

N° d'ordre : 03/DSTU/2024



# MEMOIRE

Présenté

à



L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA  
TERRE ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

## LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

Géo-Ressources

par

Kawter Imen BERRADIA & Ikram BRIXI GORMAT

---

APPLICATION DU FORAGE NON CONVENTIONNEL  
UNDERBALANCE SUR LE CHAMP DE HASSI MESSAOUD

---

Soutenu le 22 septembre 2024 devant les membres du jury :

Salamet MAHBOUBI, MC (A), Univ. Tlemcen  
Abbas MAROK, Professeur, Univ. Tlemcen  
Kamar Eddine BENSEFIA, MC (B), Univ. Tlemcen

Président  
Encadrant  
Examineur



# TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	4
<b>RESUME</b>	5
<b>ABSTRACT</b>	6

## **Premier chapitre : CADRE GENERAL**

---

<b>I. INTRODUCTION</b>	7
<b>II. OBJECTIF DU MEMOIRE</b>	7
<b>III. PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI MESSOUD</b>	7
<b>A. Sur le plan géographique</b>	7
<b>B. Sur le plan géologique</b>	8
1. Infracambrien	8
2. Paléozoïque	8
2.1. Cambrien	8
2.2. Ordovicien	10
3. Mésozoïque	10
3.1. Trias	10
3.2. Jurassique	11
3.3. Crétacé	11
4. Cénozoïque	12
<b>C. Sur le plan tectonique</b>	12
1. Structure du champ de Hassi Messaoud	12
1.1. Structuration anté-triasique	12
1.2. Structurations post-triasique	13
1.3. Structuration actuelle	13
<b>IV. PRESENTATION DU SYSTEME PETROLIER</b>	13
<b>A. Roche mère</b>	13
<b>B. Roche réservoir</b>	13
<b>C. Roche couverture</b>	13
<b>D. Pièges</b>	14
<b>E. Migration des hydrocarbures</b>	14

## Deuxième chapitre : **GENERALITES SUR LE FORAGE EN UBD**

---

<b>I. INTRODUCTION</b>	15
<b>II. PRINCIPE ET INTERET DU FORAGE EN UBD</b>	15
<b>A. Principe</b>	15
<b>B. Intérêt de la technique</b>	16
<b>III. EQUIPEMENT DU FORAGE EN UBD</b>	16
<b>A. Equipement de surface</b>	16
1. Equipement utilisé dans la production du gaz injecté	16
2. Equipement utilisé dans le circuit d'injection du gaz	17
<b>B. Equipement de fond</b>	20
<b>C. Fluides utilisés</b>	20
<b>IV. CHOIX DU FORAGE EN UBD</b>	20
<b>A. Réservoirs candidats</b>	21
<b>B. Réservoirs non candidats</b>	21
<b>V. METHODES D'INJECTION</b>	21
<b>A. Injection dans les tiges de forage</b>	21
<b>B. Injection par l'annulaire</b>	21
<b>C. Injection par le parasite string</b>	21
<b>VI. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU FORAGE EN UDB</b>	21
<b>A. Les avantages</b>	21
<b>B. Les inconvénients</b>	22
<b>VII. FORAGE HORIZONTAL EN UDB</b>	23
<b>A. Définition</b>	23
<b>B. Application</b>	23
<b>C. Classification des puits horizontaux</b>	23

## Troisième chapitre : **ÉTUDE DE CAS**

---

<b>I. INTRODUCTION</b>	24
<b>II. PRESENTATION DES LOGICIELS</b>	24

<b>A. Logiciel SAPHIR Ecrin v.4.20.07 (KAPPA)</b>	24
<b>B. Logiciel PIPESIM</b>	24
<b>III. PUIITS FORE EN UDB</b>	24
<b>A. Identité du puits</b>	24
<b>B. Résultats du Flow Test</b>	25
<b>IV. PUIITS FORE EN OBD</b>	26
<b>A. Identité de puits</b>	26
<b>B. Résultats du Drill Stem Test (DST)</b>	27
<b>V. COMPARAISON ENTRE LES PUIITS</b>	28
<b>A. Comparaison entre les puits UBD (MDZ 672) et OBD (MDZ 669)</b>	28
<b>B. Comparaison à l'échelle du champ de Hassi Massaoud</b>	28
1. Comparaison des vitesses de pénétration	28
2. Comparaison de la consommation des outils	29
3. Comparaison de l'indice de productivité	29
<b>VI. CONCLUSION</b>	30
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	31
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	32
<b>LISTE DES FIGURES</b>	33
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	34
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	35



## **AVANT-PROPOS**

---



## **AVANT-PROPOS**

---

Tout d'abord, nous adressons notre profonde gratitude à Monsieur **Abbas MAROK**, Professeur des universités, pour avoir bien voulu accepter de suivre notre projet de fin d'études. En cette occasion, nous tenons à le remercier pour tous les efforts et le dévouement qu'il apporte à cette formation de Master professionnalisant et surtout pour que ses étudiants soient encadrés dans les meilleures conditions.

Nos remerciements vont particulièrement à :

Madame **Salamet MAHBOUBI**, Maître de Conférences classe (A) qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Monsieur **Kamar Eddine BENSEFIA**, Maître de Conférences classe (B), qui a bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Monsieur **Mustapha BENADLA**, Maître de Conférences classe (A) pour les précieux conseils et soutiens de tous genres et surtout pour son accompagnement durant notre parcours de Master.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à tous le personnel de la SONATRACH-Hassi Messaoud, en particulier **A. BELKACEM, A. DJELAILI, O.ZEKKOUR** et **A. NASRI**.

Merci à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers qui ont contribué à notre formation et qui nous ont guidés depuis le début de notre parcours universitaire.

Un très grand merci à nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à nos amis de la promotion « GRP-2024 » d'avoir contribué directement ou indirectement à la réussite de ce modeste travail.

**RESUME**

---



## **RESUME**

---

Devant la baisse de la production pétrolière dans le champ de Hassi Messaoud, la Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH) a introduit en 2002, une nouvelle technique de forage non conventionnel Underbalance (UDB). Cette technique a pour objectif d'améliorer les taux de pénétration, de fournir des informations sur les réservoirs en temps réel et surtout d'améliorer la productivité en réduisant l'endommagement de la formation géologique.

Dans le présent travail, nous avons essayé de mettre en valeur l'intérêt de cette nouvelle technique de forage non conventionnel à travers l'étude du puits MDZ 672, situé dans le champ de Hassi Messaoud. Ainsi, l'utilisation des logiciels SAPHIR et PIPESIM pour la modélisation à la fois du réservoir cambrien du puits et la vérification des paramètres de jaugeage (Flow Test) montrent de très bons résultats.

Par ailleurs, la comparaison avec le puits conventionnel Overbalance (OBD)(MDZ669), nous confirme fort bien que la technique dite de forage en UBD est la meilleure dans les réservoirs déplétés, car nous obtenons plus d'informations sur le puits et sur le réservoir d'une part et nous augmentons la production pétrolière d'autre part. Les résultats obtenus de cette comparaison montrent également que les paramètres (Q, PFD et IP) sont élevés dans le puits Underbalance (UBD) (MDZ 672) par rapport au puits Overbalance (OBD) (MDZ 669).

Enfin, la fiabilité du forage en Underbalance (UBD) a été aussi confirmée à l'échelle du champ de Hassi Messaoud à partir de la comparaison de plusieurs puits, comme le témoigne les résultats de la vitesse de pénétration, la consommation des outils et l'indice de productivité

**Mots-clés:** Hassi Messaoud, Underbalance, Overbalance, SAPHIR, PIPESIM, Flow Test, Cambrien

## **ABSTRACT**

---



## **ABSTRACT**

---

Faced with falling oil production from the Hassi Messaoud field, the National Company for Research, Production, Transport, Transformation, and Marketing of Hydrocarbons (SONATRACH) introduced a new non-conventional underbalance drilling (UBD) technique in 2002. The aim of this technique is to improve penetration rates, provide information on reservoirs in real time and, above all, improve productivity by reducing damage to the geological formation.

In the present work, we have tried to highlight the interest of this new unconventional drilling technique through the study of the MDZ 672 well, located in the Hassi Messaoud field. The use of SAPHIR and PIPESIM software for modelling both the well's Cambrian reservoir and for checking the gauging parameters (Flow Test) produced very good results.

In addition, the comparison with the conventional Overbalance (OBD) well (MDZ 669) confirms that the UBD drilling technique is the best in depleted reservoirs, because we obtain more information about the well and the reservoir on the one hand, and we increase oil production on the other. The results of this comparison also show that the parameters (Q, PFD and IP) are higher in the Underbalance (UBD) well (MDZ 672) than in the Overbalance (OBD) well (MDZ 669).

Finally, the reliability of underbalance drilling (UBD) has also been confirmed at the scale of the Hassi Messaoud field by comparing several wells, as shown by the results for penetration speed, tool consumption and productivity index.

**Key-words:** Hassi Messaoud, Underbalance, Overbalance, SAPHIR, PIPESIM, FlowTest, Cambrian

## Premier chapitre : **CADRE GENERAL**

---



## **I. INTRODUCTION**

Dans le cadre de l'amélioration et le développement du forage pétrolier, certaines techniques et méthodes ont été élaborées afin d'augmenter le taux de récupération des hydrocarbures dans les réservoirs à faible pression.

Parmi les techniques utilisées aujourd'hui, nous citons le forage en underbalance qui consiste à forer avec la pression de fond inférieur à la pression de gisement. Cette technique permet d'éviter plusieurs problèmes générés dans le forage en overbalancesurtout au point de vue d'empêcher l'endommagement de réservoir et les pertes de circulation. Elle permet aussi l'amélioration de la production, la durée de vie de puits et la réduction des coûts. A noter que le forage en underbalance (UBD) nécessite des équipements spéciaux, engendrant ainsi des coûts supplémentaires, mais tout reste insignifiant comparativement aux performances réalisées.

