maintenance
- **Transport :**
 - Transport, logistique
 - Optimisation des tournées de véhicules, distribution
 - Relations fournisseurs / clients
 - Organisation des centres logistique
- **Emballer, ranger**
- **Router, relier :**
 - Réseau de mobilophonie
 - Web
- **Soigner, gérer les hôpitaux**
- **Imagerie médicale**
 - Lutte contre le cancer
 - ADN
 - Gestion des ressources hospitalières
- **Le domaine spatial :**
 - Constellation de satellites
- **La Finance**
- **L'environnement et le développement durable**
 - Gestion des ressources
 - Les enjeux de développement durable
 - Développement économique
- **L'énergie :**
 - Design et planification des centrales
 - Localisation des sites

- Politique des prix.....¹

III.1.5 L'importance de la recherche opérationnelle dans l'industrie pétrolière

L'importance de la recherche opérationnelle dans l'industrie pétrolière réside dans sa capacité à optimiser les processus et les décisions stratégiques, ce qui peut conduire à des avantages significatifs. Voici quelques points clés sur l'importance de la recherche opérationnelle dans l'industrie pétrolière :

- **Optimisation des opérations de forage** : La recherche opérationnelle peut être utilisée pour optimiser les opérations de forage en planifiant d'une manière efficace les itinéraires de forage, en minimisant les coûts et les délais
- **Gestion des risques** : Afin de gérer les risques liés aux opérations pétrolières, la recherche opérationnelle permet d'évaluer et de gérer les risques en utilisant des modèles mathématiques et des techniques d'analyse, ce qui revêt une importance capitale dans un environnement complexe et potentiellement dangereux
- **Planification de la production** : En utilisant des modèles de recherche opérationnelle, les entreprises pétrolières peuvent planifier efficacement leur production en fonction de la demande, des contraintes de capacité et des coûts associés.²
- **Gestion de la chaîne d'approvisionnement** : La recherche opérationnelle peut aider à optimiser la gestion de la chaîne d'approvisionnement en planifiant les itinéraires de transport, en optimisant les niveaux de stock et en améliorant la logistique globale.
- **Optimisation des ressources** : La recherche opérationnelle peut aider à optimiser l'utilisation des ressources telles que les équipements de forage, les véhicules de transport et la main-d'œuvre, en maximisant l'efficacité et en minimisant les coûts.³

¹ *Cours de la recherche opérationnelle* .Université de Batna, disponible sur : https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/bellala_djamel/files/1._introduction_a_la_recherche_operationnelle_et_probleme_doptimisation.pdf

²G. T. (1962). Économie et Administration : Un service de recherche opérationnelle dans une société pétrolière. *La Revue Administrative*, 15(85), 89–95. <http://www.jstor.org/stable/40763492>

³BAAZIZ Abdelkader, QUONIAM Luc ,2013. *L'information au service du management des risques opérationnels dans les environnements incertains : Cas de la détection précoce des venues durant les forages pétroliers et gaziers*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2013, 4 (1), pp.52-67. fihal-00879442ff

III.2 Les méthodes de résolution

III.2.1 La méthode MPM

III.2.1.1 Définition

Développée par le chercheur français Bernard Roy, en 1958, la Méthode des Potentiels et antécédents Métra (MPM) est une méthode d'ordonnancement basée sur la théorie des graphes, et visant à optimiser la planification des tâches d'un projet, il permet de déterminer la durée minimale d'un projet et les dates auxquelles les différentes tâches d'un projet peuvent ou doivent démarrer pour que cette durée minimale soit respectée.

Semblable au PERT, les principales différences entre les deux méthodes reposent essentiellement dans la construction du graphe, reflétant la complexité du projet

III.2.1.2 Les objectifs de la méthode MPM

Cette méthode permet un meilleur pilotage et une meilleure gestion du projet. Elle consiste à :

- Ordonner les tâches d'un projet
- Étudier les coûts de réalisation de chaque tâche et le coût global du projet
- Déterminer les tâches critiques, qui ne doivent faire aucun retard pour ne pas retarder l'ensemble du projet
- Minimiser les délais de réalisation et les coûts
- Effectuer le suivi du projet afin de détecter le plus tôt possible tout retard et appliquer à temps, des actions correctives¹

III.2.1.3 La construction d'un graphe MPM

Le graph MPM se présente comme suit :

- Les sommets représentent les tâches et ils sont divisés en trois parties :
 - ✓ En haut à gauche : la date au plus tôt.
 - ✓ En haut à droite : la date au plus tard.
 - ✓ La moitié du bas : le nom de la tâche
- Les flèches représentent les durées des tâches
- Déterminer les dépendances, les tâches antérieures
- Estimer la durée de chaque tâche
- Calculer les dates de réalisation au plus tôt et au plus tard.

¹Logistique conseil. *La méthode MPM*. Consulté le 18/04/2024, Disponible sur : <https://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Methode-pert.htm>

- Déterminer les tâches critiques et les chemins critiques

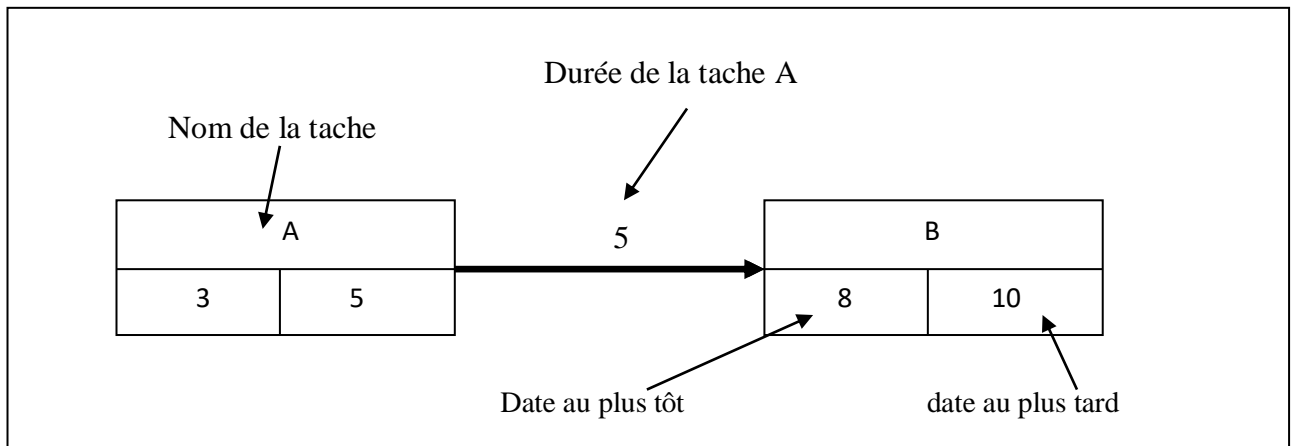


Figure III. 2 : description de graphe de MPM

Source : réalisé par nous même

III.2.1.4 Le calcul des dates au plus tôt et au plus tard

Voici comment calculer ces dates selon la méthode MPM :

III.2.1.4.1 Date au Plus Tôt

Il s'agit de la date à laquelle la tâche pourra être commencée au plus tôt, en tenant compte du temps nécessaire à l'exécution des tâches précédentes.

- Pour déterminer la date au plus tôt d'une tâche, il faut parcourir le diagramme de gauche à droite et calculer le temps du plus long des chemins menant du début du projet à cette tâche
- Pour le début, la date au plus tôt est toujours égale à zéro.
- On calcule le temps du plus long des chemins menant du début du projet à cette étape¹

Mathématiquement :

$$\text{Date au plus tôt (tache)} = \text{Max (tôt des tâches qui précèdent + durée de la tache actuel)}$$

III.2.1.4.2 Date au Plus Tard

Il s'agit de la date à laquelle une tâche doit s'achever pour respecter la date de fin programmée et ne pas retarder l'ensemble du projet.

¹ Qualité Online. *Le réseau PERT*. Consulté le 15/05/2024, Disponible sur :

[http://www.qualiteonline.com/dossier-48-le-reseau-](http://www.qualiteonline.com/dossier-48-le-reseau-pert.html#:~:text=la%20date%20au%20plus%20t%C3%B4t,retarder%20l'ensemble%20du%20projet.)

[pert.html#:~:text=la%20date%20au%20plus%20t%C3%B4t,retarder%20l'ensemble%20du%20projet.](http://www.qualiteonline.com/dossier-48-le-reseau-pert.html#:~:text=la%20date%20au%20plus%20t%C3%B4t,retarder%20l'ensemble%20du%20projet.)

- Pour déterminer la date au plus tard d'une tâche, il faut parcourir le diagramme de droite à gauche, et soustraire de la date au plus tard de la tâche suivante la durée de la tâche dont on calcule la date au plus tard. S'il y a plusieurs sous-chemins, on effectue le même calcul pour chacun et on choisit la date la plus petite.
- Pour la dernière tâche, la date au plus tôt est égale à la date au plus tard, car il n'y a pas de tâche suivante
- On soustrait de la date au plus tard de la tâche suivante la durée de la tâche dont on calcule la date au plus tard.
- La date au plus tard est obtenue en retranchant la durée de la tâche à sa date de fin au plus tard.¹

Mathématiquement :

$$\text{Date au plus tard (tache)} = \text{Min (tard des tâches qui suivent - Durée de la tâche qui suivent)}$$

III.2.1.5 Calcule de la marge

La marge fait référence à la marge totale disponible pour une tâche, c'est-à-dire le temps supplémentaire pour réaliser une tâche sans retarder le projet entier.

Les marges sont des outils importants pour identifier les tâches critiques (avec une marge totale de zéro) et pour gérer les risques potentiels dans un projet.

III.2.1.5.1 Marge Totale (MT)

- La marge totale représente la différence entre la date au plus tard d'une étape et sa date au plus tôt, indiquant la quantité de temps disponible pour effectuer une tâche sans retarder le projet dans son ensemble²

Mathématiquement :

$$\text{MT} = \text{date au plus tard} - \text{date au plus tôt}$$

III.2.2 Identification de chemin critique

Pour identifier le chemin critique il faut :

- Calcul des Dates au Plus Tôt et au Plus Tard
- Calcul de la Marge totale :

¹Ibid

²BRUNU Warin ; 2014. 04- Pert V4 - *Calculer les marges totales, le chemin critique et les marges libres* [vidéo en ligne You tube]. Disponible sur : <https://youtu.be/I6qy2hQz0iw?si=fhFVZpR18KYp5knq>

- Identification du Chemin Critique : Le chemin critique est constitué des activités qui ont une marge totale nulle, ce qui signifie qu'elles ne peuvent pas être retardées sans affecter la durée totale du projet. Identifiez les activités avec une marge totale nulle pour déterminer le chemin critique.
- Vérification des tâches Critiques : Assurez-vous que les tâches identifiées comme critiques sont bien celles qui déterminent la durée totale du projet. Ces tâches doivent être réalisées dans les délais pour garantir le succès global du projet.

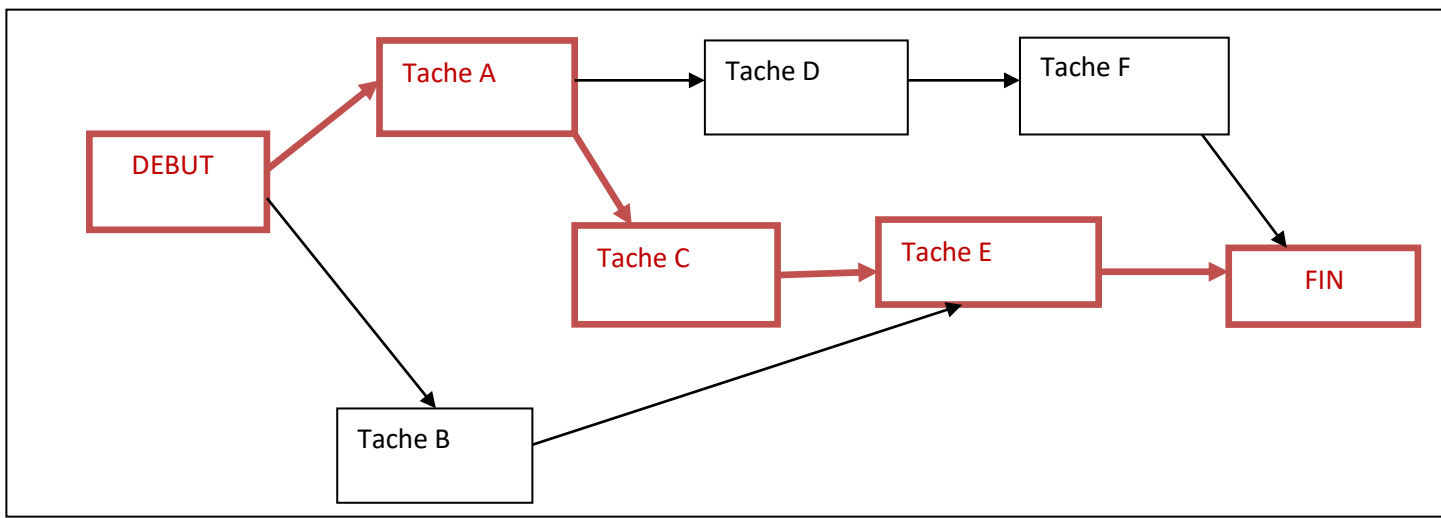


Figure III. 3 : description de chemin critique dans le réseau MPM

Source : réalisé par nous même

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné de manière approfondie les principes essentiels de la recherche opérationnelle et la méthode MPM, en tant que domaines indispensables pour résoudre les problèmes complexes de prise de décision.

L'analyse et l'optimisation des processus et des systèmes dans différents domaines sont réalisées via la recherche opérationnelle, et la méthode MPM nous offre la possibilité de représenter et d'analyser les processus de travail complexes, de repérer les chemins clés et de planifier les ressources de manière efficace pour maintenir le projet sur la bonne voie et respecter les délais et le budget.

La méthode la plus appropriée pour optimiser les opérations de forage dépend des besoins et des objectifs spécifiques du projet. MPM peuvent être utilisés pour gérer le calendrier du projet, la gestion des ressources et la minimisation des coûts.

Chapitre IV

Etude du puits HTAN-1

Introduction

Le prix d'un puits pétrolier est extrêmement élevé. Ce coût comprend diverses dépenses. Certaines de ces dépenses sont des coûts fixes, tandis que d'autres, comme le forage, sont des coûts variables. C'est sur cette dernière que cette étude est menée pour évaluer le délai et le coût de forage le plus minimum possibles.

Nous recherchons par la suite, la meilleure combinaison possible, permettant d'obtenir le délai minimale et le coût optimum de réalisation d'un puits vertical, à l'aide des techniques de la Recherche Opérationnelle

IV.1 Analyse des délais et du temps de réalisation de puits HTAN-1

Tableau IV. 1 : Analyse des couts et des délais des opérations de puits HTAN-1 :

Opération	Délais (Jours)	Coûts (MMUS\$)	Coûts (KDA)
Topographie	1	5,544	787 281,000
Piste	5	72,217	10 254 782,000
Plate-forme	7	62,633	8 893 931,000
DTM	14	219,534	31 173 778,000
Forage puits d'eau	22,5	81,543	11 579 100,990
Forage puits HTAN-1	54	2 722,88	386 649 150,000
Tubage	27,5	1 993,47	283 072 869,320
Boue	4	43,727	6 209 281,000
Diagraphie	12,5	574,985	81 647 831,160
D.S.T	6	895,563	127 170 000,000
Cimentation	5,5	187,37	26 606 518,110
Tête du puits	3	90,896	12 907 226,660
Outils	3,5	133,782	18 997 000,000
Clés automatiques	3,5	60,344	8 568 869,250
Carottage	2	50,321	7 145 551,010
Bouchon de cimentation	7	280,439	39 822 359,670
Total	178	7475,25	1 061 485 529,170

Source : réalisé par nous-mêmes

Interprétation

L'opération de forage puits HTAN-1 est la plus longue en termes de délai ce qui est considérablement plus long que les autres opérations, en raison de sa complexité technique, de la nécessité d'équipement spécialisé, des compétences de main-d'œuvre qualifiée, des risques et incertitudes, de la logistique et du support, des considérations environnementales, et des tests et évaluations requis. Ces facteurs combinés rendent le forage extrêmement exigeant en

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

termes de ressources et de temps, ce qui se reflète dans les coûts et la durée élevés associés à cette opération dans les projets de construction de puits.