## **II. OBJECTIF DU MEMOIRE**

Le présent travail s'articule sur :

- l'évaluation des avantages du forage UBD par rapport au forage OBD ;
- l'analyse des effets sur la formation géologique et la productivité des puits ;

## **III. PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI MESSAOUD**

### **A. Sur le plan géographique**

Avec une superficie globale de 2000 km<sup>2</sup>, le champ de Hassi Messaoud se situe à 650 km au Sud-Est d'Alger, à 350 km de la frontière algéro-tunisienne et à 80 km à l'Est de Ouargla. Ce champ géant est limité au Nord par les structures Djemaa de Touggourt, au Sud par le horst d'Amguid, à l'Est par la dépression de Ghadames et à l'Ouest par le bassin d'Oued Mya (fig.1). Il a pour coordonnées Lambert X= 790.000 - 840.000 E, Y= 110.000 - 150.000 N et pour coordonnées UTM 31°42'0"N et 6°4'0"E.

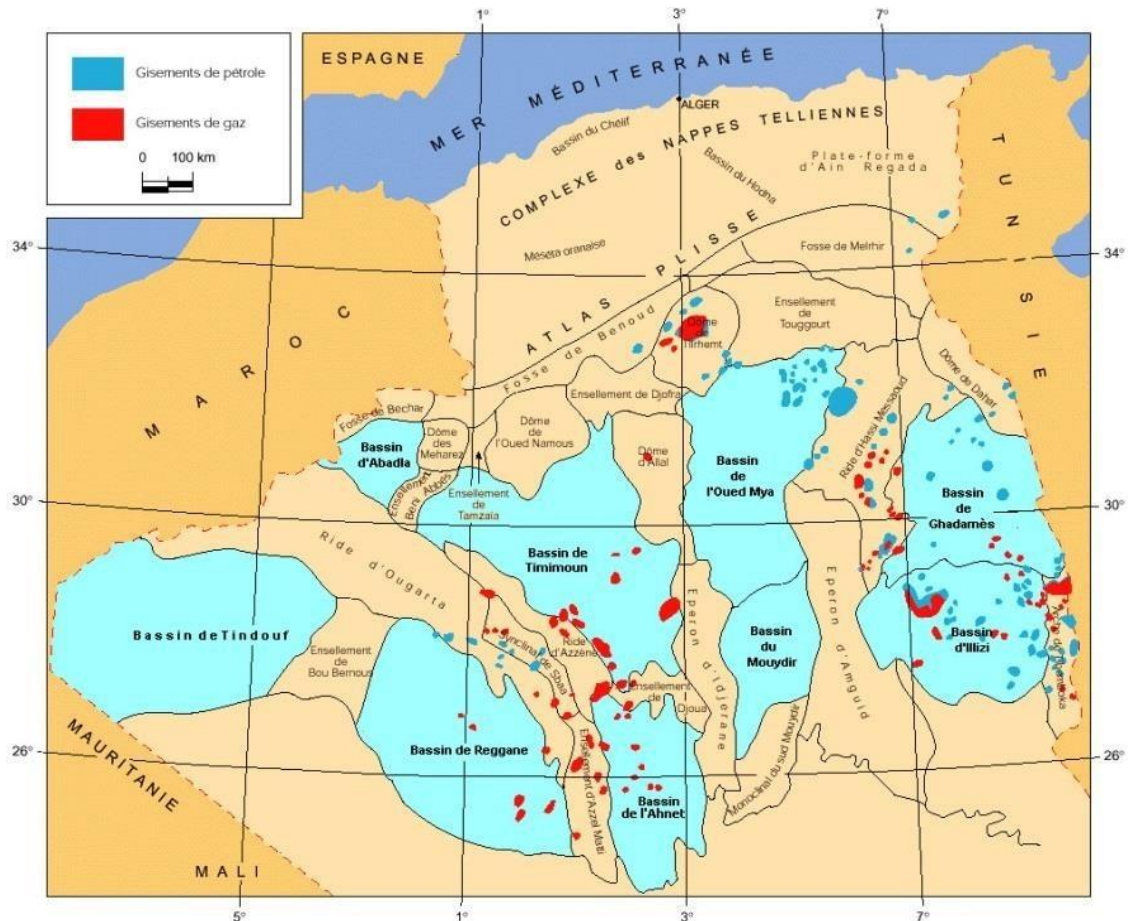


Fig.1- Situation géographique du champ de Hassi Messaoud (d'après WEC, 2007).

## B. Sur le plan géologique

Le champ de Hassi Messaoud correspond à un vaste anticlinal affecté par un jeu de failles d'orientation globale NNW/SSE faisant apparaître ainsi une géométrie organisée en horst et grabens (Rapport interne SONATRACH). Dans l'ordre ascendant, la série stratigraphique type du champ, se résume comme suit (fig. 2) :

### 1. Infracambrien

Il est représenté par des grès argileux de couleur rouge reposant en discordance sur le socle granitique.

### 2. Paléozoïque

#### Cambrien

Constitue de grès hétérogènes, entrecoupés de passées de silstones argileux, micacés, le Cambrien se distingue par la présence de quatre (05) Lithozones, à savoir (fig. 3):

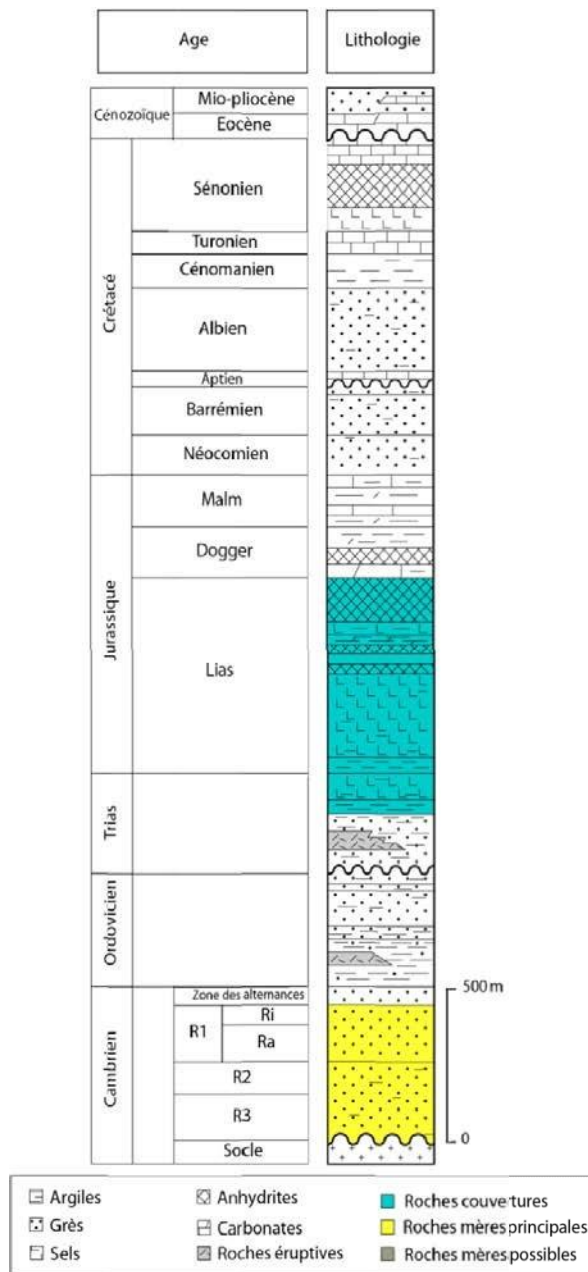


Fig. 2- Colonne lithostratigraphique type du champ de Hassi Messaoud (d'après SONATRACH, 2005, modifiée).

-Lithozone **R3** (Epaisseur moyenne = 370 m) : elle correspond à des grès feldspathiques, micacés à conglomératiques à la base, admettant des passées de grès ferrugineux et d'argiles silteuses.

-Lithozone **R2** (Epaisseur moyenne = 100 m) : ce sont des grès à stratifications souvent obliques avec la présence de intercalations de silts.

-Lithozone **Ra** (Epaisseur moyenne = 125 m) : elle se compose de grès et de grès quartzites à ciment argileux et siliceux, admettant de nombreuses passées de siltstones. Les stratifications sont souvent obliques à entrecoupées et parfois horizontales. Les tigillites sont présentes dans la partie supérieure de la série.

-Lithozone **Ri** (Epaisseur moyenne = 42 m) : il s'agit de grès quartzitiques à ciment argileux et siliceux, avec une présence abondante de tigillites.

-Zone des alternances (Epaisseur moyenne = 20 m): elle est représentée par des argiles silteuses noires et des grès quartzites.

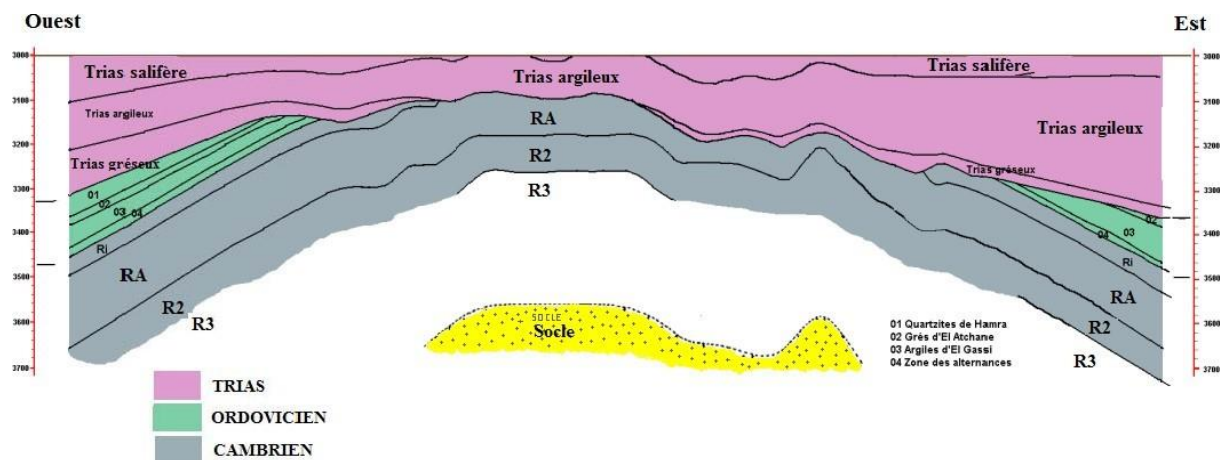


Fig. 3-Coupe Palinspastique montrant l'évolution spatio-temporelle des dépôts du Paléozoïque et du Trias dans le champ de Hassi Messaoud (d'après BEICIP, 2006).