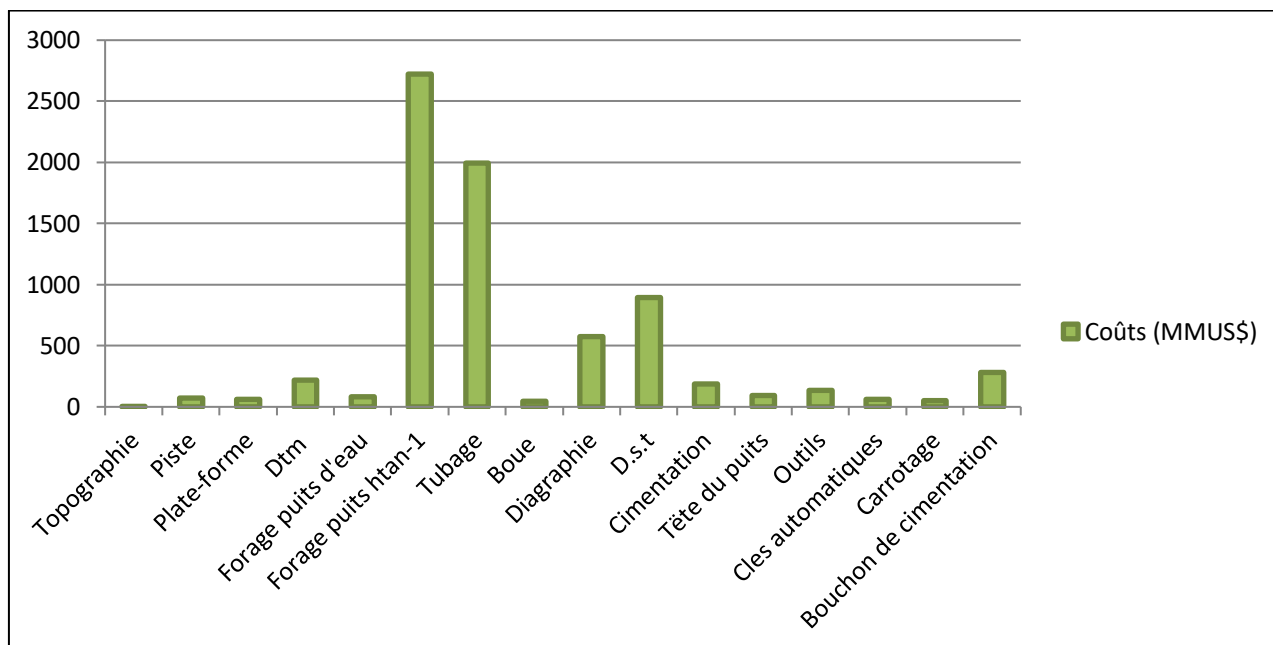


Figure IV. 1 : couts de réalisation du puits HTAN-1

Source : réalisé par nous-mêmes

Interprétation

Ce graphique à barres montre les coûts associés à différentes opérations du projet de forage de puits HTAN-1. Les opérations sont représentées sur l'axe horizontal, tandis que les coûts en millions de dollars américains (MMUSS) sont indiqués sur l'axe vertical. Les coûts varient considérablement, reflétant la complexité et les ressources nécessaires pour chaque étape.

L'opération de forage puits HTAN-1 est la plus coûteuse dans ce tableau avec un cout de 2 722,88 MMUSS.

Les coûts élevés peuvent être attribués à divers facteurs, tels que les équipements spécifiques nécessaires pour le forage, les matériaux, la main-d'œuvre qualifiée et les frais généraux.

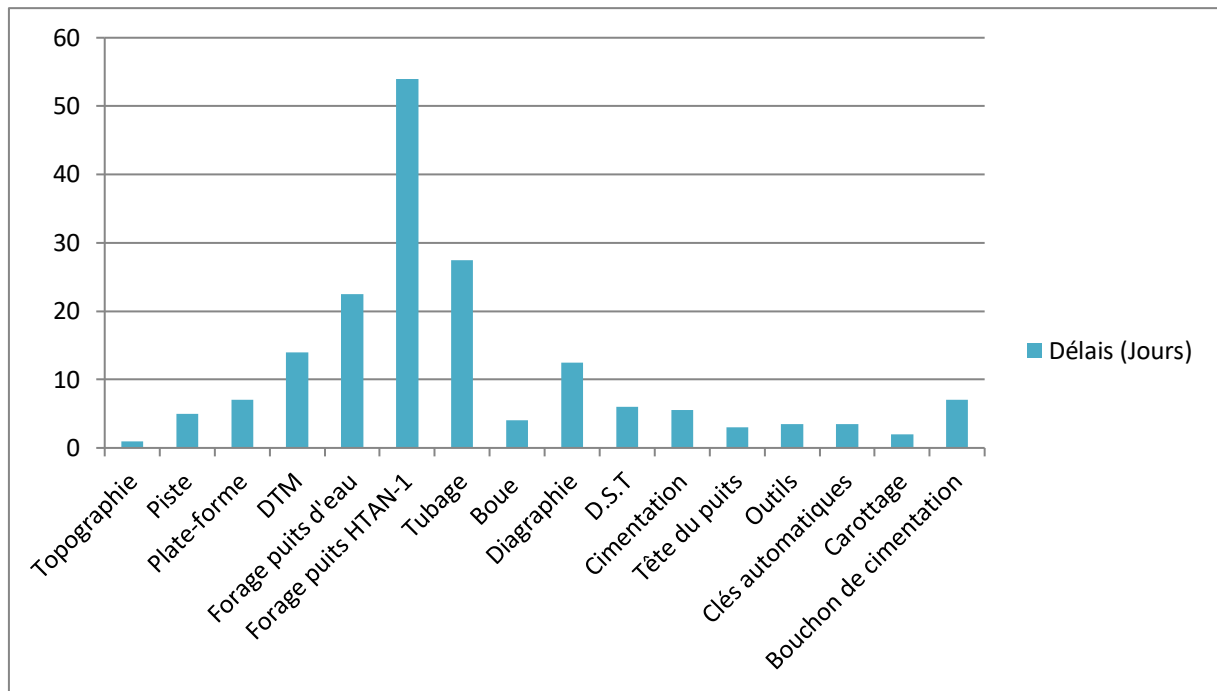


Figure IV. 2 : délais des opérations de puits HTAN-1

Source : réalisé par nous même

Interprétation

Le graphique illustre les délais en jours pour les opérations de puits HTAN-1. L'axe horizontal présente les différentes opérations, et l'axe vertical montre la durée en jours. Ce graphique est crucial pour comprendre la gestion du temps et l'efficacité opérationnelle du projet.

Le forage représente la plus longue durée avec 54 jours, ce qui est considérablement plus long que les autres opérations.

Cela peut être dû à la complexité du forage, à la profondeur du puits, aux conditions géologiques ou à d'autres facteurs spécifiques à cette opération.

En combinant les informations des deux graphiques, on peut identifier les opérations qui sont les plus coûteuses et celles qui prennent le plus de temps. Cela permet aux gestionnaires de projet d'optimiser les ressources, de planifier les budgets et de réduire les délais pour améliorer l'efficacité globale du projet.

IV.2 Etablissement d'une liste de tâches et détermination de tâches antérieures

Tableau IV. 2 : détermination des tâches et leurs dépendances :

tache	Opération	Tache antérieur
A	Topographie	/
B	Piste	A
C	Plate-forme	B
D	DTM	E
E	Forage puits d'eau	C
F	Forage puits HTAN-1	D
G	Tubage	F, H, J, M
H	Boue	E
I	Diagraphie	O
J	D.S.T	I
K	Cimentation	G, N
L	Tête du puits	P
M	Outils	D
N	Clés automatiques	D
O	Carottage	F
P	Bouchon de cimentation	K

Source : réalisé par nous-mêmes

IV.3 Construction de réseau MPM

Pour pouvoir continuer commodément l'étude et déterminer notamment la durée minimale de réalisation complète de l'œuvre, on a recours à un procédé de visualisation appelé "graphe". Le graphe permet d'avoir une vue globale des tâches qui doivent se succéder et des tâches qui peuvent se faire simultanément.