### Ordovicien

De bas en haut, cet intervalle chronologique est constitué d'une suite sédimentaire suivante :

-Les argiles d'El-Gassi (Epaisseur moyenne = 50 m) : ce sont essentiellement des d'argiles schisteuses, parfois glauconieuses ou carbonatées à graptolites. Ce dépôt qualifié de marin est bien développé sur la périphérie Ouest à Sud-Ouest du champ de Hassi-Messaoud.

-Les grès d'EL Atchane (Epaisseur moyenne = 12 à 25 m) : il s'agit de grès à ciment argileux ou glauconieux admettant de nombreuses passées argileuses et silteuses.

-Les quartzites de Hamra (Epaisseur moyenne = 12 à 75 m) : Ce sont des grès quartzitiques fins, à rares intercalations d'argiles.

### 3. Mésozoïque

#### Trias

Reposant en discordance sur le Cambrien et sur l'Ordovicien, le Trias de Hassi Messaoud comprend :

-Le Trias éruptif (Epaisseur moyenne = 46 m): c'est des coulées éruptives, avec la présence de niveaux gréseux.

-Le Trias-gréseux (TAG) (Epaisseur moyenne = 35 m) : formé essentiellement de grès à ciment argileux. Il est subdivisé en grès inférieurs (TAGI) et supérieurs (TAGS).

-Le Trias argileux (Epaisseur moyenne = 113 m) : il est constitué d'argiles dolomitiques ou silteuses avec des intercalations de bancs de sel.

-Le Trias salifère (Epaisseur moyenne = 340 m) : c'est des bancs massifs de sel présentant au sommet des intercalations d'anhydrite et d'argiles légèrement silteuses et dolomitiques.

### Jurassique

Il est généralement représenté par des faciès lagunaires et marins à la base passant à un ensemble argilo-gréseux à intercalations de calcaires. Dans le détail, la succession lithostratigraphique montre de bas en haut :

-Le Lias = Jurassique inférieur (Epaisseur moyenne = 300 m) : ce sont dans l'ordre ascendant des faciès représentés par des marnes à passées de dolomies, des sels à passées d'argiles, des alternances de bancs de dolomies massives à des passées de marnes légèrement dolomitiques, des argiles à passées de sels et d'anhydrites et enfin des dolomies et des anhydrites à passées d'argiles et de calcaires.

-Le Dogger = Jurassique moyen (Epaisseur moyenne = 320 m) : c'est des dépôts lagunaire (anhydrites et dolomies) à la base passant à des argiles silteuses admettant des bancs de grès au sommet.

-Le Malm = Jurassique supérieur (Epaisseur moyenne = 226 m) : il s'agit essentiellement de marnes avec des intercalations de bancs de calcaires et de dolomies. Notons la présence de quelques traces d'anhydrites.

### Crétacé

L'épaisse série sédimentaire du Crétacé se résume ainsi :

-Le Néocomien (Epaisseur moyenne = 182 m) : il comprend des bancs de grès à passées argileuses à la base passant à des argiles à intercalations de calcaires et de dolomies au sommet.

-Le Barrémien (Epaisseur moyenne = 280 m) : il est formé de grès à plages d'anhydrites, admettant des niveaux d'argiles gréseuses et de dolomies.

-L'Aptien (Epaisseur moyenne = 25 m) : il est représenté par des bancs dolomitiques encadrant un niveau argileux.

-L'Albien (Epaisseur moyenne = 350 m) : ce sont des grès et des sables fins, avec des intercalations d'argiles silteuses.

-Le Cénomanién (Epaisseur moyenne = 145 m) : il s'agit d'un faciès constitué d'une alternance d'anhydrites, d'argiles, de marnes et de dolomies.

-Le Turonien (Epaisseur moyenne = 95 m) : c'est une alternance de calcaires dolomitiques, de calcaires argileux et de calcaires crayeux.

-Le Sénonien (Épaisseur moyenne = 230 m) : à la base, il est représenté par des bancs massifs de sel et par une alternance d'anhydrites, de dolomies et d'argiles. Au sommet, apparaissent des bancs de calcaires dolomitiques et des bancs d'anhydrites à passées dolomitiques gypseuses.

#### 4. Cénozoïque

Avec une épaisseur moyenne de 360 m. l'intervalle du Cénozoïque est constitué principalement de calcaires dolomitiques à l'Eocène et de sables au Mio-pliocène.

### C. Sur le plan tectonique

La structure générale du champ de Hassi Messaoud se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati, de direction NE-SW (BOUDJEMA, 1987). Les accidents affectant le réservoir sont :

- Les failles de directions subméridiennes NNE – SSW et NW-SE donnant ainsi une structure de type horst et graben ;
- Les failles sans rejets ayant un grand effet sur la fracturation du réservoir.

#### 1. Structure du champ de Hassi Messaoud

L'évolution structurale du champ est le résultat de plusieurs phases tectoniques qui sont résumés ici, comme suit :

#### Structuration anté-triasique

-Phase panafricaine: c'est une phase compressive de direction E-W, due à une collision continentale entre le craton Ouest africain rigide et le bloc Est africain plastique (BERTRAND & CABY, 1978). Elle provoque ainsi une tectonique cassante, représentée par un réseau de failles de directions NE-SW et NW-SE suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au Cambrien.

Par ailleurs, les mouvements distensifs de direction NW-SE interviennent au Cambro-Ordovicien. Cette distension provoque un jeu de failles normales (NE-SW) (BEICIP/FANLAB, 1979).

-Phase Eo-calédonnienne: cette phase est marquée par la transgressivité des grès (Ri) connus sur les flancs du champ, après la mise en place du dépôt du réservoir (Ra).

-Phase calédonnienne: régionalement, elle est connue par l'absence de sédiments du Dévonien et du Carbonifère dans toute la surface du haut fond d'El Biod. Cette phase aurait débuté au Silurien ou au Dévonien inférieur (MASSA & NICOL-LEJAL, 1971).

-Phase hercynienne : elle est responsable d'un grand bombement de direction NE-SW accompagnée du jeu de failles de même orientations. A souligner l'érosion de toute la couverture paléozoïque à l'aplomb du gisement et par la disposition radiale de grandes vallées de creusement. Au cours de cette phase, on assiste à un serrage de direction NW- SE qui est perpendiculaire aux accidents majeurs.

## Structurations post-triasique

Cette période tectonique est marquée par des déformations s'accompagnant d'un basculement vers le NW au du Mésozoïque (BEICIP/FANLAB, 1979). Elle se distingue par les phases suivantes:

-Phase autrichienne: elle correspond à un raccourcissement E-W. C'est une phase qui accentué la fermeture structurale et d'une part et elle a provoqué des fracturations le long des failles anciennes qui ont probablement joué d'autre part.

-Phase atlasique : c'est une phase dont la compression est de direction NNE-SSW est postérieure à la formation des hydrocarbures. Elle est probablement à l'origine des barrières de perméabilité dues à un décalage des niveaux réservoirs.

## Structuration actuelle

Cette structuration montre une fermeture de 300 m entre les bordures et le top du gisement. Elle est compressive à raccourcissement NS. Cette phase qui a subi un faible réajustement épirogénique, avec un allongement général NE-SW (BEICIP/FANLAB, 1979).

## IV. PRESENTATION DU SYSTEME PETROLIER

Dans le champ de Hassi Messaoud, objet de la présente étude, le système pétrolier se distingue par la présence de :

### A. Roche mère

-Les argiles du Silurien constituent la roche mère, source génératrice des hydrocarbures à l'échelle de toute la plate-forme saharienne. Cette source est représentée par les argiles noires, carbonatées et radioactives, très riches en matière organique, d'une épaisseur qui varie entre 20 à 70 m. Le Silurien est préservé au Nord du champ de Hassi Messaoud, à l'Ouest (dans le bassin d'Oued Mya), au Sud-Ouest (bassin de Mouydir) et enfin à l'Est (bassin de Ghadamès).

### B. Roche réservoir

Le champ en question se distingue par la présence des réservoirs suivants :

-le réservoir cambrien dont la production principale est dans les lithozones Ra et Ri ;

-le réservoir ordovicien formé essentiellement des quartzites de Hamra, avec la présence des quantités d'huile.

### C. Roche couverture

La couverture des réservoirs ordoviciens est assurée respectivement par l'épanchement des roches éruptives ainsi que par les épaisses séries d'évaporites d'âge triasique ou jurassique.

## **D. Pièges**

Les pièges sont les zones les plus favorables à la présence des accumulations d'hydrocarbures, caractérisés par une faible pression et une plus basse température que celle des roches mères, et par une barrière qui oblige les hydrocarbures à s'accumuler (PERRODON, 1985). On distingue, trois types de pièges :

-Pièges structuraux : ces pièges sont le résultat de mouvements tectoniques tels que les anticlinaux ou pièges par failles;

-Pièges stratigraphiques: c'est la combinaison de deux milieux différents correspondant au passage d'un milieu perméable à un autre imperméable tels que les lentilles gréseuses, les biseaux, etc.

-Pièges mixtes : ils sont à la fois structuraux et stratigraphiques, comme par exemple, la structure de HMD (anticlinal tronqué par la discordance hercynienne).

Notons qu'au niveau du bassin d'oued Mya et le Nord-Est de Hassi Messaoud, les pièges reconnus jusqu'à présent sont de type stratigraphique et structural (mixtes).

## **E. Migration des hydrocarbures**

D'après les nombreuses études réalisées sur la région, les accumulations d'hydrocarbures du gisement de Hassi Messaoud et de tout gisement avoisinant proviennent probablement des deux bassins, Ghadamès et Illizi à l'Est et Oued Mya à l'Ouest.

La migration primaire est effectuée au sein du Silurien, en suite à travers les niveaux gréseux triasiques au contact de la discordance Hercynienne (migration secondaire). Les réservoirs cambro-ordoviciens affleurant à la discordance hercynienne sont alimentés à partir des grès triasiques.

## Deuxième chapitre : **GENERALITES SUR UBD**

---



## I. INTRODUCTION

A la différence du forage en overbalance (overbalanced drilling)(OBD) réalisé avec un fluide de forage exerçant une pression hydrostatique ( $P_h$ ) supérieure à la pression de gisement ( $P_g$ ), le forage non conventionnel underbalance (underbalanced drilling)(UBD), objet de la présente étude est réalisé avec un fluide de forage exerçant une pression hydrostatique ( $P_h$ ) inférieure à la pression du gisement (SONATRACH, 2008)(fig. 4). Il s'agit là d'une méthode qui vient trouver des solutions aux problèmes rencontrés lors de l'exécution des forages conventionnels. Pour avoir plus de détail sur le principe, l'intérêt, les équipements ainsi que sur les avantages et les inconvénients non conventionnels du forage en underbalance (UBD), nous invitons le lecteur à consulter le document d' INERIS-DRS (2015) sur le forage en UBD.

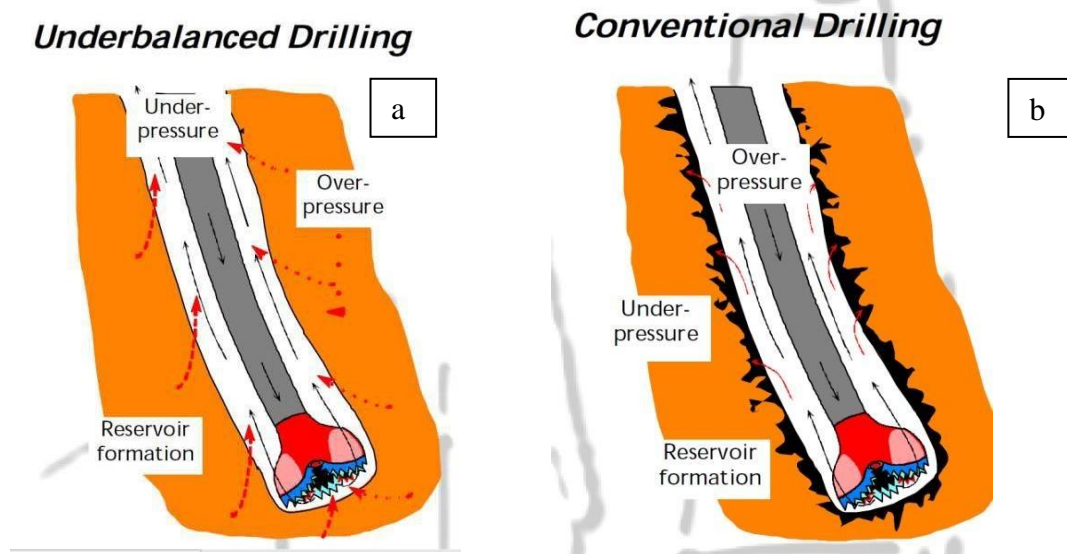


Fig. 4- Comparaison entre le forage en sous pression (a) et le forage conventionnel (b) (d'après INERIS-DRS, 2015).

## II. PRINCIPE ET INTERET DU FORAGE EN UBD

### A. Principe

Le principe de ce forage consiste à maintenir la pression de fond inférieure à celle du réservoir selon une  $\Delta p$  (draw down) désirée et ce durant toute l'opération de forage et en cours des manœuvres (DRAOUI, 2022). Le draw down est défini comme étant la différence entre la pression du gisement et la pression au fond du puits, exprimé en pourcentage par rapport à la pression de gisement. Le puits est techniquement en état de venue permanente.

$$\text{draw down} = (P_g - P_f) * 100 / P_g.$$

A noter qu'on doit établir la pression du fond ( $P_f = P_h + P_a$ ) en conditions de production ou sans production.

$P_f$  : la pression de fond

$P_h$  : la pression hydrostatique

$P_a$  : les pertes de charges annulaires

## B. Intérêt de la technique

Le terrain a montré que ce type de forage en underbalance constitue une alternative qui permet de gagner beaucoup de temps (diminue le temps non productif pour le forage des réservoirs d'huiles). Entre autres, le forage en UBD (underbalanced drilling) permet de maximiser la récupération de l'hydrocarbure d'une part et minimiser les problèmes rencontrés lors de la réalisation des forages d'autre part.

## III. EQUIPEMENT DU FORAGE EN UBD

Non seulement le forage en UBD nécessite une installation des équipements de fond et des équipements de surface pour contrôler et gérer les effluents du puits, mais il a besoin aussi d'une équipe spécialement formée.

### A. Equipement de surface

#### 1. Equipement utilisé dans la production du gaz injecté

-Compresseurs: il s'agit de l'utilisation de trois compresseurs (fig. 5) pour comprimer l'air de la pression atmosphérique à une pression de 200 psi avec une vitesse de rotation de 2100 tr/min et un débit max de 50 m<sup>3</sup>/min.

-Refroidisseur d'air (Air cooler): son utilisation permet d'obtenir un air pur dirigé vers le générateur d'azote. Il se caractérise par une pression d'entrée d'air (200 PSI), une température d'entrée (42 °C), une pression de sortie (175 PSI), une température de sortie (32°C) et enfin un débit de sortie (85m<sup>3</sup>/min).

-Unité de production de nitrogène (NPU): au niveau de cette unité, le générateur d'azote comprend des fibres qui laissent passer les molécules d'azote et éliminent les molécules d'oxygène (un taux de 3 % d'O<sub>2</sub> est toléré)(fig. 5). Il doit avoir un débit d'entrée d'air 85 m<sup>3</sup>/min, une température d'entrée d'air 50°C, une pression de sortie de N<sub>2</sub> 175PSI, une puissance 75 KW, un débit de sortie de N<sub>2</sub> 42 m<sup>3</sup>/min et une pureté de N<sub>2</sub> 95 %.

-Pompe triplex: c'est une pompe qui refoule l'azote vers le puits à travers les conduites de refoulement. C'est une pompe à diamètre du piston 3" à course du piston 5", avec un débit de 248 l/min et une pression max de 2300 PSI (fig. 6).

-Amplificateur de pression (Booster): il existe deux types, un médium Booster (2500 Psi) et un autre dit High Booster (5000 Psi). Ce booster a une pression d'entrée de N2 175 PSI, une pression de N2 comprimé 1500-2500 PSI et RPM (1200-1800) tour/min (fig. 7).



Fig. 5- Unité de production nitrogène.



Fig. 6- Pompe triplex.



Fig. 7- Amplificateur de pression.

## 2. Equipement utilisé dans le circuit d'injection du gaz

-Tête rotative : cet élément clé du forage existe sous deux types, passive et active (fig. 8).

-Vanne ESD (Emergency Shut Down) : c'est une vanne hydraulique située à la sortie latérale de la Mud Cross. Cette vanne de sécurité est utilisée en cas d'éventuels problèmes tels que : le changement de la garniture, la fuite au niveau des équipements de retour et en cas de détection d'un gaz toxique ( $H_2S$ )(fig. 9).

-Manifold de l'underbalance : c'est un choke manifold de série 5000 psi disposé sur la sortie annulaire composé de deux duses réglables et d'une chambre d'échantillonnage de 4" de diamètre pour la récupération des analyses de géologie (fig. 10).



Fig. 8 -Exemple de tête rotative de BOP.

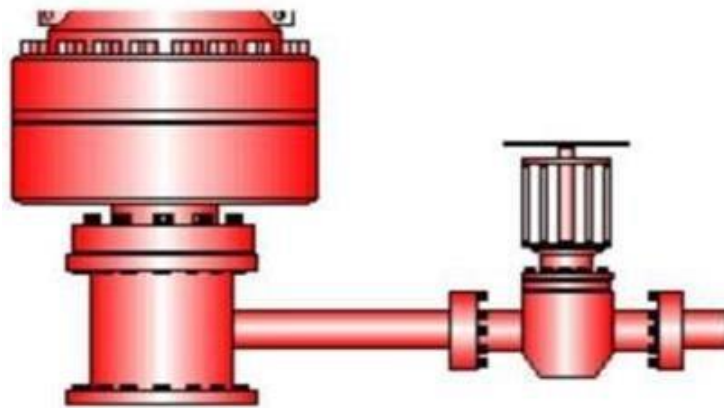


Fig. 9- ESD Emergency Shut Dawn.



Fig. 10 -Manifold de l'underbalance.

11). -Bacs de décantation: cet équipement sert à la récupération du fluide de forage (fig. 11).



Fig. 11- Bacs de décantation d'UBD.

-Séparateur : il est utilisé pour séparer le liquide du gaz sous une pression de travail de 500 psi. Ce séparateur est constitué par un corps cylindrique en acier fermé à chaque extrémité par un fond bombé (fig. 12).