Le graphe est formé de sommets rectangulaires représentant chacun une tâche, et des flèches qui représentent les relations entre ces tâches

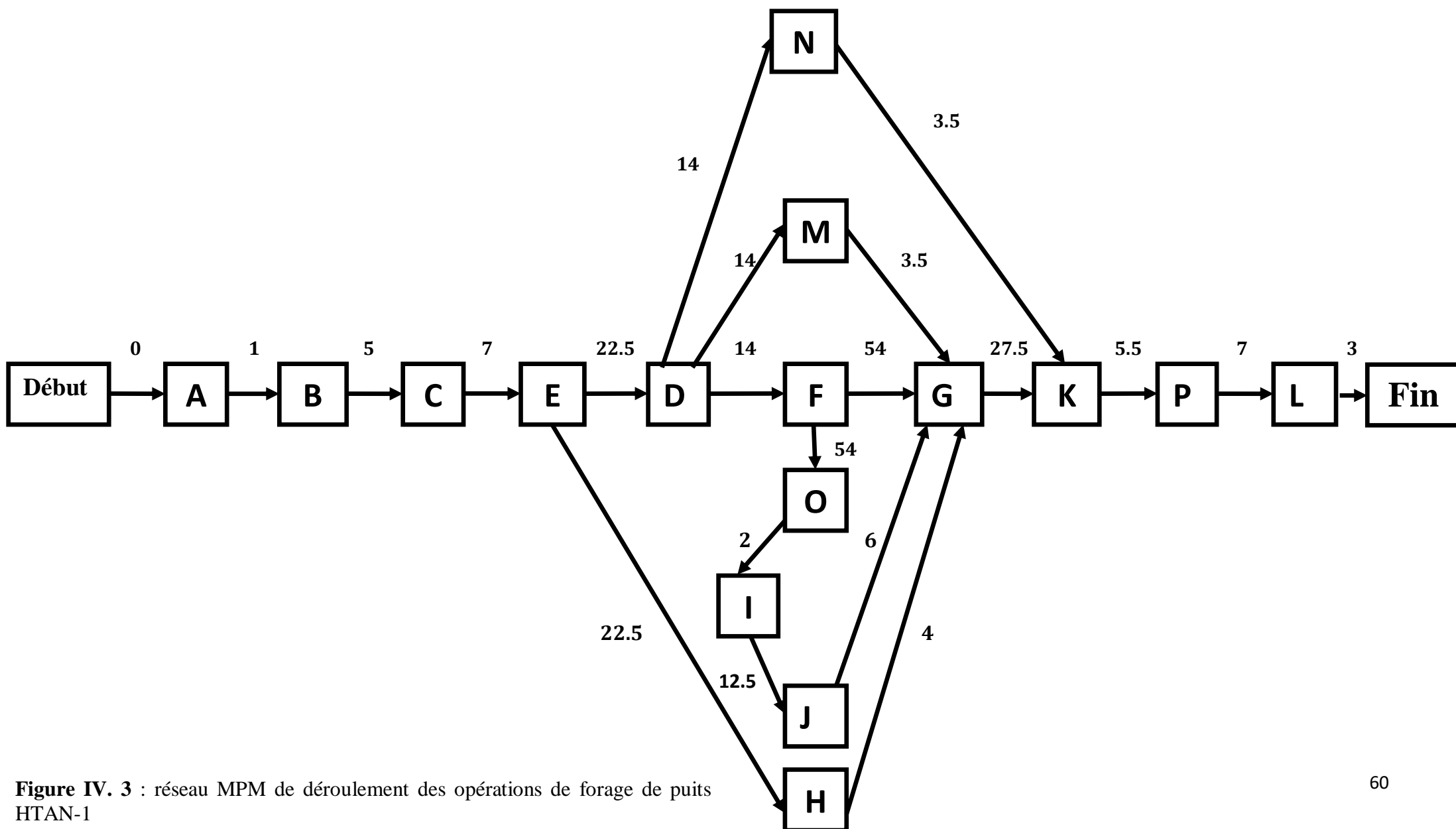


Figure IV. 3 : réseau MPM de déroulement des opérations de forage de puits HTAN-1

Source : réalisé par nous-mêmes

IV.4 Calcule des dates au plus tôt et au plus tard selon MPM

IV.4.1 Calcule des dates au plus tôt

$$\text{Tôt (A)} = 0$$

$$\text{Tôt (B)} = \text{Tôt (A)} + \text{durée (A)} = 0 + 1$$

$$\text{Tôt (B)} = 1$$

$$\text{Tôt (C)} = \text{Tôt (B)} + \text{durée (B)} = 1 + 5$$

$$\text{Tôt (C)} = 6$$

$$\text{Tôt (E)} = \text{Tôt (C)} + \text{durée (C)} = 6 + 7$$

$$\text{Tôt (E)} = 13$$

$$\text{Tôt (D)} = \text{Tôt (E)} + \text{durée (E)} = 13 + 22,5$$

$$\text{Tôt (D)} = 35,5$$

$$\text{Tôt (H)} = \text{Tôt (E)} + \text{durée (E)} = 13 + 22,5$$

$$\text{Tôt (H)} = 35,5$$

$$\text{Tôt (F)} = \text{Tôt (D)} + \text{durée (D)} = 35,5 + 14$$

$$\text{Tôt (F)} = 49,5$$

$$\text{Tôt (N)} = \text{Tôt (D)} + \text{durée (D)} = 35,5 + 14$$

$$\text{Tôt (N)} = 49,5$$

$$\text{Tôt (M)} = \text{Tôt (D)} + \text{durée (D)} = 35,5 + 14$$

$$\text{Tôt (M)} = 49,5$$

$$\text{Tôt (O)} = \text{Tôt (F)} + \text{durée (F)} = 49,5 + 54$$

$$\text{Tôt (O)} = 103,5$$

$$\text{Tôt (I)} = \text{Tôt (O)} + \text{durée (O)} = 103,5 + 2$$

$$\text{Tôt (I)} = 105,5$$

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

$$\text{Tôt (J)} = \text{Tôt (I)} + \text{durée (I)} = 105.5 + 12,5$$

$$\text{Tôt (J)} = 118$$

$$\text{Tôt (G)} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tôt (M)} + \text{durée (M)} = 49.5 + 3,5 = 53 \\ \text{Tôt (H)} + \text{durée (H)} = 35.5 + 4 = 39.5 \\ \text{Tôt (J)} + \text{durée (J)} = 118 + 6 = 124 \\ \text{Tôt (F)} + \text{durée (F)} = 49.5 + 54 = 103.5 \end{array} \right.$$

$$\text{Tôt (G)} = 124$$

$$\text{Tôt (K)} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tôt (N)} + \text{durée (N)} = 49.5 + 3.5 = 53 \\ \text{Tôt (G)} + \text{durée (G)} = 124 + 27,5 = 151.5 \end{array} \right.$$

$$\text{Tôt (K)} = 151,5$$

$$\text{Tôt (P)} = \text{Tôt (K)} + \text{durée (K)} = 151.5 + 5.5$$

$$\text{Tôt (P)} = 157$$

$$\text{Tôt (L)} = \text{Tôt (P)} + \text{durée (P)} = 157 + 7$$

$$\text{Tôt (L)} = 164$$

$$\text{Tôt (FIN)} = \text{Tôt (L)} + \text{durée (L)} = 164 + 3$$

$$\text{Tôt (FIN)} = 167$$

IV.4.2 Calcule des dates au plus tard

$$\text{Tard (fin)} = 167$$

$$\text{Tard (L)} = \text{Tard (fin)} - \text{durée (L)} = 167 - 3$$

$$\text{Tard (L)} = 164$$

$$\text{Tard (P)} = \text{Tard (L)} - \text{durée (P)} = 164 - 7$$

$$\text{Tard (P)} = 157$$

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

$$\text{Tard (K)} - \text{Tard (P)} - \text{durée (K)} = 157 - 5,5$$

$$\text{Tard (K)} = 151,5$$

$$\text{Tard (N)} = \text{Tard(K)} - \text{durée (N)} = 151,5 - 3,5$$

$$\text{Tard (N)} = 148.$$

$$\text{Tard (G)} = \text{Tard (K)} - \text{durée (G)} = 151,5 - 27,5$$

$$\text{Tard (G)} = 124.$$

$$\text{Tard(J)} = \text{Tard (G)} - \text{durée (J)} = 124 - 6$$

$$\text{Tard(J)} = 118$$

$$\text{Tard (I)} = \text{Tard (J)} - \text{durée (I)} = 118 - 12,5$$

$$\text{Tard (I)} = 105,5$$

$$\text{Tard (O)} = \text{Tard (I)} - \text{durée (O)} = 105,5 - 2$$

$$\text{Tard (O)} = 103,5$$

$$\text{Tard (M)} = \text{Tard (G)} - \text{durée (M)} = 124 - 3,5$$

$$\text{Tard (M)} = 120,5$$

$$\text{Tard (H)} = \text{Tard (G)} - \text{durée (H)} = 124 - 4$$

$$\text{Tard (H)} = 120$$

$$\text{Tard (F)} = \text{Min}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tard (G)} - \text{durée (F)} = 124 - 54 = 70 \\ \text{Tard (O)} - \text{durée (F)} = 103,5 - 54 = 49,5 \end{array} \right.$$

$$\text{Tard (F)} = 49,5$$

Chapitre IV : étude du puits HTAN-1

$$\text{Tard (D) = Min} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tard (M) - durée (D) = 120.5 - 14 = 106.5} \\ \text{Tard (F) - durée (D) = 49.5 - 14 = 35.5} \\ \text{Tard (N) - durée (D) = 148 - 14 = 134} \end{array} \right.$$

$$\text{Tard (D) = 35,5}$$

$$\text{Tard (E) = Min} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tard (H) - durée (E) = 120 - 22,5 = 97.5} \\ \text{Tard (D) - durée (E) = 35.5 - 22,5} \end{array} \right.$$

$$\text{Tard (E) = 13}$$

$$\text{Tard (C) = Tard (E) - durée (C) = 13 - 7$$

$$\text{Tard (C) = 6}$$

$$\text{Tard (B) = Tard (C) - durée (B) = 6 - 5$$

$$\text{Tard (B) = 1}$$

$$\text{Tard(A) = Tard (B) - durée (A) = 1 - 1$$

$$\text{Tard (A) = 0}$$

Tableau IV. 3 : tableau récapitulatif des dates au plus tôt et au plus tard selon MPM :

opération	date au plus tôt	date au plus tard	Les marges (opérations critiques)
A	0	0	0
B	1	1	0
C	6	6	0
D	35,5	35,5	0
E	13	13	0
F	49,5	49,5	0
G	124	124	0
H	35,5	120	84.5
I	105,5	105,5	0
J	118	118	0
K	151,5	151,5	0
L	164	164	0
M	49,5	120,5	71
N	49,5	148	98.5
O	103,5	103,5	0
P	157	157	0
Fin	167	167	0

Source : réalisé par nous-mêmes

Interprétation

Après le calcul des dates au plus tôt et plus tard et de la marge totale, on détermine les opérations critiques, qui sont les opérations avec une marge totale égale à 0

Les opérations qui construisent le chemin critique sont donc :

La topographie , piste , plateforme , forage d'eau , DTM , forage HTAN-1 , carottage , diagraphie , DST , tubage , cimentation , bouchon de cimentation , tête de puits , d'où le réseau suivant :

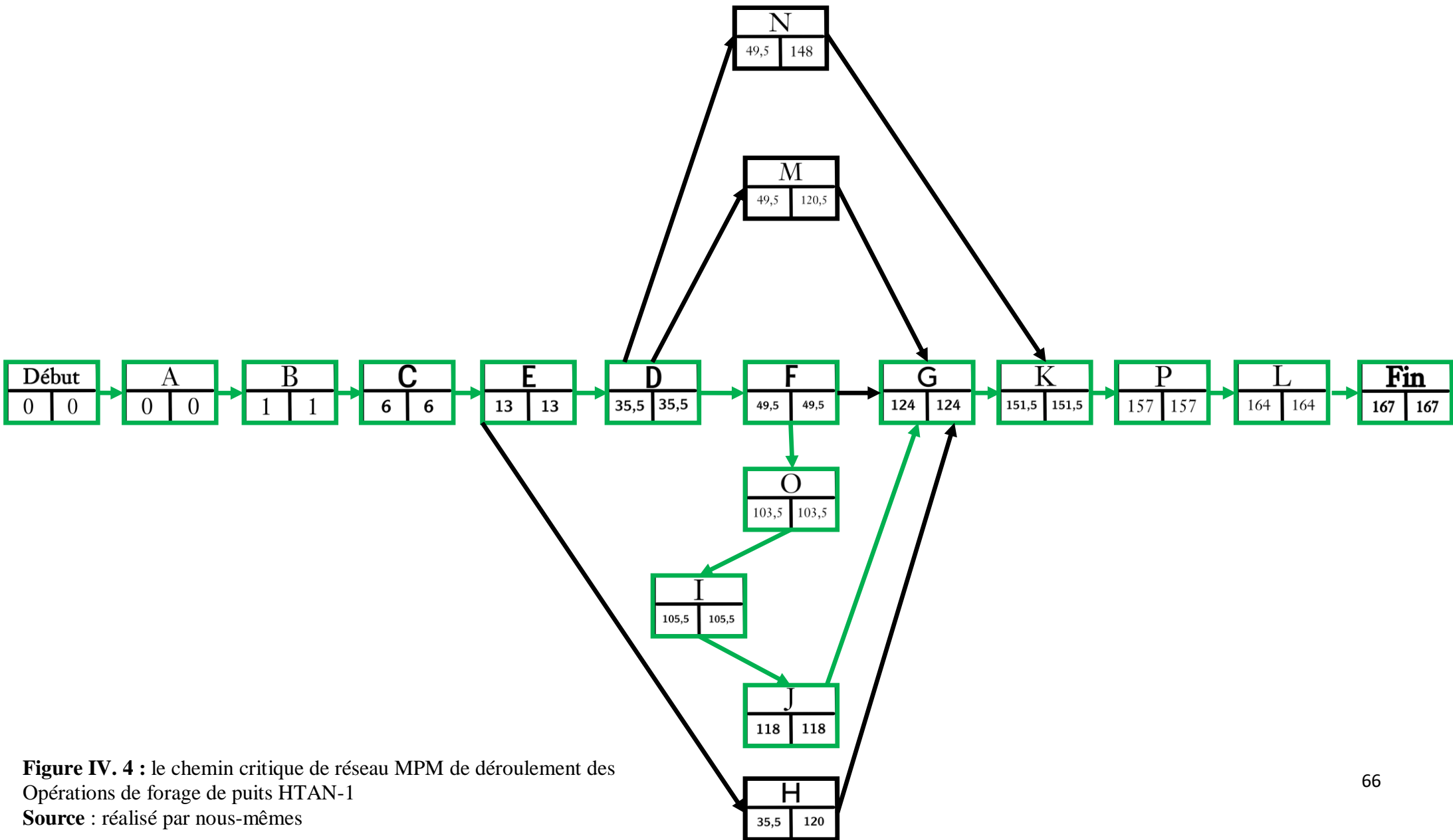


Figure IV. 4 : le chemin critique de réseau MPM de déroulement des Opérations de forage de puits HTAN-1
Source : réalisé par nous-mêmes

Résultat

Après l'application de la méthode MPM sur les tâches de réalisation de puits HTAN-1, on a optimisé le délai de réalisation total de 178 jours à 167 jours. Donc on a réduit 11 jours du temps total, qui va influencer sur le coût total de réalisation

On a aussi déterminé les opérations critiques sur lequel on doit agir pour optimiser les couts des opérations de forage

Interprétation des résultats

- Les opérations critiques dans le processus de forage sont celles qui déterminent la durée totale du projet, ils doivent être réalisés sans retard pour respecter la durée. Chaque retard dans ces opérations va entraîner un délai total prolongé
- Les opérations qui ne présentent pas de marge totale égale à zéro sont des opérations non critiques, cela signifie que ces opérations ont une certaine flexibilité dans leur calendrier et peuvent être effectuées avec une certaine marge de manœuvre sans retarder le projet dans son ensemble.
- Les opérations non critiques offrent également des possibilités d'amélioration en optimisant l'utilisation des ressources et en minimisant les temps d'attente ou de traitement

Recommandations pour optimiser les délais et les délais des opérations

- ✓ Optimisation des Ressources : Concentrez les ressources (équipements, équipes, matériaux) sur les tâches critiques et assurez que les ressources sont disponibles au bon moment et au bon endroit.

Par exemple, on doit assurer que les équipes et les équipements nécessaires pour le tubage et la cimentation sont prêts à être déployés immédiatement après le forage, afin d'éviter des retards inutiles dans le projet et le recours à des ressources externes supplémentaires et pour maximiser l'efficacité

- ✓ Maintenance Préventive : Planifiez la maintenance des équipements de manière proactive. La maintenance préventive réduit les temps d'arrêt non planifiés et les coûts de réparation.

Par exemple, il faut utiliser une bonne qualité de ciment, puisque parfois l'utilisation d'une mauvaise qualité de ciment cause un coincement de l'outil de forage

- ✓ Négociation avec les Fournisseurs : Négociez les prix avec les fournisseurs et recherchez des offres avantageuses. Une bonne relation avec les fournisseurs peut également conduire à des économies. par exemple les fournisseurs de ciment, des tiges de forage et de la boue

- ✓ Identifiez les activités où il y a un surplus de ressources ou des ressources sous-utilisées.