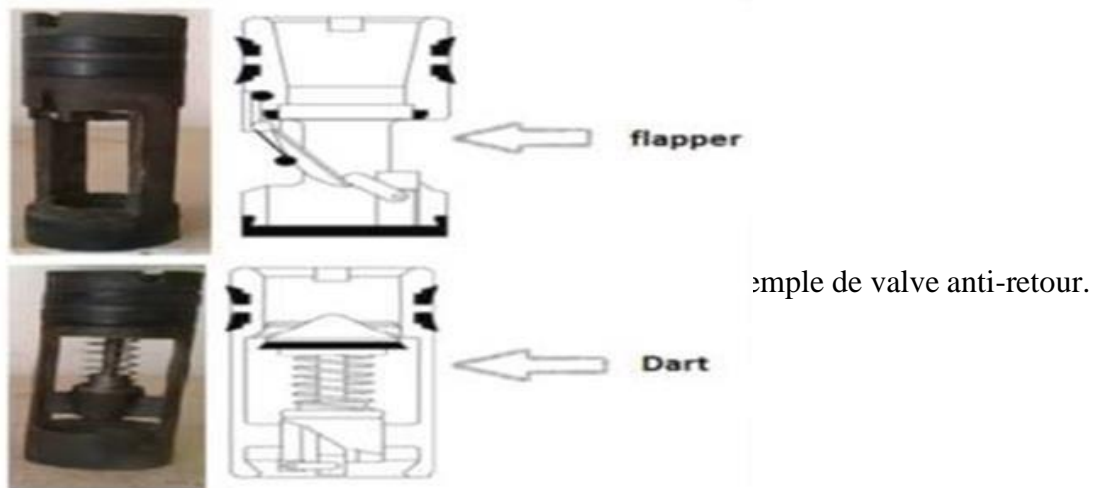
Fig. 12 - Séparateur vertical.

-Flow line principale: cette conduite branchée à la sortie de la tête rotative est utilisée pendant toute la durée des opérations d'underbalance.

## B. Equipement de fond

Il est composé principalement des vannes anti-retour, de moteurs à déplacements positifs (PDM) et de Measurement while drilling (MWD).

-Vannes anti-retour (valve) : pour des raisons de sécurité du puits durant l'opération d'underbalance, plusieurs vannes sont introduites (fig. 13). A titre d'exemple, une vanne anti-retour (non-return float valve) se met juste au-dessus de l'outil de forage de type clapet et pointu (flapper et dart) est utilisée pour éviter le retour à l'intérieur de la garniture et le bouchage de l'outil. Une autre vanne anti-retour (string float valve) de type clapet (flapper) est également utilisée pour conserver le gaz injecté pendant les purges.



-Moteurs à déplacements positifs ou PDM: alors que les moteurs à déplacements positifs (PDM) sont conçus seulement pour des fluides incompressibles (e.g. boues à base d'eau ou d'huile), dans un milieu compressible, ils présentent des problèmes d'exploitation tels que : la durée de vie limitée, les vitesses excessives et l'arrêt du moteur de fond (Calage).

-Measurement while drilling ou MWD: l'intérêt de cet équipement réside dans sa capacité à transmettre des informations sur les données de rotation, la température, les vibrations et la pression.

-Logging while drilling) ou LWD : cette mesure permet essentiellement d'avoir un contrôle de la déviation, en tenant compte de la nature de la formation forée.

## C. Fluides utilisés

Dans le cas du forage en underbalance (UBD), le choix de fluide reste une opération importante. Ainsi, trois types de fluides peuvent être utilisés. Il s'agit des fluides incompressibles (liquides, comme l'eau et la boue par exemple), les fluides bi-phasiques (comme la mousse) et l'air ou le gaz naturel.

## IV. CHOIX DU FORAGE EN UBD

Le choix d'un UBD dépend de plusieurs critères que nous allons brièvement les énumérer ici.

### **A. Réservoirs candidats**

Dans ce cas, le réservoir candidat à l'UBD doit se distinguer par une production élevée avec une perméabilité moyenne et une formation fracturée, soumise aux pertes de circulation, susceptible d'être endommagée pendant le forage et enfin une formation hétérogène et dure.

### **B. Réservoirs non candidats**

A la différence des critères cités pour le choix d'un réservoir candidat à l'UBD, il est aussi important de savoir qu'un réservoir est déclaré non candidat lorsque le puits est peu profond, avec une perméabilité extrêmement faible et il est soumis à des instabilités des parois. Notons également la présence des zones multiples avec des pressions différentes et des formations contenant des argiles du H<sub>2</sub>S.

## **V. METHODES D'INJECTION**

En plus de la qualité du fluide et le choix du gaz d'injection, il existe plusieurs méthodes d'injection qui sont utilisées pour réduire la pression hydrostatique. Ainsi, nous citons:

### **A. Injection dans les tiges de forage**

Sans aucun équipement spécial de fond, le gaz comprimé est injecté dans les tiges de forage où il se mélange au fluide de forage.

### **B. Injection par l'annulaire**

Cette technique consiste à injecter le gaz dans l'espace annulaire pour abaisser la pression hydrostatique requise pendant l'opération du forage.

### **C. Injection par le parasite string**

Pour des raisons de sécurité, cette technique est utilisée dans les puits verticaux. Le parasite string est attaché à l'extérieur du casing pour l'injection de gaz.

## **VI. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU FORAGE EN UDB**

### **A. Les avantages**

Les différents avantages de l'utilisation d'un forage en underbalance (UDB) peuvent se résumer comme suit :

-Élimination du phénomène du colmatage du réservoir : cette élimination est faite, car la pression de fond et la pression de gisement ainsi que la perméabilité sont suffisantes pour que le flux s'écoule du réservoir vers le puits.

-Amélioration de l'avancement (ROP) : la diminution des contraintes effectives de la formation permet d'avoir des avancements beaucoup plus grands. A la différence du

forage en overbalance où l'avancement de l'outil de forage diminue au fur et à mesure que le gradient de pression hydrostatique augmente (fig. 14).



Fig. 14 -Variation de l'avancement dans les deux types de forages.

-Elimination des collages par pression différentielle : dans le cas de forage en underbalance, le risque d'infiltration du fluide de forage dans les parois du puits est exclu, car la pression exercée par le fluide de formation est plus grande que la pression à l'intérieur du puits, d'où l'élimination du phénomène de collage.

-Réduction d'endommagement des réservoirs: le non utilisation de la boue écarte définitivement l'endommagements et la contamination du réservoir.

-Augmentation de la productivité du puits : l'augmentation de la productivité du puits est le but principal recherché à travers l'application de l'UBD.

-Réduction des programmes de fluides de forage coûteux : des économies significatives peuvent être réalisées en forage UBD, en utilisant des fluides spécifiques à l'exemple de la mousse, la brute azotée et/ou le mist.

## **B. Les inconvénients**

Grâce à la littérature, nous avons pu énumérer les inconvénients suivants :

-Instabilité des parois du puits : cette instabilité constitue un principal inconvénient pour le forage en underbalance.

-Limitations liées à l'équipement du forage directionnel : l'équipement de forage directionnel peut avoir des limitations dans le forage en underbalance. Ainsi, des outils actionnés hydrauliquement ne peuvent pas être utilisés dans des puits de type UBD.

## VII. FORAGE HORIZONTAL EN UDB

### A. Définition

Il s'agit d'un forage directionnel caractérisé par la traversée du réservoir avec une inclinaison pouvant atteindre  $100^\circ$ . Ce sont généralement des puits utilisés pour augmenter la production du réservoir, améliorer le taux de récupération et permettent le développement du champ non exploités commercialement.

### B. Application

Les puits horizontaux sont appliqués dans les cas ci-après :

-Cas des réservoirs fracturés : les réservoirs fracturés sont parmi les meilleurs candidats au développement par forage horizontal. Ainsi, ils constituent le meilleur moyen d'en intercepter le plus grand nombre et de forer un puits horizontal perpendiculairement à leur direction principale.

-Cas des réservoirs multicouches : dans le cas des réservoirs multicouches, un puits horizontal peut remplacer plusieurs puits verticaux ou déviés.

-Cas des réservoirs à basse perméabilité : il s'agit là d'une alternative à la fracturation hydraulique. Dans ce cas, le drain horizontal se comporte comme une fracture avec plusieurs avantages.

### C. Classification des puits horizontaux

Selon le rayon de courbure  $R$ , les puits horizontaux sont classés en plusieurs catégories. Nous distinguons les puits suivants:

- Ultra short radius ;
- Short radius ;
- Medium radius ;
- Long radius ;
- Les puits en ré-entry ;
- Les puits multilatéraux

## Troisième chapitre : **ETUDE DE CAS**

---



## I. INTRODUCTION

En 2002, la SONATRCH fut la première entreprise à introduire la technique du forage en Underbalance (UDB) dans le champ de Hassi Messaoud, en utilisant les logiciels SAPHIR et PIPESIM pour la modélisation à la fois du réservoir du puits et la vérification des paramètres de jaugeage (Flow Test) et DST. Dans ce dernier chapitre, nous allons étudier le cas d'un puits foré en UDB (MDZ 672). Ce dernier sera par la suite comparé avec un puits ODB (MDZ 669).

## II. PRESENTATION DES LOGICIELS

### A. Logiciel SAPHIR Ecrin v.4.20.07 (KAPPA)

Ce logiciel est un outil d'interprétation du test de puits basé principalement sur la méthode de dérivée de la pression. Il a une gamme complète de fonctionnalités.

### B. Logiciel PIPESIM

C'est un simulateur conçu par la compagnie de service Schlumberger. Il permet d'analyser la performance des puits producteurs ou injecteurs en se basant sur la description du processus de l'écoulement de flux depuis le réservoir jusqu'au séparateur en surface. Pour son utilisation, les données ci-après sont nécessaires, à savoir :

- les données géologiques et pétrophysiques;
- les données PVT, DST et jaugeage;
- les différents rapports de mesure et d'opérations effectuées sur le puits.