Par exemple, si on constate que l'équipe responsable de pompage de la boue peut être réaffectée temporairement à d'autres activités pendant les périodes de basse activité, cela pourrait réduire les coûts liés à l'externalisation de certaines tâches. Ou si certains équipements peuvent être partagés entre plusieurs activités.

- ✓ Pour maintenir ou améliorer les gains réalisés, il est judicieux de concentrer les efforts d'optimisation sur les opérations critiques, en les gérant de manière plus efficace et en réduisant les risques de retards potentiels
- ✓ Développez des stratégies d'atténuation des risques pour minimiser l'impact sur le calendrier du projet.

Conclusion

Pour conclure, notre étude de cas sur les opérations de puits HTAN-1 a démontré que l'application de la méthode MPM aux opérations de forage peut minimiser la durée totale de ces opérations en définissant le chemin critique, ce qui nous a aidé à donner des recommandations pour réduire les coûts et mieux gérer les ressources.

Ces résultats nous donnent des informations précieuses pour orienter les stratégies d'optimisation futures dans l'industrie pétrolière et gazière.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, on a examiné l'efficacité de la méthode MPM dans l'optimisation des opérations de forage, dont l'objectif été d'évaluer comment cette méthode peut aider à identifier les chemins critiques, optimiser les ressources disponibles et minimiser les délais et les coûts des opérations de forage

Les quatre chapitres ont fourni une compréhension approfondie du sujet, en donnant des généralités sur le pétrole brut, une présentation de la société SONATRACH, des principes fondamentaux de la recherche opérationnelle et de la méthode MPM et en fin une étude de cas sur le puits HTAN-1

Résultats de l'étude

L'exploration de la méthode MPM pour optimiser les opérations de forage dans l'industrie pétrolière met en lumière des possibilités significatives de minimisation des coûts et des délais de projet de forage HTAN-1. L'étude de ce puits a démontré que l'application de la méthode MPM peut réduire les coûts opérationnels, diminuer le délai total de projet de forage et offrir des informations précieuses pour orienter les stratégies d'optimisation futures dans l'industrie pétrolière et gazière.

Test des hypothèses

Nos hypothèses de recherche ont été confirmées par les résultats :

Hypothèse 1 est validée : L'utilisation de la méthode MPM peut conduire à une réduction des délais de forage en permettant une meilleure prévision et une gestion des risques associés aux différentes étapes du forage.

Hypothèse 2 : L'utilisation de la méthode MPM permettra de mieux visualiser et de mieux comprendre les interdépendances entre les différentes tâches et activités de forage, en identifiant les chemins critiques et en optimisant les ressources disponibles, facilitant ainsi la planification et la gestion des ressources.

Recommandations

- Optimisation des Ressources : Concentrez les ressources (équipements, équipes, matériaux) sur les tâches critiques et assurez que les ressources sont disponibles au bon moment et au bon endroit.
- Maintenance Préventive : Planifiez la maintenance des équipements de manière proactive. La maintenance préventive réduit les temps d'arrêt non planifiés et les coûts de réparation.

Conclusion générale

- Négociation avec les Fournisseurs : Négociez les prix avec les fournisseurs et recherchez des offres avantageuses. Une bonne relation avec les fournisseurs peut également conduire à des économies. par exemple les fournisseurs de ciment, des tiges de forage et de la boue
- Identifiez les activités où il y a un surplus de ressources ou des ressources sous-utilisées.
- Identifiez les risques potentiels qui pourraient affecter les activités critiques. Cela peut inclure des retards, des ressources insuffisantes, des changements dans les conditions du site, etc.
- Concentrer les efforts d'optimisation sur les opérations critiques, en les gérant de manière plus efficace et en réduisant les risques de retards potentiels
- Développez des stratégies d'atténuation des risques pour minimiser l'impact sur le calendrier du projet.

Difficultés de l'étude

L'étude a été confrontée à certaines limitations et difficultés. La disponibilité des données précises ont été un défi majeur, en particulier pour les durées spécifiques des opérations de forage de puits HTAN-1

Perspectives de l'étude

Les techniques d'optimisation proposées peuvent être directement appliquées pour améliorer l'efficacité des projets de forage, réduisant les coûts et les délais tout en augmentant la sécurité et la fiabilité des opérations. Les entreprises pétrolières peuvent intégrer ces méthodes dans leurs processus de gestion de projet pour obtenir des gains substantiels en termes de rentabilité et de performance opérationnelle.

Cette étude ouvre la voie à de nombreuses perspectives de recherche futures dans le domaine de l'optimisation des opérations de forage. Voici quelques-unes des perspectives qui pourraient être explorées :

- Intégration de l'intelligence artificielle : Explorer l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour améliorer les stratégies d'optimisation des opérations de forage.
- Impact environnemental : Investiguer l'optimisation des opérations de forage en tenant compte de leur impact environnemental, en se concentrant sur des pratiques durables et respectueuses de l'environnement.
- Modélisation de risques : Intégrer la modélisation des risques dans les problèmes d'optimisation des opérations de forage pour prendre en compte l'incertitude et minimiser les impacts négatifs.

Conclusion générale

- Analyse comparative : Réaliser des études comparatives approfondies entre différentes méthodes d'optimisation (comme PERT, MPM, GANT) pour identifier les meilleures pratiques et les approches les plus efficaces dans divers contextes de forage.
- Optimisation multi-objectif : Étendre les recherches sur l'optimisation multi-objective dans les opérations de forage pour prendre en compte des objectifs concurrents tels que la réduction des coûts, la minimisation des délais et la maximisation de la sécurité.
- Allocation optimale des ressources : Étudier les techniques avancées d'allocation optimale des ressources, en utilisant des méthodes de programmation linéaire ou non linéaire pour maximiser l'utilisation des équipements et du personnel tout en minimisant les coûts
- Optimisation linéaire ou Optimisation non linéaire : Comparez les modèles d'optimisation linéaire et non linéaire pour l'allocation des ressources et la planification des opérations de forage.
- Développer des modèles de recherche opérationnelle prenant en compte l'incertitude dans les durées des activités de forage, en utilisant des approches probabilistes pour améliorer la précision des prévisions et des plans.
- Utilisation des modèles de programmation comme Matlab, Python, Maple, C++ pour optimiser les opérations de forage

Bibliographie

Bibliographie

Livre

- BAGHOUL Mohammed Saïd, 2021. Pétrole algérien : les barils de la peur. édition saint honoré paris, 544 pages
- BITEAU Jean jacques et BAUDIN François, 2002. géologie de pétrole .édition technip paris, 367 pages
- FAURE Robert, BOSS Jean paul et LE GARFF André ,1980. La recherche opérationnelle, 5 éme édition ; Bd Saint-Germain, 75006 Paris, 142 pages
- Frédéric Bonnans, Stéphane Gaubert, 2016. Recherche opérationnelle. Aspects mathématiques et applications. Ellipse, pp.391, 9782730216418. (hal-01422645)
- Harold R. Kerzner, 2003. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling , 8 éme édition , wiley, 0471225770, 9780471225775
- WAUQUIER Jean Pierre, 1998, Raffinage du pétrole : procédés de séparation, Éditions : Technip, 704 pages

Mémoire

- ATTOU Manel et GUENNIFI Nour El Houda, 2022. *Le pétrole brut*. Mémoire de licence, université de M'hammed Bougara, département de l'économie et de commercialisation des hydrocarbures
- BELHAOUA Abdelkader et BENSARI Amine, 2003.Réduction des coûts dans les opérations de forage par la gestion des temps de connexion (méthode de Gantt). mémoire de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique
- CHAIB Mohamed Yazid, 2023.Etude économétrique du l'impact de l'évolution de prix du pétrole sur l'activité Exploration-Production (modèle ARDL). mémoire de master, université M'hamed Bougara de Boumerdès, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures
- DJENNADI Idriss Moulay et MELHOUT Amine, 2015.Contrôle des venues des fluides au cours d'un forage pétrolier : Cas d'études de puits : DHKT-2/NZ-22/RNA-15, mémoire fin d'études. école nationale polytechnique
- HAMZI Imane et SAYAH Amira, 2023. Evaluation économique de la méthode d'injection du gas-lift (cas du champ El Adeb Larache). mémoire de master, université M'hamed Bougara de Boumerdès, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures

Bibliographie

- KRADRA BRAHIM Khadîdja, 2009, détection et cinétique de la floculation des asphaltées du pétrole, mémoire de fin d'étude, faculté des sciences d'Oran
- Le-RoyYane Bethel NGOMA, 2019, Préparation d'une unité mud logging en vue d'une surveillance géologique d'un forage pétrolier, mémoire de licence professionnelle, Ecole supérieure de technologie du littoral, génie de l'amont pétrolier
- MAMOUNI Houssam, 2016. Analyse des risques liés aux activités de forage d'un puits pétrolier - Cas du chantier de forage NDIL 284 -HASSI MESSAOUD- .mémoire de master, Ecole Nationale Polytechnique
- MANSOURI Brahim ; 2010. Optimisation des couts et du temps de réalisation d'un forage horizontal a Hassi Messaoud, mémoire de fin d'étude, université de M'hamed Bougara, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures
- SOUFI Ahmed Mustapha, 2023. Optimisation et Modélisation Graphique d'un réseau de production, de traitement et transport du gaz : Projet In-Salah Gas. mémoire de master, université de M'hamed Bougara, département de l'économie et la commercialisation des hydrocarbures

Vidéos en ligne

- BRUNU Warin ; 2014 ; 04- Pert V4 - Calculer les marges totales, le chemin critique et les marges libres, disponible sur : <https://youtu.be/I6qy2hQz0iw?si=fhFVZpRl8KYp5knq>
- YOUNES ICFA ; 2020 ; partie 2b : méthode MPM : calcul , disponible sur : <https://youtu.be/wyujrj5KF-k?si=3FVdVs2bF8QY-i1N>

Articles

- BAAZIZ Abdelkader, QUONIAM Luc ,2013. L'information au service du management des risques opérationnels dans les environnements incertains : Cas de la détection précoce des venues durant les forages pétroliers et gaziers. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2013, 4 (1), Pages 52-67. fihal-00879442ff
- G. T, 1962, Économie et Administration : Un service de recherche opérationnelle dans une société pétrolière. La Revue Administrative, 15(85), 89–95.
- IRANI, RIA, 2023. Trends in Operations Research and Artificial Intelligence. IJERT. DOI 10.17577/IJERTV12IS080059
- TÜRKAY, Metin, FELICI, G., SZACHNIUK, Marta ET ŁUKASIAK, Piotr, 2016. Recent Advances in Operations Research in Computational Biology, Bioinformatics and

Bibliographie

Medicine. Rairo-operationsResearch 24 mars 2016. Vol. 50, n° 2, pp. 327 330. DOI 10.1051/ro/2015036.

Rapports

- Rapport annuel d'activité OPE – HMD – 2023
- Rapport annuel de SONATRACH– 2020
- Rapport d'implantation du forage Hassi Touiza nord-1 (HTAN-1) périmètre TOUGGOURT (Blocs : 415a-415b, 416, 423,424b, 433, 445a)

Cours

- BOUHRI Abdelkader, 2022 ; chapitre introductif au pétrole, université de m'hamed bougera de Boumerdès
- Cours de la recherche opérationnelle .Université de Batna, disponible sur : https://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/bellala_djamel/files/1_introduction_a_la_recherche_operationnelle_et_probleme_doptimisation.pdf
- HAMLAOUI Mahmoud, 2019 .Méthode électrique, sismique et gravimétrique. Université de Ferhat Abbas Sétif 1, Département des sciences de la terre.
- MAGHNOUJ Sellam, 2020, Comment planifier un projet ? [Cours PDF], Meknes, EST université Moulay Ismaïl
- SARI TRIQUI Lamia, 2016 .Polycopié du cours de la Recherche Opérationnelle RO [cour PDF], Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, Faculté de TECHNOLOGIE

Sites

- Connaissance des Énergies, 2015. Transport du pétrole, consulté le 25/02/2024.Disponible sur : <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/transport-du-petrole>
- Connaissance des énergies, 2018. Raffinage pétrolier. Connaissance des Energies, consulté le 26/02/2024, Disponible sur : <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/raffinage-petrolier>
- DARE Michée, 2023, Le pétrole le plus cher du monde est algérien, consulté le 24/02/2024, Disponible sur : <https://forbesafrique.com/le-petrole-le-plus-cher-du-monde-est-algerien/>

Bibliographie

- Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Qu'est-ce que la recherche opérationnelle ? , consulté le 29/02/2024, Disponible sur : <https://diro.umontreal.ca/departement/quest-ce-que-la-recherche-operationnelle/>
- <https://www.hindawi.com/journals/ddns/si/932127/>
- Kyle D. Venema, 2022 .Drilling Methods 101: Conventional (Vertical) vs. Unconventional (Horizontal), consulté le 23/05/2024. Disponible sur: <https://venergymomentum.com/posts/drilling-methods-101-conventional-vertical-vs-unconventional-horizontal/>
- Le Monde Diplomatique ; 2018, Le pétrole et le gaz, facteurs essentiels de l'essor économique, consulté le 24/02/2024, Disponible sur : <https://www.monde-diplomatique.fr/1965/10/A/26892> ,
- Le processus de forage pétrolier expliqué, consulté le 1 avril 2024, Disponible sur <https://fr.scienceaq.com/Nature/1001021115.html>
- LinkedIn. How can you choose between directional and horizontal drilling? , Consulté le 23/05/2024, Disponible sur : <https://www.linkedin.com/advice/1/how-can-you-choose-between-directional-horizontal#:~:text=Generally%20speaking%2C%20directional%20drilling%20is,equipment%2C%20time%2C%20and%20complexity>.
- Logistique conseil, la méthode MPM, consulté le 18/04/2024, disponible sur : <https://www.logistiqueconseil.org/Articles/Logistique/Methode-pert.htm>
- MAT Mahmut, 2023, La géophysique de pétrole, consulté le 22/02/2024. Disponible sur : <https://fr.geologyscience.com/geology-branches/petroleum-geology/petroleum-geology/?amp>,
- Schlumberger Oilfield Glossary , Consulté le 18/04/2024 , Disponible sur : <https://glossary.slb.com/en/search#q=cementing&sort=relevancy>)
- Vigor, 2023. différents types de processus de forage pétrolier, consulté le 23/05/2024 .disponible sur : <http://fr.vigordrilling.com/info/different-types-of-oil-drilling-processes-88242285.html>