## III. PUITS FORE EN UDB

### A. Identité du puits

Dans le tableau ci-après et la figures 15, nous donnons au lecteur les informations sur le puits MDZ 672, à l'exemple des coordonnées, le profil, etc.

Date début de forage	18-5-2016
Date fin de forage	25-8-2016
X	824785,94
Y	116214,32
Z sol	150
Z tables	142,72
Azimut	N315°
Target	900m dans le drain D2
Objectif	Puits horizontal de développement

Tabl. 1- Présentation du puits MDZ 672.

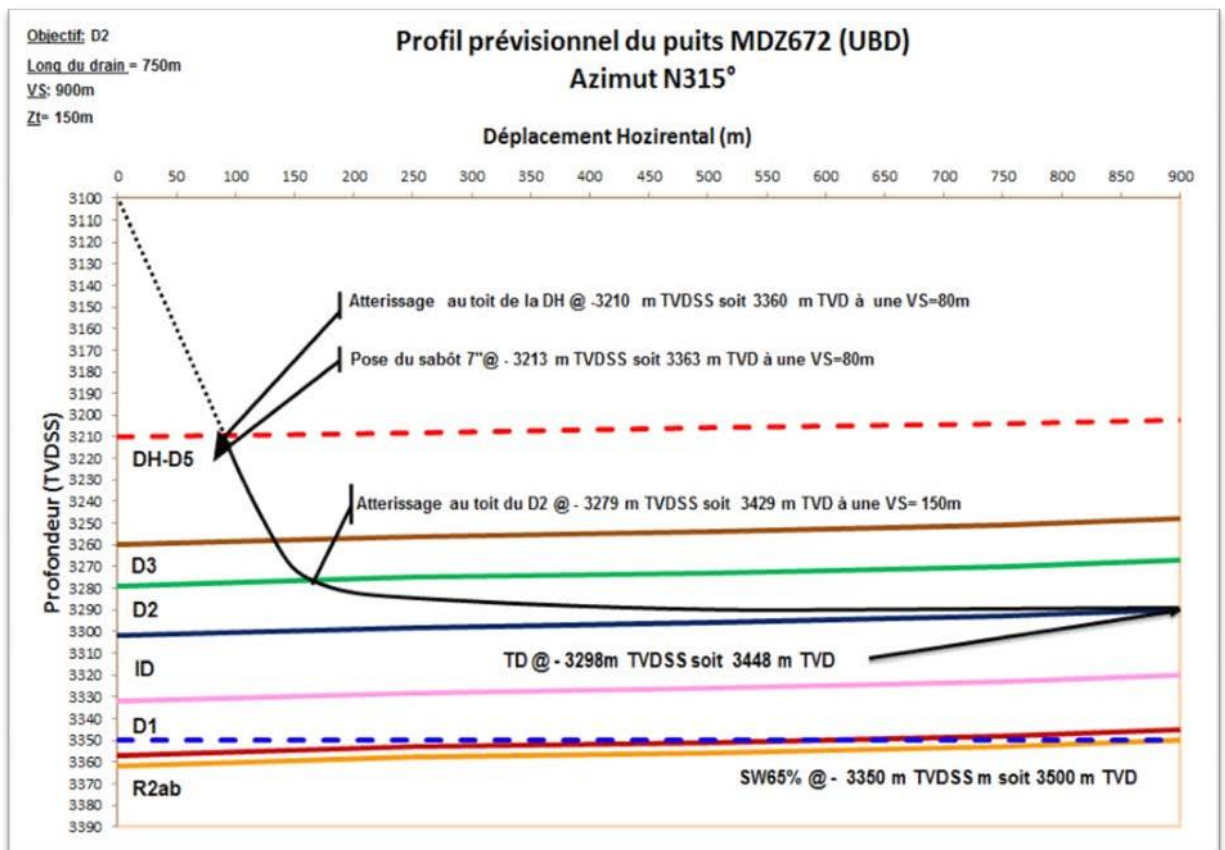


Fig. 15- Profil du puits MDZ 672.

## B. Résultats du Flow Test

Les différents résultats du Flow Test sont donnés dans les tableaux ci-après :

-Résultat du Flow Test n°1 : non éruptif ,réaliser dans le Cambrien, drain D5 le 27 juillet 2016à la TD = 3410 m (MD), Vs = 66 m.

-Résultat du Flow Test n°2: non éruptif réaliser dans le Cambrien drain D5+D3 le 29 juillet2016 à la TD = 3442.6 m (MD), Vs = 93 m

-Résultat du Flow Test n°3: réaliser dans le Cambrien drain D5+D3,le 03 aout 2016 à la TD = 3491.9 m (MD), Vs = 140.28 m (tabl. 2).

PG (kg/cm <sup>2</sup> )	236.27
Qh (m <sup>3</sup> /h)	1.9

Tabl. 2- Résultats du Flow Test n° 3.

**-Résultat du Flow Test n°4:** réaliser dans le Cambrien drain D5+D3+D2, le 09 aout 2016 à la TD = 3637 m (MD), Vs = 285.45 m (tabl. 3).

PG (kg/cm <sup>2</sup> )	226.73
PFD (kg/cm <sup>2</sup> )	143.64
PT (kg/cm <sup>2</sup> )	23.13
Qh (m <sup>3</sup> /h)	8.71
IP (m <sup>3</sup> /h/kg/cm <sup>2</sup> )	0.103
GOR (m <sup>3</sup> )	696.56

Tabl. 3- Résultats du Flow Test n° 4.

**-Résultat du Flow Test n°5:** réaliser dans le Cambrien drain D5+D3+D2, le 16 aout 2016 à la TD = 3872 m (MD), Vs = 520.26 m (Tabl. 4).

PG (kg/cm <sup>2</sup> )	238.07
PFD (kg/cm <sup>2</sup> )	131,61
PT (kg/cm <sup>2</sup> )	23.83
Qh(m <sup>3</sup> /h)	14,08
IP (m <sup>3</sup> /h/kg/cm <sup>2</sup> )	0,132
GOR (m <sup>3</sup> )	470.27

Tabl. 4- Résultats du Flow Test n° 5.

**-Résultat du Flow Test n°6:** réaliser dans le Cambrien drain D5+D3+D2 le 26 aout 2016 à la TD= 4102 m, Vs = 750.14 m (tabl. 5).

PG (kg/cm <sup>2</sup> )	242
PFD (kg/cm <sup>2</sup> )	175,48
PT (kg/cm <sup>2</sup> )	35,71
Qh (m <sup>3</sup> /h)	21,75
IP (m <sup>3</sup> /h/kg/cm <sup>2</sup> )	0,328
GOR (m <sup>3</sup> )	506

Tabl. 5- Résultats du Flow Test n° 6.

#### IV. PUIITS FORE EN OBD

##### A. Identité de puits

Comme le puits décrit précédemment, nous allons donner ci-dessous, les informations nécessaires sur le puits MDZ 669 foré en overbalance (OBD) (tabl. 7, fig. 16) dont les résultats obtenus seront utilisés par la suite pour la comparaison entre les deux techniques.

Date début de forage	19/10/2015
Date fin de forage	22/03/2016
X	798651,26
Y	127574,3
Z sol	148m
Z tables	140,5m
Azimut	N120°
Target	530 m dans le D4 et Changement de Target D2
Objectif	Puits de développement

Tabl. 6- Présentation du puits MDZ 669.

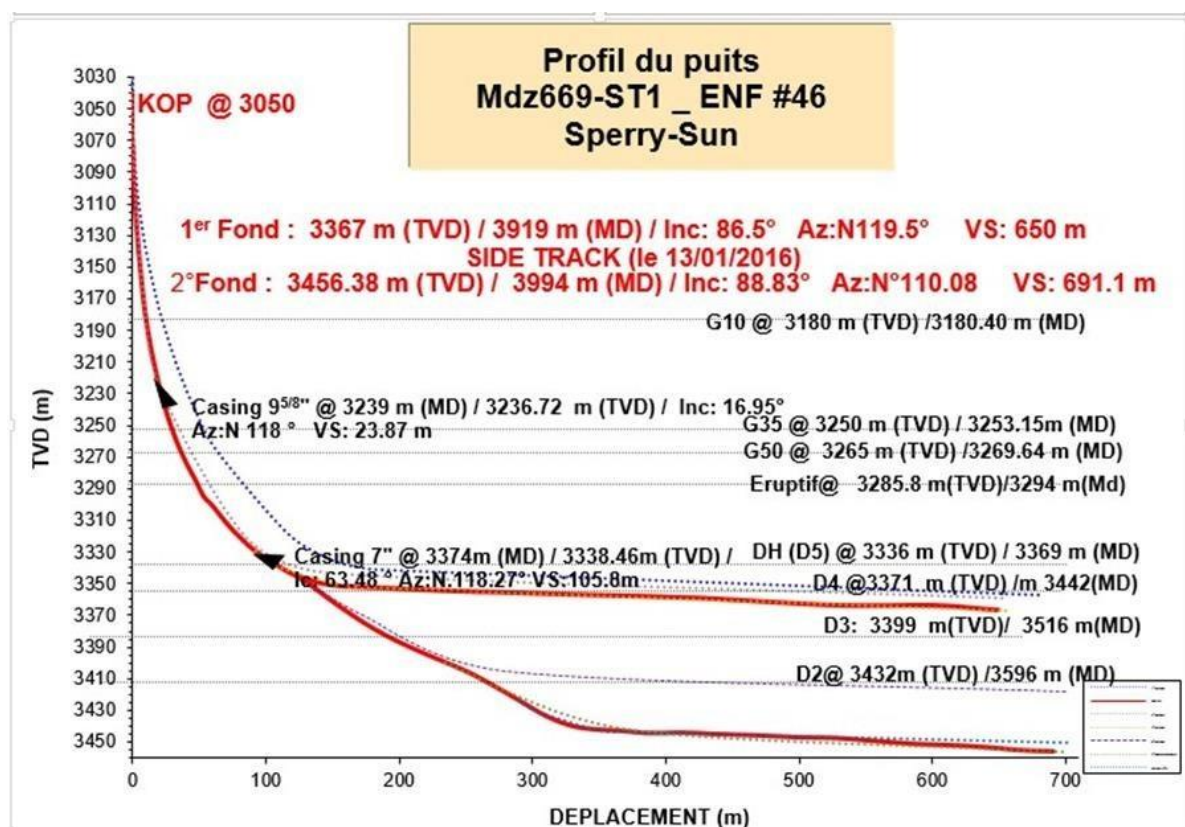


Fig. 16- Profil du puits MDZ 669.