Annexe

D. Régionale	District	N°	Class	Libelle	Préparation	Phase 36"	Phase 26"	Phase 17"1/2 - 16"	Phase 12"1/4	Phase 8"1/2	Phase 6"	Completion	Total (KDA)	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	V200	V	REAL TIME		0	0	0	0	0	0	0	0	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	V100	V	SERVICES INTEGRES		0	0	0	0	0	0	0	0	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	N100	M	FRACTURATION		0	0	0	0	0	0	0	0	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	M100	M	SURETÉ AUX PUIES		0	2071261,02	8258044,08	7456539,67	8258044,08	11184909,5	24855132,23	62 137 830,58	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	L200	L	SUPERVISION AOP		0	0	0	0	0	0	0	0	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	L100	L	SUPERVISION FORAGE		0	3738638,82	14947355,27	13452619,74	14947355,27	20178929,6	44842065,8	112105164,5	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	K100	K	CHARGES D'EXPLOITATION		0	3932388,0	15730352,86	14157317,92	15730352,86	21235976,1	47191058,1	117970940,0	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	K100	K	CHARGES D'IMP		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	L400	J	ENVIRONNEMENT	795625	0	364735	1418940	1277046	1619000	2185771,5	7591408,88	15242616,38	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	I300	I	PRESTATIONS UBD / PERSONNELS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	I300	I	PRESTATIONS UBD / AUTRES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	I200	I	PRESTATIONS UBD / CONSOMMABLES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	I100	I	PRESTATIONS UBD / EQUIPEMENTS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H920	H	TELECOMMUNICATIONS SERVICES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H910	H	TELECOMMUNICATIONS SERVICES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H630	H	TRANSPORT - AUTRES	100000	0	225000	900000	810000	900000	1216000	2700000	6750000	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H610	H	TRANSPORT - PROGRA/AMME		0	300000	1400000	1200000	900000	2500000	1500000	9500000	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H610	H	TRANSPORT - BOUE ET PRODUITS A BOUE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H600	H	TRANSPORTS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H740	H	OP. SPEC. / AUTRES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H730	H	OP. SPEC. / FISHING	204000	0	280225	463952	508368	774656	263095	447693	2937989	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H720	H	OP. SPEC. / SIDE TRACK	1777398,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1777398,26
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H710	H	OP. SPEC. / DIAGRAMES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H700	H	OPERATIONS SPECIALES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H600	H	D.S.T. AUTOMATIQUES		0	411732,74	972203,8	1132113,66	1498621,67	395561,5	415435,98	127170000	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H450	H	SURVEILLANCE PUIES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H400	H	DIAGRAMME		0	0	4674653,02	11549431,82	6665568,45	39918177,9	18840000	81647831,16	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H330	H	DIR. DRILLING/CONSOMMABLE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H320	H	DIR. DRILLING/EQUIPEMENT		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H310	H	DIR. DRILLING/PERSONNEL		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H300	H	DIRECTIONNEL DRILLING		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H220	H	MUDD LOGGING - PERSONNEL		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H210	H	MUDD LOGGING - CABINE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H200	H	MUDD LOGGING / CONSOMMABLE		0	1439742,73	5758970,92	5183073,82	5758970,92	7774610,74	17278912,75	43192281,88	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H120	H	OP. DE CAROTAGE / EQUIPEMENT		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H110	H	OP. DE CAROTAGE / PERSONNEL		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	H100	H	OP. DE CAROTAGE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G540	G	G.S.S. OUTILS/PDC		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G530	G	G.S.S. OUTILS/DIAMENTS		0	3611000	6623900	1334500	3611000	3611000	0	7145551,01	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G520	G	G.S.S. OUTILS/COUVRINES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G510	G	G.S.S. OUTILS/COUVRINES		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G400	G	CONS./ACCESS./TUBUL./EQUIPT. DE FOND		0	146119,4	56739,61	289171,02	169132,25	56068,04	0	1217299,32	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G390	G	CONS./ACCESS./TUBUL./EQUIPT. DE FOND		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G380	G	CONS./ACCESS./TUBUL./EQUIPT. DE FOND		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G340	G	CONS./ACCESS./TUBUL./SABOT		0	286996	168147	728794	278690	244920	80000	5290224	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G330	G	CONS./ACCESS./TUBUL./ROUCHONS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G320	G	CONS./ACCESS./TUBUL./ANNEAU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G310	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G300	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G200	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G140	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	22255182,38	79902008,9	142115189,2	7428586,88	7099634,83	16795590,91	275596193,1	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G130	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G120	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	G110	G	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	1291416,06	1244303,5	1221507,1	0	0	0	0	24658910,6
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F340	F	CONS./ACCESS./TUBUL./BOU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F220	F	CIM/BOUC/PROD.		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F210	F	CIM/BOUC/PROD.		0	1392242,39	624654,17	1179812,48	603639,35	896388,05	4509146,23	9205882,67	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F200	F	CIM/BOUC/PROD.		0	2263349	4280225	4221577	1534416	16930613	1386297	30616477	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F120	F	CIM/PRIM./SCES.		0	1386630,48	1540702,96	1265471,09	1074878,17	1008679,29	0	6256361,99	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	F110	F	CIM/PRIM./PROD.		0	3133527,57	9681958,4	5175892,71	1556647,07	802130,37	0	20350156,12	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	E300	E	BOUE - PRODUITS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	E200	E	BOUE - EQUIPEMENTS	766250	0	561580	188160	471040	382760	1536180	2303311	6209281	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	E100	E	BOUE - PERSONNEL		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	D320	D	PRESTATIONS ANNEXES - APPAREILS ETRANG		0	128830,5	5155320	4639789,8	5155320	6959847	1546596	38664915	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	D220	D	FORAGE EN REGIE - APPAREILS DE CLASSE		0	12888305	51553220	46397898	51553220	69598847	154659680	386649150	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	D210	D	FORAGE EN REGIE - APPAREILS EN LETAT		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	C410	C	DTM SANS CAMP		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	C310	C	DTM AVEC CAMP	3117378	0	0	0	0	0	0	0	0	3117378
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	C210	C	REPLI - APPAREILS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	C110	C	AMENEE - APPAREILS		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	B400	B	REDEVANCE EAU		0	32000	128000	115200	128000	128000	384000	960000	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	B300	B	CITERNE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	B200	B	FORAGE PUIES/DEAU		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	B100	B	FORAGE PUIES/DEAU		0	385970,03	1543860,11	1389492,12	1543860,13	2084238,18	4631640,4	11579100,99	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A500	A	ENTRETIEN PISTE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A400	A	ENTRETIEN PISTE	5000000	0	0	0	0	0	0	0	0	5000000
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A310	A	PLATE FORME APPAREIL		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A300	A	PLATE FORME APPAREIL	8893931	0	0	0	0	0	0	0	0	8893931
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A220	A	PISTE D'ATTRISSAGE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A210	A	PISTE D'ATTRISSAGE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A200	A	PISTE D'ATTRISSAGE	10254782	0	0	0	0	0	0	0	0	10254782
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A100	A	METAGE	787261	0	290	1780	390	965	595	0	787261	
	DIR. ASSETS CEI Bassin Amqui 17	A100	A	DUREE		0	0	0	0	0	0	0	0	0
						0	5	18	20	20	27	60	150	

Résumé

Résumé :

Ce mémoire de Master se concentre sur l'optimisation des opérations de forage dans le secteur des hydrocarbures, en mettant en lumière l'importance de la recherche opérationnelle dans l'industrie pétrolière et spécifiquement dans le forage

La problématique abordée concerne l'efficacité de la méthode MPM dans l'optimisation des opérations de forage, avec une analyse de ses résultats, les avantages et les limites, ainsi que son impact sur la gestion des projets de forage et leurs complexités. L'objectif de ce travail est d'évaluer comment cette méthode peut aider à identifier les chemins critiques, optimiser les ressources disponibles et minimiser les délais et les coûts des opérations de forage

La méthodologie utilisée pour cette recherche implique une analyse approfondie des concepts de MPM, une étude de cas dans le domaine du forage pétrolier, et une évaluation des résultats obtenus à partir de l'application de cette méthode.

Les résultats les plus importants de cette recherche mettent en évidence la capacité de la méthode MPM à améliorer la planification, la gestion des ressources et la minimisation des coûts et des délais des opérations de forage de puits HTAN-1. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour orienter les stratégies d'optimisation futures dans l'industrie pétrolière et gazière.

Abstract:

This Master's thesis focuses on the optimization of drilling operations in the hydrocarbons sector, highlighting the importance of operations research in the oil industry and specifically in drilling

The research question concerns the effectiveness of the MPM method in the optimization of drilling operations, analysing its results, the advantages, limitations and its impact on the management of drilling projects and their complexities. The objective of this work is to evaluate how this method can help identify critical paths, optimize available resources, and minimise the time and costs of drilling operations

The methodology used for this research involves a deep analysis of the concepts of MPM, a case study in the field of oil drilling, and an evaluation of the results obtained from the application of this method.

The most important results of this research highlight the ability of MPM method to improve the planning, resource management, and minimisation of costs and durations of HTAN-1 well drilling operations. These results provide valuable insights to guide future optimization strategies in the oil and gas industry.

ملخص :

تركز مذكرة الماجستير هذه على تحسين عمليات الحفر في قطاع المحروقات، مع تسليط الضوء على أهمية بحوث العمليات في صناعة النفط وتحديدًا في الحفر. تتعلق الإشكالية التي تم تناولها بفعالية تقنية MPM في تحسين عمليات الحفر، مع تحليل لهذه الطريقة؛ نتائجها، ومزايا وقيودها، فضلًا عن تأثيرها على إدارة مشاريع الحفر وتعقيدها. الهدف من هذا العمل هو تقييم كيف يمكن لهذه التقنية أن تساعد في تحديد المسارات الحرجة وتحسين الموارد المتاحة وتقليل وقت وتكلفة عمليات الحفر. تتضمن المنهجية المستخدمة في هذا البحث تحليلًا متعمقًا لمفاهيم MPM ، ودراسة حالة عملية في مجال التنقيب عن النفط، وتقييم النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق هذه التقنية. ومن أهم نتائج هذا البحث إبراز قدرة طريقة MPM على تحسين التخطيط وإدارة الموارد وتقليل التكاليف ومدة عمليات حفر البئر البترولي. HTAN-1 توفر هذه النتائج معلومات قيمة لتوجيه استراتيجيات التحسين المستقبلية في صناعة النفط والغاز.