## B. Résultats du Drill Stem Test (DST)

Ce Drill Stem Test (DST) réalisé en fin de forage a pour objectif de connaître le potentiel du réservoir, de faire une complétion du puits et enfin de valider d'autres cibles qui sont programmées dans le secteur (tabl. 7).

Drain	N°1(D5)	N°2(D4)	N°3(D2)
PG	332,73	327,34	314,89
PFD	136,03	98,84	166,77
PT	17,3	12,6	20,5
Q (m <sup>3</sup> /h)	0,99	1,75	3,15
Skin	-3,46	0,853	-3,18
I.P	0,006	0,008	0,025
GOR (m3/m3)	-	169	96
Hk Lointain (m.md)	2,19	6,23	14,9
Duse (mm)	9,53		9,53

Tabl. 7- Résultats du Drill Stem Test pour le puits MDZ 669.

## V. COMPARAISON ENTRE LES PUITES

### A. Comparaison entre les puits UBD (MDZ 672) et OBD (MDZ 669)

Il s'agit d'une comparaison des résultats du Flow Test et du Drill Stem Test obtenus dans les deux puits (tabl. 8). L'interprétation de ces résultats montre que les paramètres (Q, PFD et IP) sont élevés dans le puits UBD (MDZ 672) par rapport au puits OBD (MDZ 669). Après l'avancement du forage par drain, une chute de pression est bien enregistrée dans le puits OBD (MDZ669), alors que cette pression augmente inversement dans le puits UBD (MDZ 672).

Drain	MDZ672				MDZ669		
	D5-D3	D5-D3-D2	D5-D3-D2	D5-D3-D2	D5	D4	D2
Date	03-08-16	09-08-16	16-08-16	26-08-16	25-01-16	25-02-16	03-04-16
PG (kg/cm <sup>2</sup> )	236,27	227,91	238,7	242,96	332,73	327,34	314,89
PFD (kg/cm <sup>2</sup> )	-	143,64	131,61	175,48	136,03	98,84	166,77
Qh (m <sup>3</sup> /h)	1,79	8,71	14,08	21,75	0,99	1,75	3,15
IP	-	0,103	0,132	0,328	0,006	0,008	0,025
Skin	-	-	-	0,32	-3,46	0,853	-3,18

Tabl. 8- Comparaison des résultats du Flow Test et du DST.

### B. Comparaison à l'échelle du champ de Hassi Massaoud

Cette comparaison est réalisée à partir de plusieurs puits UBD et OBD forés à Hassi Massaoud. Elle consiste à comparer trois paramètres :

#### 1. Comparaison des vitesses de pénétration

Les résultats de la vitesse de pénétration (ROP) dans les puits (UBD et OBD) montrent que l'avancement est supérieur dans l'UBD par rapport au puits en OBD. Le calcul atteste un rapport de 2.4, ce qui est considéré comme un progrès et un avantage (fig. 17).

## 2. Comparaison de la consommation des outils

Dans l'ensemble du champ de Hassi Messaoud, il a été remarqué que la consommation des outils dans les puits en UBD est toujours importante (fig. 18).

## 3. Comparaison de l'indice de productivité

Les résultats exposés dans la figure 19 montrent fort bien que l'indice de productivité est plus important dans les puits forés en UBD, ce qui rajoute aux avantages du forage en UBD un autre aspect d'optimisation.

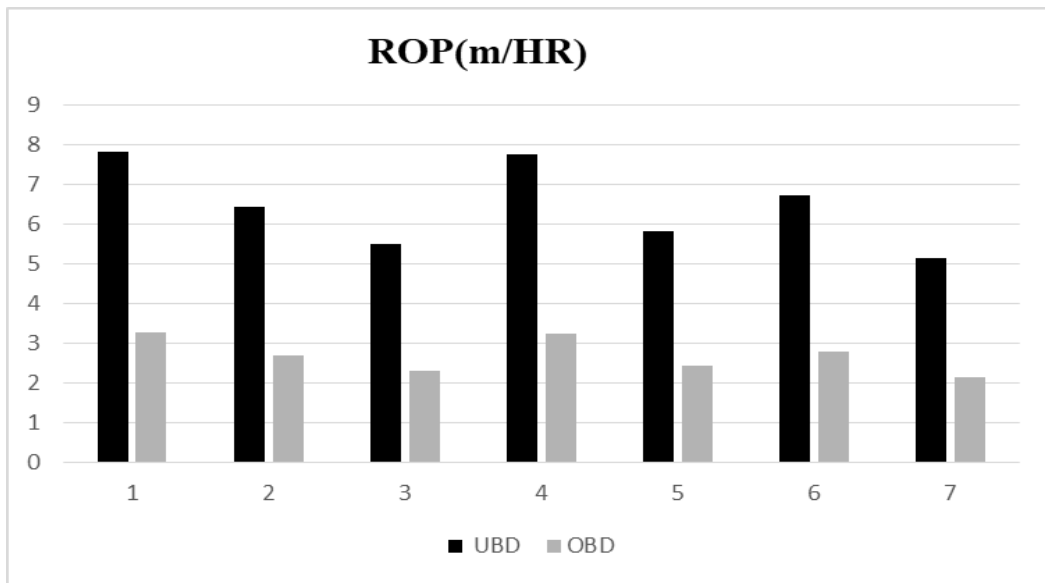


Fig. 17- Comparaison du ROP dans les puits UBD et OBD.

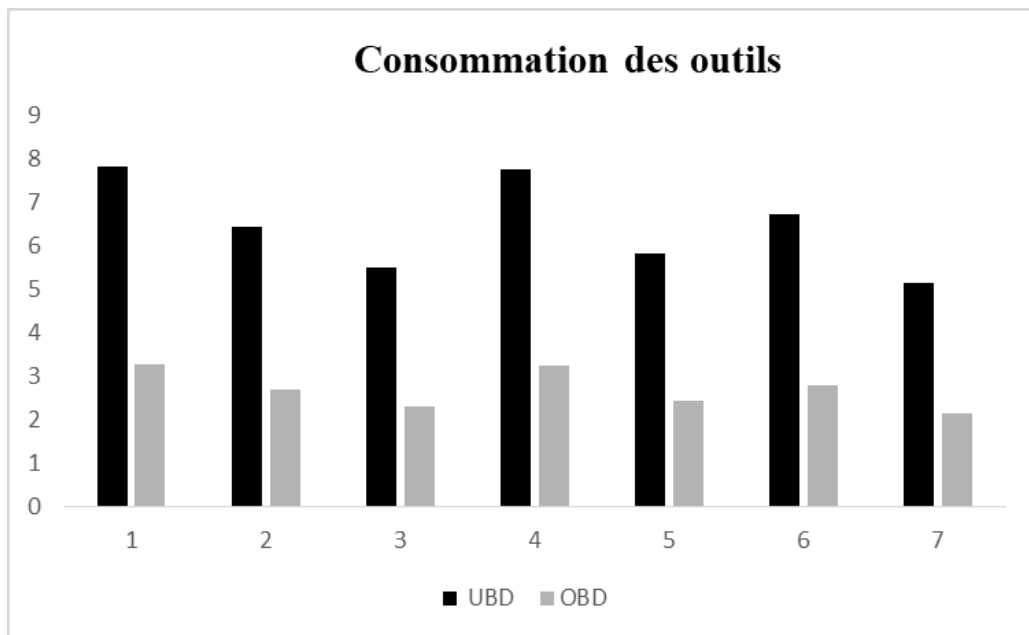


Fig. 18- Consommation des outils dans les puits UBD et OBD.

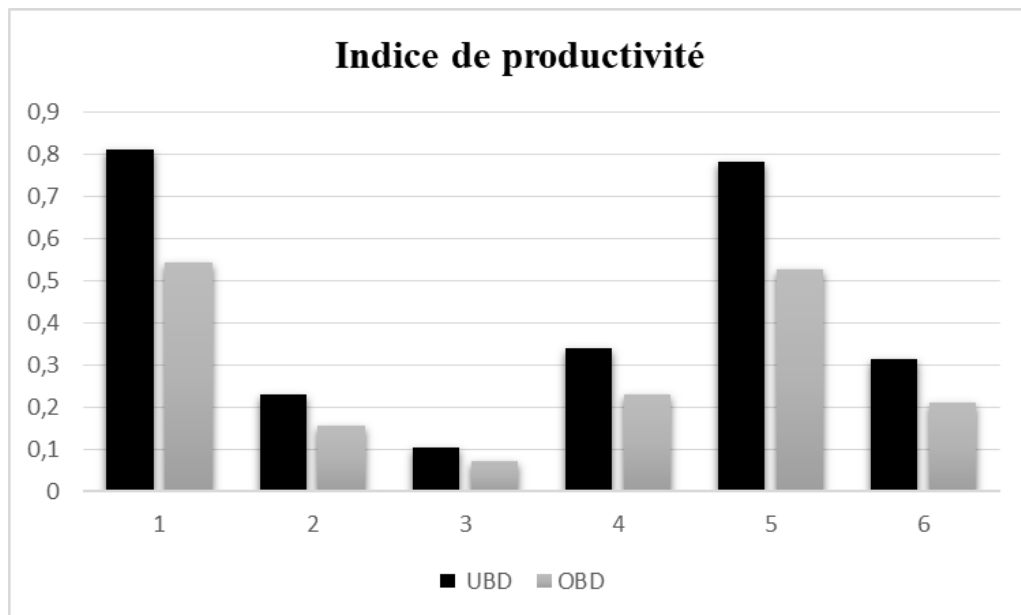


Fig. 19 –Indice de productivité dans les puits UBD et OBD.

## VI. CONCLUSION

Suite à la confrontation des résultats obtenus dans les deux puits sélectionnés, nous constatons que la technique dite de forage en UBD est la meilleure dans les réservoirs déplétés. Ainsi, nous obtenons plus d'informations et de renseignements sur le puits, sur le réservoir et surtout l'amélioration de la production.

## **CONCLUSION GENERAL**

---



## **CONCLUSION GENERALE**

---

Dans le but de montrer les avantages du forage non conventionnel appelé communément forage en Underbalance (UBD), nous avons choisi le puits MDZ 672 du champ géant de Hassi Messaoud. Les principaux résultats obtenus de cette technique sont résumés ici :

-l'utilisation des logiciels SAPHIR et PIPESIM pour la modélisation du réservoir cambrien et la vérification des paramètres de jaugage (Flow Test) montrent de très bons résultats.

-la comparaison du puits Underbalance (UBD)(MDZ 672) avec le puits Onderbalance (ODB)(MDZ 669) dans la même zone d'étude confirme que la technique dite de forage en UBD est la meilleure dans les réservoirs déplétés, Les résultats obtenus de cette comparaison montrent également que les paramètres (Q, PFD et IP) sont élevés dans le puits Underbalance (UBD) (MDZ 672) par rapport au puits Onderbalance (OBD) (MDZ 669).

-la comparaison de plusieurs puits à l'échelle du champ de Hassi Messaoud, en utilisant d'autres paramètres de forage comme la vitesse de pénétration, la consommation des outils et l'indice de productivité confirme la fiabilité du forage en Underbalance (UBD).

En somme, ces différents résultats soulignent l'importance de choisir des techniques de forage adaptées aux spécificités géologiques et techniques de chaque champ pétrolier, et suggèrent que l'UBD pourrait représenter une approche optimale pour l'exploitation future des ressources de Hassi Messaoud. A noter aussi que le Skin d'endommagement du puits foré en UBD est très faible ou nul.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

---



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**BEICIP** (2006)- Modélisation géologique du gisement de Hassi Messaoud: Etudes et conseils pour le développement du champ de Hassi Messaoud (*Rapport inédit*).

**BEICIP/FANLAB** (1979)- Zone périphérique du champ de Hassi Masaoud, réservoir du Cambro-ordovicien. (*Rapport interne*) CRD Sonatrach.

**BERTRAND J.M.L. & CABY R.** (1978)- Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: A new interpretation of the Hoggar Shield (Algerian Sahara). *Geologische Rundschau*, 67, pp. 357-388.

**BOUDJEMA A.**(1987)- Evolution structural du bassin pétrolier “triasique” du Sahara Nordoriental (Algérie). *Thèse Doctorat d’Etat*, Univ. P et M. Curie – Paris (France), n°220, 259 p.

**DRAOUI A.** (2022)- Cours de forage 2, Univ. Ouargla, 81 p.

**INERIS-DRS** (2015)- Contexte et aspects fondamentaux du forage et de l’exploitation des puits d’hydrocarbures. *Rapport d’étude*, 121 p.

**MASSA D. & NICOL-LEJAL A.** (1971)- Le Dévonien à Lycophytes de la Libye sud- occidentale : conséquences paléophytogéographiques. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, Paris, 273, pp. 1182-1185.

**PERRODON A.** ( 1985)- Géodynamique pétrolière : genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures. *Ed. Masson; Elf Aquitaine*, 385 p.

**SONATRACH** (2005)- La stratigraphie du champ Hassi Messaoud (*Rapport interne*). Division Exploration, 35 p.

**SONATRACH** (2008)- *Rapport inédit*.

**WEC (Well Evaluation Conferences)** (2007)- *Rapport inédit*.

## **LISTE DES FIGURES**

---



## **LISTE DES FIGURES**

---

Fig. 1-	Situation géographique du champ de Hassi Messaoud (d'après WEC, 2007)	8
Fig. 2-	Colonne lithostratigraphique type du champ de Hassi Messaoud (d'après SONATRACH, 2005, modifiée)	9
Fig. 3-	Coupe Palinspastique montrant l'évolution spatio-temporelle des dépôts du Paléozoïque et du Trias dans le champ de Hassi Messaoud (d'après BEICIP, 2006)	10
Fig. 4-	Comparaison entre le forage en sous pression (a) et le forage conventionnel (b)(d'après INERIS-DRS, 2015)	15
Fig. 5-	Unité de production nitrogène	17
Fig. 6-	Pompe triplex	17
Fig. 7-	Amplificateur de pression	17
Fig. 8-	Exemple de tête rotative de BOP	18
Fig. 9-	ESD Emergency Shut Dawn	18
Fig. 10-	Manifold de l'underbalance	18
Fig. 11-	Bacs de décantation d'UBD	19
Fig. 12-	Séparateur vertical	19
Fig. 13-	Exemple de valve anti-retour	20
Fig. 14-	Variation de l'avancement dans les deux types de forages	22
Fig. 15-	Profil du puits MDZ 672	25
Fig. 16-	Profil du puits MDZ 669	27
Fig. 17-	Comparaison du ROP dans les puits UBD et OBD	29
Fig. 18-	Consommation des outils dans les puits UBD et OBD	29
Fig. 19-	Indice de productivité dans les puits UBD et OBD	30

## **LISTE DES TABLEAUX**

---



## **LISTE DES TABLEAUX**

---

Tabl. 1-	Présentation du puits MDZ 672	24
Tabl. 2-	Résultats du Flow Test n° 3	25
Tabl. 3-	Résultats du Flow Test n° 4	26
Tabl. 4-	Résultats du Flow Test n° 5	26
Tabl. 5-	Résultats du Flow Test n° 6	26
Tabl. 6-	Présentation du puits MDZ 669	27
Tabl. 7-	Résultats du Drill Stem Test pour le puits MDZ 669	28
Tabl. 8-	Comparaison des résultats du Flow Test et du DST	28



## **LISTE DES ABREVIATIONS**

---



## **LISTE DES ABREVIATIONS**

---

<b>BOP</b>	Blow out preventer
<b>DST</b>	Drill stem test
<b>ESD</b>	Emergency Shut Down
<b>GOR</b>	Gas oil ratio ( $m^3/m^3$ )
<b>IP</b>	Indice de productivité ( $m^3/hr/Bar$ )
<b>LWD</b>	Logging while drilling
<b>MD</b>	Measurement depth (m)
<b>MWD</b>	Measurement while drilling
<b>OBD</b>	Overbalanced drilling
<b>Pf</b>	Pression de fond (Bar)
<b>PFD</b>	Pression de fond dynamique (Bar)
<b>PG</b>	Pression de gisement (Bar)
<b>Pt</b>	Pression de tête (Bar)
<b><math>\Delta P</math></b>	Drawdown (Bar)
<b>PVT</b>	Pression, volume, température
<b>Qh</b>	Débit d'huile ( $m^3/h$ )
<b>ROP</b>	Rate of penetration (m/h)
<b>S</b>	Skin
<b>TD</b>	Total depth (m)
<b>UBD</b>	Underbalanced Drilling
<b>VS</b>	Vertical section (m)

# MEMOIRE DE MASTER

Type de Master : Professionnel

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géo-Ressources

Titre du mémoire : Application du forage non conventionnel underbalance sur le champ de Hassi Messaoud

Auteur : Kawter Imen BERRADIA & Ikram BRIXI GORMAT

## Résumé

Devant la baisse de la production pétrolière dans le champ de Hassi Messaoud, la Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH) a introduit en 2002, une nouvelle technique de forage non conventionnel Underbalance (UBD). Cette technique a pour objectif d'améliorer les taux de pénétration, de fournir des informations sur les réservoirs en temps réel et surtout d'améliorer la productivité en réduisant l'endommagement de la formation géologique.

Dans le présent travail, nous avons essayé de mettre en valeur l'intérêt de cette nouvelle technique de forage non conventionnel à travers l'étude du puits MDZ 672, situé dans le champ de Hassi Messaoud. Ainsi, l'utilisation des logiciels SAPHIR et PIPESIM pour la modélisation à la fois du réservoir cambrien du puits et la vérification des paramètres de jaugeage (Flow Test) montrent de très bons résultats.

Par ailleurs, la comparaison avec le puits conventionnel Overbalance (OBD)(MDZ 669), nous confirme fort bien que la technique dite de forage en UBD est la meilleure dans les réservoirs déplétés, car nous obtenons plus d'informations sur le puits et sur le réservoir d'une part et nous augmentons la production pétrolière d'autre part. Les résultats obtenus de cette comparaison montrent également que les paramètres (Q, PFD et IP) sont élevés dans le puits Underbalance (UBD) (MDZ 672) par rapport au puits Overbalance (OBD) (MDZ 669).

Enfin, la fiabilité du forage en Underbalance (UBD) a été aussi confirmée à l'échelle du champ de Hassi Messaoud à partir de la comparaison de plusieurs puits, comme le témoigne les résultats de la vitesse de pénétration, la consommation des outils et l'indice de productivité.

**Mots-clés:** Hassi Messaoud, Underbalance, Overbalance, SAPHIR, PIPESIM, Flow Test, Cambrien